

# EVALUACIÓN AMBIENTAL

PROGRAMA MUNICIPAL  
DE DESARROLLO URBANO  
Y PLANES PARCIALES

**AÑO 2020**



## Índice de contenido

Resumen ejecutivo .....	16
1. Introducción .....	17
2. Evaluación ambiental .....	19
2.1. Contexto regulatorio .....	19
2.2. Etapas de la evaluación .....	21
2.3. Alcances de la evaluación.....	21
2.3.1. Objetivos estratégicos .....	22
2.3.2. Problemáticas clave.....	22
2.3.3. Componentes ambientales relevantes.....	25
2.4. Colaboración, participación y comunicación pública.....	27
2.5. Vinculación con los Objetivos de Desarrollo Sustentable.....	27
3. Instrumento de planeación urbana.....	31
3.1. Nombre oficial.....	31
3.2. Promotor .....	31
3.3. Descripción del instrumento .....	31
3.4. Antecedentes del instrumento .....	32
3.5. Contexto geográfico, características, superficies y polígonos que comprende.....	33
3.6. Uso de suelo y vegetación.....	36
4. Componentes ambientales relevantes .....	39
4.1. Agricultura .....	41
4.1.1. Caracterización.....	41
4.1.2. Diagnóstico.....	43
4.1.3. Pronóstico .....	55
4.2. Agua residual.....	58
4.2.1. Caracterización.....	58
4.2.2. Diagnóstico.....	66
4.2.3. Pronóstico .....	70
4.3. Agua subterránea.....	76
4.3.1. Caracterización.....	76
4.3.2. Diagnóstico.....	87

4.3.3.	Pronóstico .....	93
4.4.	Biodiversidad.....	95
4.4.1.	Caracterización.....	95
4.4.2.	Diagnóstico.....	95
4.4.3.	Pronóstico .....	99
4.5.	Calidad paisajística .....	104
4.5.1.	Caracterización.....	104
4.5.2.	Diagnóstico.....	106
4.5.3.	Pronóstico .....	115
4.6.	Clima local .....	117
4.6.1.	Caracterización.....	117
4.6.2.	Diagnóstico.....	118
4.6.3.	Pronóstico .....	121
4.7.	Escurrimiento pluvial.....	123
4.7.1.	Caracterización.....	123
4.7.2.	Diagnóstico.....	125
4.7.3.	Pronóstico .....	128
4.8.	Residuos .....	130
4.8.1.	Caracterización.....	130
4.8.2.	Diagnóstico.....	133
4.8.3.	Pronóstico .....	139
5.	Análisis de impactos ambientales potenciales.....	141
5.1.	Agricultura .....	141
5.1.1.	Incremento del uso de agua para actividades agrícolas .....	144
5.1.2.	Presión a la frontera de bosque .....	144
5.1.3.	Pérdida de calidad de suelos por prácticas de agricultura intensiva .....	144
5.2.	Agua residual.....	146
5.2.1.	Incremento de la demanda de los servicios de agua potable y drenaje.....	146
5.2.2.	Incremento de la generación de agua residual y del requerimiento de infraestructura para su tratamiento.....	147
5.2.3.	Incremento del peligro de accidentes por el uso de gas cloro para desinfección .....	152

5.2.4.	Incremento del consumo de energía para tratamiento y bombeo, y emisiones asociadas de GEI	153
5.2.5.	Incremento de la generación de biosólidos .....	153
5.3.	Agua subterránea .....	154
5.3.1.	Aumento de la demanda de agua subterránea.....	154
5.3.2.	Aumento del riesgo de contaminación de acuífero .....	155
5.3.3.	Aumento de la impermeabilización del suelo y reducción de oportunidad de infiltración	156
5.3.4.	Abatimiento del nivel piezométrico .....	157
5.4.	Biodiversidad.....	159
5.4.1.	Disminución de espacios para albergar flora y fauna en condiciones naturales .....	159
5.4.2.	Aumento de la captura o caza de fauna local .....	169
5.5.	Calidad paisajística .....	171
5.5.1.	Modificación de los elementos visuales del paisaje.....	171
5.5.2.	Alteración sobre la lógica territorial y la funcionalidad social y económica .....	171
5.5.3.	Modificación de la funcionalidad geosistémica .....	171
5.5.4.	Modificación del patrimonio histórico y cultural.....	172
5.5.5.	Alteración de los elementos que comprenden el patrimonio natural.....	172
5.6.	Clima local .....	173
5.6.1.	Incremento del efecto de isla de calor .....	173
5.7.	Escurrimiento pluvial.....	177
5.7.1.	Incremento del volumen y flujo del escurrimiento pluvial .....	177
5.7.2.	Incremento del riesgo y la severidad de las inundaciones pluviales.....	179
5.8.	Residuos .....	180
5.8.1.	Incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) .....	180
5.8.2.	Contaminación por migración de lixiviados .....	180
5.8.3.	Incremento de la generación de residuos del sector agropecuario.....	181
5.8.4.	Impacto visual .....	181
6.	Análisis de riesgos relevantes.....	182
6.1.	Riesgos geológicos.....	182
6.1.1.	Deslizamientos .....	182
6.1.2.	Fallas y fracturas.....	183

6.1.3.	Tsunamis.....	184
6.2.	Riesgos hidrometeorológicos.....	186
6.2.1.	Inundaciones.....	186
6.2.4.	Ondas cálidas.....	189
6.2.5.	Sequías.....	190
6.3.	Riesgos potenciales con la implementación del instrumento.....	191
6.3.1.	Riesgos geológicos.....	191
6.3.2.	Riesgos hidrometeorológicos.....	193
7.	Estrategias de mitigación.....	196
7.1.	Agricultura.....	197
7.1.1.	Estrategias de prevención.....	197
7.1.2.	Estrategias de minimización.....	198
7.1.3.	Estrategias de restauración.....	200
7.1.4.	Estrategias de compensación.....	203
7.2.	Agua residual.....	205
7.2.1.	Estrategias de prevención.....	205
7.2.2.	Estrategias de minimización.....	208
7.2.3.	Estrategias de restauración.....	210
7.2.4.	Estrategias de compensación.....	210
7.3.	Agua subterránea.....	213
7.3.1.	Estrategias de prevención.....	213
7.3.2.	Estrategias de minimización.....	214
7.3.3.	Estrategias de restauración.....	215
7.3.4.	Estrategias de compensación.....	216
7.4.	Biodiversidad.....	217
7.4.1.	Estrategias de prevención.....	217
7.4.2.	Estrategias de minimización.....	220
7.4.3.	Estrategias de restauración.....	221
7.4.4.	Estrategias de compensación.....	221
7.5.	Calidad paisajística.....	223
7.5.1.	Estrategias de prevención.....	223
7.5.2.	Estrategias de minimización.....	225

7.5.3.	Estrategias de restauración .....	229
7.5.4.	Estrategias de compensación .....	230
7.6.	Clima local .....	232
7.6.1.	Estrategias de prevención .....	232
7.6.2.	Estrategias de minimización .....	232
7.6.3.	Estrategias de restauración .....	233
7.6.4.	Estrategias de compensación .....	234
7.7.	Escurrimiento pluvial.....	235
7.7.1.	Estrategias de prevención .....	236
7.7.2.	Estrategias de minimización.....	236
7.7.3.	Estrategias de restauración .....	241
7.7.4.	Estrategias de compensación.....	242
7.8.	Residuos .....	243
7.8.1.	Estrategias de prevención .....	243
7.8.2.	Estrategias de minimización.....	243
7.8.3.	Estrategias de restauración .....	244
7.8.4.	Estrategias de compensación.....	244
8.	Seguimiento de implementación .....	246
8.1.	Monitoreo .....	246
8.2.	Evaluación y auditoría .....	271
8.3.	Gestión adaptativa .....	272
8.4.	Comunicación y reporte .....	273
9.	Conclusiones y recomendaciones .....	274
9.1.	Pronóstico ambiental .....	275
9.2.	Recomendaciones para evaluaciones de impacto ambiental.....	277
9.3.	Recomendaciones de gestión y uso de información.....	278
9.4.	Vinculación con Objetivos de Desarrollo Sustentable .....	279
10.	Referencias.....	282
11.	Anexos de la evaluación .....	292
11.1.	Distrito Urbano 1 – Las Juntas.....	292
11.1.1.	Contexto .....	292
11.1.2.	Componentes ambientales relevantes.....	296

11.1.3.	Análisis de impactos ambientales potenciales.....	296
11.1.4.	Estrategias de mitigación .....	300
11.2.	Distrito Urbano 2 – Ixtapa .....	301
11.2.1.	Contexto .....	301
11.2.2.	Componentes ambientales relevantes.....	305
11.2.3.	Análisis de impactos ambientales potenciales.....	305
11.2.4.	Estrategias de mitigación .....	307
11.3.	Distrito Urbano 3 – Las Mojoneras.....	308
11.3.1.	Contexto .....	308
11.3.2.	Componentes ambientales relevantes.....	313
11.3.3.	Análisis de impactos ambientales potenciales.....	313
11.3.4.	Estrategias de mitigación .....	315
11.4.	Distrito Urbano 4 – El Pitillal .....	316
11.4.1.	Contexto .....	316
11.4.2.	Componentes ambientales relevantes.....	321
11.4.3.	Análisis de impactos ambientales potenciales.....	321
11.4.4.	Estrategias de mitigación .....	322
11.5.	Distrito Urbano 5 – Marina Vallarta .....	324
11.5.1.	Contexto .....	324
11.5.2.	Componentes ambientales relevantes.....	327
11.5.3.	Análisis de impactos ambientales potenciales.....	328
11.5.4.	Estrategias de mitigación .....	330
11.6.	Distrito Urbano 6 – Fluvial Vallarta .....	332
11.6.1.	Contexto .....	332
11.6.2.	Componentes ambientales relevantes.....	335
11.6.3.	Análisis de impactos ambientales potenciales.....	336
11.6.4.	Estrategias de mitigación .....	337
11.7.	Distrito Urbano 7 – Aralias .....	338
11.7.1.	Contexto .....	338
11.7.2.	Componentes ambientales relevantes.....	342
11.7.3.	Análisis de impactos ambientales potenciales.....	342
11.7.4.	Estrategias de mitigación .....	343

11.8.	Distrito Urbano 8 – Centro .....	344
11.8.1.	Contexto .....	344
11.8.2.	Componentes ambientales relevantes.....	349
11.8.3.	Análisis de impactos ambientales potenciales.....	349
11.8.4.	Estrategias de mitigación .....	353
11.9.	Distrito Urbano 9 – Conchas Chinas.....	354
11.9.1.	Contexto .....	354
11.9.2.	Componentes ambientales relevantes.....	358
11.9.3.	Análisis de impactos ambientales potenciales.....	358
11.9.4.	Estrategias de mitigación .....	360
11.10.	Distrito Urbano 10 – Mismaloya .....	362
11.10.1.	Contexto .....	362
11.10.2.	Componentes ambientales relevantes .....	366
11.10.3.	Análisis de impactos ambientales potenciales.....	366
11.10.4.	Estrategias de mitigación .....	370
11.11.	Distrito Urbano Las Palmas .....	372
11.11.1.	Contexto .....	372
11.11.2.	Componentes ambientales relevantes .....	374
11.11.3.	Análisis de impactos ambientales potenciales.....	375
11.11.4.	Estrategias de mitigación .....	378
11.12.	Distrito Urbano El Colorado .....	379
11.12.1.	Contexto .....	379
11.12.2.	Componentes ambientales relevantes .....	383
11.12.3.	Análisis de impactos ambientales potenciales.....	383
11.12.4.	Estrategias de mitigación .....	386

## Índice de figuras

<b>Figura 1. Extensión y ubicación del municipio de Puerto Vallarta, Jalisco. Elaborado con información cartográfica del INEGI e IIEG. ....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 2. Ubicación de los 12 distritos urbanos en el contexto del municipio. Elaborado con información cartográfica del INEGI e IIEG. ....</b>	<b>35</b>

<b>Figura 3. Usos de suelo y vegetación para el municipio conforme a las series I a VI del INEGI. ....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 4. Área ejidal en los municipios de Puerto Vallarta y Bahía de Banderas. Fuente: PMDU.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 5. Área sembrada por año de los cinco cultivos de mayor producción del municipio. Elaborado con datos de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020).....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 6. Producción del cultivo por año de los cuatro cultivos de mayor producción del municipio (se excluyeron los datos de praderas y pastos). Elaborado con datos de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020). ....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 7. Valor de la producción por cultivo por año de los cinco cultivos de mayor producción del municipio. Elaborado con datos de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020).....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 8. Mapa de distribución potencial de abejas polinizadoras. ....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 9. Mapa de distribución potencial de abejorros carpinteros.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 10. Mapa de distribución potencial de Apis melífera. ....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 11. Mapa de distribución potencial de insectos.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 12. Proporción de concesiones de agua por volumen y sector. Elaborado con datos del PMDU. ....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 13. Comparación del promedio de caudal de agua residual tratada y del promedio de porcentaje de ocupación hotelera (2015-2019).....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 14. Comparación del promedio de caudal de agua residual tratada y del promedio de precipitación (2015-2019). ....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 15. Ubicación de los cárcamos de bombeo de aguas residuales. ....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 16. Ubicación geográfica de las PTARs. ....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 17. Histórico del promedio mensual de agua tratada en L/s. Elaborado con datos de SEAPAL. ....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 18. Promedio mensual de caudal de tratamiento en 2019 (L/s). Elaborado con datos de SEAPAL. ....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 19. Estimación exponencial del caudal promedio de tratamiento de agua residual.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 20. Proyección de población para 2030.....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 21. Proyección de incremento poblacional para el periodo 2010-2030.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 22. Mapa hipsométrico del municipio. Elaborado con información de las cartas topográficas a escala 1:50,000, INEGI 2013-2018.....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 23. Mapa de pendientes del municipio. Elaborado con información de la carta topográfica 1:50,000, INEGI 2013-2018.....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 24. Mapa del contexto geomorfológico del municipio. Elaborado con información de la carta fisiográfica 1:1,000,000, INEGI 2001. ....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 25. Mapa geológico del municipio. Elaborado con información de la carta geológica 1:50,000, INEGI 1971. ....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 26. Mapa edafológico del municipio. Elaborado con información de la carta edafológica 1:50,000, INEGI 1971. ....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 27. Mapa de uso de suelo y vegetación del municipio. Elaborado con información de la carta de uso de suelo y vegetación 1:250,000 serie VI, INEGI 2001.....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 28. Mapa de delimitación preliminar del acuífero para el municipio. Elaborado con información de la carta de aguas subterráneas 1:250,000, serie 1, INEGI 1999. ....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 29. Principales fuentes de contaminación de agua subterránea (Foster, 2002). ....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 30. Mapa de recarga neta elaborado con el método de Piscopo (2001).....</b>	<b>91</b>
<b>Figura 31. Mapa de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero del municipio desarrollado con el método DRASTIC.....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 32. Fraccionamiento Ecoterra en la parte norte del municipio. Fotografía tomada en octubre 2020.....</b>	<b>96</b>

<b>Figura 33. Trazo urbana de la ciudad limitada por pendiente y vegetación. Fotografía tomada en octubre 2020.</b>	96
<b>Figura 34. Trazo urbana de la ciudad limitada por pendiente y vegetación. Fotografía tomada en octubre 2020.</b>	97
<b>Figura 35. Trazo urbana de la ciudad limitada por pendiente y vegetación. Fotografía tomada en octubre 2020.</b>	97
<b>Figura 36. Edificios y casas en pendientes pronunciadas y en vegetación conservada. Fotografía tomada en octubre 2020.</b>	98
<b>Figura 37. Edificios y casas en pendientes pronunciadas y en vegetación conservada. Fotografía tomada en octubre 2020.</b>	98
<b>Figura 38. Valle agrícola del municipio en la zona norte. Fotografía tomada en octubre 2020.</b>	99
<b>Figura 39. Ejemplo de contaminación lumínica.</b>	100
<b>Figura 40. Ejemplo de efecto borde en el sector agrícola.</b>	100
<b>Figura 41. Ubicación de terrenos agrícolas alrededor de terrenos forestales. Fotografía tomada en octubre 2020.</b>	101
<b>Figura 42. Paisaje marino y terrestre, Playa Mismaloya. Fotografías tomadas en octubre 2020.</b>	105
<b>Figura 43. Área natural protegida Estero El Salado, contigua a la zona urbana. Fotografía tomada en octubre 2020.</b>	106
<b>Figura 44. Cobertura de fragilidad visual del punto.</b>	107
<b>Figura 45. Cobertura de fragilidad visual del entorno.</b>	108
<b>Figura 46. Cobertura de fragilidad visual intrínseca.</b>	109
<b>Figura 47. Cobertura de cuenca visual relativa a las carreteras principales.</b>	110
<b>Figura 48. Cobertura de accesibilidad visual.</b>	111
<b>Figura 49. Cobertura de fragilidad visual adquirida.</b>	112
<b>Figura 50. Mapa de fragilidad visual adquirida para los distritos urbanos DU1, DU2, DU3, DU4, DU5, DU6 y DU7, DU-El Colorado y DU-Las Palmas.</b>	114
<b>Figura 51. Mapa de fragilidad visual adquirida para los distritos urbanos DU8, DU9 y DU10.</b>	115
<b>Figura 52. Temperatura y precipitación promedio mensual en el municipio. Fuente: Elaboración propia con registros de las estaciones climatológicas del municipio.</b>	117
<b>Figura 53. Índice de mitigación del efecto de isla de calor en las áreas de aplicación de los distritos urbanos para el escenario base.</b>	119
<b>Figura 54. Proyección de capacidad de enfriamiento de los distritos urbanos para el escenario base.</b>	120
<b>Figura 55. Temperatura modelada en los distritos urbanos para el escenario base.</b>	121
<b>Figura 56. Comparación entre el ciclo natural del agua (<i>forested</i>) y el ciclo urbano del agua (<i>urban</i>) (Walsh, 2004).</b>	123
<b>Figura 57. Retención de escurrimiento pluvial en las áreas de aplicación de los distritos urbanos para el escenario base de provisión del servicio ecosistémico de mitigación del riesgo de inundación.</b>	126
<b>Figura 58. Volúmenes de retención de escurrimiento pluvial (m<sup>3</sup>) de los distritos urbanos para el escenario base de provisión del servicio ecosistémico de mitigación del riesgo de inundación.</b>	127
<b>Figura 59. Ubicación de la infraestructura principal para el manejo de residuos. Elaborado con información obtenida en trabajo de campo.</b>	132
<b>Figura 60. Generación de residuos (RSU y RME) y generación per cápita en Puerto Vallarta según el PMPGIR 2010.</b>	134
<b>Figura 61. Residuos obstruyendo vía pública. Fotografía tomada en la colonia Díaz Ordaz en septiembre 2020.</b>	135
<b>Figura 62. Vista aérea del frente de los taludes en San Nicolás, dirección norte a sur. Fotografía tomada en 30 septiembre 2020.</b>	136

<b>Figura 63. Asentamientos irregulares en la celda de residuos en Relleno Sanitario El Gavilán. Fotografía tomada en septiembre 2020.</b>	137
<b>Figura 64. Escorrentía de temporal ubicada al sur del sitio respecto a la ubicación de las fosas de lixiviados, separados por el camino de acceso. Fotografía tomada en septiembre 2020.</b>	137
<b>Figura 65. Celda temporal de residuos del relleno sanitario. Fotografía tomada en septiembre 2020.</b>	138
<b>Figura 66. Impactos de la gestión de granja y gestión del paisaje en el flujo de servicios ecosistémicos y externalidades hacia y desde los agroecosistemas. Adaptado de Power (2010).</b>	141
<b>Figura 67. Planta potabilizadora de la playa de Mismaloya. Fotografía tomada en septiembre del 2020.</b>	155
<b>Figura 68. Esquema general del proceso del modelaje de nicho ecológico (Martínez-Meyer y Sánchez-Cordero, 2006).</b>	160
<b>Figura 69. Distribución potencial de mamíferos.</b>	165
<b>Figura 70. Distribución potencial de aves.</b>	166
<b>Figura 71. Distribución potencial de reptiles.</b>	167
<b>Figura 72. Distribución potencial de flora.</b>	168
<b>Figura 73. Distribución potencial de anfibios.</b>	169
<b>Figura 74. Índice de mitigación del efecto de isla de calor en las áreas de aplicación de los distritos urbanos para el escenario con la implementación del PMDU.</b>	174
<b>Figura 75. Proyección de capacidad de enfriamiento de los distritos urbanos para el escenario con la implementación del PMDU.</b>	175
<b>Figura 76. Proyección de temperatura en los distritos urbanos para el escenario con la implementación del PMDU.</b>	176
<b>Figura 77. Retención de escurrimiento pluvial en las áreas de aplicación de los distritos urbanos para el escenario con la implementación del PMDU.</b>	178
<b>Figura 78. Volúmenes de retención de escurrimiento pluvial (m<sup>3</sup>) de los distritos urbanos para el escenario con la implementación del PMDU.</b>	179
<b>Figura 79. Zonas de deslizamientos. Elaborado con información del Atlas de Riesgo de Puerto Vallarta (Universidad de Guadalajara, 2014).</b>	183
<b>Figura 80. Mapa de fallas y fracturas. Elaborado con información del Atlas de Riesgo de Puerto Vallarta (Universidad de Guadalajara, 2014).</b>	184
<b>Figura 81. Riesgo por tsunami de 2.5 m, 5 m, 10 m y 25 m. Elaborado con información del Atlas de Riesgo de Puerto Vallarta (Universidad de Guadalajara, 2014).</b>	185
<b>Figura 82. Mapa de inundación costera. Elaborado con información del Atlas de Riesgo de Puerto Vallarta (Universidad de Guadalajara, 2014).</b>	187
<b>Figura 83. Mapa de inundaciones fluviales. Elaborado con información del Atlas de Riesgo de Puerto Vallarta (Universidad de Guadalajara, 2014).</b>	188
<b>Figura 84. Mapa de zonas y puntos de inundación pluvial. Elaborado con información obtenida del Atlas de Riesgo de Puerto Vallarta (Universidad de Guadalajara, 2014).</b>	189
<b>Figura 85. Porcentaje de afectación por tsunami por distrito urbano.</b>	192
<b>Figura 86. Porcentaje de afectación por inundaciones fluviales y pluviales por distrito urbano.</b>	194
<b>Figura 87. Probabilidad de inundación pluvial según el número de puntos registrados.</b>	195
<b>Figura 88. Implementación de la jerarquía de mitigación (Brownlie y Treweek, 2018).</b>	196
<b>Figura 89. Ejemplo de naturalización en Galicia, España (Borobio et al., 2012).</b>	226
<b>Figura 90. Ejemplo de ocultación en Galicia, España (Borobio et al., 2012).</b>	227
<b>Figura 91. Ejemplo de fusión en Galicia, España (Borobio et al., 2012).</b>	228
<b>Figura 92. Ejemplo de mimetización en Galicia, España (Borobio et al., 2012).</b>	229
<b>Figura 93. Techos verdes. Fuente: JSCWSC, 2009.</b>	233

<b>Figura 94. Acequias de bio-retención. Fuente: Melbourne Water (2005).</b>	237
<b>Figura 95. Zanjas de absorción. Fuente: Melbourne Water (2005).</b>	238
<b>Figura 96. Sistemas de recarga artificial de acuíferos. Fuente: JSCWSC (2009).</b>	238
<b>Figura 97. Cuencas artificiales de sedimentación y retención de escurrimiento pluvial. Fuente: JSCWSC, 2009.</b>	239
<b>Figura 98. Sistemas de captación de agua de lluvia. Fuente: Department of Water WA, 2005.</b>	240
<b>Figura 99. Sistemas de colección de agua pluvial conectados a la red de alcantarillado. Fuente: City of Melbourne, 2013.</b>	241
<b>Figura 100. Diagrama del proceso de gestión adaptativa (modificado de Williams et al., 2007).</b>	272
<b>Figura 101. Delimitación del Distrito Urbano 1.</b>	292
<b>Figura 102. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano 1.</b>	293
<b>Figura 103. Puntos de inundación registrados en el Distrito Urbano 1.</b>	294
<b>Figura 104. Zonas de inundación en el Distrito Urbano 1.</b>	294
<b>Figura 105. Mareas de tormentas en el Distrito Urbano 1.</b>	295
<b>Figura 106. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis en el Distrito Urbano 1.</b>	296
<b>Figura 107. Mapa de fragilidad visual para el Distrito Urbano 1.</b>	297
<b>Figura 108. Zona urbana del Distrito Urbano 1, tomada en octubre 2020.</b>	298
<b>Figura 109. Delimitación del Distrito Urbano 2.</b>	301
<b>Figura 110. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano 2.</b>	302
<b>Figura 111. Puntos de inundación registrados en el Distrito Urbano 2.</b>	303
<b>Figura 112. Zonas de inundación en el Distrito Urbano 2.</b>	303
<b>Figura 113. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis en el Distrito Urbano 2.</b>	304
<b>Figura 114. Presencia de fallas y fracturas dentro en el Distrito Urbano 2.</b>	305
<b>Figura 115. Mapa de fragilidad visual para el Distrito Urbano 2.</b>	306
<b>Figura 116. Delimitación del Distrito Urbano 3.</b>	308
<b>Figura 117. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano 3.</b>	309
<b>Figura 118. Puntos de inundación registrados en el Distrito Urbano 3.</b>	310
<b>Figura 119. Zonas de inundación en el Distrito Urbano 3.</b>	310
<b>Figura 120. Mareas de tormentas en el Distrito Urbano 3.</b>	311
<b>Figura 121. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis en el Distrito Urbano 3.</b>	312
<b>Figura 122. Riesgo de deslizamiento de laderas en el Distrito Urbano 3.</b>	312
<b>Figura 123. Mapa de fragilidad visual para el Distrito Urbano 3.</b>	314
<b>Figura 124. Fotografías del Distrito Urbano 3 tomadas en octubre 2020.</b>	314
<b>Figura 125. Delimitación del Distrito Urbano 4.</b>	316
<b>Figura 126. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano 4.</b>	317
<b>Figura 127. Puntos de inundación registrados en el Distrito Urbano 4.</b>	318
<b>Figura 128. Zonas de inundación en el Distrito Urbano 4.</b>	318
<b>Figura 129. Mareas de tormentas en el Distrito Urbano 4.</b>	319
<b>Figura 130. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis en el Distrito Urbano 4.</b>	320
<b>Figura 131. Riesgo de deslizamiento de laderas en el Distrito Urbano 4.</b>	320
<b>Figura 132. Mapa de fragilidad visual para el Distrito Urbano 4.</b>	321
<b>Figura 133. Delimitación del Distrito Urbano 5.</b>	324
<b>Figura 134. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano 5.</b>	325
<b>Figura 135. Puntos de inundación registrados en el Distrito Urbano 5.</b>	325
<b>Figura 136. Zonas de inundación en el Distrito Urbano 5.</b>	326
<b>Figura 137. Mareas de tormentas en el Distrito Urbano 5.</b>	326
<b>Figura 138. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis en el Distrito Urbano 5.</b>	327
<b>Figura 139. Mapa de fragilidad visual para el Distrito Urbano 5.</b>	329

<b>Figura 140. Fotografías de la unidad administrativa tomadas en octubre 2020.</b> .....	330
<b>Figura 141. Delimitación del Distrito Urbano 6.</b> .....	332
<b>Figura 142. Riesgos por inundación de cauces Distrito 6.</b> .....	333
<b>Figura 143. Puntos de inundación registrados Distrito 6.</b> .....	333
<b>Figura 144. Zonas de inundación Distrito 6.</b> .....	334
<b>Figura 145. Mareas de tormentas Distrito 6.</b> .....	334
<b>Figura 146. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis Distrito 6.</b> .....	335
<b>Figura 147. Mapa de fragilidad visual para el Distrito Urbano 6.</b> .....	336
<b>Figura 148. Delimitación del Distrito Urbano 7.</b> .....	338
<b>Figura 149. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano 7.</b> .....	339
<b>Figura 150. Puntos de inundación registrados en el Distrito Urbano 7.</b> .....	339
<b>Figura 151. Zonas de inundación en el Distrito Urbano 7.</b> .....	340
<b>Figura 152. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis Distrito 7.</b> .....	341
<b>Figura 153. Riesgo de deslizamiento de laderas en el Distrito Urbano 7.</b> .....	341
<b>Figura 154. Mapa de fragilidad visual para el Distrito Urbano 7.</b> .....	342
<b>Figura 155. Delimitación del Distrito Urbano 8.</b> .....	344
<b>Figura 156. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano 8.</b> .....	345
<b>Figura 157. Puntos de inundación registrados en el Distrito Urbano 8.</b> .....	346
<b>Figura 158. Zonas de inundación en el Distrito Urbano 8.</b> .....	347
<b>Figura 159. Mareas de tormentas en el Distrito Urbano 8.</b> .....	347
<b>Figura 160. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis en el Distrito Urbano 8.</b> .....	348
<b>Figura 161. Riesgo de deslizamiento de laderas en el Distrito Urbano 8.</b> .....	348
<b>Figura 162. Presencia de fallas y fracturas en el Distrito Urbano 8.</b> .....	349
<b>Figura 163. Mapa fragilidad visual para el Distrito Urbano 8.</b> .....	350
<b>Figura 164. Imagen del centro histórico de Puerto Vallarta. Fuente: Pueblos México (2020).</b> .....	351
<b>Figura 165. Fotografías de la zona norte del Distrito Urbano 8 tomadas en octubre 2020.</b> .....	352
<b>Figura 166. Delimitación del Distrito Urbano 9.</b> .....	354
<b>Figura 167. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano 9.</b> .....	355
<b>Figura 168. Puntos de inundación registrados en el Distrito Urbano 9.</b> .....	355
<b>Figura 169. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis en el Distrito Urbano 9.</b> .....	356
<b>Figura 170. Presencia de fallas y fracturas en el Distrito Urbano 9.</b> .....	357
<b>Figura 171. Deslizamientos en el Distrito Urbano 9.</b> .....	357
<b>Figura 172. Mapa de fragilidad visual para el Distrito Urbano 9.</b> .....	358
<b>Figura 173. Fotografías de la Playa Mismaloya en el Distrito Urbano 9, tomadas en octubre 2020.</b> ...	359
<b>Figura 174. Delimitación del Distrito Urbano 10.</b> .....	362
<b>Figura 175. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano 10.</b> .....	363
<b>Figura 176. Puntos de inundación registrados en el Distrito Urbano 10.</b> .....	363
<b>Figura 177. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis en el Distrito Urbano 10.</b> .....	364
<b>Figura 178. Deslizamientos en el Distrito Urbano 10.</b> .....	365
<b>Figura 179. Presencia de fallas y fracturas en el Distrito Urbano 10.</b> .....	365
<b>Figura 180. Mapa de fragilidad visual para el Distrito Urbano 10.</b> .....	367
<b>Figura 181. Fotografías sobre la Playa Mismaloya en el Distrito Urbano 10, tomadas en octubre 2020.</b> .....	368
<b>Figura 182. Fotografías sobre la PTAR de Mismaloya en el Distrito Urbano 10, tomadas en octubre 2020.</b> .....	369
<b>Figura 183. Delimitación del Distrito Urbano Las Palmas.</b> .....	372
<b>Figura 184. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano Las Palmas.</b> .....	373
<b>Figura 185. Zonas de inundación en el Distrito Urbano Las Palmas.</b> .....	373

Figura 186. Presencia de fallas y fracturas en el Distrito Urbano Las Palmas. ....	374
Figura 187. Mapa de fragilidad visual Distrito Urbano Las Palmas. ....	375
Figura 188. Campos agrícolas en el Distrito Urbano Las Palmas. Fotografías tomadas en octubre 2020. ....	376
Figura 189. Linderos noreste Distrito Urbano Las Palmas. Fotografías tomadas en octubre 2020.....	377
Figura 190. Delimitación del Distrito Urbano El Colorado. ....	379
Figura 191. Riesgos por inundación de cauces Distrito Urbano El Colorado. ....	380

## Índice de tablas

Tabla 1. Extensión superficial de los 12 distritos urbanos. ....	35
Tabla 2. Porcentaje de superficie de usos de suelo y vegetación de la serie I a la serie VI del INEGI. Elaborado con información de INEGI. ....	36
Tabla 3. Superficie sembrada, producción y valor de la producción de los cinco cultivos más producidos en el municipio. Fuente: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020). ....	44
Tabla 4. Valor de la producción de los cinco cultivos de mayor producción y el valor total de la producción del municipio. Fuente: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020). ....	46
Tabla 5. Lista de especies de polinizadores conocidos para cultivos globales para consumo humano. Adaptado de Klein, et al. (2006). ....	46
Tabla 6. Cultivos producidos en el municipio en 2019 (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020) y el requerimiento de polinización animal y especies de polinizadores según Klein, et al. (2006). ....	51
Tabla 7. Impacto de la falta de polinizadores animales en el valor de la producción de cultivos del municipio. Elaborado con datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020). ....	52
Tabla 8. Equivalente de CO2 fijado por variedad de maíz. Fuente: Marcos S. et al. (2016). ....	53
Tabla 9. Estimación de captura de carbono por algunos cultivos del municipio. Elaborado con datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020) Carvajal, et al. (s/f). ....	54
Tabla 10. Potencial de captura de carbono para la superficie agrícola del municipio. Elaborado con datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020) y FAO (2002). ....	54
Tabla 11. Cobertura de agua potable y de drenaje por distrito urbano. ....	60
Tabla 12. Cobertura de agua potable y drenaje. ....	61
Tabla 13. Características de las PTAR. Elaborado con datos de SEAPAL y Velázquez (2020a). ....	64
Tabla 14. Promedio mensual de caudal de tratamiento en 2019 por PTAR (L/s). Elaborado con datos de SEAPAL. ....	68
Tabla 15. Capacidad instalada de PTARs y caudal promedio tratado. Elaborado con datos de SEAPAL. ....	69
Tabla 16. Estimación lineal del caudal promedio de tratamiento de agua residual. ....	70
Tabla 17. Estimación del uso de agua compuesto, por habitante. ....	71
Tabla 18. Población en 2010 y proyección de población para 2030 por distrito urbano. ....	72
Tabla 19. Superficies correspondientes a los usos de suelo y vegetación del municipio. ....	84
Tabla 20. Rangos de puntuación de las variables del método DRASTIC (Aller et al., 1987). ....	89
Tabla 21. Valores DRASTIC y clasificación de nivel de vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación. ....	89
Tabla 22. Valores para determinar la recarga neta (Piscopo, 2001). ....	90
Tabla 23. Valores de recarga neta y equivalente para método DRASTIC (Piscopo, 2001). ....	90
Tabla 24. Especies de reptiles rescatados por la Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente. ....	101

<b>Tabla 25. Especies de mamíferos rescatados por la Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente.</b>	102
<b>Tabla 26. Especies de aves rescatados por la Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente.</b>	102
<b>Tabla 27. Fragilidad visual por tipo de uso de suelo y vegetación.</b>	107
<b>Tabla 28. Puntos altamente concurridos en el municipio.</b>	110
<b>Tabla 29. Clasificación del tipo de fragilidad visual adquirida según sus valores.</b>	112
<b>Tabla 30. Aspectos representativos del paisaje según el tipo de fragilidad visual (Huss et al., 2012).</b>	112
<b>Tabla 31. Resumen de infraestructura principal para el manejo de residuos.</b>	131
<b>Tabla 32. Generación de residuos sólidos urbanos y de manejo especial según el PMPGIR 2010.</b>	133
<b>Tabla 33. Estimación de generación anual de lixiviados para el relleno sanitario El Gavilán, mediante el modelo suizo.</b>	139
<b>Tabla 34. Superficie de zona urbanizada en 2020 en cada distrito urbano y zona urbanizable a 2030.</b>	146
<b>Tabla 35. Consumo de agua a nivel mundial. Elaborado con datos de Becken (2014), Ruiz (2018) y We Are Water Foundation (2017).</b>	147
<b>Tabla 36. Estimaciones de caudal medio diario de agua residual por distrito urbano al 2030.</b>	148
<b>Tabla 37. Áreas urbanizables por distrito urbano en los periodos 2010-2020 y 2020-2030.</b>	149
<b>Tabla 38. Áreas construcción por distrito urbano en el periodo 2010-2030.</b>	149
<b>Tabla 39. Proyección de caudal medio diario de agua residual por distrito urbano para el escenario al 100% de las zonas urbanizables de industria, comercio e instituciones.</b>	150
<b>Tabla 40. Caudal medio diario de agua residual por distrito urbano, incluyendo la población proyectada para 2030 y escenario de desarrollo.</b>	151
<b>Tabla 41. Registros geográficos para las modelaciones.</b>	162
<b>Tabla 42. Número de especies por grupo biológico.</b>	162
<b>Tabla 43. Descripción de bioclimas.</b>	163
<b>Tabla 44. Impactos por riesgos geológicos por distrito urbano.</b>	191
<b>Tabla 45. Porcentaje de afectación por tsunamis por distrito urbano.</b>	191
<b>Tabla 46. Impactos por riesgos hidrometeorológicos por distrito urbano.</b>	193
<b>Tabla 47. Porcentaje de afectación por riesgos hidrometeorológicos por distrito urbano.</b>	193
<b>Tabla 48. Clasificación del valor de riesgo para puntos de inundación pluvial.</b>	195
<b>Tabla 49. Valor de riesgo por puntos de inundación pluvial por distrito urbano.</b>	195
<b>Tabla 50. Estrategias de mitigación por componente ambiental relevante.</b>	196
<b>Tabla 51. Clasificación de estrategias de mitigación según el tipo de instrumento abordado.</b>	197
<b>Tabla 52. Ventajas, desventajas y datos de mantenimiento de tratamientos de desinfección por ozono, luz ultravioleta y cloro. Fuente: Doménech (2004) y VIQUA (2015).</b>	207
<b>Tabla 53. Clasificación de estrategias según su tipo.</b>	246
<b>Tabla 54. Clasificación de las estrategias según el plazo de implementación.</b>	246
<b>Tabla 55. Estrategias de mitigación e indicadores de seguimiento del componente: Agricultura.</b>	247
<b>Tabla 56. Estrategias de mitigación e indicadores de seguimiento del componente: Agua residual.</b>	251
<b>Tabla 57. Estrategias de mitigación e indicadores de seguimiento del componente: Agua subterránea.</b>	255
<b>Tabla 58. Estrategias de mitigación e indicadores de seguimiento del componente: Biodiversidad</b>	258
<b>Tabla 59. Estrategias de mitigación e indicadores de seguimiento del componente: Calidad paisajística.</b>	261
<b>Tabla 60. Estrategias de mitigación e indicadores de seguimiento del componente: Clima local.</b>	264
<b>Tabla 61. Estrategias de mitigación e indicadores de seguimiento del componente: Escurrimiento pluvial.</b>	266
<b>Tabla 62. Estrategias de mitigación e indicadores de seguimiento del componente: Residuos.</b>	269

## Resumen ejecutivo

La evaluación ambiental del Programa Municipal de Desarrollo Urbano 2050 para el Municipio de Puerto Vallarta, Jalisco y sus Planes Parciales (PMDU) identifica los elementos a observar y las estrategias a implementar para mitigar los impactos ambientales potenciales previstos y potencializar los beneficios de contar con una planeación urbana a mediano y largo plazo. La evaluación ambiental se realizó por un equipo multidisciplinario, el cual adoptó un enfoque de evaluación ambiental estratégica para su ejecución. La evaluación incluye también una vinculación con los Objetivos de Desarrollo Sustentable de la Organización de las Naciones Unidas.

En comunicación con autoridades municipales y estatales, el equipo de trabajo de la evaluación ambiental definió ocho componentes ambientales de mayor relevancia en el contexto local. Los componentes ambientales relevantes de la evaluación ambiental fueron: agricultura, agua residual, agua subterránea, biodiversidad, calidad paisajística, clima local, escurrimiento pluvial y residuos. Estos componentes fueron analizados en sus condiciones actuales y evaluados bajo la óptica del planteamiento de ciudad que propone el PMDU.

La evaluación del componente de agua residual permitió estimar la demanda de infraestructura de tratamiento de agua residual, así como analizar la influencia del turismo en la cantidad de agua residual generada, la aportación del temporal de lluvias al sistema de tratamiento y la identificación de estrategias para mejorar la operación actual. La evaluación del componente de agua subterránea permitió analizar la vulnerabilidad del acuífero con técnicas utilizadas en Estados Unidos y países europeos, ampliando de este modo la visión sobre el territorio y el efecto del uso de suelo sobre este componente. Otro componente ambiental que arrojó información nueva y de forma gráfica fue la evaluación de la calidad paisajística y cómo los diferentes planes parciales pueden verse beneficiados con medidas de paisaje en los nuevos proyectos.

De igual forma, para cada componente ambiental se generó información para su diagnóstico y para la estimación de los impactos ambientales previstos por la implementación del PMDU y sus planes parciales. Asimismo, se establecieron estrategias de mitigación para cada componente ambiental, algunas de las cuales se complementan con los programas planteados en el PMDU y otras se formulan como elementos de soporte adicional.

## 1. Introducción

Este reporte aborda la evaluación ambiental del instrumento de planeación urbana denominado **Programa Municipal de Desarrollo Urbano 2050 para el Municipio de Puerto Vallarta, Jalisco y sus Planes Parciales** (PMDU). La evaluación ambiental descrita en el presente reporte fue realizada bajo un enfoque de evaluación ambiental estratégica. La evaluación ambiental estratégica (EAE) es un instrumento de apoyo para la incorporación de la dimensión ambiental en la toma de decisiones estratégicas, como son las políticas, planes y programas (Thérivel, 2010). La EAE es un instrumento de planeación y gestión ambiental que tiene como objeto facilitar la incorporación de consideraciones ambientales desde los primeros momentos del proceso de planeación, de manera que se analice de forma integral el impacto que tendrá cualquier política, plan, programa o proyecto en los ecosistemas y garantizar que no se rebase su capacidad de carga. Como tal, es un procedimiento que se realiza con el fin de mejorar el desempeño ambiental de instrumentos de planeación y política (Jiliberto Herrera y Bonilla Madriñán, 2009).

La EAE permite: (i) una descripción del medio ambiente en un lenguaje comprensible, basado en valores humanos; (ii) un marco integral para describir los vínculos entre las personas y su entorno más allá de los enfoques basados en sectores; (iii) un medio para cruzar fronteras entre sectores y actores (es decir, planeadores, tomadores de decisión y partes interesadas); (iv) identificar escalas geográficas relevantes para negociar compensaciones, mientras se mantiene la integridad de los sistemas y procesos ecológicos (IAIA, 2016). Asimismo, permite informar a los planeadores, tomadores de decisión y partes interesadas acerca de la sustentabilidad de las decisiones estratégicas, facilitando así la búsqueda de mejores alternativas (IAIA, 2002). La EAE es un proceso participativo en el cual las partes interesadas pueden retroalimentar en distintas fases de su desarrollo. De esta forma se logra que los componentes relevantes, las estrategias de mitigación y los programas de seguimiento tengan un mejor desempeño.

La EAE difiere de la evaluación de impacto ambiental (EIA), y de sus reportes o manifestaciones de impacto ambiental (MIA), en varios aspectos. El enfoque de la EIA es al nivel de proyectos, mientras que el de la EAE es al nivel de políticas, planes y programas. Dicho enfoque de la EIA puede limitar el entendimiento de los efectos acumulativos que distintos desarrollos y actividades pueden tener sobre el medio ambiente, así como la significancia de estos efectos en mayores escalas de superficie y tiempo (Treweek et al., 2005). La EAE permite contrarrestar dichas limitaciones de la EIA al asegurar que los impactos ambientales y alternativas se consideren de forma más temprana en el proceso de toma de decisiones, y mediante el análisis de efectos acumulativos y de gran escala (Fundingsland-Tetlow y Hanush, 2012).

Se desconocen referencias de evaluaciones similares realizadas para programas municipales de desarrollo urbano en el ámbito jalisciense, por lo que se considera a la presente evaluación ambiental como el primer ejercicio en su tipo realizado en el estado de Jalisco.

El presente reporte se encuentra estructurado de la siguiente forma. En la sección 2 se presentan datos sobre la evaluación ambiental incluyendo el contexto regulatorio, las etapas de la evaluación, los alcances de la evaluación (objetivos, problemáticas y componentes ambientales relevantes), los ejercicios de colaboración, participación y comunicación pública realizados como parte de la evaluación, y una vinculación con los Objetivos de Desarrollo Sustentable de la Organización de las Naciones Unidas.

En la sección 3 se presentan datos sobre el PMDU y planes parciales como antecedentes, contexto geográfico y características, superficies, polígonos y usos de suelo que comprende. En la sección 4 se presenta la caracterización, diagnóstico y pronóstico de los componentes ambientales relevantes. En la sección 5 se describe el análisis de impactos ambientales potenciales sobre los componentes ambientales relevantes por la implementación del PMDU. En la sección 6 se presenta un análisis de riesgos relevantes para el municipio en el contexto del PMDU. En la sección 7 se presentan las estrategias de mitigación (prevención, minimización, restauración y compensación) de los impactos ambientales identificados en la sección 5.

En la sección 8 se presenta el programa de seguimiento que se establece para las estrategias de mitigación. En la sección 9 se presentan las conclusiones de la evaluación ambiental, las cuales se componen de (i) un pronóstico ambiental para el municipio con la implementación del PMDU y las estrategias de mitigación, (ii) recomendaciones sobre los componentes críticos a abordar en EIAs para proyectos que pretendan desarrollarse en el ámbito de aplicación del PMDU, (iii) recomendaciones de gestión y uso potencial de información de carácter ambiental, y (iv) una vinculación de la evaluación ambiental con los Objetivos de Desarrollo Sustentable de la Organización de las Naciones Unidas.

En la sección 10 se presentan las referencias bibliográficas incluidas en el texto del reporte. Finalmente, en la sección 11 se presentan los anexos, los cuales contienen información específica sobre los doce planes parciales del PMDU con un análisis específico para los componentes ambientales aplicables a tal escala.

## 2. Evaluación ambiental

### 2.1. Contexto regulatorio

En esta sección se presenta el marco regulatorio que da lugar al desarrollo de la evaluación ambiental del PMDU y planes parciales. De manera inicial se cuenta con el reconocimiento internacional de la EIA en 1992 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro. El Principio 17 de la Declaración Final establece lo siguiente: “Deberá emprenderse una evaluación del impacto ambiental, en calidad de instrumento nacional, respecto de cualquier actividad propuesta que probablemente haya de producir un impacto negativo considerable en el medio ambiente y que esté sujeta a la decisión de una autoridad nacional competente”.

Con relación a la EAE, de acuerdo con Eberhard et al (s.f.), esta se ha incluido como instrumento obligatorio en muchos países industrializados y está despertando un interés creciente también en los países en vías de desarrollo y en transición. La EAE es una herramienta altamente recomendada en los procesos de planeación que cuentan con objetivos de sustentabilidad. Los Objetivos de Desarrollo del Milenio, adoptados por 189 naciones y firmados por 147 jefes de estado y de gobierno durante la Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas en el año 2000, proveyeron un marco para la integración de los principios del desarrollo sustentable en políticas y programas nacionales, que es uno de los propósitos de la EAE.

De igual forma, existen varias convenciones internacionales que tienen requisitos específicos sobre EIA y EAE. Entre ellas se encuentran las siguientes:

- Convención sobre Especies Migratorias (Bonn, 1979)
- Convención de las Naciones Unidas sobre la Ley de los Mares (Bahía de Montejó, 1982)
- Convención de las Naciones Unidas sobre Diversidad Biológica (CBD) (Río de Janeiro, 1992): La CBD reconoce la necesidad de evaluar el impacto en la biodiversidad del desarrollo planeado e implementado por lo que requiere a los miembros la evaluación de impacto de proyectos, programas, planes y políticas. La CBD ha hecho esfuerzos para mejorar los parámetros e incluir todas las etapas del proceso de la evaluación del impacto ambiental y de la evaluación ambiental estratégica tomando en cuenta un acercamiento ecosistémico, en colaboración con organizaciones relevantes, en particular con la IAIA (Slootweg et al., 2006).
- Convención sobre Acceso a la Información, Participación Pública en la Toma de Decisiones y Acceso a la Justicia en Materia Ambiental (Aarhus, 1998)
- Convención Regional sobre EIA en un Contexto Transfronterizo (Espoo, 1991), que tiene un Protocolo específico sobre EAE (Kiev, 2003)

Asimismo, se tiene que instituciones internacionales como el Banco Mundial han utilizado la EAE en sus proyectos. La aplicación de la EAE por el Banco Mundial surgió inicialmente de una política de requerimiento de evaluación ambiental en todos los proyectos de inversión (política que también proporcionó el uso de evaluaciones ambientales sectoriales o regionales en ciertos contextos). En 1999 el requisito se extendió a los préstamos de ajuste sectorial, para los cuales la EAE era a menudo la

herramienta seleccionada. La Estrategia Ambiental de 2001 del Banco Mundial reconoció a la EAE como medio clave para integrar el medio ambiente en la toma sectorial de decisiones y el proceso de planeación en las primeras etapas, e hizo un fuerte compromiso de promover el uso de la EAE como herramienta para el desarrollo sostenible (Banco Mundial, 2009). Algunos reportes relevantes del Banco Mundial en el contexto mexicano son:

- Banco Mundial. 2002. *“Mexico: Programmatic Environment Structural Adjustment Loan: Program Document. Report 24458 ME.”* Julio 8, Washington, DC.
- Banco Mundial. 2005. *“Evaluación ambiental estratégica del sector turismo en México.”* Estudio publicado en coordinación con Environmental Resources Management y el Ministerio de Turismo, México, junio 30.
- Banco Mundial. 2005. *“Mexico: Second Programmatic Environment Development Policy Loan: Program Document.”* Informe 32248–MX, agosto 9, Banco Mundial, Washington, DC.

Con relación a México, se tiene que los temas ambientales aparecieron por primera vez en la agenda política de nuestro país en la década de 1970 como resultado de la presión de un pequeño grupo de académicos, ingenieros, trabajadores de la salud y ciudadanos (Tejeda, Alfaro y Medellín, 2014). En 1971 se promulgó la primera ley contra la contaminación en México (Ley Federal para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, LFPPCA) como resultado de considerar la contaminación como un tema de salud pública (Tejeda, Alfaro y Medellín, 2014). La EIA apareció por primera vez en la Ley Federal de Protección Ambiental de 1982 (LFPA), la cual fue sustituida en 1988 por la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental (LGEEPA). Hasta la fecha solo se cuenta con la herramienta de la EIA en dicha legislación (Tejeda, Alfaro y Medellín, 2014).

A pesar del uso extensivo de la EIA en México, aún existen muchas limitaciones (de alcance, efectos sinérgicos y acumulativos, transparencia, participación ciudadana más amplia) y existe la necesidad de incorporar la EAE en los marcos legales e institucionales del país (Alshuwaikhat, 2005; Ahumada et al, 2012). El Instituto de Ecología Nacional (INE, 2000) analizó los instrumentos de evaluación de impacto vigentes y señaló sus alcances y limitaciones, así como los retos en México. A partir de dicho análisis se concluye que “México debe acatar sus obligaciones derivadas del acuerdo establecido en 1996 entre los países miembros de la Comisión de Centro de Medio Ambiente y Desarrollo de Centro América”. Tejeda, Alfaro y Medellín (2014) señalan que en dicho acuerdo se promueve el uso de la EAE en la región para asegurar la mitigación de impactos globales de políticas, leyes, planes y programas.

Por otro lado, se tiene que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2006) reconoce que la EAE es una herramienta que ayuda a evaluar proyectos conjuntos, así como planes y programas que pueden ocasionar impactos ambientales. En sus conclusiones establece, entre otros asuntos, los siguientes puntos (Tejeda, Alfaro y Medellín, 2014):

- El desarrollo de una metodología de EAE tiene entre sus objetivos involucrar más activamente a las instituciones responsables de la planeación y programación de las actividades relevantes en el país.
- Los gobiernos locales deben someter sus programas de ordenamiento y desarrollo urbano a un proceso de evaluación de impacto.

De acuerdo con Tejeda, Alfaro y Medellín (2014), la EAE fue considerada en 2006 en el borrador del documento de un taller temático sobre desarrollo sostenible para la elaboración del Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. Sin embargo, la EAE fue excluida en el informe final de 2007-2012. La EAE se menciona de manera puntual únicamente en la Ley de Transición Energética (2015). Esta Ley ordena que, en los proyectos de generación de energía eléctrica limpia, se lleve a cabo la EAE para determinar las características relevantes del o de los ecosistemas potencialmente afectables por los proyectos, valorar regionalmente los impactos ambientales potenciales y dictar las medidas de prevención y control a las que deben sujetarse los desarrolladores de los proyectos.

Finalmente, en el ámbito estatal, se cuenta con el Código Urbano para el Estado de Jalisco (Congreso del Estado de Jalisco, 2008) que en su artículo 86 establece que los programas y planes que modifiquen el uso de suelo serán sometidos a evaluación en materia de impacto previo a su autorización para el fortalecimiento de la sustentabilidad del desarrollo urbano. Por lo tanto, la evaluación ambiental descrita en este reporte encuentra sustento en dicho instrumento legal.

## **2.2. Etapas de la evaluación**

La evaluación ambiental contempló las siguientes etapas:

1. Definición de los alcances de la evaluación ambiental.
2. Recopilación y generación de información especializada para el análisis de los componentes ambientales relevantes.
3. Análisis de los impactos potenciales de la implementación del PMDU y sus planes parciales sobre los componentes ambientales relevantes.
4. Selección de las estrategias de mitigación de los impactos ambientales.
5. Elaboración del programa de seguimiento para la implementación de las estrategias de mitigación.
6. Elaboración del presente reporte de la evaluación ambiental.

## **2.3. Alcances de la evaluación**

La definición de alcances es el proceso mediante el cual se identifican y priorizan los temas esenciales a incluir en la evaluación ambiental de una política, plan, programa, o proyecto, así como definir el tipo de esfuerzos que se dedicarán a cada uno de los temas (IAIA, 2018). La definición de alcances permite puntualizar la atención de la evaluación y dedicar recursos al análisis de los componentes ambientales e impactos potenciales más relevantes y significativos, así como asegurar que se les dé una profundidad de análisis adecuada (IAIA, 2018). Cuando no se lleva a cabo la definición de alcances es probable que la evaluación ambiental siga términos de referencia estándar determinados en evaluaciones de propuestas parecidas. Esto puede llevar al análisis de componentes ambientales que tienen nula o poca importancia, o viceversa, atender de manera superficial asuntos relevantes de la propuesta. Una definición de alcances adecuada permite generar información detallada de los asuntos identificados como importantes para mejorar la toma de decisiones (IAIA, 2018).

En las siguientes subsecciones se describen los alcances de la evaluación ambiental con relación a:

1. Los objetivos estratégicos de la evaluación.
2. Las problemáticas clave consideradas para definir los componentes abordados en la evaluación.
3. Los componentes ambientales relevantes sobre los que se enfocó la evaluación.

### 2.3.1. Objetivos estratégicos

Los objetivos estratégicos de la evaluación ambiental fueron:

1. Analizar el estado actual de los componentes ambientales relevantes.
2. Analizar los impactos potenciales con la implementación del PMDU y planes parciales sobre los componentes ambientales relevantes.
3. Identificar estrategias para mitigar los impactos potenciales con la implementación del PMDU y planes parciales sobre los componentes ambientales relevantes, priorizando estrategias de prevención y minimización sobre estrategias de restauración y compensación.
4. Definir un programa de seguimiento para la implementación de las estrategias de mitigación, que incluya elementos de monitoreo, auditoría y reporte.
5. Definir los componentes críticos a abordar en EIAs para proyectos que pretendan desarrollarse en el ámbito de aplicación del PMDU y planes parciales, así como en análisis que se realicen en materia del desarrollo metropolitano de los municipios de Puerto Vallarta, Jalisco y Bahía de Banderas, Nayarit.
6. Sugerir estrategias de gestión y uso potencial de información de carácter ambiental con la que cuenta la administración municipal.
7. Comunicar de manera clara y efectiva al público interesado los alcances y resultados de la evaluación ambiental.

### 2.3.2. Problemáticas clave

Con base en el PMDU y los planes parciales y otros documentos de política pública de referencia del municipio, el equipo de trabajo identificó problemáticas de carácter ambiental, social y económico que, para efectos de la evaluación ambiental, se consideraron como clave y susceptibles de ser abordadas en la evaluación. Se identificaron como problemáticas clave aquellas que representan retos críticos para la sustentabilidad socioambiental del municipio hacia el 2050.

Las problemáticas clave identificadas por el equipo de trabajo fueron las siguientes:

1. **Alto consumo de energía estacionaria.** De acuerdo con el Programa Municipal de Cambio Climático de Puerto Vallarta 2020-2030 publicado el 29 de abril de 2020 (PMCC) (Pleno del Ayuntamiento Constitucional, 2020), el consumo de energía estacionaria constituye el 53% del consumo energético del municipio, del cual “el 48% corresponde a energía suministrada a través de la red a usuarios de alta tensión, entre los que se encuentran instalaciones industriales, grandes edificaciones como aeropuerto, hoteles, proveedores de servicios de alto consumo”. Las medidas que el PMCC plantea para la transición energética de este sector se encuentran diseñadas para

apoyar el uso de tecnologías de energías renovables y sistemas energéticos eficientes, con el objetivo de sustituir la generación de energía de fuentes fósiles a fuentes renovables. Entre estas estrategias mencionadas en el PMCC se encuentran: promover la instalación de calentadores y paneles solares en hoteles, servicios y en el sector residencial.

2. **Asentamientos humanos en condiciones desfavorables.** El municipio cuenta con 26 ejidos cuya superficie fue destinada para la realización de actividades productivas. Debido al crecimiento urbano, estas áreas se han fragmentado al incorporar usos de suelo compatibles, como el habitacional o comercial. La meta 11.1 de Agenda 2030 ‘Asentamientos humanos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles’, pretende “asegurar el acceso a todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales”. Es importante tener en operación el indicador necesario para medir el cambio en estos factores con la política de ciudad compacta, y buscar la relación que existe entre esta política y la meta descrita para poder ajustar medidas de ser necesario.
3. **Contaminación atmosférica.** El 14.7% de los participantes de los ejercicios de participación ciudadana citados en el PMDU consideraron como problema prioritario la contaminación y el 18.4% consideró que para mejorar su calidad de vida es necesario el cuidado del medio ambiente. Estos ejercicios también mostraron que el 13% de la población tiene la percepción de que el municipio cuenta con mala calidad del aire.
4. **Crecimiento urbano hacia zonas de cultivo, zonas con pendiente pronunciada y zonas con vegetación forestal.** En la sección de “Síntesis del medio sociodemográfico y económico” del PMDU, se menciona que existe la problemática del crecimiento sin planificación, la cual está sujeta a la inmigración producida por la dinámica económica, política y social del municipio. En la sección “Descripción de la dinámica de los usos de suelo”, se menciona que la actividad agrícola se ha ido desarrollando en la parte norte del municipio y ha sido clave para el surgimiento de nuevos asentamientos humanos, motivando con ello, la expansión urbana sin planificación. Asimismo, se menciona que la formación de asentamientos irregulares está dada por áreas que corresponden a propiedad ejidal, en las cuales, durante el proceso de crecimiento y expansión urbana, se diversificó su utilización a partir de la compatibilidad de usos permitidos, entre los que se destacan el uso comercial y habitacional. Los asentamientos irregulares no cuentan con autorización oficial por parte del Ayuntamiento, pudiendo edificarse en zonas de riesgo, como es el caso de áreas de pendiente pronunciada, o en zonas con vegetación forestal. Estos problemas se han formado por la falta de instrumentos de planeación urbana actualizados, falta de administración adecuada de recursos y falta de un programa de regulación de asentamientos humanos que contemple la regulación del territorio y otorgue certeza jurídica de estos.
5. **Gestión inadecuada de residuos sólidos urbanos.** El equipo de trabajo de la evaluación identificó que el PMDU menciona la necesidad de mejorar y actualizar los instrumentos de planeación y regularización en materia de residuos como el Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos, así como de mejorar el sistema de recolección tomando en consideración que se prevé una mayor densidad poblacional. Sin embargo, el PMDU en su diagnóstico no considera infraestructura para el reciclaje, acopio o tratamiento de residuos que evite que parte de los residuos generados sean

depositados en un sitio de disposición final. Por lo tanto, el PMDU no contempla un enfoque de economía circular de los materiales. Por otro lado, en el PMCC se estima que se generan 106,796.47 6.32 CO<sub>2e</sub> por el depósito de residuos en relleno sanitario (Pleno del Ayuntamiento Constitucional, 2020). Sin embargo, el 41.31% de los participantes de los ejercicios de participación ciudadana citados en el PMDU identificó la separación de residuos como una de las actividades principales para mejorar el medio ambiente del municipio. Por otro lado, el municipio cuenta con un relleno sanitario en operación que cumple con la NOM-083-SEMARNAT-2003. Dicho relleno cuenta con capacidad suficiente en las celdas y superficie actual para continuar operando por los siguientes 20 años, considerando la generación de residuos actual y proyectada. Lo anterior, sin considerar el potencial de implementar políticas de gestión de residuos de disminución, separación, reciclaje y valorización que pudieran aumentar considerablemente la vida útil del relleno, así como el potencial de reconfigurar el uso del espacio.

6. **Gestión descoordinada de biodiversidad urbana.** En el PMDU se menciona que 20% de los participantes de los ejercicios de participación ciudadana coincidieron en que, para mejorar su movilidad, requerían de corredores verdes. Dentro de las acciones que mejorarían la ciudad, el 15.5% de los participantes opina que la rehabilitación de parques y jardines ayudaría con este objetivo; y, para mejorar la calidad de vida en la ciudad, el 20.7% de la población opina que se lograría mediante más espacios verdes. Los ejercicios de participación ciudadana también arrojaron que el 49% de la población no cuenta con un área verde cercana. El PMDU, en la sección de Estrategias de Zonificación Secundaria, menciona áreas propuestas para protección, lo cual puede contribuir a aumentar la visibilidad, importancia y accesibilidad de las áreas verdes y de sus servicios ambientales o ecosistémicos. En entrevistas con personal del Ayuntamiento, el equipo de trabajo de la evaluación identificó problemáticas de percepción ciudadana con respecto a trabajos de mantenimiento de áreas verdes a las orillas de ríos y arroyos. Asimismo, el personal identifica que dicho problema de percepción puede beneficiarse mediante la creación e implementación de un Plan de Gestión de Áreas Verdes Urbanas que contemple la protección de cauces, así como estrategias de comunicación sobre su gestión a la población.
7. **Gestión de agua sin planeación estratégica.** En entrevistas con personal del Sistema de Servicios de Agua Potable, Drenaje y Alcantarillado (SEAPAL), el equipo de trabajo identificó que existe infraestructura para el monitoreo del agua subterránea. Además, se realizan acciones para donar agua a actividades del sector primario a cambio de derechos de extracción de agua subterránea cruda. En el PMDU se menciona la necesidad de desarrollar un Programa de Gestión de Agua mediante el cual se planee un sistema sostenible para la dotación de agua de calidad y su gestión mediante todo el ciclo de uso, donde además se integren las acciones propuestas en el PMDU. Dichas acciones incluyen, entre otras, la dotación de agua potable gratuita y el diagnóstico, construcción y mantenimiento de la infraestructura relacionada a estos objetivos. El municipio goza de calidad y cantidad de agua que muy pocos municipios en el estado tienen, razón por la cual el programa propuesto en el PMDU puede brindar acciones claras que permitan potencializar la gestión del agua.

8. **Vulnerabilidad ante impactos previstos por el cambio climático.** De acuerdo con el PMCC, los efectos del cambio climático previstos para la región incluyen una disminución generalizada de precipitación entre 25 y 50 mm en promedio, así como un incremento en la temperatura de entre 0.7 y 1.6°C en promedio para los meses fríos (enero-marzo) y de 1.3 a 2°C para los meses cálidos (junio-agosto), con consecuencias negativas sobre el uso de energía para fines de refrigeración, la actividad turística y el consumo de agua (Pleno del Ayuntamiento Constitucional, 2020). Asimismo, el PMCC identifica como amenazas climáticas la elevación del nivel del mar, los huracanes y tormentas tropicales, las inundaciones pluviales y fluviales, el mar de fondo, la marea de tormenta, las olas de calor extremo y las sequías (Pleno del Ayuntamiento Constitucional, 2020). Las anteriores con impactos en la reducción de captura de carbono y aumento de emisiones, escasez de agua, degradación de la belleza escénica, erosión del suelo, incremento de erosión costera, incremento del gasto público, disminución de turismo e ingresos y pérdidas económicas (Pleno del Ayuntamiento Constitucional, 2020).

### 2.3.3. Componentes ambientales relevantes

El PMDU contiene una descripción detallada de los aspectos bióticos, abióticos y sociales presentes en el municipio. Dichos aspectos dan fundamento, estructura y funcionalidad al PMDU. Asimismo, representan una línea de base para el diseño de las políticas y estrategias que lo integran, por lo que todos cuentan con una relativa importancia. Sin embargo, se consideró crítico analizar algunos componentes ambientales con mayor nivel de detalle en la evaluación ambiental debido a su relevancia socioambiental.

La evaluación ambiental se enfocó sobre los componentes ambientales más relevantes, tomando como referencia aquellos relacionados con las problemáticas clave y los impactos potenciales derivados de la implementación del PMDU. Esto permitió puntualizar la atención de la evaluación y dedicar recursos al análisis de dichos componentes y sus impactos.

Como primer paso en la definición de los componentes ambientales relevantes, el equipo de trabajo de la evaluación ambiental consideró la siguiente variedad de componentes ambientales potencialmente afectados por las problemáticas clave y la implementación del PMDU:

- a) **Componentes bióticos:** Biodiversidad, especies de flora o fauna en riesgo, ecosistemas en riesgo, especies migratorias, áreas naturales protegidas, parques urbanos y corredores biológicos.
- b) **Componentes abióticos:** Agua (agua superficial, agua subterránea, calidad del agua, agua residual, escurrimiento pluvial), aire (calidad del aire, ruido), clima (emisiones de gases de efecto invernadero, clima local), paisaje y residuos.
- c) **Servicios ecosistémicos,** o los beneficios que las personas obtienen de la naturaleza, sus ecosistemas y procesos (TEEB, 2010):
  - i) **Servicios de provisión:** Alimentos (agricultura), materiales en bruto (minerales, madera), agua dulce superficial y subterránea, y recursos medicinales.

- ii) **Servicios de regulación:** Regulación del clima local (reducción del efecto de isla de calor), regulación de la calidad del aire (reducción de contaminación atmosférica), captura y almacenamiento de carbono, moderación de eventos extremos, reducción del escurrimiento pluvial (reducción del riesgo de inundación), tratamiento biológico de agua y residuos, prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo, polinización y control biológico de plagas y enfermedades.
- iii) **Servicios de soporte:** Hábitat para especies y mantenimiento de la diversidad genética.
- iv) **Servicios culturales:** Recreación y salud mental y física, turismo, apreciación de la naturaleza, inspiración para la cultura, arte y diseño, experiencia espiritual y sentido de pertenencia.

Con base en reportes de referencia y consultas con actores relevantes del municipio, el equipo de trabajo identificó los siguientes 12 componentes ambientales con potencial de ser considerados como relevantes:

1. Agua residual
2. Agua subterránea
3. Agricultura
4. Biodiversidad urbana
5. Calidad de agua
6. Calidad del aire
7. Calidad paisajística
8. Clima local
9. Escurrimiento pluvial
10. Residuos
11. Oportunidades de recreación y turismo
12. Vegetación y fauna

Con base en los componentes identificados, el equipo de trabajo propuso a las autoridades estatales y municipales (ver sección 2.4) el enfoque de la evaluación ambiental sobre los siguientes 8 componentes:

1. **Agricultura**
2. **Agua residual**
3. **Agua subterránea**
4. **Biodiversidad**
5. **Calidad paisajística**
6. **Clima local**
7. **Escurrimiento pluvial**
8. **Residuos**

Dichos componentes fueron confirmados por las autoridades estatales y municipales como los componentes ambientales relevantes de la evaluación ambiental. Cabe señalar que los componentes 'biodiversidad urbana' y 'vegetación y fauna' fueron integrados bajo 'biodiversidad'.

## **2.4. Colaboración, participación y comunicación pública**

En distintos momentos de la evaluación ambiental, se llevaron a cabo ejercicios de colaboración con autoridades estatales y municipales, y de participación y comunicación pública. De manera particular se señalan los siguientes cuatro:

1. 31 de agosto de 2020: Reunión virtual con representantes del H. Ayuntamiento de Puerto Vallarta, Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial y equipo de trabajo de la evaluación ambiental. En dicha reunión, el equipo de trabajo presentó los alcances preliminares de la evaluación ambiental, incluyendo la propuesta de los ocho componentes ambientales relevantes. Las autoridades estatales y municipales confirmaron los componentes ambientales relevantes identificados por el equipo de trabajo y brindaron retroalimentación, definiendo puntos adicionales de análisis para los componentes ambientales relevantes.
2. 30 septiembre de 2020: Reunión entre el equipo interno de la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente del H. Ayuntamiento de Puerto Vallarta y el equipo de trabajo de la evaluación ambiental. En dicha reunión, el equipo de trabajo presentó avances sobre el análisis de los componentes ambientales relevantes. Asimismo, se observaron puntos técnicos sobre cada componente ambiental para ampliar el nivel de detalle de su análisis.
3. 7 de octubre de 2020: Reunión entre el Consejo Municipal de Desarrollo Urbano de Puerto Vallarta, Jalisco y el equipo de trabajo de la evaluación ambiental. El equipo de trabajo presentó el enfoque y metodología de la evaluación, así como el proceso de selección de los componentes ambientales relevantes y avances sobre el análisis de estos. En la reunión se contó con la presencia de miembros del Consejo incluyendo representantes vecinales, cúpulas empresariales, sector turístico y la Universidad de Guadalajara. Se brindaron observaciones generales sobre los avances presentados, así como comentarios específicos para los componentes ambientales, los cuales se integraron en el análisis de impactos y diseño de estrategias de mitigación.
4. 5 de noviembre de 2020: Reunión virtual con el Consejo Municipal de Ecología de Puerto Vallarta en donde se presentaron avances de la evaluación. El Consejo se encuentra conformado principalmente por ciudadanos, la Universidad de Guadalajara, personal de gobierno y organizaciones civiles. El Consejo comunicó puntos de vista con respecto a la información presentada. De manera general se observó positivamente la elaboración de la evaluación.

## **2.5. Vinculación con los Objetivos de Desarrollo Sustentable**

Esta evaluación ambiental se vincula con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS) definidos por la Organización de las Naciones Unidas (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015). En la sección de conclusiones se presenta una vinculación de los ODS con las recomendaciones descritas en el presente reporte.



**Objetivo 3: Salud y bienestar.** Este objetivo busca garantizar una vida sana y promover el bienestar en todas las edades ya que esto es esencial para el desarrollo sostenible. Los objetivos específicos más aplicables a esta evaluación ambiental son:

- **3.8:** Lograr la cobertura sanitaria universal, en particular la protección contra los riesgos financieros, el acceso a servicios de salud esenciales de calidad y el acceso a medicamentos y vacunas seguros, eficaces, asequibles y de calidad para todos.
- **3.9:** Para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo.

**Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento.** Este objetivo busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Los objetivos específicos más aplicables a esta evaluación ambiental son:

- **6.1:** De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.
- **6.2:** De aquí a 2030, lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad.
- **6.3:** De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.
- **6.4:** De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.
- **6.5:** De aquí a 2030, implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.
- **6.6:** De aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.
- **6.b:** Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.

**Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles.** Este objetivo busca lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. Los objetivos específicos más aplicables a esta evaluación ambiental son:

- **11.1:** De aquí a 2030, asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales.
- **11.3:** De aquí a 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países.
- **11.4:** Redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural del mundo.
- **11.5:** De aquí a 2030, reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad.
- **11.6:** De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.
- **11.7:** De aquí a 2030, proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y las personas con discapacidad.
- **11.a:** Apoyar los vínculos económicos, sociales y ambientales positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales fortaleciendo la planificación del desarrollo nacional y regional.
- **11.b:** De aquí a 2020, aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles.

**Objetivo 13: Acción por el clima.** Este objetivo busca adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Los objetivos específicos más aplicables a esta evaluación ambiental son:

- **13.1:** Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países.
- **13.2:** Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.
- **13.3:** Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.

**Objetivo 15: Vida de ecosistemas terrestres.** Este objetivo busca gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad. Los objetivos específicos más aplicables a esta evaluación ambiental son:

- **15.1:** Para 2020, velar por la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de agua dulce y los servicios que proporcionan,

en particular los bosques, los humedales, las montañas y las zonas áridas, en consonancia con las obligaciones contraídas en virtud de acuerdos internacionales.

- **15.2:** Para 2020, promover la gestión sostenible de todos los tipos de bosques, poner fin a la deforestación, recuperar los bosques degradados e incrementar la forestación y la reforestación a nivel mundial.
- **15.3:** Para 2030, luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con una degradación neutra del suelo.
- **15.4:** Para 2030, velar por la conservación de los ecosistemas montañosos, incluida su diversidad biológica, a fin de mejorar su capacidad de proporcionar beneficios esenciales para el desarrollo sostenible.
- **15.5:** Adoptar medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales, detener la pérdida de la diversidad biológica y, para 2020, proteger las especies amenazadas y evitar su extinción.
- **15.7:** Adoptar medidas urgentes para poner fin a la caza furtiva y el tráfico de especies protegidas de flora y fauna y abordar la demanda y la oferta ilegales de productos silvestres.
- **15.8:** Para 2020, adoptar medidas para prevenir la introducción de especies exóticas invasoras y reducir de forma significativa sus efectos en los ecosistemas terrestres y acuáticos y controlar o erradicar las especies prioritarias.
- **15.9:** Para 2020, integrar los valores de los ecosistemas y la diversidad biológica en la planificación nacional y local, los procesos de desarrollo, las estrategias de reducción de la pobreza y la contabilidad.
- **15.a:** Movilizar y aumentar de manera significativa los recursos financieros procedentes de todas las fuentes para conservar y utilizar de forma sostenible la diversidad biológica y los ecosistemas.
- **15.b:** Movilizar un volumen apreciable de recursos procedentes de todas las fuentes y a todos los niveles para financiar la gestión forestal sostenible y proporcionar incentivos adecuados a los países en desarrollo para que promuevan dicha gestión, en particular con miras a la conservación y la reforestación.

### **3. Instrumento de planeación urbana**

#### **3.1. Nombre oficial**

Programa Municipal de Desarrollo Urbano 2050 para el Municipio de Puerto Vallarta, Jalisco y sus Planes Parciales.

#### **3.2. Promotor**

El promotor del PMDU y los planes parciales es el H. Ayuntamiento de Puerto Vallarta, Jalisco por conducto de la Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente. La Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente solicitó la realización de una evaluación ambiental para el PMDU y planes parciales previo a su presentación a la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial para su dictaminación técnica como parte del proceso previsto en el artículo 86 del Código Urbano para el Estado de Jalisco.

#### **3.3. Descripción del instrumento**

El PMDU se desarrolla con base en el artículo 94 del Código Urbano para el Estado de Jalisco, el cual establece que un programa municipal de desarrollo urbano es el documento rector que integra el conjunto de políticas, lineamientos, estrategias, reglas técnicas y disposiciones, encaminadas a ordenar y regular el territorio de cada municipio, por medio de la determinación de los usos, destinos y reservas de áreas y predios, para la conservación, mejoramiento y crecimiento de estos. El artículo 96 establece que el programa municipal de desarrollo urbano tiene como objetivos:

- I. Regular y ordenar los asentamientos humanos con la finalidad de mejorar el nivel de vida de la población, mediante la optimización del uso y destino del suelo;
- II. Vincular los ordenamientos ecológicos y territoriales;
- III. Distribuir equitativamente las cargas y beneficios del desarrollo urbano de los centros de población;
- IV. Preservar y acrecentar los recursos naturales, a fin de conservar el equilibrio ecológico;
- V. Facilitar la comunicación y los desplazamientos de la población, promoviendo la integración de un sistema eficiente de comunicación y transporte interurbano;
- VI. Prever la organización y el desarrollo de la infraestructura básica para el desarrollo de los centros de población;
- VII. Constituir reservas territoriales para el desarrollo urbano y la vivienda; y
- VIII. Prevenir, controlar y atender los riesgos y contingencias ambientales y urbanos en los centros de población.

Por otro lado, el Reglamento de Zonificación del H. Ayuntamiento de Puerto Vallarta, estipula los conceptos y categorías generales para la clasificación de los usos de suelo, así como las normas sobre la estructura territorial urbana. En este reglamento también se hace mención sobre la actualización del

programa o plan municipal de desarrollo, en caso de omisiones, errores o falta de congruencia entre sus elementos.

### **3.4. Antecedentes del instrumento**

Los antecedentes del instrumento se describen en el PMDU, conforme a los siguientes momentos históricos del ordenamiento territorial del municipio y sus objetivos:

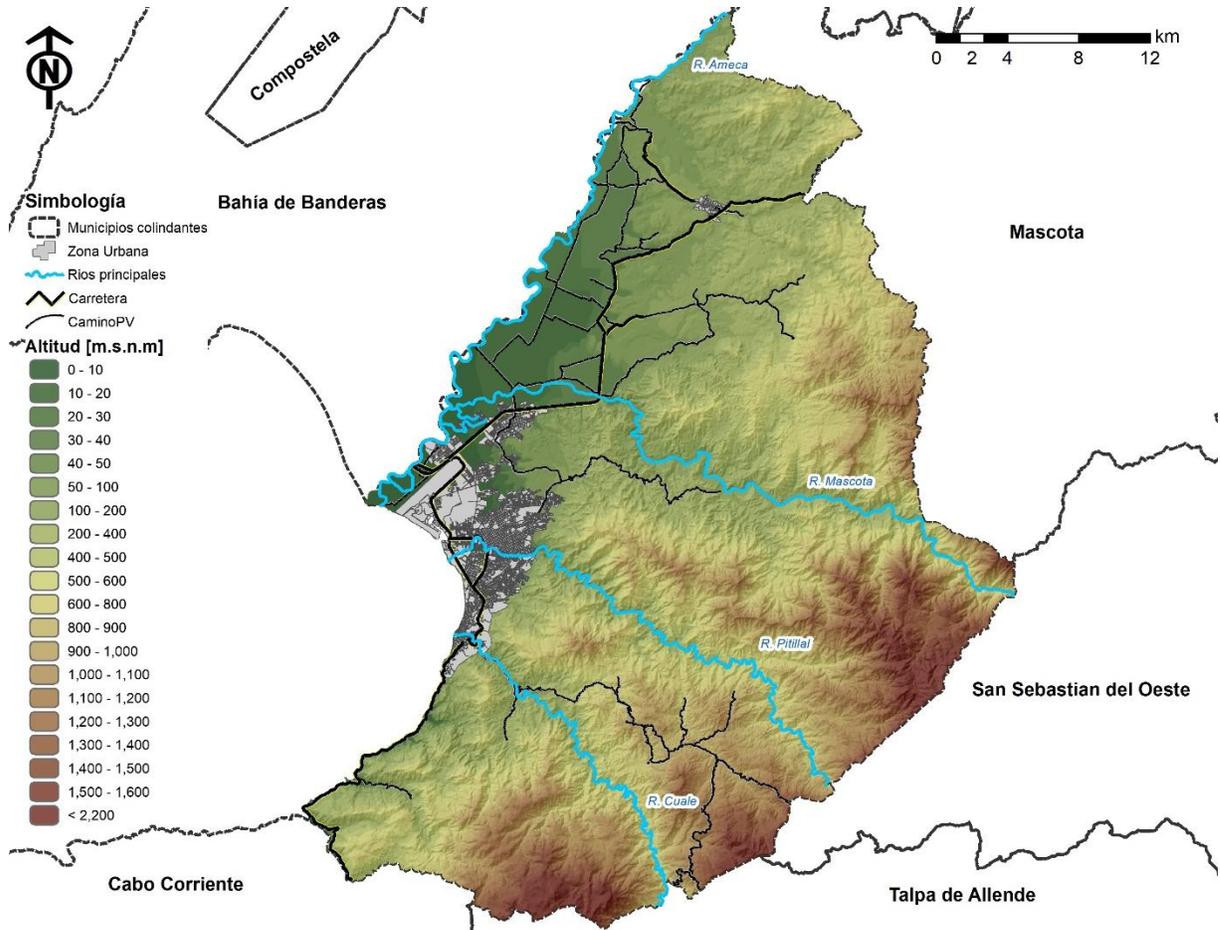
- 1975: Elaboración del Plan General Urbano, el cual plantea la importancia de regular el crecimiento demográfico y territorial para evitar daños ambientales.
- 1981: Elaboración del Plan Parcial de Urbanización y Control de Edificación Ingreso Norte, el cual cuenta con el objetivo de mejorar la infraestructura vial para facilitar la comunicación en el ingreso norte de la ciudad y desarrollar la avenida principal Francisco medina Ascencio y la franja turística.
- 1982: Actualización del Plan Parcial de Urbanización y Control de Edificación Ingreso Norte, el cual pretende mejorar la calidad de vida de la población y preservar el paisaje natural, regular la tenencia de tierra en los asentamientos humanos e incentivar la participación ciudadana en las acciones urbanísticas.
- 1989: Nueva actualización del Plan Parcial de Urbanización y Control de Edificación Ingreso Norte, el cual pretende clasificar al territorio por áreas de acuerdo con las cualidades del suelo y a las actividades aptas a desarrollarse considerando aspectos ambientales, entorno construido y las necesidades de la población a corto, mediano y largo plazo.
- 1997: Elaboración del Plan de Desarrollo Urbano de Centros de Población, el cual establece los criterios para promover la conservación, mejoramiento y crecimiento ordenado del territorio, propone cambios de uso de suelo y delimita el polígono del Centro de Población de Puerto Vallarta.
- 2002, 2006 y 2008: Se realizan propuestas de actualización, atendiendo al artículo 116 de la Ley de Desarrollo Urbano, en 2002 y 2006 por parte del Gobierno de Estado y Municipal, y en 2008 por un organismo externo. Dichas propuestas fueron anuladas debido a inconsistencias en la formulación y proceso de gestión y aprobación.
- 2009-2012: El límite del Centro de Población de Puerto Vallarta se divide en 10 distritos urbanos, siguiendo en parte el esquema propuesto en el Plan del Centro de Población 2006. Se elabora y actualiza el Centro de Población por planes parciales de los distritos urbanos (2, 3, 5, 6 y 9). Se aprueba el Plan Parcial de Desarrollo Arroyo el Quelitán, que se encuentra fuera del límite del Centro de Población.
- 2012-2015: Se elaboran y aprueban por cabildo los distritos urbanos 4, 7 y 10, así como el Plan Parcial de Las Palmas. Las propuestas no entraron en vigor por seguimiento al proceso de inscripción ante el registro público de la propiedad. Se inicia la elaboración del distrito urbano 6. Se propone elaborar el Plan Parcial de Desarrollo El Colorado, pero no hubo seguimiento de este.
- 2015-2018: Se elaboran, aprueban y registran los distritos urbanos DU-1 y DU-6 y el subdistrito SDU-5A.

- 2018-2021: Se inicia el proceso de actualización de todos los planes parciales del Centro de Población y de los que están fuera del mismo (Las Palmas, Arroyo el Quelitán y El Colorado). Se inicia por primera vez la elaboración de un Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Puerto Vallarta.

### **3.5. Contexto geográfico, características, superficies y polígonos que comprende**

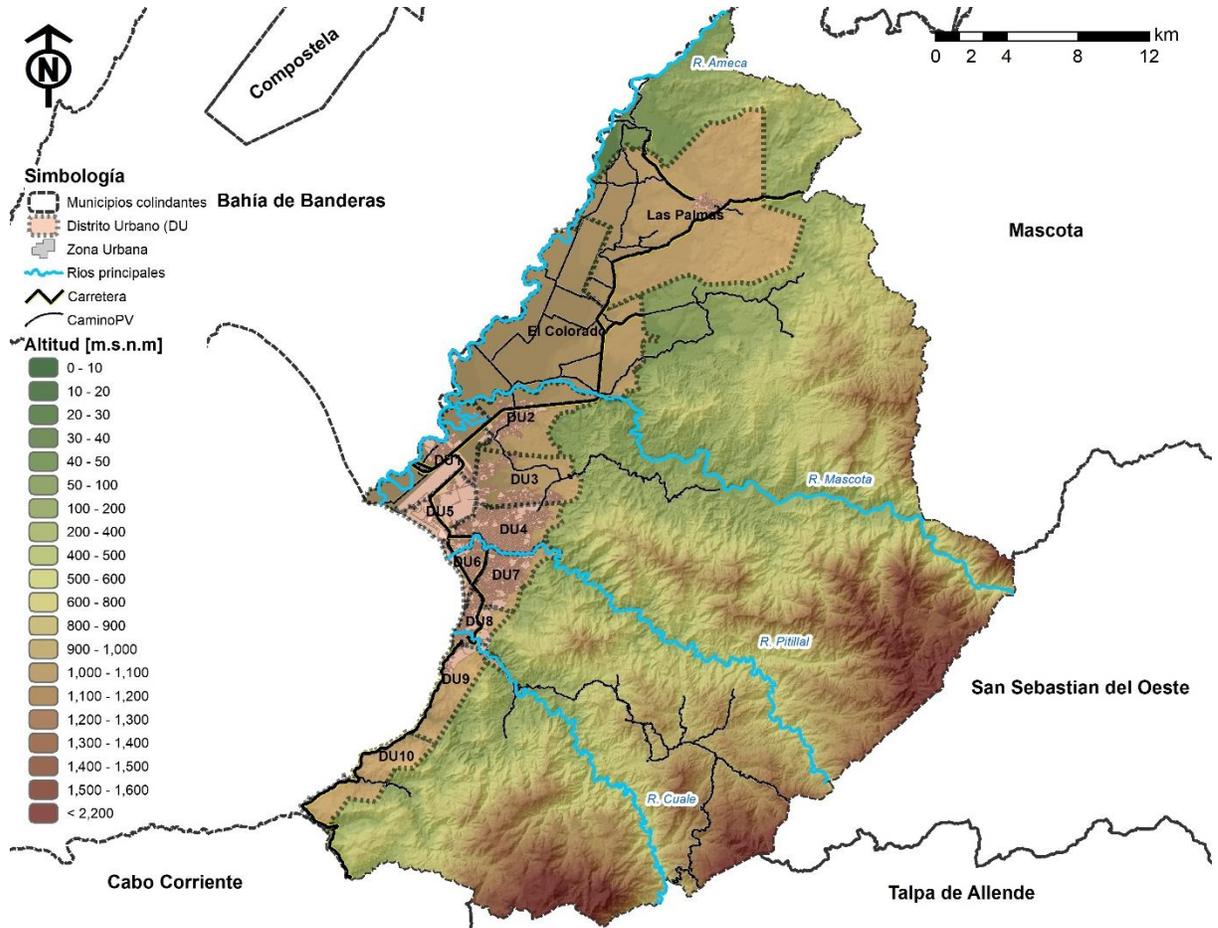
El municipio se localiza en la Región Costa-Sierra Occidental, aproximadamente a 196 km de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Cuenta con una extensión de 110,652.5 hectáreas o 1,106.525 km<sup>2</sup>. La zona cabecera municipal tiene una altitud entre 0 y 87 metros sobre el nivel del mar. Dentro del municipio se encuentran los ríos Ameca y Mascota, mismos que se localizan al noroeste y confluyen al norte. En la parte norte, principalmente junto al río Ameca, se desarrolla la zona agrícola. Al ser parte de la región Costa-Sierra Occidental, al este y sur existe una topografía montañosa donde se realizan algunas actividades ecoturísticas. Estos rasgos delimitan la planicie costera del municipio, en la cual se localizan los asentamientos humanos y ocurren mayor parte de las actividades económicas y sociales, incluyendo la zona hotelera y otras actividades turísticas. Los otros dos ríos importantes son el Pitilla y el Cuale.

El municipio colinda al noroeste con el municipio de Bahía de Banderas, Nayarit, al noreste con San Sebastián del Oeste, Jalisco, al sureste con Mascota y Talpa de Allende, Jalisco, al suroeste Cabo Corrientes, Jalisco y al oeste con el Océano Pacífico (ver Figura 1). El municipio de Puerto Vallarta, Jalisco y el municipio de Bahía de Banderas, Nayarit conforman la zona metropolitana más importante de la región.



**Figura 1. Extensión y ubicación del municipio de Puerto Vallarta, Jalisco. Elaborado con información cartográfica del INEGI e IIEG.**

El PMDU comprende en su diagnóstico la totalidad del municipio de Puerto Vallarta y se centra en la zona urbana. El PMDU permitirá diseñar las estrategias de crecimiento sustentable para los 12 distritos urbanos en los que se divide la zona urbana actual y proyectada del municipio, de los cuales 10 son delimitados por un centro de población que contiene la zona urbana consolidada (ver Figura 2 y Tabla 1).



**Figura 2. Ubicación de los 12 distritos urbanos en el contexto del municipio. Elaborado con información cartográfica del INEGI e IIEG.**

**Tabla 1. Extensión superficial de los 12 distritos urbanos.**

Distrito Urbano	Nombre	Superficie (ha)
1	Las Juntas	1810.29
2	Ixtapa	1684.19
3	Las Mojoneras	1595.06
4	El Pitillal	1305.99
5	Marina Vallarta	845.16
6	Fluvial Vallarta	420.90
7	Aralias	941.54
8	Centro	652.02
9	Conchas Chinas	992.05

<b>Distrito Urbano</b>	<b>Nombre</b>	<b>Superficie (ha)</b>
10	Mismaloya	1312.66
Las Palmas	Las Palmas	8558.407
El Colorado	El Colorado	6170.13

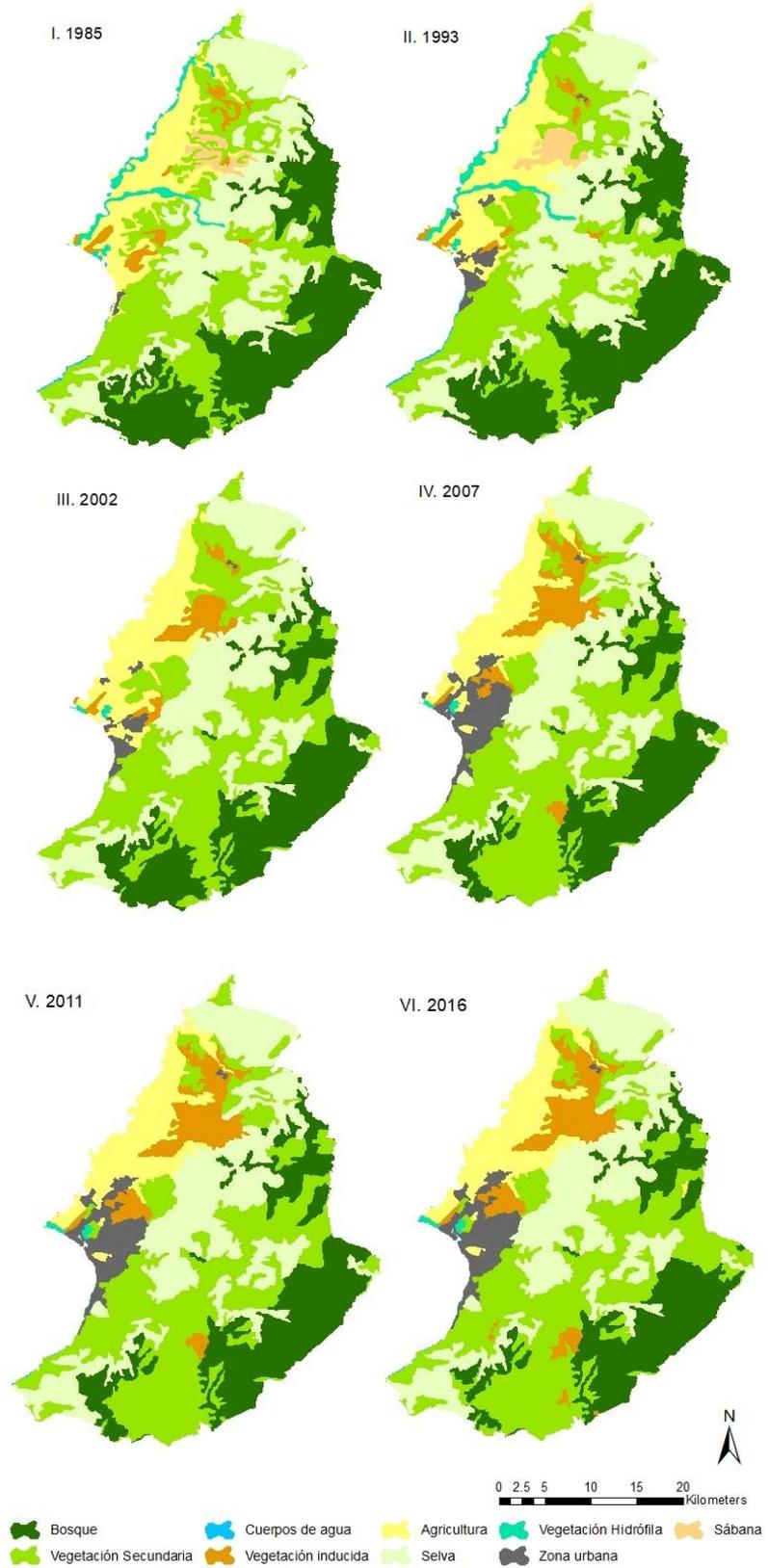
Los planes parciales de desarrollo urbano se diseñaron a partir de las necesidades y oportunidades de desarrollo particulares de cada distrito urbano. Estos planes contienen de forma específica los usos y destinos de los predios, infraestructura, equipamiento, áreas de conservación y protección de áreas naturales, así como los lineamientos y criterios a seguir para ejecutar proyectos de manera responsable, con el fin de garantizar la calidad de vida de los ciudadanos. Las delimitaciones y descripciones de cada distrito urbano se presentan en la sección de Anexos de este reporte.

### 3.6. Uso de suelo y vegetación

En la Figura 3 se muestra la distribución de los usos de suelo y vegetación para el municipio conforme a las series I a VI del INEGI. Los usos de suelo y vegetación se muestran clasificados en agricultura, bosque, cuerpos de agua, sabana, selva, vegetación hidrófila, vegetación inducida, vegetación secundaria y zona urbana. En la Tabla 3 se muestran los porcentajes de superficie de los usos de suelo y vegetación del municipio en los años correspondientes a cada serie, así como proyecciones para los años 2030, 2040 y 2050.

**Tabla 2. Porcentaje de superficie de usos de suelo y vegetación de la serie I a la serie VI del INEGI. Elaborado con información de INEGI.**

	<i>Serie I</i> <b>1985</b>	<i>Serie II</i> <b>1993</b>	<i>Serie III</i> <b>2002</b>	<i>Serie IV</i> <b>2007</b>	<i>Serie V</i> <b>2011</b>	<i>Serie VI</i> <b>2016</b>	<i>Proyección</i>		
							<b>2030</b>	<b>2040</b>	<b>2050</b>
<b>Zona urbana</b>	0.11%	1.17%	1.34%	4.31%	4.19%	3.96%	5.18%	6.15%	6.81%
<b>Bosque</b>	27.75%	25.33%	23.77%	20.06%	20.05%	-	13.95%	7.59%	5.11%
<b>Vegetación inducida</b>	2.10%	1.21%	3.41%	6.04%	6.37%	6.52%	7.55%	8.81%	9.64%
<b>Agricultura</b>	10.67%	9.09%	-	9.66%	9.44%	17.44%	13.28%	14.49%	15.07%
<b>Selva</b>	28.77%	35.08%	26.92%	27.03%	26.87%	34.66%	25.83%	26.17%	25.56%
<b>Vegetación hidrófila</b>	1.93%	1.82%	0.17%	0.17%	0.22%	0.18%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>Vegetación secundaria</b>	28.67%	26.30%	33.96%	32.73%	32.86%	37.24%	34.20%	36.78%	37.82%
<b>Área Total</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%



**Figura 3. Usos de suelo y vegetación para el municipio conforme a las series I a VI del INEGI.**

Los cambios más relevantes de las últimas décadas se han dado en el crecimiento de la superficie urbana, el incremento de la vegetación secundaria y bosque. Estos cambios, a pesar de tratarse de los más relevantes, no superan el 7% de la superficie con que se contaba en 1985. Esto indica posiblemente que los cambios en la superficie se han controlado por las limitantes topográficas y las necesidades económicas y sociales del suelo. Algo que destaca en el análisis del uso de suelo a través de los años es la superficie agrícola, la cual se ha mantenido relativamente homogénea. Esto coincide de manera muy práctica con la superficie de valle que bordea al municipio y que limita con el río Ameca.

## **4. Componentes ambientales relevantes**

Como se mencionó en la sección 2.3.3, los componentes ambientales que se determinaron como relevantes a abordar en la evaluación ambiental fueron los siguientes:

1. Agricultura
2. Agua residual
3. Agua subterránea
4. Biodiversidad
5. Calidad paisajística
6. Clima local
7. Escurrimiento pluvial
8. Residuos

En esta sección se presenta la caracterización, diagnóstico y pronóstico de cada componente ambiental relevante tomando como base sus condiciones históricas y actuales.



# Agricultura

## 4.1. Agricultura

### 4.1.1. Caracterización

La zona agrícola del municipio se localiza al noreste en mediana escala y al sur en baja escala. Los principales productos agrícolas del municipio son: maíz, sorgo, frijol, calabacita, chile verde, jitomate, cacahuete, ajonjolí, sandía y tabaco y frutales como aguacate, mango y plátano (Gobierno del Estado de Jalisco, 2003). La extensión de terreno agrícola en 2003 fue de 6,394 hectáreas (Gobierno del Estado de Jalisco, 2003). Sin embargo, en 2010, disminuyó a 5,480 hectáreas (Gobierno Municipal de Puerto Vallarta, 2010), lo que equivale a una reducción promedio de 130 hectáreas por año. Lo anterior, debido al crecimiento poblacional y el reemplazo de zonas agrícolas por urbanas, proceso que aún continúa.

La Producción Bruta por tipo de Actividad (PBA) Primaria del municipio es de 11.89 millones de pesos, lo que representa el 0.07% del total. En contraste el PBA Terciaria es de 16,524.38 millones de pesos, lo que representa el 92.77% del PBA del municipio de acuerdo con la sección "Economía" del PMDU y los datos de los Censos Económicos del 2014 del INEGI. Por otro lado, se tiene que las actividades primarias requieren el 67% del volumen de agua superficial para uso consuntivo y el 17% del agua subterránea, según datos de la sección "Infraestructura" del PMDU (REDPA, 2017).

En el PMDU se reconocen las siguientes problemáticas del sector rural relativas a su aportación económica:

- Pérdida de suelo apto para agricultura
- Falta de cadenas de comercialización rural-turística para la diversificación de oportunidades de ingresos y fortalecimiento de diversos segmentos empresariales
- Escasa y obsoleta infraestructura rural
- Organización deficiente de productores rurales

El proceso de urbanización se presenta hacia las zonas agrícolas ubicadas al norte y noroeste del municipio, en gran parte debido a la baja pendiente de las zonas agrícolas y a la topografía que rodea la zona urbana. El PMDU establece como eje rector de la sustentabilidad a las zonas agrícolas y menciona la necesidad de conservarlas.

El municipio cuenta con 1'106,491,236 de hectáreas de terrenos ejidales, divididas entre 26 ejidos. Esta superficie originalmente dedicada a las actividades productivas se ha fragmentado, diversificando sus usos, como el comercial y habitacional. En la Figura 4 se observa la división de ejidos al interior del municipio.



**Figura 4. Área ejidal en los municipios de Puerto Vallarta y Bahía de Banderas. Fuente: PMDU.**

Con respecto a este componente, en el PMDU se plantean las siguientes acciones: desarrollar el Programa de Ordenamiento Territorial e implementar la estrategia nacional agraria y política nacional. Las líneas de acción planteadas son: duplicar la productividad agrícola y los ingresos de los productores de alimentos en pequeña escala; asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes; reducir el uso de agroquímicos; promover la instalación de sistemas silvopastoriles con enfoque de cambio climático; mantenimiento y mejora del sistema de riego y abrevaderos, así como desazolves de cauces colindantes a las zonas de cosecha. De la identificación de problemáticas en el sector agrícola, se definen las potencialidades:

- Sector rural como opción turística
- Acercar mercados al sector rural local
- Preservación de lo rural como parte de la identidad del municipio

Para diversificar la economía local se proponen estrategias como: promover los diferentes sectores estratégicos y complementarios al turismo, impulsar la actividad agrícola mediante programas que ayuden a los productores a financiar y promocionar sus productos y potenciar y proteger el sistema agropecuario como motor económico del municipio identificando el suelo con valor productivo.

En el PMDU se menciona también que con la oficialización de la Zona Metropolitana de Puerto Vallarta se hace importante la coordinación de esfuerzos para la gestión del territorio. Bahía de Banderas tiene una vocación ligada a la agricultura y ganadería, lo que representa una susceptibilidad a cambios de uso durante el proceso de conurbación, cuando se presentan otras opciones de ingresos a la población rural. Asimismo, en el PMDU se menciona que “la debilitación del espacio económico especializado en actividades primarias ha convertido a los sectores rurales en áreas frágiles y de difícil delimitación, siendo sometidos tarde o temprano al poder transformador del crecimiento urbano”.

Además, en el PMDU se establece la intención de impulsar a Las Palmas y El Jorullo para desarrollarlos como subcentros rurales mediante la construcción de equipamiento y servicios para los habitantes locales y de las comunidades cercanas. Ambos se reconocen como lugares importantes para el desarrollo de actividades turísticas y recreativas.

En el Plan Municipal de Cambio Climático (PMCC) se estima que el sector AFOLU (Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de Suelo, por sus siglas en inglés) es responsable del 3.47% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el municipio, lo que equivale a 58,634.12 tCO<sub>2e</sub>. De estas, el 65% es producido por actividades de ganadería. En el PMCC se proponen ocho medidas encaminadas a reducir las emisiones GEI del sector AFOLU, vinculando actores del sector rural, turístico, pesquero y ladrillero. Aquellas enfocadas a las actividades agrícolas y ganaderas en específico son:

- Promover la instalación de sistemas silvopastoriles con enfoque de cambio climático
- Reducir emisiones por el uso de fertilizantes en actividades agrícolas
- Promover proyectos productivos agropecuarios, acuícolas y forestales

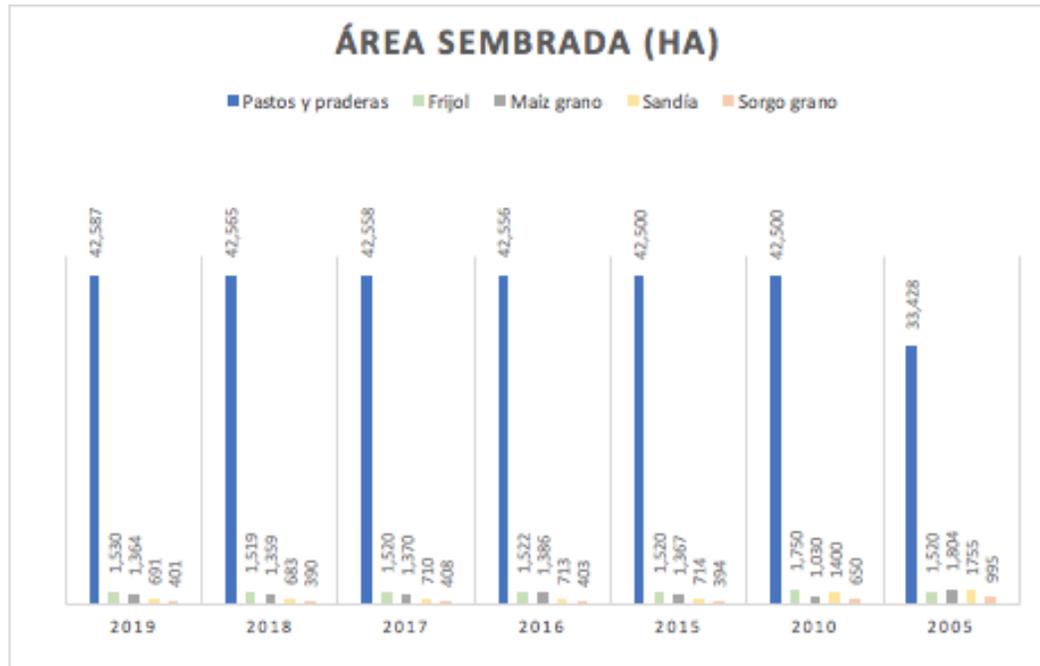
#### **4.1.2. Diagnóstico**

##### **Servicio ecosistémico de provisión de alimentos, fibras y combustibles**

La agricultura ayuda a cubrir necesidades de comida, fibras y combustibles. Esta función es considerada como un servicio ecosistémico de provisión. Para evaluar los servicios de provisión de fibras y alimentos del municipio se utilizaron datos de los cortes agrícolas anuales de 2003 al 2019 del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020). En la Tabla 3 y Figura 5 se presentan datos de superficie sembrada, producción y el valor de la producción de los cinco cultivos que más se produjeron en el municipio durante los años 2005, 2010, 2015-2019.

**Tabla 3. Superficie sembrada, producción y valor de la producción de los cinco cultivos más producidos en el municipio. Fuente: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020).**

Año	Pastos y praderas			Frijol			Maíz grano			Sandía			Sorgo grano		
	Superficie sembrada (ha)	Producción (ton)	Valor de producción (\$)	Superficie sembrada (ha)	Producción (ton)	Valor de producción (\$)	Superficie sembrada (ha)	Producción (ton)	Valor de producción (\$)	Superficie sembrada (ha)	Producción (ton)	Valor de producción (\$)	Superficie sembrada (ha)	Producción (ton)	Valor de producción (\$)
2019	42,587	1,077,877	451,932,256	1,530	1,795	27,767,166	1,364	8,904	36,428,366	691	39,694	149,874,906	401	1,134	1,135
2018	42,565	1,102,434	461,434,566	1,519	1,805	25,556,109	1,359	8,211	39,941,459	683	21,458	21,459	390	1,672	4,100,423
2017	42,558	1,220,989	544,670,992	1,520	1,779	25,811,015	1,370	8,629	32,879,032	710	39,434	129,087,632	408	1,830	4,349,104
2016	42,556	1,126,457	485,627,015	1,522	1,808	25,975,927	1,386	8,185	28,044,064	713	36,556	97,743,747	403	1,814	4,043,396
2015	42,500	1,062,500	503,540,000	1,520	1,671	23,559,287	1,367	8,453	23,087,900	714	25,191	76,033,729	394	1,780	3,734,628
2010	42,500	1,062,500	371,875,000	1,750	3,289	24,888,600	1,030	6,932	19,917,152	1,400	40,395	170,370,000	650	3,300	7,830,000
2005	33,428	1,002,840	280,795,200	1,520	2,279	13,688,000	1,804	11,026	17,641,600	1,755	55,885	91,332,940	995	3,980	4,776,000



**Figura 5. Área sembrada por año de los cinco cultivos de mayor producción del municipio. Elaborado con datos de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020).**

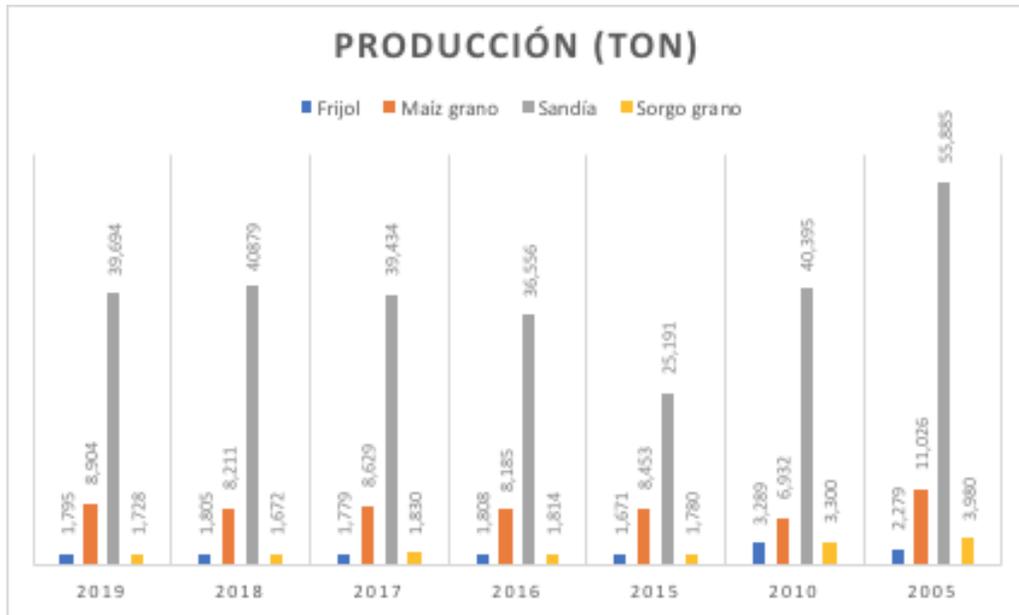


Figura 6. Producción del cultivo por año de los cuatro cultivos de mayor producción del municipio (se excluyeron los datos de praderas y pastos). Elaborado con datos de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020).

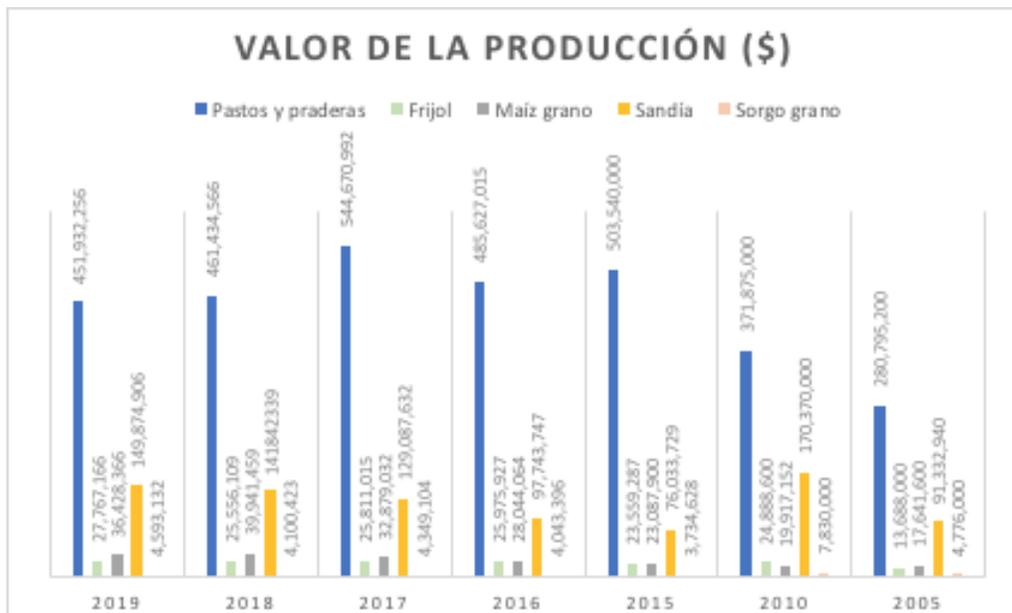


Figura 7. Valor de la producción por cultivo por año de los cinco cultivos de mayor producción del municipio. Elaborado con datos de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020).

Por el valor de producción estos cinco cultivos representan el 96% de los ingresos por el sector agrícola del municipio. La sola producción de praderas y pastos representa el 65% del valor de la producción agrícola. El segundo cultivo con mayor valor de producción es la sandía (\$149,874,906), pero es el cuarto

lugar en área sembrada con 691 hectáreas en 2019. El valor de producción de la sandía para este mismo año representa el 21% del valor de la producción total (Ver tabla 4).

**Tabla 4. Valor de la producción de los cinco cultivos de mayor producción y el valor total de la producción del municipio. Fuente: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020).**

Año	Pastos y praderas (\$)	Frijol (\$)	Maíz grano (\$)	Sandía (\$)	Sorgo grano (\$)	Total, de valor de producción de los 5 cultivos (\$)	Total, valor de la producción anual (\$)
2019	451,932,256	27,767,166	36,428,366	149,874,906	4,593,132	670,595,824	698,848,087
2018	461,434,566	25,556,109	39,941,459	141,842,339	4,100,423	672,874,896	706,597,346
2017	544,670,992	25,811,015	32,879,032	129,087,632	4,349,104	736,797,775	762,988,685
2016	485,627,015	25,975,927	28,044,064	97,743,747	4,043,396	641,434,149	664,957,069
2015	503,540,000	23,559,287	23,087,900	76,033,729	3,734,628	629,955,544	653,372,459
2010	371,875,000	24,888,600	19,917,152	170,370,000	7,830,000	594,880,752	606,257,913
2005	280,795,200	13,688,000	17,641,600	91,332,940	4,776,000	408,233,740	451,356,950

Con base en lo anterior, se tiene que en términos monetarios el servicio ecosistémico de provisión por agricultura se ha incrementado 55% en 14 años (2005-2019).

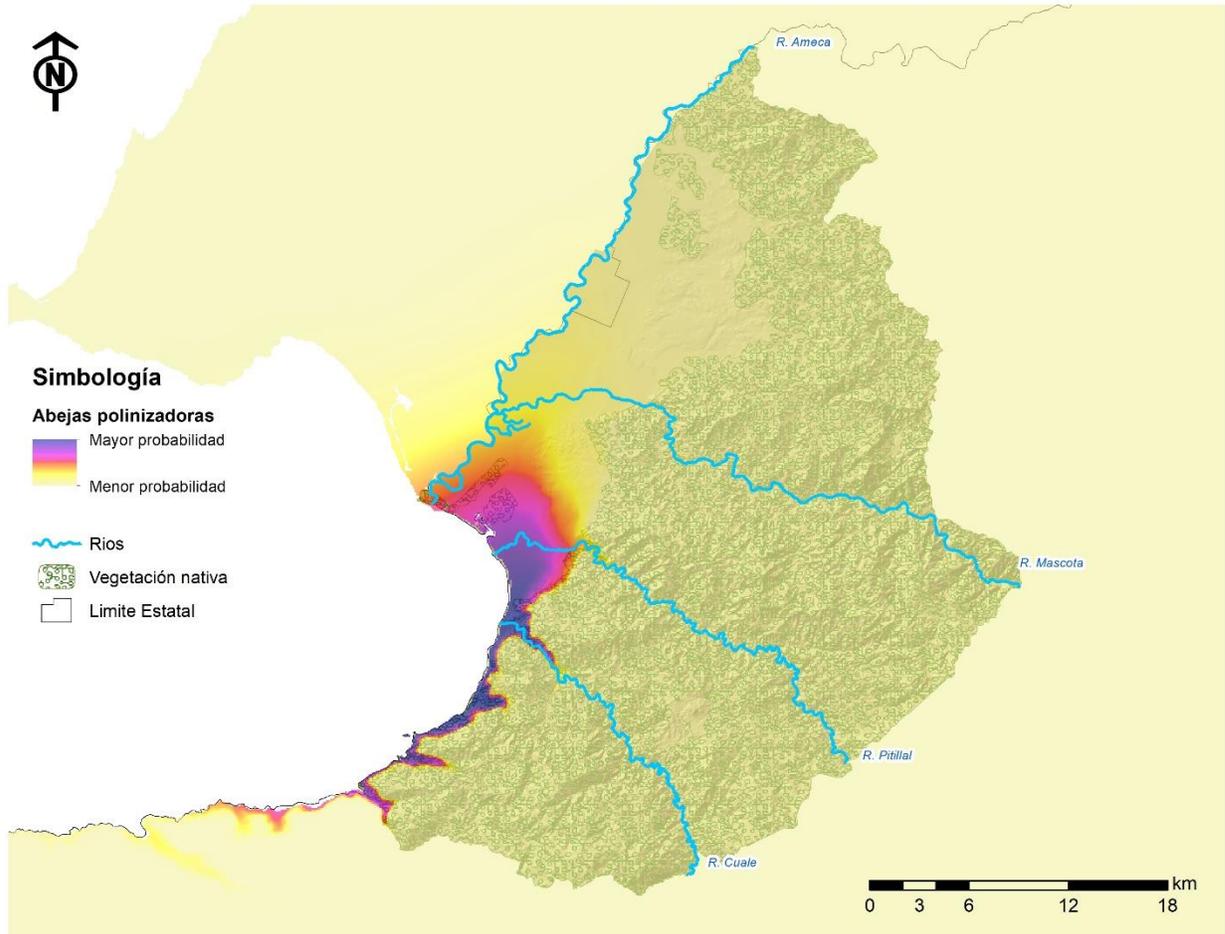
#### Servicio ecosistémico de polinización

Aproximadamente el 65% de las especies de plantas requieren de polinización por animales (Klein et al., 2006). Asimismo, de acuerdo con un análisis de 200 países realizado por Klein et al. (2006), el 75% de las especies de cultivos de significancia para la producción de alimentos requieren de polinización animal.

**Tabla 5. Lista de especies de polinizadores conocidos para cultivos globales para consumo humano. Adaptado de Klein, et al. (2006).**

Grupo polinizador	Especies
Abeja melífera	<i>Apis cerana</i> , <i>A. dorsata</i> , <i>A. florea</i> y <i>A. mellifera</i> .
Meliponinos (abejas sin agujón)	<i>Melipona favosa</i> , <i>M. subnitida</i> , <i>M. quadrifasciata</i> , <i>Nanotrigona perilampoides</i> , <i>N. testaceicornis</i> , <i>Trigona cupira</i> , <i>T. iridipennis</i> , <i>T. (Lepidotrigona) terminata</i> , <i>T. (Tetragonoula) minangkabau</i> , <i>T. toracica</i> y <i>Scaptotrigona depilis</i>
Abejorros	<i>Bombus affinis</i> , <i>B. californicus</i> F., <i>B. hortorum</i> , <i>B. hypnorum</i> , <i>B. impatiens</i> , <i>B. lapidarius</i> , <i>B. (Thoracobombus) pascuorum</i> , <i>B. sonorus</i> , <i>B. terrestris</i> y <i>B. vosnesenskii</i>
Abejas solitarias	<i>Amegilla chlorocyanea</i> , <i>A. (Zonamegilla) holmesi</i> , <i>Andrena ilderda</i> , <i>Anthophora pilipes</i> , <i>Centris tarsata</i> , <i>Creightonella frontalis</i> , <i>Habropoda laboriosa</i> , <i>Halictus tripartitus</i> , <i>Megachile (Delomegachile) addenda</i> , <i>M. rotundata</i> , <i>Osmia aglaia</i> , <i>O. cornifrons</i> , <i>O. cornuta</i> , <i>O. lignaria lignaria</i> , <i>O. lignaria propinqua</i> , <i>O. ribifloris</i> , <i>Peponapis limitaris</i> , <i>P. pruinosa</i> , <i>Pithitis smaragdula</i> , <i>Xylocopa (Zonohirsuta) dejeanii</i> , <i>Xylocopa frontalis</i> y <i>Xylocopa suspecta</i>
Avispas	<i>Blastophaga psenes</i>
Sírfidos y otras moscas	<i>Eristalis cerealis</i> , <i>E. tenax</i> y <i>Trichometallea pollinosa</i>
Escarabajos	<i>Carpophilus hemipterus</i> y <i>Carpophilus mutilatus</i>
Tisanópteros	<i>Thrips hawaiiensis</i> y <i>Haplothrips (Haplothrips) tenuipennis</i>
Aves	<i>Turdus merula</i> y <i>Acridotheres tristis</i>

En la Tabla 5 se muestran las especies polinizadoras según Klein, et al. (2006) para los cultivos producidos en el municipio en 2009. En las Figuras 8, 9, 10 y 11, se muestran los modelos de distribución potencial para abejas polinizadoras, abejorros carpinteros, *Apis melífera* e insectos realizados como parte de la evaluación ambiental con el fin de ilustrar espacialmente su distribución al interior del municipio y en la zona agrícola, destacando todo el valle como el de mayor concentración.



**Figura 8. Mapa de distribución potencial de abejas polinizadoras.**

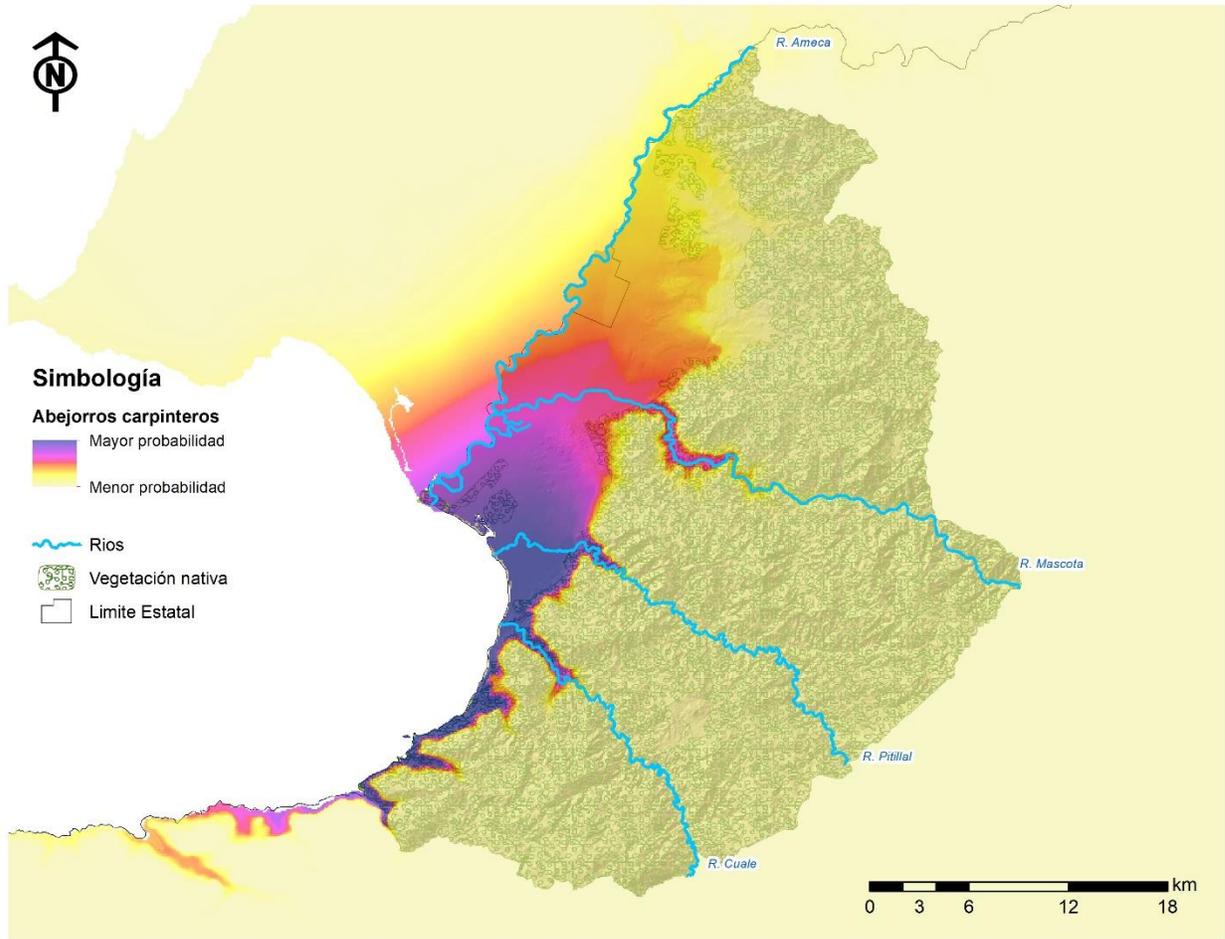


Figura 9. Mapa de distribución potencial de abejorros carpinteros.

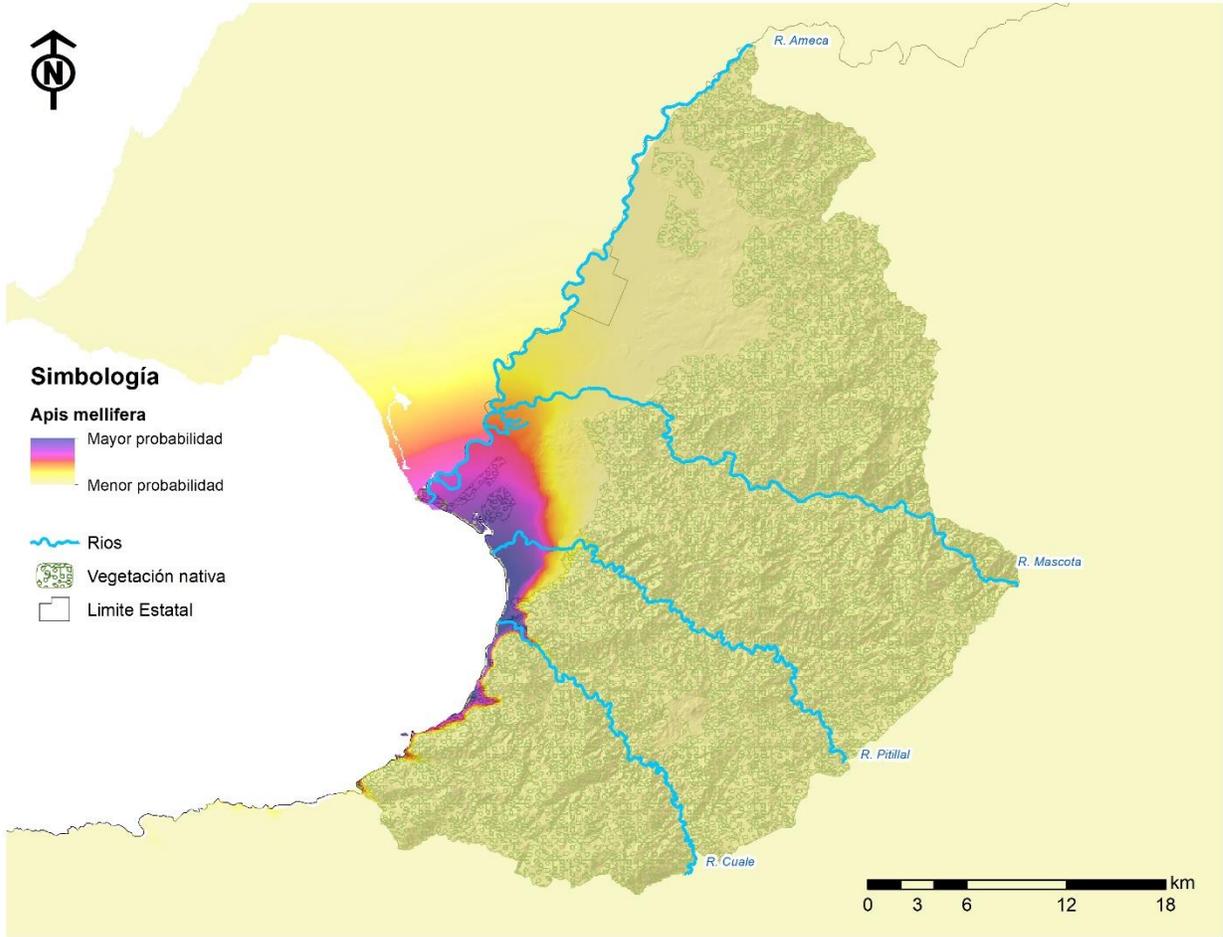
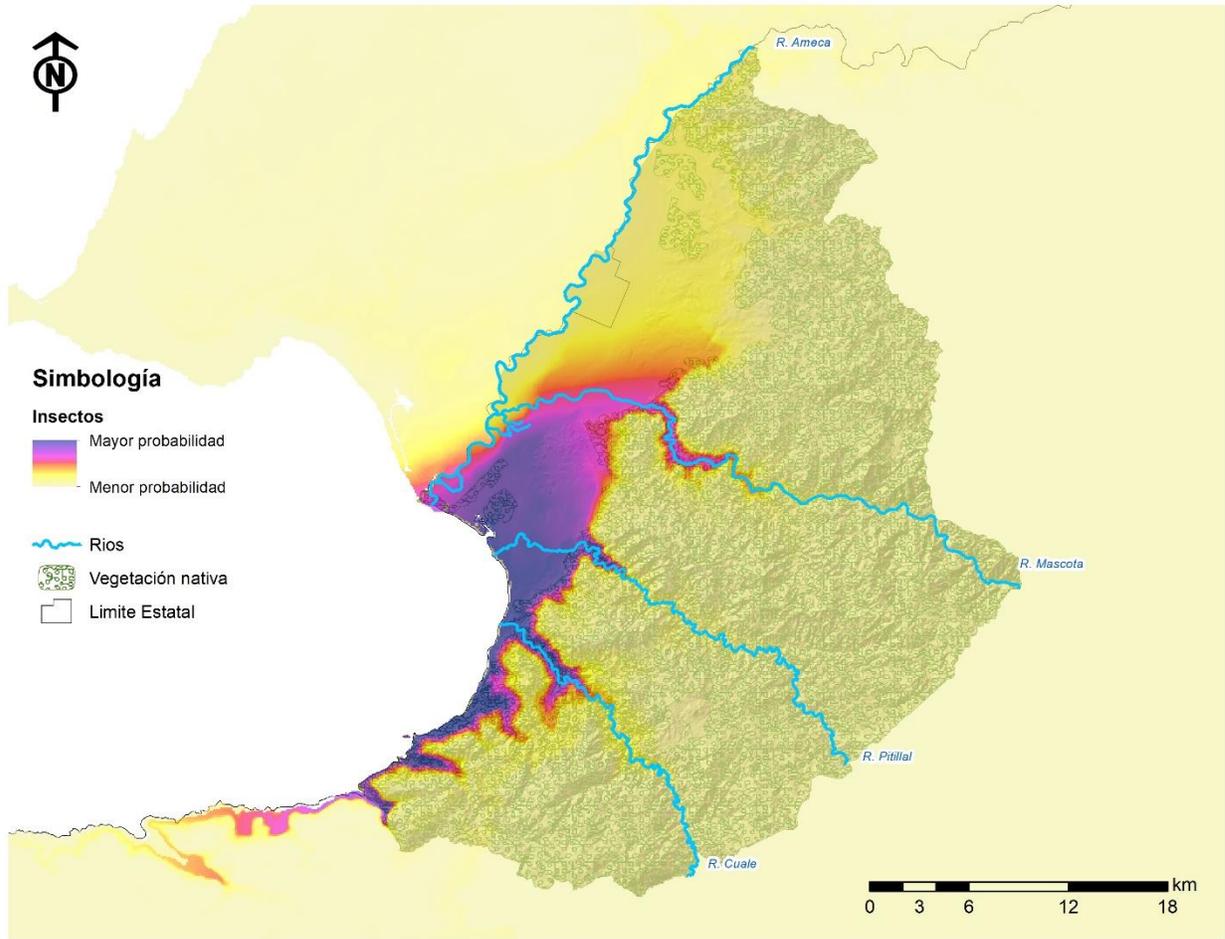


Figura 10. Mapa de distribución potencial de *Apis mellifera*.



**Figura 11. Mapa de distribución potencial de insectos.**

De acuerdo con Klein, et al. (2006), los cultivos para consumo humano que requieren del servicio ecosistémico de polinización animal se clasifican en las siguientes categorías:

- Esencial: Grupo de variedades para los cuales los polinizadores son esenciales y pueden reducir su producción hasta un 90% sin polinizadores animales.
- Alta: La falta de polinizadores puede reducir la producción entre 40 y 89%.
- Modesta: Los polinizadores son claramente benéficos para estas variedades y su ausencia puede reducir la producción entre 10 y 39%.
- Poca: Alguna información sugiere que los polinizadores animales son benéficos y a falta de estos la reducción de la producción está entre 0 y 9%.
- Sin incremento: No se incrementa la producción con la polinización mediante animales.
- Desconocida: Se requieren más estudios empíricos.

**Tabla 6. Cultivos producidos en el municipio en 2019 (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020) y el requerimiento de polinización animal y especies de polinizadores según Klein, et al. (2006).**

Nombre del cultivo	Requerimiento de polinización animal	Especies de polinizadores
Pastos y praderas	N/A	N/A
Frijol	Poca	Abejas melíferas ( <i>Apis dorsata</i> , <i>Apis florea</i> ), abejorros, tisanópteros
Maíz grano	Sin incremento	N/A
Sandía	Esencial	Abejas melíferas ( <i>Apis cerana</i> ), abejorros ( <i>Bombus californicus</i> , <i>B. impatiens</i> , <i>B. vosnesenskii</i> ), abejas solitarias ( <i>Halictus tripartitus</i> , <i>Peponapis pruinosa</i> )
Sorgo grano	Sin incremento	N/A
Sorgo forrajero en verde	Sin incremento	N/A
Arroz palay	Sin incremento	N/A
Elote	Sin incremento	N/A
Limón	Poca	Abejas melíferas ( <i>Apis cerana</i> , <i>A. mellifera</i> ), abejorros ( <i>Bombus</i> sp.)
Mango	Alta	Abejas melíferas ( <i>Apis</i> sp.), abejas sin aguijón ( <i>Trigona</i> sp.), moscas, hormigas, avispa
Aguacate	Alta	Abejas melíferas, abejas sin aguijón, abejas solitarias
Papaya	Poca	Abejas melíferas, tisanópteros, polillas, colibríes, mariposas
Nopal	Modesta	Abejorros
Coco fruta	Modesta	Abejas melíferas, abejas sin aguijón
Chile verde	Poca	Abejas melíferas, abejas sin aguijón ( <i>Melipona favosa</i> , <i>M. Subnitida</i> ), abejorros ( <i>Bombus impatiens</i> , <i>B. Terrestris</i> ) abejas solitarias ( <i>Osmia cornifrons</i> , <i>Megachile rotundata</i> ) sírfidos ( <i>Eristalis tenax</i> )
Tomate verde	Poca*	Abejas melíferas, abejas sin aguijón ( <i>Melipona favosa</i> , <i>M. Subnitida</i> ), abejorros ( <i>Bombus impatiens</i> , <i>B. Terrestris</i> ) abejas solitarias ( <i>Osmia cornifrons</i> , <i>Megachile rotundata</i> ) sírfidos ( <i>Eristalis tenax</i> )
Jitomate	Poca	Abejas melíferas ( <i>Apis mellifera</i> ), abejas sin aguijón ( <i>Melipona quadrifasciata</i> , <i>Nannotrigona perliampoides</i> ), abejorros ( <i>Bombus hypnorum</i> , <i>B. (Thoraco- bombus) pascuorum</i> , <i>B. sonorus</i> , <i>B. terrestris</i> , <i>B. vosnesenskii</i> ), abejas solitarias ( <i>Amegilla chlorocyanea</i> , <i>A. (Zonamegilla) holmesi</i> , <i>Xylocopa</i> ssp.)
Plátano	Alta	Califóridos (moscas)
Guanábana	Esencial*	Escarabajos ( <i>Carpophilus hemipterus</i> , <i>Carpophilus mutilatus</i> )
Pepino	Alta	Abejas melíferas ( <i>Apis mellifera</i> ), abejorros ( <i>Bombus impatiens</i> ), abejas solitarias ( <i>Melissodes</i> sp.)
Tamarindo	Poca	Abejas melíferas ( <i>Apis dorsata</i> )
*Klein, et al. (2006) no menciona una categoría para esta especie; se escogió la categoría de la variedad más parecida.		

Para calcular la importancia del servicio ecosistémico de polinización en el municipio se tomaron las categorías de polinización y se utilizaron porcentajes de pérdida de producción por falta de polinizadores animales, según las categorías de cultivo mencionadas anteriormente. Para la categoría Esencial se eligió un valor de 90% de pérdida de producción; para Alta, 65%; para Modesta, 25%; para Poca, 5%; y Sin

Incremento, 0%. Esto permitió calcular el valor de la producción agrícola del municipio en un escenario donde no hubiera polinizadores animales. Los resultados se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7. Impacto de la falta de polinizadores animales en el valor de la producción de cultivos del municipio. Elaborado con datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020).**

Cultivo	Requerimiento de polinización animal	Valor de la producción en 2019 (\$)	Valor de la producción sin polinizadores animales (\$)
Frijol	Poca	27,767,166	26,378,807
Maíz grano	Sin incremento	39,941,459	39,941,459
Sandía	Esencial	141,842,339	14,184,234
Sorgo grano	Sin incremento	4,593,132	4,593,132
Sorgo forrajero en verde	Sin incremento	3,673,443	3,673,443
Arroz palay	Sin incremento	2,457,246	2,457,246
Elote	Sin incremento	7,712,705	7,712,705
Limón	Poca	2,328,522	2,212,096
Mango	Alta	1,982,203	693,771
Aguacate	Alta	2,310,457	808,660
Papaya	Poca	5,821,230	5,530,168
Nopal	Modesta	655,512	491,634
Coco fruta	Modesta	595,703	446,777
Chile verde	Poca	2,435,376	2,313,607
Tomate verde	Poca*	224,274	213,060
Jitomate	Poca	1,371,430	1,302,858
Plátano	Alta	834,261	291,991
Guanábana	Esencial*	80,199	8,020
Pepino	Alta	212,992	74,547
Tamarindo	Poca	76,184	72,375
<b>Total</b>		<b>246,915,831</b>	<b>113,400,591</b>

El valor de la producción en un escenario sin polinizadores animales sería de \$113,400,591.00 pesos, lo que representa apenas el 46% del valor de la producción real de los cultivos para consumo humano.

### Suelos agrícolas y servicio ecosistémico de captura de carbono

Los suelos proveen diversos servicios ecosistémicos para la práctica de la agricultura como la provisión de fibras, alimento y combustibles, seguridad alimentaria, captura e infiltración de agua, entre otros. Los suelos también contienen la mayor fuente de carbono orgánico de los ecosistemas terrestres con una reserva de 2,500 gigatoneladas (Gt) de las cuales 1,550 Gt son de Carbono Orgánico en Suelo (COS) y 950, carbono inorgánico en suelo (CIS); la reserva del suelo es 3.3 veces mayor que la reserva atmosférica (760 Gt) y 4.5 veces mayor que la reserva biótica (560 Gt) (Lal, 2004). El 6.21% de las emisiones de gases de efecto invernadero en México se deben al manejo de suelos agrícolas debido a prácticas de labranza y uso de fertilizantes (Cotler, Martínez y Etchevers, 2016).

La calidad del suelo puede entenderse como la capacidad que tiene este de servir un propósito específico en una escala de tiempo determinada. Es el resultado de sus propiedades dinámicas, siempre cambiantes, como la biodiversidad microbiana que alberga, su contenido de humedad y materia orgánica, en un

tiempo particular. La materia orgánica es importante para el mantenimiento de una calidad del suelo óptima para la producción agrícola. La tasa a la cual la materia orgánica pasa a formar parte del COS es también importante en los ciclos de producción. Físicamente, por ejemplo, el carbono en el suelo ayuda a la formación de agregados lo que disminuye la erosión, mejora retención de humedad y la tasa de infiltración, promueve el incremento de biomasa microbiana y el reciclaje de nutrientes (Cotler et al; 2016). Al convertir suelos naturales a uso agrícola estos pierden hasta el 75% de su reserva de COS en regiones del trópico, el cual es liberado a la atmósfera. Los impactos asociados a la pérdida de COS, como la disminución de su productividad y cambios en la calidad del agua, dependen de condiciones de temperatura y humedad por lo que pueden exacerbarse por las proyecciones de cambio climático (Lal, 2004).

La captura de carbono en suelos es un tema que cubre tres problemáticas globales: cambio climático, desertificación y biodiversidad (Lal, 2004). La captura de carbono significa transferir el CO<sub>2</sub> presente en la atmósfera hacia las reservas de largo plazo y almacenarlo de forma que no sea reemitido a la atmósfera de manera inmediata. La capacidad potencial para captura de carbono en suelos en ecosistemas gestionados se calcula en un rango de 55 a 78 Gt, que corresponden a las pérdidas de carbono desde el suelo en la era posindustrial (Lal, 2004).

De este potencial se estima que solamente se puede alcanzar a capturar entre el 50% y el 66% de esas pérdidas históricas en ecosistemas gestionados. La tasa a la cual el COS aumenta en suelos gestionados alcanza su máxima capacidad en un periodo de 5 a 20 años. Las tasas de captura dependen de las condiciones de la textura del suelo, sus horizontes, y clima; y pueden ir de 0 a 150 kg C/ha en climas secos y calientes y de 100 a 1,000 kg C/ha en regiones húmedas y templadas (Lal, 2004). En los cálculos llevados a cabo para el municipio se escogió una tasa de captura 320 kg C/ha (FAO, 2002).

La incorporación del carbono que capturan los cultivos al COS depende de las prácticas agrícolas con las que se gestionen las tierras. Un año después de que se agregan los residuos vegetales al suelo de una quinta a una tercera parte se convierten en COS (Brady y Weil, 2004 en Servicios y Recursos Agrícolas, 2013). Lo anterior suponiendo que las podas y residuos vegetales se incorporan al suelo. Existen numerosos estudios enfocados en medir la cantidad de carbono de cultivos específicos, por ejemplo, del maíz. Marcos S. et al. (2016) determinaron el equivalente de CO<sub>2</sub> por cada estructura de la planta de maíz de cuatro variedades nativas (cacahuacintle, negro, blanco y amarillo; ver Tabla 8) y en tres ambientes diferentes: planicie, valle y montaña (la captura de CO<sub>2</sub> eq. en el ambiente de montaña fue de 41.6 t CO<sub>2</sub> eq/ha). Este estudio concluye que “las características genéticas y las condiciones ambientales modifican el desarrollo, crecimiento, composición química y capacidad de fijación de carbono”.

**Tabla 8. Equivalente de CO<sub>2</sub> fijado por variedad de maíz. Fuente: Marcos S. et al. (2016).**

Variedad de maíz	CO <sub>2</sub> fijado (t CO <sub>2</sub> eq/ha)
Cacahuacintle	24.7
Negro	24.2
Blanco	26.4
Amarillo	34.3

Suponiendo que el maíz cultivado en el municipio se trata de la variedad “Blanco” y tomando en cuenta las conclusiones en Marcos S, et al. (2016) sobre la variabilidad de la cantidad de CO<sub>2</sub> capturado de acuerdo con características ambientales, se puede estimar que la cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente capturadas por este cultivo en 2019 fue de 36,010 t CO<sub>2</sub> eq.

De la misma manera, existen investigaciones que miden el CO<sub>2</sub> equivalente capturado por otros cultivos como el jitomate, sandía y el limonero. En la Tabla 9 se presenta una estimación de captura de carbono por los cultivos de jitomate, sandía y limonero en el municipio, basada en Carvajal, et al. (s/f). Cabe aclarar que se trata de estimaciones basadas en condiciones en las que se llevaron a cabo los experimentos reportados en Carvajal et al. (s/f), por lo que se trata de aproximaciones generales solamente.

**Tabla 9. Estimación de captura de carbono por algunos cultivos del municipio. Elaborado con datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020) Carvajal, et al. (s/f).**

Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Potencial de captura de carbono (t CO <sub>2</sub> eq/ha)	Estimación de captura de carbono (t CO <sub>2</sub> eq/año)
Jitomate*	5.18	8.7	45
Sandía**	691	1.6	1,106
Limonero***	25	8.3	208
* Se asumió una densidad de 2 plantas por m <sup>2</sup> ** Se asumió una densidad de 0.4 plantas por m <sup>2</sup> *** Se asumió una densidad de 0.028 árboles por m <sup>2</sup>			

Para calcular el potencial de captura de carbono del total del suelo agrícola del municipio se eligió una tasa de captura de 0.32 t C/ha/año (FAO, 2002). Los resultados se presentan en la Tabla 10. Es importante mencionar que el comportamiento de almacenamiento de carbono en suelos agrícolas sigue un comportamiento sigmoide (Lal, 2004), mientras que los resultados presentados suponen un comportamiento lineal.

**Tabla 10. Potencial de captura de carbono para la superficie agrícola del municipio. Elaborado con datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020) y FAO (2002).**

Año	Potencial de captura de carbono acumulado en tierras agrícolas (t C)	Año	Potencial de captura de carbono acumulado en tierras agrícolas (t C)
1	1,497	11	16,468
2	2,994	12	17,965
3	4,491	13	19,462
4	5,988	14	20,959
5	7,485	15	22,456
6	8,983	16	23,953
7	10,480	17	25,450
8	11,977	18	26,948
9	13,474	19	28,445
10	14,971	20	29,942

El comportamiento sigmoide de la captura de carbono en suelos sugiere que el potencial de almacenamiento de carbono es limitado, pero la captura ayuda a retrasar los efectos de las emisiones mientras se encuentran alternativas al uso de combustibles fósiles. Las estrategias ligadas a esta captura de carbono, además de conservar el carbono en el suelo disminuyen las emisiones por las operaciones ligadas a las prácticas de labranza. Por ejemplo, al convertir a un sistema de no labranza, se dejan de emitir entre 30 y 35 kg C/ha por temporada (Lal, 2004). Esto significa que se dejarían de emitir 1,274 toneladas de carbono por temporada relativas a las labores de labranza en el municipio, lo cual equivale a 4,671.33 toneladas de CO<sub>2</sub> o el 22.54% de las emisiones actuales del sector AFOLU que no son de la ganadería.

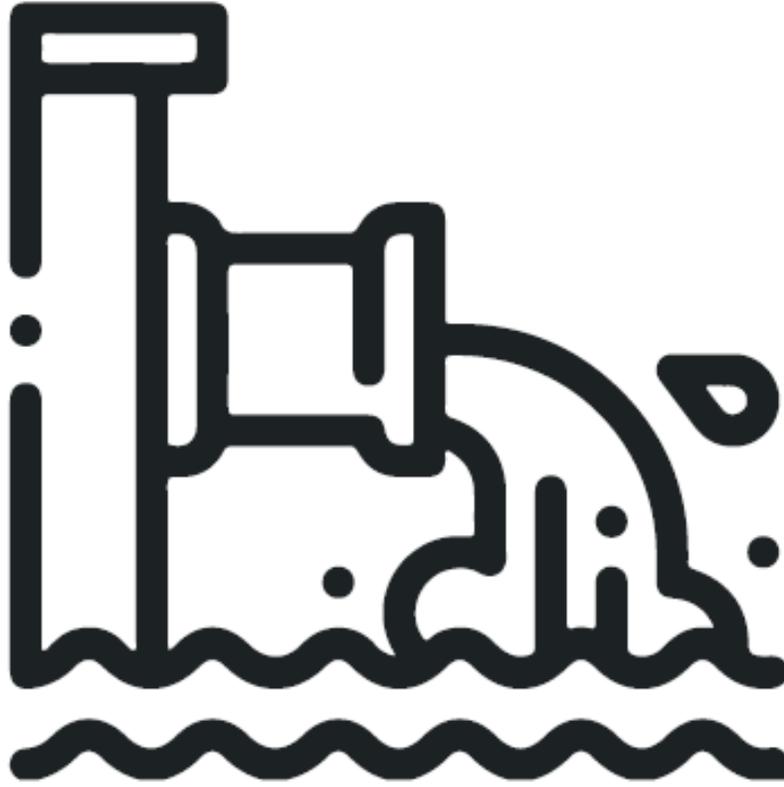
#### **4.1.3. Pronóstico**

De acuerdo con el PMDU, el crecimiento urbano está ocurriendo hacia las zonas agrícolas del municipio. De no aplicarse las medidas establecidas en el PMDU de reconocer las zonas agrícolas de importancia del municipio, el crecimiento urbano alcanzará dichas zonas y cambiará su uso. Esto puede ocasionar presión por parte de las actividades primarias hacia zonas de bosque y selva. Además, el objetivo de duplicar la producción agrícola de manera sostenible, teniendo en cuenta a los productores de pequeña escala, obliga a repensar el modelo de producción actual.

Sin la aplicación de las medidas establecidas en el PMDU, para este componente ambiental se esperan los siguientes efectos:

- Incremento del uso de plaguicidas, herbicidas, fertilizantes y combustibles fósiles: Se prevé que el uso de insumos para llevar a cabo las labores agrícolas según el modelo de agricultura intensiva, así como para resolver problemas agrícolas a corto plazo como plagas, malezas y/o fertilización, provoque indirectamente una dependencia hacia su uso, lo que pone a las y los agricultores en situación de vulnerabilidad con relación al costo de dichos insumos y sus efectos sobre la salud.
- Alteración de zonas naturales y disminución de biodiversidad y servicios ecosistémicos: Se prevé que la conversión de suelo agrícola a urbano ejerza a su vez presión para la conversión de zonas naturales a zonas para actividades primarias. Esto conllevaría una disminución de la biodiversidad y de la provisión de servicios ecosistémicos como los siguientes:
  - Biodiversidad
  - Calidad visual
  - Control de inundaciones
  - Captura de carbono
  - Infiltración de agua
  - Recreación
  - Regulación del clima
- Incremento de las externalidades asociadas a la agricultura intensiva: Se prevé que el modelo de agricultura intensiva ocasione los siguientes efectos:
  - Uso menos eficiente de nutrientes lo que puede ocasionar mayor lixiviación de estos a otros ecosistemas como acuíferos, cambiando la calidad del agua, y cuerpos de agua, pudiendo ocasionar eutrofización.

- Mayor dependencia a insumos externos para el control de plagas y malezas y para la fertilización de los cultivos, lo que puede vulnerar el sustento de los agricultores.
- Erosión de suelo por pérdida de vegetación de cobertura y materia orgánica en suelos.
- Sedimentación de vías pluviales relacionada al punto anterior.
- Emisiones de GEI al necesitar de mayor cantidad de insumos como plaguicidas, herbicidas y fertilizantes minerales.
- Afectaciones por pesticidas a agricultores y a la fauna local.



**Agua Residual**

## 4.2. Agua residual

### 4.2.1. Caracterización

El agua residual es un componente abiótico directamente ligado al agua potable. La NOM-004-SEMARNAT-2002 define a las aguas residuales como aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

El volumen total concesionado de uso consuntivo en el municipio proveniente de fuentes superficiales y subterráneas es de 125,403,166 m<sup>3</sup>/año (metros cúbicos al año) (PMDU, apartado: agua potable). De este, el 61% es destinado para actividades humanas de uso doméstico, servicios e industria, y el 39% es para uso agropecuario (ver Figura 12). De acuerdo con el PMDU, la demanda de agua potable en el municipio es de aproximadamente 69,778,822 m<sup>3</sup>/año (PMDU, apartado: agua potable). El 66% del total del agua utilizada es para uso doméstico-urbano. De acuerdo con el PMDU, la cobertura de agua potable en la Zona Metropolitana de Puerto Vallarta-Bahía de Banderas es del 98% de las viviendas (PMDU, apartado: agua potable). El consumo de agua para la población fija es de 250 L/día (litros por día), mientras que para la población flotante (compuesta mayoritariamente por turistas) se estima de 500 L/día (PMDU, apartado: agua potable).

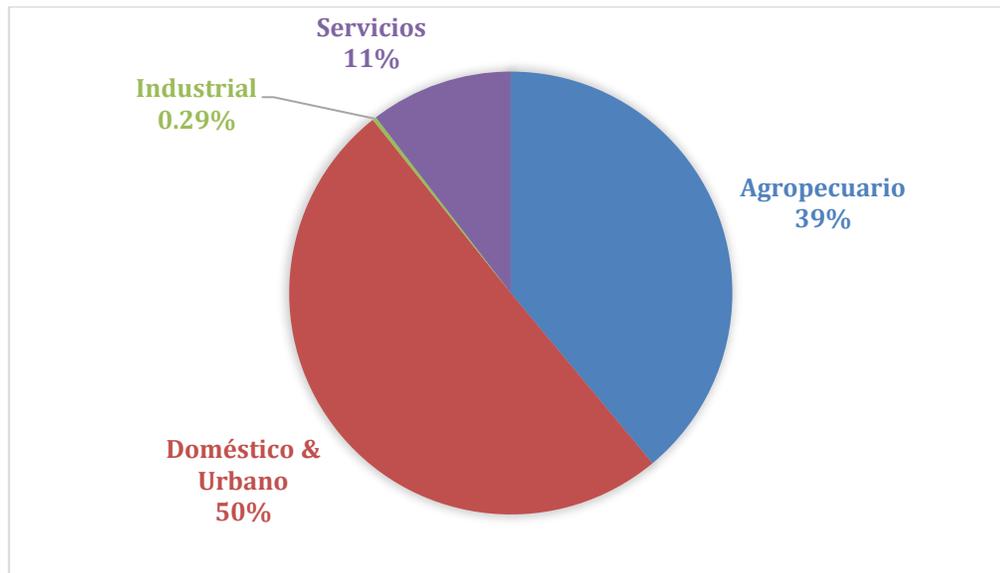


Figura 12. Proporción de concesiones de agua por volumen y sector. Elaborado con datos del PMDU.

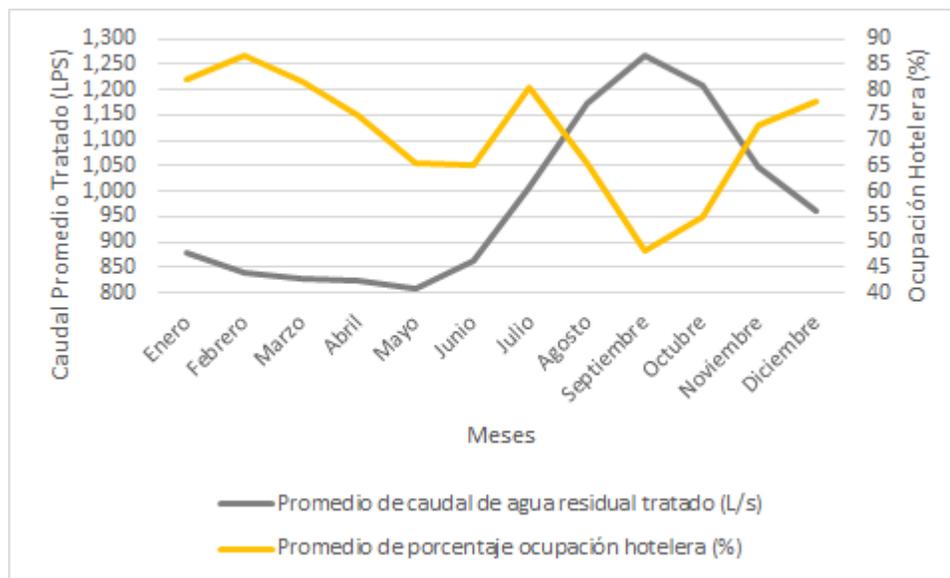
### Gestión de agua residual

Para la gestión del agua residual, el Ayuntamiento cuenta con el Sistema de los Servicios de Agua Potable, Drenaje y Alcantarillado de Puerto Vallarta (SEAPAL). De acuerdo con el PMDU, la finalidad del SEAPAL es la prestación, administración, conservación y mejoramiento de los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento de las aguas residuales de la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco. Asimismo, menciona que la red de drenaje cuenta con una cobertura de servicio de 4,282.03 ha. En el PMDU (apartado: agua potable)

se describe que “la mayor parte de la zona urbanizada está cubierta por los servicios y redes de infraestructura, excepto algunos puntos en la periferia de la zona urbanizada. De acuerdo con el PMDU, la cobertura de drenaje en la Zona Metropolitana de Puerto Vallarta-Bahía de Banderas es del 92% de las viviendas (PMDU, apartado: drenaje). Afortunadamente, de las aguas residuales recibidas en el drenaje municipal, se trata el 100% (SEAPAL, 2019).

### Generación de agua residual

En esta sección se describe la generación de agua residual con respecto al sector turismo y a la precipitación. Con respecto al sector turismo, según el PMDU, la población flotante compuesta principalmente por turistas utiliza 500 L/día de agua potable por persona, mientras que la población fija utiliza la mitad, 250 L/día por habitante. La diferencia radica principalmente en que la población flotante se hospeda en establecimientos que utilizan mayores volúmenes de agua para fines tales como el lavado de sábanas y toallas, mantenimiento de albercas, preparación de comida, etc. Con base en las estadísticas del 2015 al 2019 de la Secretaría de Turismo de Jalisco (SECTURJAL), se generó el promedio del porcentaje de ocupación hotelera para determinar las temporadas altas y bajas de turismo y se comparó con el promedio de tratamiento del agua residual (ver Figura 13). Contrario a lo esperado, se observa que el porcentaje de ocupación hotelera no se correlaciona directamente con el promedio de caudal de agua residual tratada y que existe una disminución notable de la ocupación hotelera en los meses lluviosos.



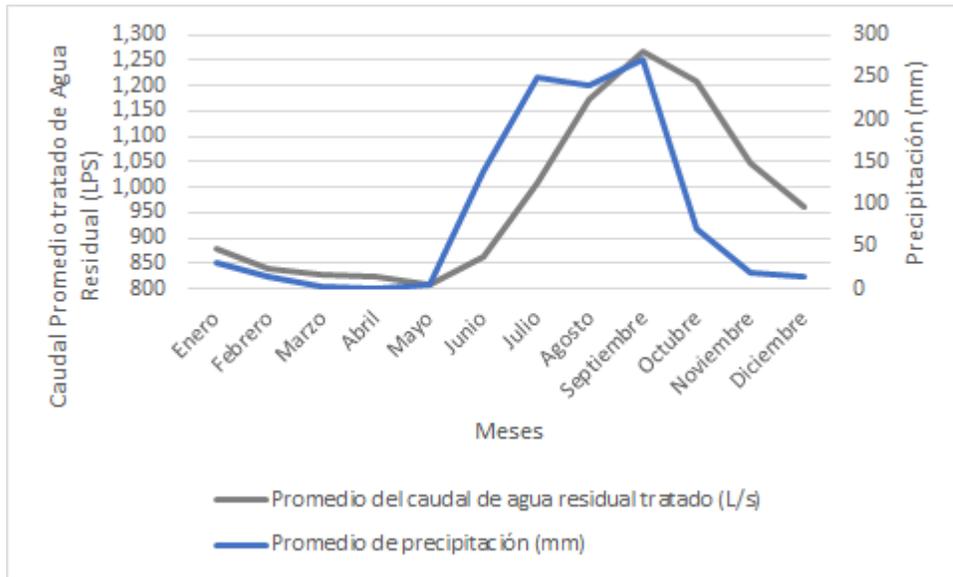
**Figura 13. Comparación del promedio de caudal de agua residual tratada y del promedio de porcentaje de ocupación hotelera (2015-2019).**

Con respecto a la precipitación, la temporada de lluvias en el municipio se presenta de junio a noviembre. De estos, la mayor precipitación se presenta de julio a octubre. Dichos meses son relevantes para el presente análisis ya que como se respondió en la entrevista no presencial con el Ingeniero Rigoberto Velázquez, subdirector operativo de SEAPAL:

“No existen drenajes separados, por lo que el agua de lluvia a pesar de solicitar al usuario que no se mezcle el pluvial con el agua residual, aún se detecta que algunos patios están conectados al

drenaje sanitario. De igual manera, es usual que los lugares en que se inundan las calles abren los pozos de visita para canalizar el agua de lluvia al drenaje sanitario, siendo que el pluvial debe correr por la calle, y de ahí a canales de a cielo abierto o hacia tuberías de descarga pluvial que descargan a escurrimientos naturales de agua pluvial como arroyos, ríos o canales pluviales.” (Velázquez, 2020b)

Por lo que, aunque existe la iniciativa de separar la red de drenaje esta no se lleva a cabo correctamente, asimismo se observa la idea de que el agua pluvial debe correr por la calle en vez de tener su propio drenaje. En la Figura 14 se observa una correlación marcada entre la precipitación y el promedio del caudal de agua residual tratada.



**Figura 14. Comparación del promedio de caudal de agua residual tratada y del promedio de precipitación (2015-2019).**

**Infraestructura para la conducción de agua residual (drenaje)**

De acuerdo con el PMDU, el 8% de las viviendas no cuentan con drenaje conectado a la red pública (PMDU, apartado: drenaje). La Tabla 11 resume la información acerca del área de cobertura de agua potable y de drenaje en función de la superficie de cada distrito urbano. Dicha información fue extraída de los 12 planes parciales de desarrollo urbano anteriores pero que para fines de análisis es útil y que se encuentran publicados en la Gaceta Municipal de Puerto Vallarta. Es importante mencionar que la cobertura reportada se encuentra en función de la superficie de cada distrito, misma que no corresponde en su totalidad a las zonas urbanizadas.

**Tabla 11. Cobertura de agua potable y de drenaje por distrito urbano.**

Distrito Urbano	Área total* (ha)	Área con cobertura de agua potable (ha)	Porcentaje de cobertura de agua potable	Área con cobertura de drenaje (ha)	Porcentaje de cobertura de drenaje	Referencia
1	1,810.29	625	34.5%	625	34.5%	GM PV 2015-2018 num 23
2	1,684.19	322	19.1%	302	17.9%	PPDU DU2 2012
3	1,595.06	553	34.6%	501	31.4%	GM PV 2010-2012 - num 8
4	1,305.99	905	69.3%	883	67.6%	GM PV 2015-2018- num 8
5**	845.17	634	75.0%	560	66.3%	GM PV 2015-2018- num 8 - DU5A GM PV 2010-2012- num 8 - DU5B
6	420.90	354	84.2%	294	70.0%	GM PV 2015-2018 - num 25
7	941.54	564	59.9%	545	57.9%	GM PV 2015-2018 - num 19
8	652.02	405	62.1%	391	60.0%	Propuesta DU8
9	992.05	127	12.8%	127	12.8%	GM PV 2010-2012 - num 08
10	1,312.66	218	16.6%	218	16.6%	GM PV 2015-2018 - num 04
Las Palmas***	8,558.40	230	2.7%	230	2.7%	GM PV 2012-2015 - num 14
Colorado****	6,148.40	253	4.1%	255	4.1%	GM PV 2010-2012 - num 05

\* La superficie de los distritos ha sufrido modificaciones, se presenta el área total del polígono según la referencia  
\* El DU 5 fue analizado a partir del DU5-A y DU5-B. Para el DU5-A, el área de viviendas fue de 297.82 ha, con 569 viviendas habitadas; 528 cuentan con agua potable y 529 con drenaje. Para el DU5-B, la cobertura de agua potable fue de 357.76 ha y una cobertura de drenaje 284.05 ha.  
\*\* La cobertura de agua potable y drenaje fue de 95% para un área urbana de 242.24 ha.  
\*\*\* El distrito Colorado se compone principalmente de viviendas en desarrollo tipo condominio. El área ocupada por 776 viviendas fue de 294 ha, 667 viviendas contaban con agua potable y 672 con drenaje.

La información más reciente se encuentra en los planes parciales, la cual fue proporcionada por SEAPAL, donde se indica lo siguiente para cada DU (ver tabla 12). Se puede observar que solo el DU 4 y 5 requieren mejorar de la instalación del servicio de agua potable y drenaje.

**Tabla 12. Cobertura de agua potable y drenaje.**

Distrito Urbano	Cobertura de agua potable y drenaje
1	La superficie urbanizada cuenta con el servicio de agua potable y drenaje.
2	La superficie urbanizada cuenta con el servicio de agua potable y drenaje.
3	La superficie urbanizada cuenta con el servicio de agua potable y drenaje.

Distrito Urbano	Cobertura de agua potable y drenaje
4	El 70 % de la superficie urbanizada cuenta con el servicio de agua potable y drenaje.
5	El 30% de la superficie urbanizada cuenta con el servicio de agua potable y drenaje.
6	La superficie urbanizada cuenta con el servicio de agua potable y drenaje.
7	La superficie urbanizada cuenta con el servicio de agua potable y drenaje.
8	La superficie urbanizada cuenta con el servicio de agua potable y drenaje.
9	La superficie urbanizada cuenta con el servicio de agua potable y drenaje.
10	La superficie urbanizada cuenta con el servicio de agua potable y drenaje.
Las Palmas	La superficie urbanizada cuenta con el servicio de agua potable y drenaje.
El Colorado	La superficie urbanizada cuenta con el servicio de agua potable y drenaje.

Debido a las condiciones topográficas del municipio, el Ayuntamiento cuenta con 16 cárcamos de bombeo para trasladar el agua residual de las regiones más bajas a las PTARs (PMDU, apartado: Tratamiento de aguas residuales). Estos se encuentran ubicados principalmente en la zona costera como se aprecia en la Figura 15.

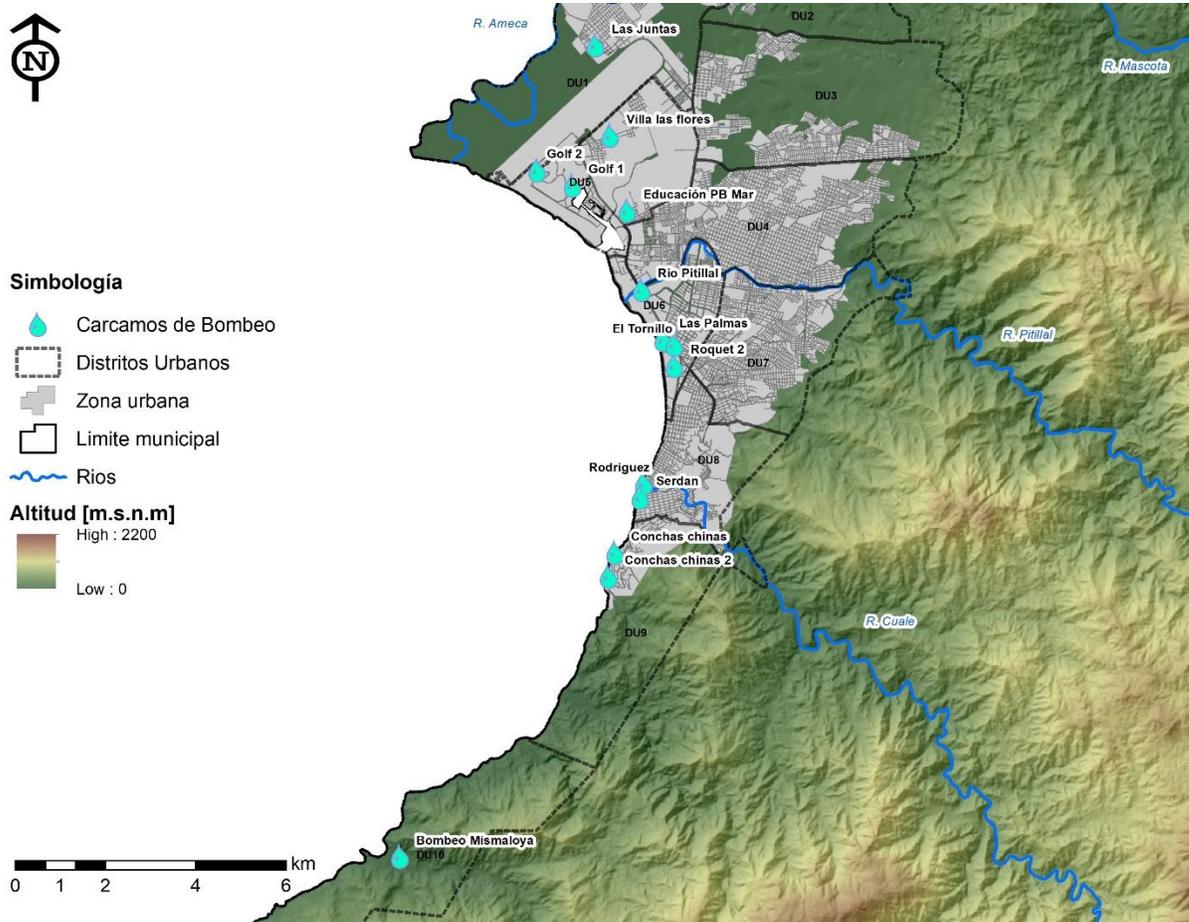


Figura 15. Ubicación de los cárcamos de bombeo de aguas residuales.

**Infraestructura y métodos de tratamiento de agua residual**

Para el tratamiento del agua residual se cuenta con 8 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) siendo 5 de tipo lodos activados y 3 de tipo facultativas de flujo ascendente, que cuentan con una capacidad total instalada de 1,301.5 L/s (litros por segundo). Las PTARs se distribuyen principalmente en tres zonas: 3 en el distrito Las Palmas, 2 en el distrito 1 y 3 en el distrito 10. La Figura 16 muestra la ubicación de las PTARs respecto a la zona urbana y su capacidad instalada de tratamiento.

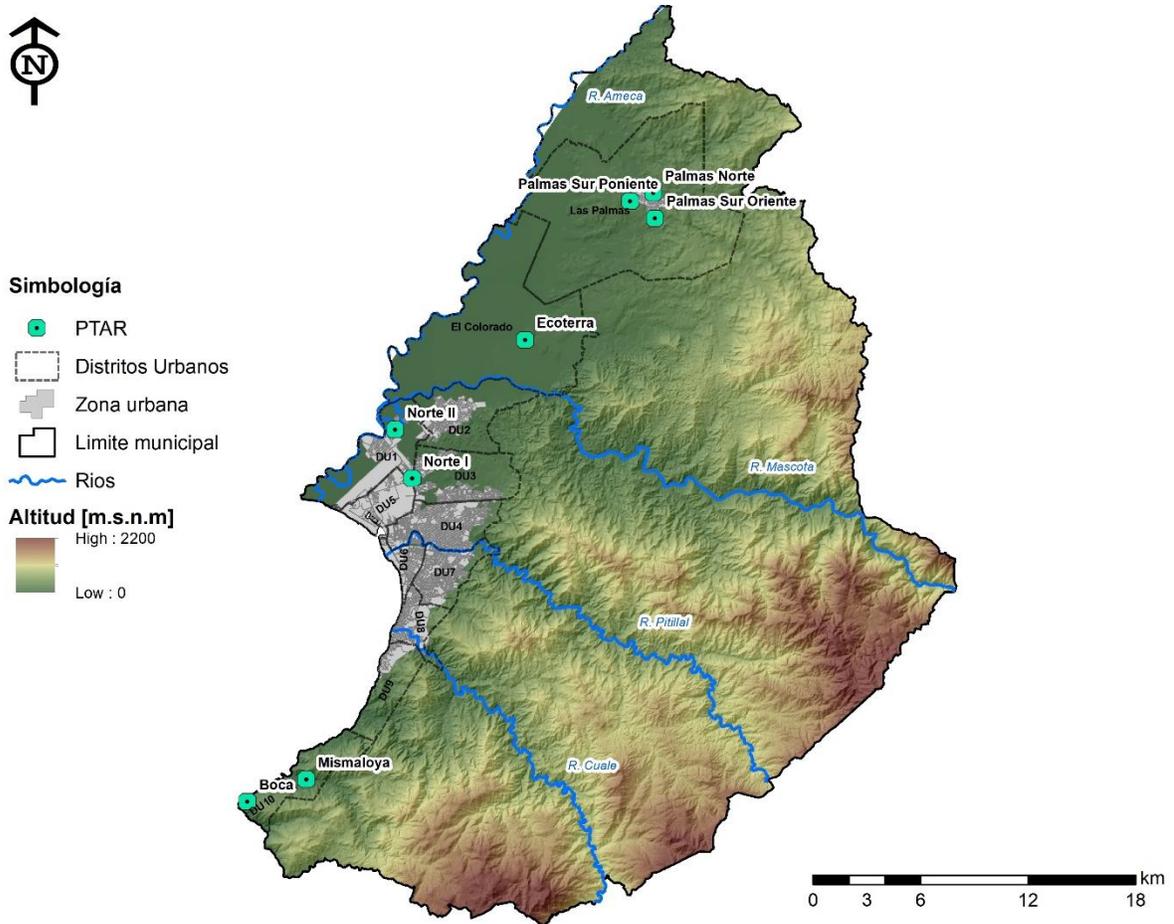


Figura 16. Ubicación geográfica de las PTARs.

La Tabla 13 muestra el sistema de tratamiento, el sitio de descarga de agua tratada y la capacidad instalada por PTAR. El agua tratada es en general regresada al ambiente o utilizada para el riego de áreas verdes y, en algunos casos, para riego agrícola.

Tabla 13. Características de las PTAR. Elaborado con datos de SEAPAL y Velázquez (2020a).

PTAR	Tipo de tratamiento	Descarga del agua residual tratada	Capacidad instalada en 2020 (L/s)
Norte II	Aerobio, secundario en modalidad de lodos	Río Ameca y 25% para riego agrícola	1,125.00
Norte I	Aerobio, secundario en modalidad de lodos	Estuario El Salado	120.00
Mismaloya	Aerobio, secundario en modalidad de lodos	Río Mismaloya	20.50
Boca de Tomatlán	Aerobio, secundario en modalidad de lodos	Mar	5.00
Palmas Sur	Anaerobio facultativo de flujo ascendente	Arroyo Mojarras	5.00

PTAR	Tipo de tratamiento	Descarga del agua residual tratada	Capacidad instalada en 2020 (L/s)
Poniente			
Palmas Sur Oriente	Anaerobio facultativo de flujo ascendente	Suelo	3.00
Palmas Norte	Anaerobio facultativo de flujo ascendente	Río San Sebastián	3.00
Ecoterra	Aerobio, secundario en modalidad de lodos	Río Mascota	17.00
<b>Total</b>			<b>1,298.50</b>

La PTAR de Norte II trata actualmente 1,125 L/s y a corto plazo se tiene contemplado construir la segunda etapa con una capacidad de 375 LPS. Para el resto de las PTARs no se tienen planeadas ampliaciones. Con respecto a la PTAR Ecoterra, esta fue habilitada en 2019 para un desarrollo privado y está diseñada para ampliarse en 4 etapas. En 2019, inició con una capacidad de 5 L/s y posteriormente, en 2020, se amplió para tratar 17 L/s.

El porcentaje de reúso del agua residual tratada es del 25 %, el cual se utiliza para regar dos campos de golf, centro de convenciones, camellones centrales del municipio con pipas, Colegio Americano, área verde de la Zona militar, Centro Universitario de la Costa, Cuatro parcelas de uso agrícola, y en proceso de incorporar otras 6 parcelas del ejido de Ixtapa como intercambio de Agua Residual Tratada por agua de primer uso, áreas verdes del interior de las PTAR's Norte I y Norte II, baldeo para procesos en Norte II. (Velazquez, 2020b)

Como indicador de la eliminación de los microorganismos patógenos, la SEAPAL descarga el agua residual tratada con una concentración de cloro residual de 1 ppm (parte por millón) (Velazquez, 2020b). El cloro es un producto químico relativamente barato y ampliamente disponible que, cuando se disuelve en agua previamente tratada en cantidad suficiente, elimina la mayoría de los microorganismos causantes de enfermedades. La PTAR Norte II utiliza gas cloro para eliminar los microorganismos patógenos (PMDU, apartado: Franjas de protección de infraestructura básica); (Velazquez, 2020b). En las PTARs Boca de Tomatlán, Mismaloya, Ecoterra, Norte 1 y las 3 PTARs de Las Palmas se utiliza hipoclorito de sodio, o en ocasiones, hipoclorito de calcio en las 3 PTARs de Las Palmas.

### **Generación de lodos y aprovechamiento de biosólidos**

La NOM-004-SEMARNAT-2002 define a los lodos como sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización. En Mancipe (2018) se define a los lodos como la mezcla de materia orgánica, nutrientes, metales pesados y organismos patógenos. En cambio, los biosólidos, de acuerdo con la NOM-004-SEMARNAT-2002, son los lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que, por su

contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, pueden ser susceptibles de aprovechamiento.

Para el tratamiento de lodos, la PTAR Norte II utiliza dos módulos con zanjas de oxidación biológica operando con aeración extendida: una zanja con difusión de aire por convección, modo presurizado de burbuja fina que se rompe en el piso, y otra con modo autotranspirante de aireación mecánica (Velazquez, 2020a). La PTAR Norte I, envía los lodos excedentes vía cárcamo de bombeo a la PTAR Norte II. Las 3 PTARs de Las Palmas disponen sus lodos en lechos de secado. Las demás PTAR utilizan un sistema de lodos activados que son manejados en el digester, se mineralizan y se regresan a proceso, de manera tal que contribuyen al proceso biológico.

En promedio se generan 90 toneladas de biosólidos por día, en base húmeda, o 18 toneladas en base seca. La totalidad de los biosólidos generados se aprovechan para la regeneración de suelos de uso agrícola en los municipios de Puerto Vallarta y Bahía de Banderas (Velazquez, 2020a). En específico los biosólidos se donan a ejidatarios de la esfera colindante tanto del municipio de Puerto Vallarta como del municipio de Bahía de Banderas que tienen sus parcelas en la margen izquierda del río Ameca, es decir, que se encuentran dentro del estado de Jalisco (Velazquez, 2020b).

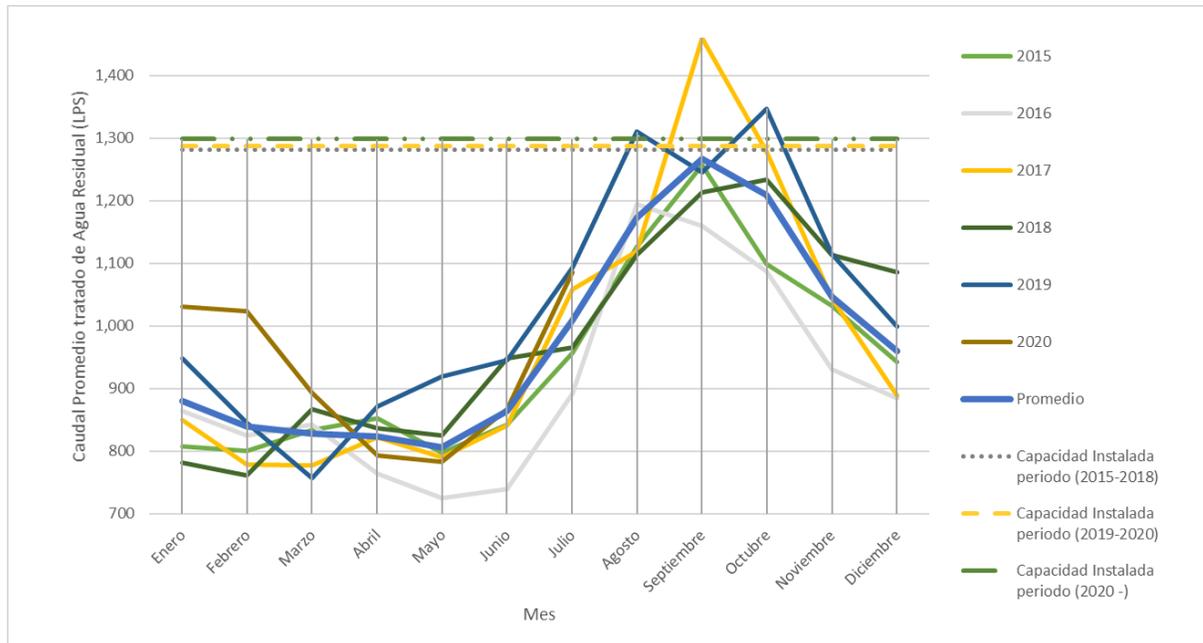
#### **Generación de gases de efecto invernadero**

El tratamiento de agua residual genera gases de efecto invernadero (GEI). Se estima que en el 2017 el tratamiento y vertido de aguas residuales en el municipio generó 23,477.02 ton CO<sub>2</sub>eq (toneladas de dióxido de carbono equivalente), las cuales corresponden al 1.39% del total de las emisiones del municipio (PMDU, apartado: Resultados principales del inventario GEI).

### **4.2.2. Diagnóstico**

#### **Generación de agua residual**

Como se mencionó en la sección anterior, el municipio no cuenta con drenaje separado para el agua residual y el agua pluvial (Velazquez, 2020b), por lo cual existen épocas de mayor caudal a tratar. En la Figura 17, se muestran los promedios mensuales de 2015 a 2020 con base en datos proporcionados por SEAPAL. Se observa que en el primer semestre del año se tratan menores caudales de agua residual en comparación con el segundo semestre. Asimismo, se muestra la capacidad instalada para distintos periodos.



**Figura 17. Histórico del promedio mensual de agua tratada en L/s. Elaborado con datos de SEAPAL.**

El comportamiento del caudal promedio de tratamiento se considera relativamente estable para el periodo analizado. Para el periodo turístico de noviembre a julio, el promedio de agua residual tratada es de 895.4 L/s. Para el periodo de lluvias, de junio a noviembre, el promedio del caudal de agua residual tratada es de 1,095 L/s, mientras que para el periodo de lluvias intenso de julio a octubre el promedio aumenta a 1,164 L/s. Para los periodos de lluvia, el SEAPAL trata del 22% al 30% más de agua residual, debido a las aportaciones pluviales. En algunos casos, como en septiembre del 2017, el SEAPAL debió tratar 63% más de lo esperado comparándolo con el promedio histórico del periodo de noviembre a julio.

### Infraestructura para la conducción de agua residual (drenaje)

Como se mencionó anteriormente, de acuerdo con el PMDU, el 8% de las viviendas no cuentan con drenaje conectado a la red pública (PMDU, apartado: drenaje). Las encuestas de participación ciudadana realizadas como parte de la elaboración del PMDU señalan que el 19% de las personas considera la contaminación del agua como uno de los principales problemas ambientales en el municipio (PMDU, apartado: Foro de Consulta Pública).

Por otro lado, el SEAPAL cuenta con drenajes combinados en calle (Velazquez, 2020b). En la temporada de lluvias esto conlleva un aumento considerable en el caudal de agua residual a tratar. Asimismo, de acuerdo con el PMDU, se considera que las inundaciones son uno de los problemas más persistentes del municipio. En temporada de lluvias grandes extensiones de terrenos se vuelven inutilizables debido a las inundaciones y se afecta la circulación vehicular y las actividades productivas. El agua pluvial ingresa al drenaje combinado, lo colapsa y este rebosa a las calles como agua gris por su combinación con el agua residual. Lo anterior puede generar graves problemas de salud en la población.

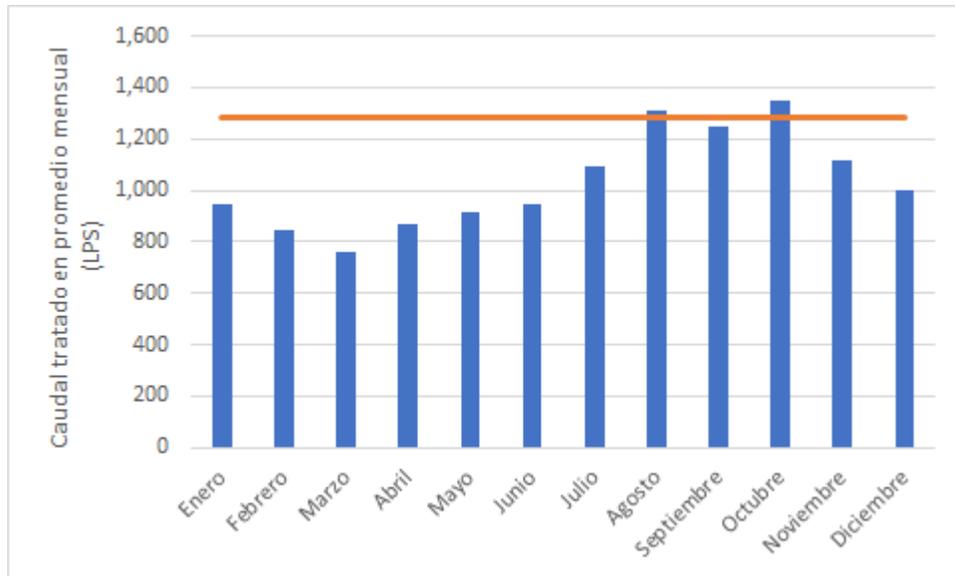
### Infraestructura y métodos de tratamiento de agua residual

En la tabla 14 y figura 18, se muestran los promedios mensuales de caudal de tratamiento para las distintas PTARs para el 2019. Las PTARs que se encuentran operando en su capacidad máxima son: Palmas Sur Poniente, Palmas Sur Oriente y Palmas Norte. Lo anterior se debe a las aportaciones de agua residual, así como al tipo de tratamiento utilizado (anaerobio facultativo de flujo ascendente). Asimismo, se observa que en los meses de agosto y octubre se trató un caudal mayor a la capacidad instalada. Es posible que el SEAPAL cuente con una capacidad de amortiguamiento del caudal por regulación en los cárcamos de bombeo dentro y fuera de las PTARs.

**Tabla 14. Promedio mensual de caudal de tratamiento en 2019 por PTAR (L/s). Elaborado con datos de SEAPAL.**

PTAR	Capacidad instalada	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Promedio anual
Norte II	1,125	885	780	699	797	852	888	1,035	1,240	1,178	1,297	1,060	944	971
Norte I	120	40.9	44.3	36.2	52.7	44.8	34.6	35.8	46.9	44.9	27.0	30.8	30.5	39.1
Mismaloya	21	5.0	4.8	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.99
Boca	5	3.0	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	3.66
Palmas Sur Poniente	5	5.0	4.8	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.99
Palmas Sur Oriente	3	3.0	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.99
Palmas Norte	3	3.0	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.99
Ecoterra*	5 – 17	3.0	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.99
<b>Total</b>	<b>1,287</b>	<b>948</b>	<b>845</b>	<b>757</b>	<b>872</b>	<b>919</b>	<b>945</b>	<b>1,094</b>	<b>1,310</b>	<b>1,246</b>	<b>1,347</b>	<b>1,115</b>	<b>999</b>	

\*La PTAR Ecoterra incrementó su una capacidad de 5 L/s en 2019 a 17 L/s en 2020.



**Figura 18. Promedio mensual de caudal de tratamiento en 2019 (L/s). Elaborado con datos de SEAPAL.**

La Tabla 15 muestra la capacidad instalada y los caudales de tratamiento anual de las PTARs para el periodo 2015-2019. En dicho periodo existe un incremento promedio anual de 1.8% con respecto al caudal promedio tratado. Con esta tendencia se corrobora el incremento en la generación de agua residual.

**Tabla 15. Capacidad instalada de PTARs y caudal promedio tratado. Elaborado con datos de SEAPAL.**

Año	Capacidad instalada (L/s)	Caudal promedio tratado (L/s)	Comparación de caudal con base en 2015 (%)
2015	1,281.50	945.61	100%
2016	1,281.50	909.19	96%
2017	1,281.50	975.65	103%
2018	1,281.50	978.58	103%
2019	1,286.50	1,032.99	109%
2020	1,298.50	-	-
<b>Incremento promedio anual</b>			<b>1.8%</b>

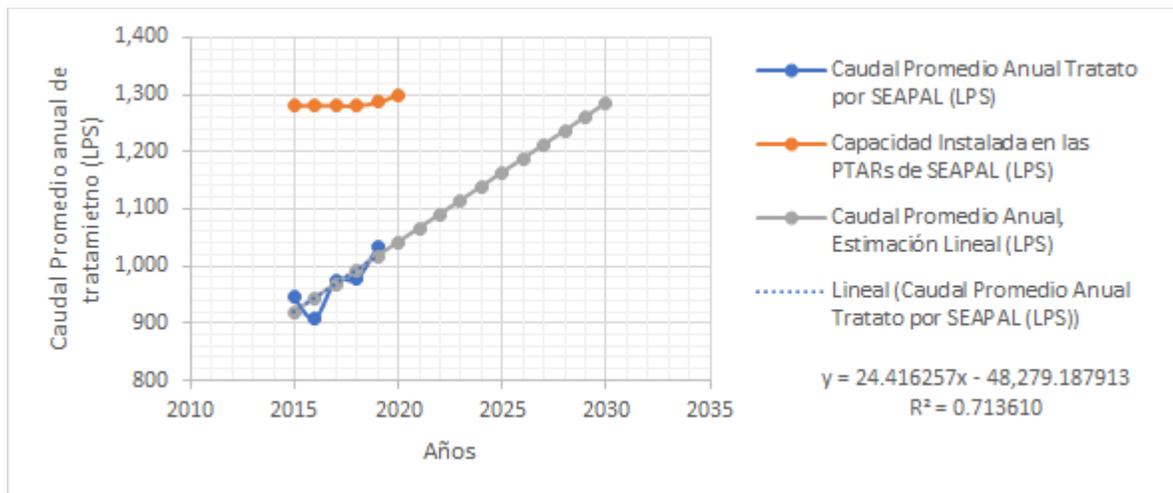
Con respecto al uso de cloro como método de desinfección del agua residual tratada, es importante mencionar que en el DU1 (en el cual se encuentra la PTAR Norte II que utiliza esta sustancia) también se encuentra el aeropuerto, áreas urbanas y el río Ameca. En caso de accidentes relacionados con su manejo, es posible que se tengan consecuencias desfavorables para la población y el medio ambiente, con posibles repercusiones sobre la economía.

### 4.2.3. Pronóstico

Con respecto a este componente, como se describió anteriormente en la temporada de lluvias, algunas PTARs operan a su máxima capacidad. Asimismo, con el aumento de la población fija y flotante se espera una mayor generación de agua residual. En esta sección se presentan proyecciones de generación de agua residual con base en un escenario del caudal de tratamiento de agua residual con tendencia lineal y otro con tendencia exponencial, utilizando como base los valores históricos de tratamiento de agua residual.

En primera instancia se realizó una estimación lineal del caudal promedio de tratamiento agua residual con base en los datos proporcionados por el SEAPAL de 2015 a 2020. Para esta estimación se utilizó la línea de tendencia de los datos y su ecuación. La ecuación lineal se describe con base en la siguiente fórmula, donde  $y$  es el caudal promedio de tratamiento,  $x$  es el año,  $m$  es la pendiente y  $b$  es la ordenada al origen:

$$y = m * x + b$$

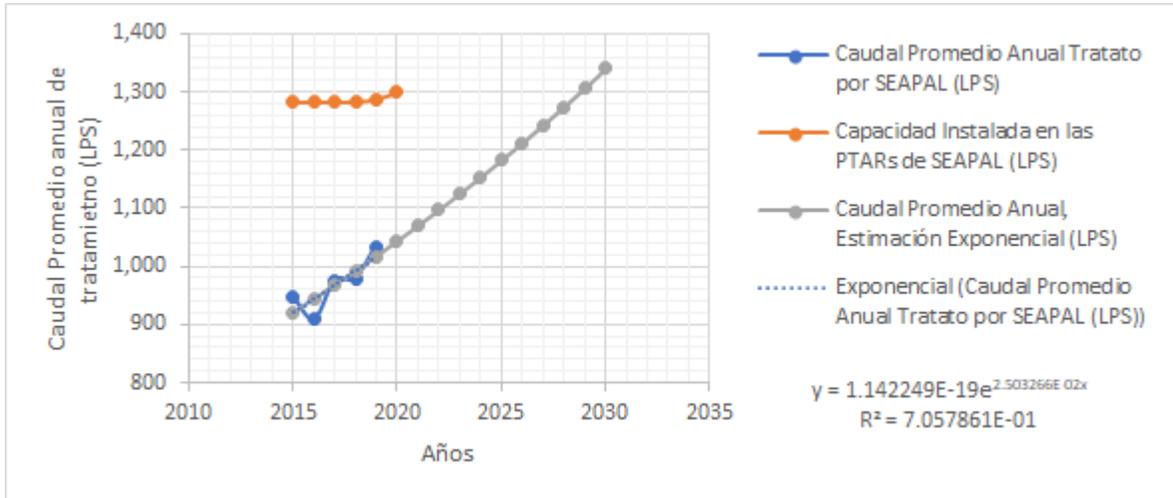


**Tabla 16. Estimación lineal del caudal promedio de tratamiento de agua residual.**

Esta estimación asume que el caudal promedio de tratamiento de agua residual aumenta de manera constante a través del tiempo. Con base en esta estimación, el caudal promedio mensual de tratamiento para 2030 sería de 1,285.81 L/s. Sin embargo, la estimación lineal no es la más adecuada considerando que el crecimiento poblacional se comporta de manera exponencial.

Para contar con una mejor aproximación, se realizó una estimación exponencial. Dicha estimación se basa en la siguiente fórmula, donde  $y$  es el caudal promedio de tratamiento,  $x$  es el año, y  $a$  y  $b$  son constantes:

$$y = a * \exp(b * x)$$



**Figura 19. Estimación exponencial del caudal promedio de tratamiento de agua residual.**

Con base en esta estimación, el caudal promedio mensual de tratamiento para 2030 sería de 1,339.68 L/s. Para ambas estimaciones se muestra que, en los próximos 5 años, la capacidad de tratamiento promedio es suficiente. Sin embargo, se observa que para el 2030 la capacidad de tratamiento actual sería rebasada.

Utilizando los valores respecto al caudal promedio de tratamiento proporcionados por el SEAPAL, así como la población en el municipio en esa temporalidad proyectada por la CONAPO (2006), se analizó el uso compuesto del agua. Este se define como la relación entre el número de habitantes y el caudal promedio de tratamiento. Esta relación engloba las aportaciones relacionadas con el turismo, comercio e industria.

**Tabla 17. Estimación del uso de agua compuesto, por habitante.**

Año	Proyección de población (habitantes)	Caudal promedio de tratamiento anual (L/s)	Uso compuesto de agua (habitantes/(L/s))
2015	285,336	945.61	301.75
2016	291,329	909.19	320.43
2017	297,200	975.65	304.62
2018	302,945	978.58	309.58
2019	308,557	1,032.99	298.70
<b>Promedio</b>			<b>307.01</b>

Con base en lo anterior se estima que por cada 307 habitantes fijos se genera en promedio 1 L/s de agua residual al año. Dicha estimación incluye las aportaciones de turismo, comercio e industria. La CONAPO proyecta que para 2030 la población fija será de 360,375 habitantes (CONAPO, 2006), por lo que se puede estimar que el promedio de generación mensual de agua residual sería de 1,173.8 L/s. La proyección de población basada en los planes parciales de desarrollo urbano publicados anteriormente, que conservan la proyección en los nuevos planes, es de 393,709 habitantes (ver Tabla 18). Con base en dicho dato el promedio de generación sería de 1,282.4 L/s al mes.

Es importante señalar que el uso de agua potable y la generación de agua residual podrían variar de manera importante por cuestiones asociadas al cambio climático o en caso de presentarse cambios relevantes en la dinámica de turismo y actividades productivas, por lo que las estimaciones mostradas pueden considerarse como conservadoras. Con respecto a la conducción del agua residual a las PTARs, es importante mencionar que, aunque el agua residual en su mayoría ingresa a los cárcamos de bombeo por gravedad, el bombeo implica un gasto energético que aumentará en función de la generación de agua residual.

**Tabla 18. Población en 2010 y proyección de población para 2030 por distrito urbano.**

Distrito Urbano	Población 2010	Distribución	Referencia	Población 2030	Distribución	Referencia	Incremento 2010-2030
1	19,793	7.7%	GM PV 2015-2018 num 23	37,967	9.6%	GM PV 2015-2018 num 23	91.8%
2	29,036	11.4%	PPDU DU2 2012	40,883	10.4%	PPDU DU2 2012	40.8%
3	23,858	9.3%	GM PV 2010-2012 - num 8	34,812	8.8%	GM PV 2010-2012 - num 8	45.9%
4	83,822	32.8%	GM PV 2015-2018- num 8	134,874	34.3%	GM PV 2015-2018- num 8	60.9%
5*	7,856	3.1%	GM PV 2015-2018- num 8 - DU5A GM PV 2010-2012- num 8 - DU5B	12,377	3.1%	GM PV 2015-2018- num 8 - DU5A GM PV 2010-2012- num 8 - DU5B	57.5%
6	9,126	3.6%	GM PV 2015-2018 - num 25	15,232	3.9%	GM PV 2015-2018 - num 25	66.9%
7	48,630	19.0%	GM PV 2015-2018 - num 19	68,824	17.5%	GM PV 2015-2018 - num 19	41.5%
8	23,458	9.2%	Propuesta DU8	35,399	9.0%	Propuesta DU8	50.9%
9**	1,049	0.4%	GM PV 2010-2012 - num 08	1,583	0.4%	Proyección por tasa histórica de 1.509	50.9%
10	1,518	0.6%	GM PV 2015-2018 - num 04	2,291	0.6%	Proyección por tasa histórica de 1.509	50.9%
Las Palmas	4,115	1.6%	GM PV 2012-2015 - num 14	4,905	1.2%	GM PV 2012-2015 - num 14	19.2%
Colorado***	3,492	1.4%	GM PV 2010-2012 - num 05	4,562	1.2%	GM PV 2010-2012 - num 05	30.6%

Distrito Urbano	Población 2010	Distribución	Referencia	Población 2030	Distribución	Referencia	Incremento 2010-2030
<b>Total</b>	<b>255,681</b>	<b>100%</b>	INEGI 2010	<b>393,709</b>	<b>100%</b>	<b>Suma de distritos</b>	<b>154%</b>

\*El DU 5 fue analizado a partir del DU5-A y DU-5B. Para el DU5-A se tiene población de 1,567 en el 2010 y 3,691 para el 2030. Para el DU5-B se tiene una población de 6,289 en el 2010 y 8,686 para el 2030.  
 \*\* La población en 2005 fue de 1,049 (INEGI, 2005).  
 \*\*\* Se tomaron las proyecciones propuestas, aunque el área de estudio se ha modificado.

Los datos mostrados en la Tabla 18 fueron extraídos de los 12 planes parciales de desarrollo urbano que se encuentran publicados en la Gaceta Municipal de Puerto Vallarta. La Figura 20 muestra la proyección de población para el 2030 y la Figura 21 muestra el incremento poblacional en el periodo 2010-2030.

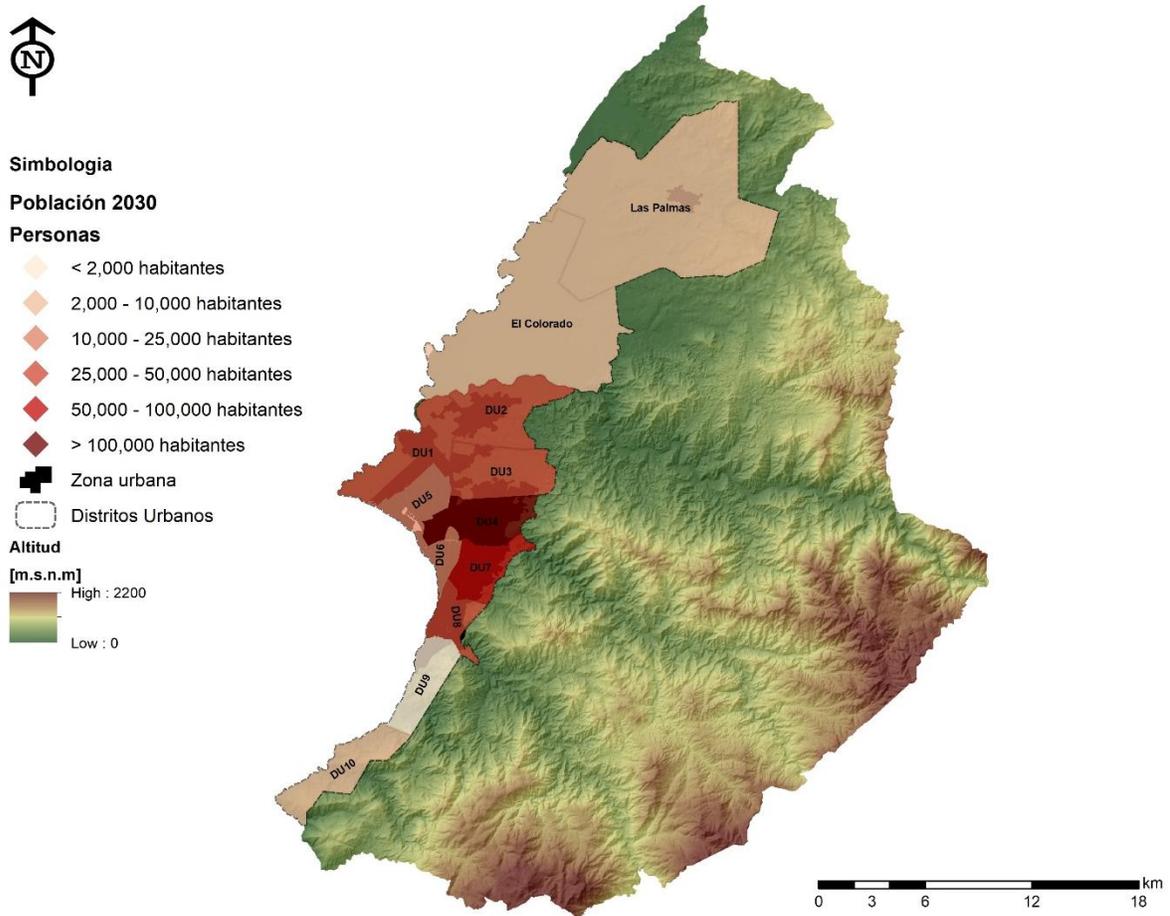


Figura 20. Proyección de población para 2030.

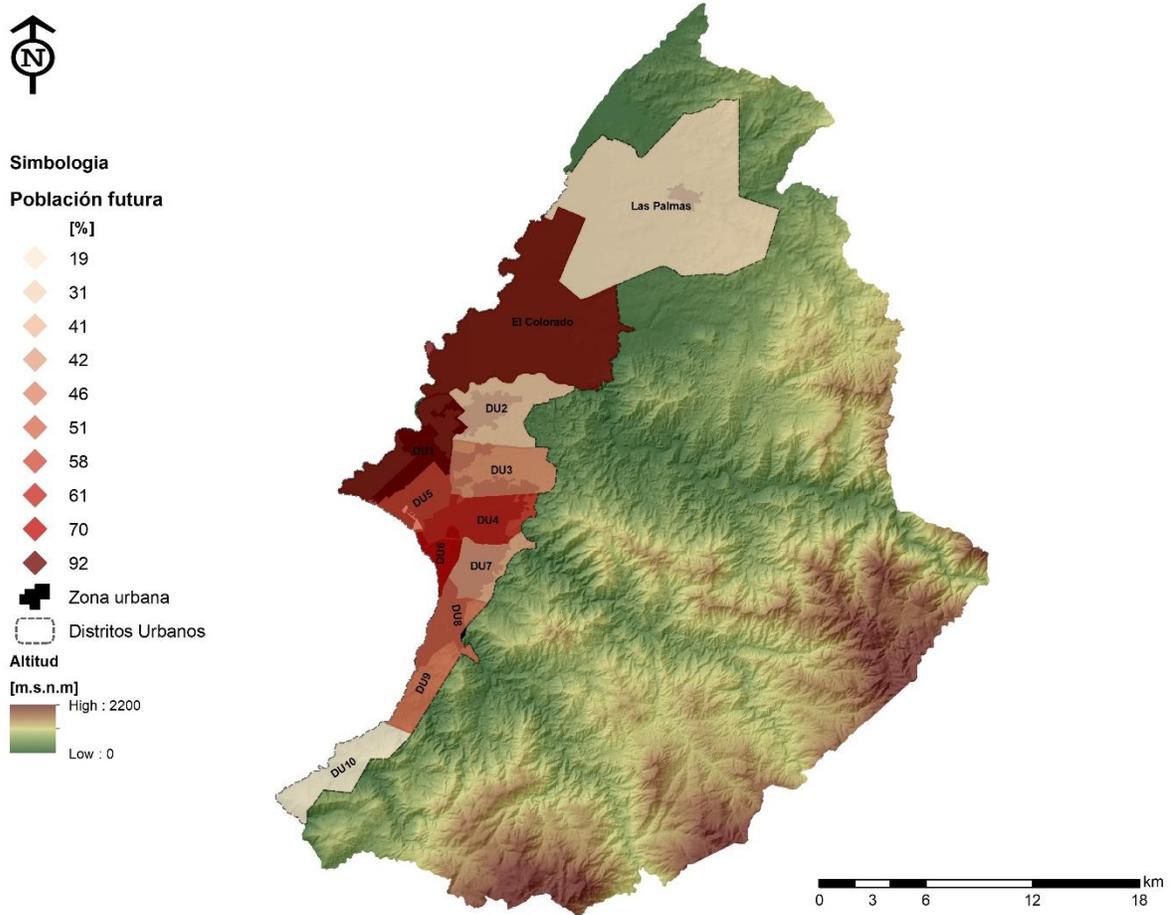
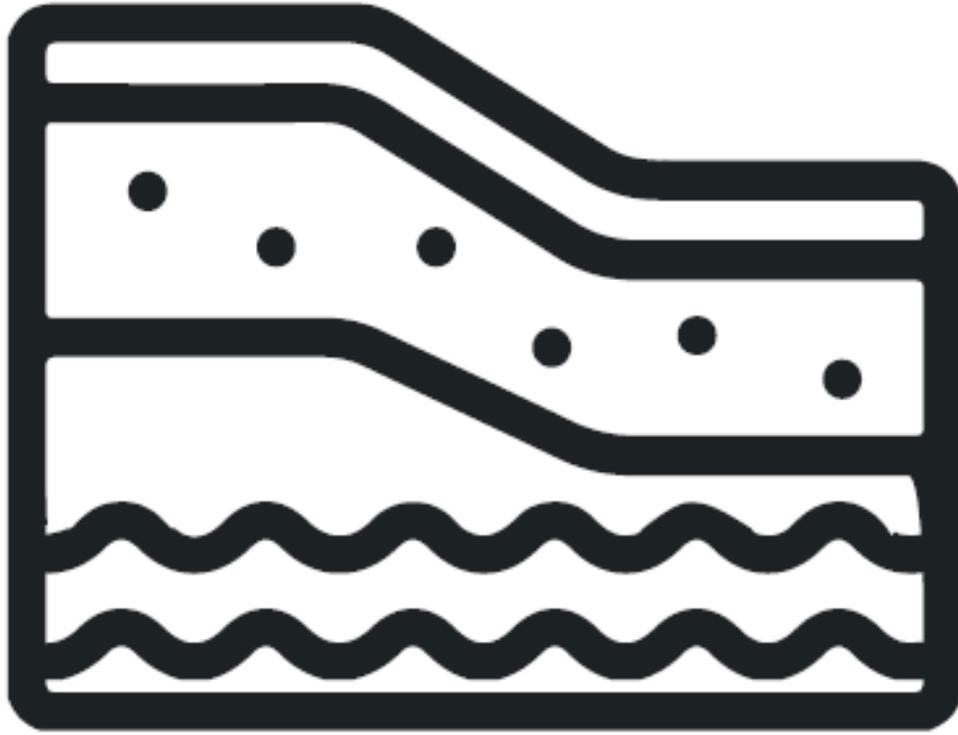


Figura 21. Proyección de incremento poblacional para el periodo 2010-2030.



# Agua subterránea

### 4.3. Agua subterránea

#### 4.3.1. Caracterización

El abastecimiento de agua para usos prioritarios, los escenarios previstos ante el cambio climático, la gestión adecuada de acuíferos y la protección de la calidad del agua son, entre otros, aspectos que deben ser abordados en la planeación urbana, con objeto de orientar el desarrollo hacia los sitios con mayor aptitud y menor impacto ambiental. De acuerdo con el Programa Hídrico Estatal 2014-2018 (CONAGUA, 2015a), Jalisco destaca por su gran actividad económica a escala nacional, pero ello ha incidido en la situación adversa, desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo, en que se encuentran los recursos hídricos de la entidad. La planeación inadecuada del territorio, así como la contaminación y sobreexplotación de los sistemas hidrológicos, ponen en riesgo el desarrollo sustentable en Jalisco (CONAGUA, 2015a). Los retos identificados en el Programa implican llevar a cabo un cambio de paradigma en la gestión hidrológica. Para ello es importante realizar nuevas propuestas que involucren a todos los sectores interesados (i.e. gobierno, academia, sociedad civil organizada y usuarios), a fin de hacer valer el derecho humano estipulado en el artículo 4<sup>to</sup> constitucional. La magnitud de los desafíos descritos en el Programa probablemente se incrementará en los próximos años, como fruto de las actividades de crecimiento económico.

El agua subterránea es un recurso vital para el suministro económico y seguro del agua potable tanto en zonas urbanas y rurales, además de tener papel fundamental para el bienestar humano, así como muchos otros ecosistemas acuáticos. A nivel mundial, los acuíferos están en constante exposición a contaminación, provocada por la urbanización, desarrollo industrial, actividades agrícolas y emprendimientos mineros (Foster et al., 2002).

La Ley de Aguas Nacionales (LAN, 1992), modificada en el año 2016, considera que "un acuífero es cualquier formación geológica por la que circula o se almacena agua subterránea que puede ser aprovechada, y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración". Asimismo, San Román Sánchez (2008) define a un acuífero como una formación geológica que contiene agua en cantidad apreciable y permite que circule a través de ella con facilidad. En contraste, la Directiva Marco Europea (DMA, 2000) define un acuífero como una o más capas subterráneas de roca que tienen la suficiente porosidad y permeabilidad para permitir un flujo significativo de aguas subterráneas o de agua en cantidades significativas. Ambas definiciones difieren fundamentalmente en que la normativa europea hace alusión a la cantidad de agua que es posible obtener de las formaciones rocosas definidas como acuíferos, de acuerdo con sus propiedades hidrogeológicas; mientras que la legislación mexicana se refiere a los límites administrativos, sin considerar el caudal que es posible extraer de los materiales existentes (Rizo-Decelis, 2017).

Desde el 2001, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) publica anualmente, en el Diario Oficial de la Federación, el marco de referencia por el que se establecen los "acuíferos reconocidos en el territorio mexicano". La CONAGUA determina la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos en los territorios delimitados por líneas poligonales, en todo el país (DOF, 2016). Este decreto rige la asignación de concesiones para la instalación de pozos de extracción de agua subterránea. Una vez que la CONAGUA ha

determinado la disponibilidad de agua subterránea en cada demarcación, se publican los informes, en los cuales se recogen los criterios utilizados para la cuantificación de las aguas subterráneas, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000. Esta normativa establece que deberá de realizarse un balance en el que se defina, de manera precisa, la recarga de los acuíferos y, a partir de dicha variable, se infiere el volumen disponible para su aprovechamiento.

El agua subterránea constituye una fuente de agua dulce significativa para el sostenimiento de la región. La zona urbana, industrial y agrícola se abastece principalmente de agua subterránea por medio de pozos de extracción. De acuerdo con el PMDU, el volumen total extraído es de 69,778,822 m<sup>3</sup>/año, de los cuales el 66% es para uso doméstico-urbano, 17% para uso agropecuario, 17% para uso en servicios y uso industrial. A pesar de contar con gran disponibilidad y, en términos generales, buena calidad de los recursos hídricos, los cambios de uso del suelo ocurridos en dicha región de forma acelerada durante los últimos años, han alterado el ciclo hidrológico y el equilibrio ecológico.

En el municipio, se han realizado dos estudios referentes al agua subterránea. El primero, en 1990, fue realizado por CIEPS Consultores, S.A. de C.V. y se denominó “Diagnostico y proyecto de rehabilitación de los pozos y equipos electromecánicos y proyectos de piezometría y macromedición del sistema de agua potable de Puerto Vallarta, Jal. y actualización geohidrológica del acuífero del Valle del Río Pitillal – Mascota”. En este estudio se actualizó el censo de obras, principalmente pozos, ya que la gran mayoría de norias se encontraban azolvadas o abandonadas. El total de obras censadas fue de 122 pozos y 21 norias. Se nivelaron 27 aprovechamientos cubriendo un total de 60 km de recorrido. Se tomaron 32 muestras de agua subterránea para análisis fisicoquímico. El segundo, en 1998, fue realizado por Proyectos Moro y se denominó “Reactivación de redes de monitoreo de los acuíferos de los Valles del Llano, Aguascalientes; Tesistán Atemajac Toluquilla, Ciudad Guzmán y Ameca, Jalisco; Puerto Vallarta-Valle de Banderas, Jalisco-Nayarit; La Barca Yurécuaro, Jalisco-Michoacán; Amascala-La Griega-Buenavista, Querétaro y Loreto, Jerez, Zacatecas”. En este estudio se redefinió la red de pozos piloto, estableciéndose esta con 20 aprovechamientos. Se analizaron datos de 19 pozos y se sugirió la construcción de un piezómetro. La evolución mayor (en los meses de diciembre del periodo 1985-1998) se registró hacia la zona de San Juan de Abajo (8 m). En el resto de la zona las evoluciones no son mayores a los tres metros, e incluso se encontraron evoluciones positivas (CONAGUA,2002).

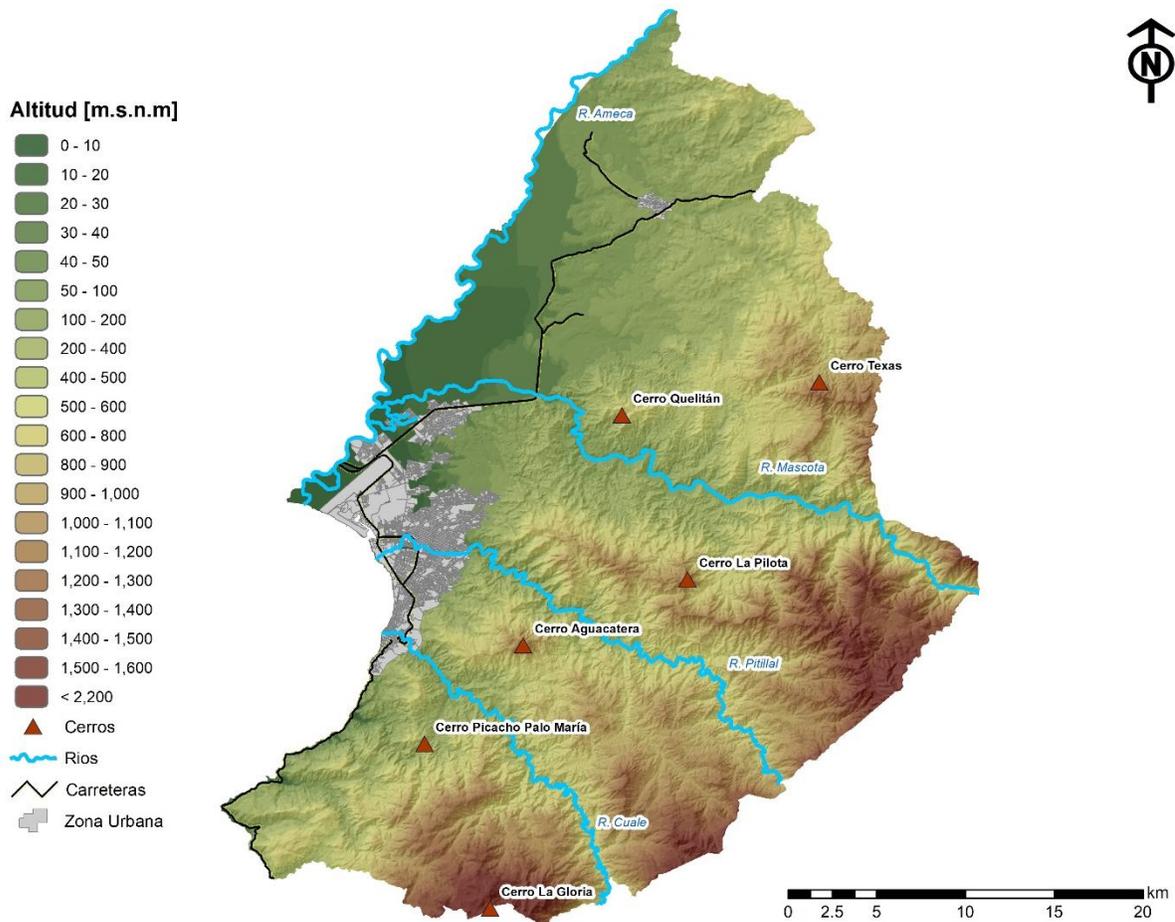
Por otro lado, en entrevistas con el personal del SEAPAL, se identificó que la calidad del agua subterránea es buena, con base en estudios de calidad de agua que se realizan cada año. Asimismo, el personal del SEAPAL señaló que se cuenta con un límite de extracción, con el fin de evitar la contaminación del acuífero por intrusión salina. En los ejercicios de participación ciudadana llevados a cabo como parte del PMDU, se identificó que la fuente de contaminación de agua subterránea más reconocida se debe a la infiltración de lixiviados provenientes de vertederos clandestinos.

El acuífero puede ser caracterizado y delimitado con base en información relativa a las condiciones de topografía, geología, edafología, uso de suelo y vegetación, piezometría y permeabilidad, que se presentan en el municipio. A continuación, se muestra una descripción de dichas condiciones con base en

información cartográfica recopilada. Asimismo, se presenta un mapa de delimitación preliminar del acuífero elaborado mediante el uso de sistemas de información geográfica.

### Topografía

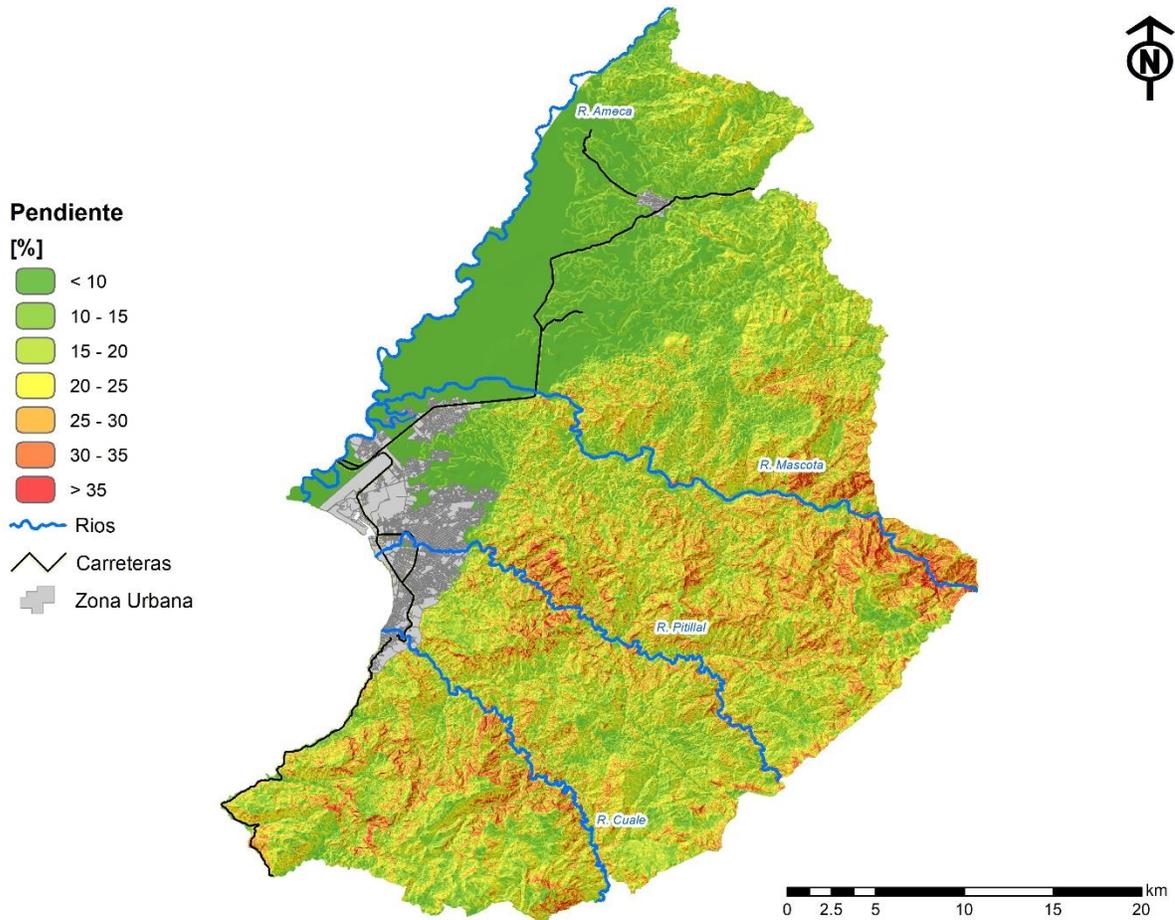
El municipio cuenta con características topográficas que van desde el nivel del mar hasta alturas máximas de alrededor de 2,200 m.s.n.m., como se observa en la Figura 22. Cuenta con muy pocas zonas planas, las cuales se localizan principalmente en la margen izquierda del río Ameca y en los sectores más próximos a la costa, entre su desembocadura y la del río Cuale, hacia el Sur. La mayor parte de la superficie municipal está conformada por zonas accidentadas (Chico Corona, M. H., 2018). Algunos puntos de mayor elevación son el Cerro Picacho de Palo María a 620 m.s.n.m., Cerro Aguacatera a 1,120 m.s.n.m., Cerro La Gloria a 1,980 m.s.n.m., Cerro La Pilota a 1,220 m.s.n.m., Cerro Quelitán a 620 m.s.n.m. y Cerro Texas a 1,360 m.s.n.m.



**Figura 22. Mapa hipsométrico del municipio. Elaborado con información de las cartas topográficas a escala 1:50,000, INEGI 2013-2018.**

Asimismo, el municipio presenta pendientes menores a 10% y mayores a 35%, como se observa en la Figura 23. Los puntos de menor pendiente (color verde) están en la zona costera y cerca de los ríos principales, donde se ubica la principal zona urbana del municipio. Las zonas de pendiente de 15% a 30% (color amarillo y anaranjado) se encuentran en la zona montañosa del área, donde se ubican los

principales cerros como el Cerro Aguacatera, Cerro La Gloria a 1,980 m.s.n.m., Cerro La Pilota a 1,220 m.s.n.m. y Cerro Texas a 1,360 m.s.n.m. Las zonas con pendiente del 100% (color rojo) se encuentran en los cañones de los ríos principales (Mascota, Pitillal y Cuale).



**Figura 23. Mapa de pendientes del municipio. Elaborado con información de la carta topográfica 1:50,000, INEGI 2013-2018.**

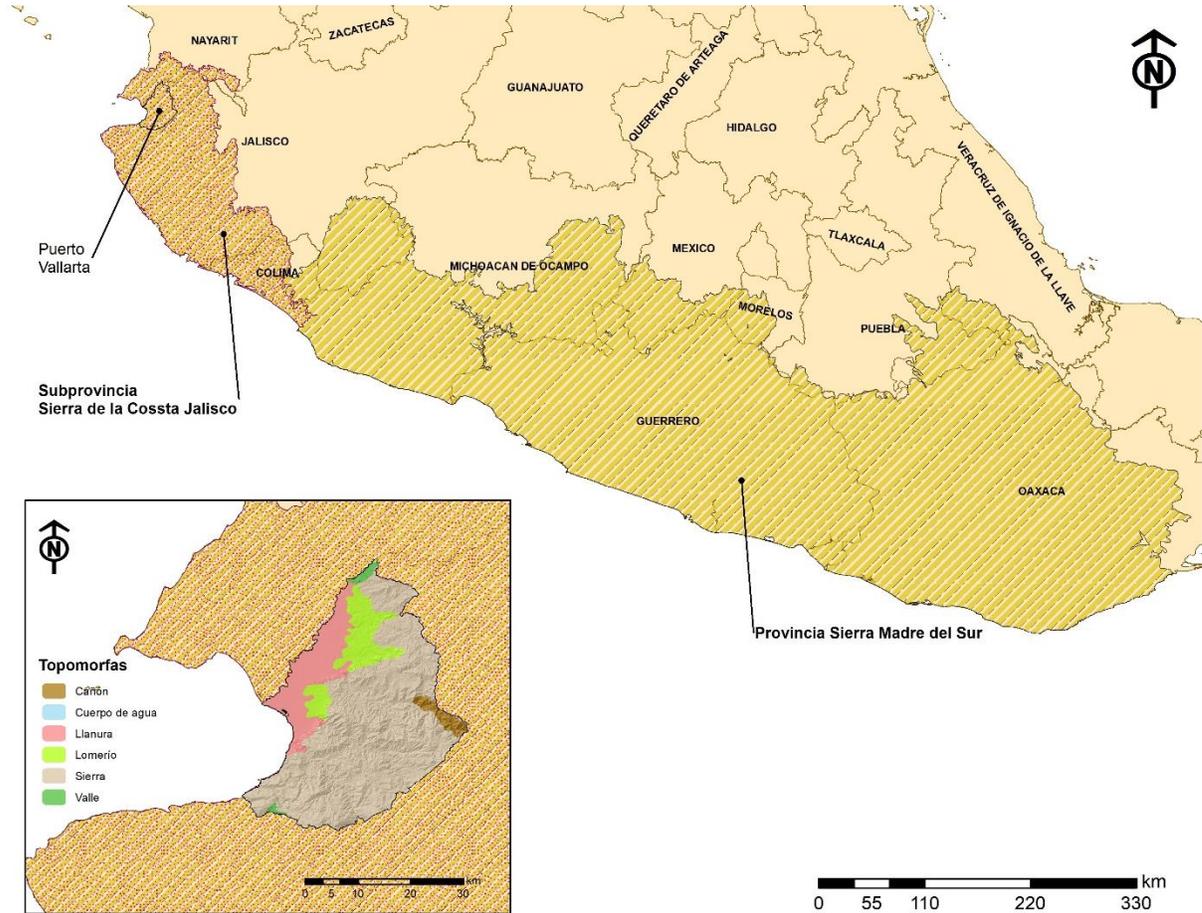
## Geología

El municipio se encuentra en los límites del Eje Neovolcánico Transversal Mexicano y de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, la cual tiene interacción al norte con la Sierra Madre Occidental y al oeste enfrenta la subducción de la Placa de Rivera (Chico Corona, M. H., 2018). El eje Neovolcánico (ver Figura 24), también conocido como Sierra Volcánico Transversal, junto con la Sierra Madre del Sur, es una de las provincias con mayor variación de relieve y tipos de rocas. Se extiende desde el Océano Pacífico hasta el Golfo de México, constituyendo una faja que inicia en la Costa Occidental en la desembocadura del río Grande Santiago a la de Bahía de Banderas y continua hacia el sureste (INEGI, 2008).

La provincia fisiográfica de la Sierra Madre Sur se extiende a lo largo de la costa del pacífico con una dirección general de noroeste a sureste. Su altitud es casi constante de 2,000 m.s.n.m. En ella nacen varias corrientes que desembocan en el Océano Pacífico (INEGI, 2008). Se considera la provincia con mayor complejidad geológica, ya que se puede encontrar rocas ígneas, sedimentarias y la mayor abundancia de

rocas metamórficas de México. El choque de las placas tectónicas de Cocos y la placa norteamericana provocó el levantamiento de esta Sierra y ha determinado en gran parte su complejidad (INEGI,2008).

Puerto Vallarta se encuentra dentro de la región de Bahía de Banderas, la cual comprende las costas de Bahía de Banderas y la parte marina que alcanza hasta la trinchera Mesoamericana. En esta región se han definido previamente tres zonas sísmicas: la del norte(N), centro(C) y sur(S) de la Bahía (Rutz-López, M. y Núñez-Cornú, F. J., 2004).



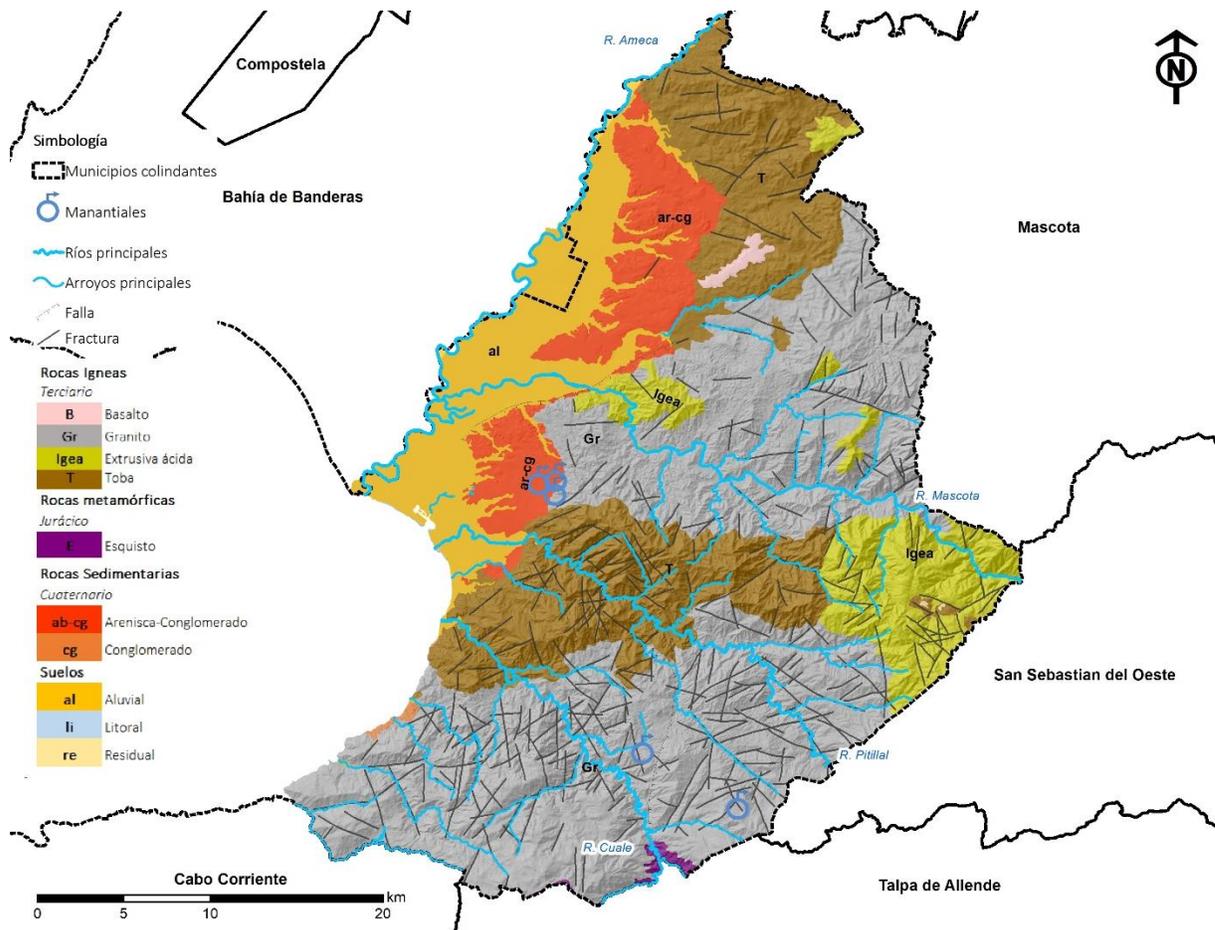
**Figura 24. Mapa del contexto geomorfológico del municipio. Elaborado con información de la carta fisiográfica 1:1,000,000, INEGI 2001.**

De acuerdo con el Atlas de Riesgo de Puerto Vallarta (UDG, 2014), las estructuras volcánicas más cercanas al municipio son el Volcán Sanganguey en Tepic, volcán inactivo con altitud de 2,340 m.s.n.m., y el Volcán Ceboruco, volcán activo con altitud de 2280 m.s.n.m., ubicado en la cadena montañosa de Tepic–Zacoalco en la parte oeste de la Faja Volcánica Trans-mexicana, cerca de los poblados de Ahuacatlán y Jala en el estado de Nayarit.

La estructura y morfología de esta costa han sido influenciadas por la subducción entre la Placa de Rivera y la Placa de Norteamérica y por el fallamiento cortical dentro del Bloque de Jalisco. La compensación producida por la falla también genera una respuesta del sistema fluvial. Tales ríos cortan a través de la falla y experimentan una súbita caída en su nivel. Entonces, los ríos intensifican su erosión, la cual es

evidente por la profundidad de los valles de ríos y la formación de abanicos aluviales en el pie de escarpe de falla (Chico Corona, M. H., 2018).

La geología del municipio consiste en rocas metamórficas del Jurásico, como esquistos, que se encuentran al suroeste del municipio de Talpa de Allende; cuenta con rocas sedimentarias del periodo Cuaternario como areniscas-conglomeradas, conglomerado y rocas ígneas, las cuales se encuentran en el noroeste del municipio. También existen rocas extrusivas ácida, granito y toba del periodo Terciario y basaltos (ver Figura 25). Cuenta con suelo aluvial en la zona cercana al río Ameca y al límite con el Océano Pacífico; el suelo litoral y residual se ubican en la línea de costa del municipio. Predomina el granito que es una roca ígnea que data del periodo Cretácico.



**Figura 25. Mapa geológico del municipio. Elaborado con información de la carta geológica 1:50,000, INEGI 1971.**

### Edafología

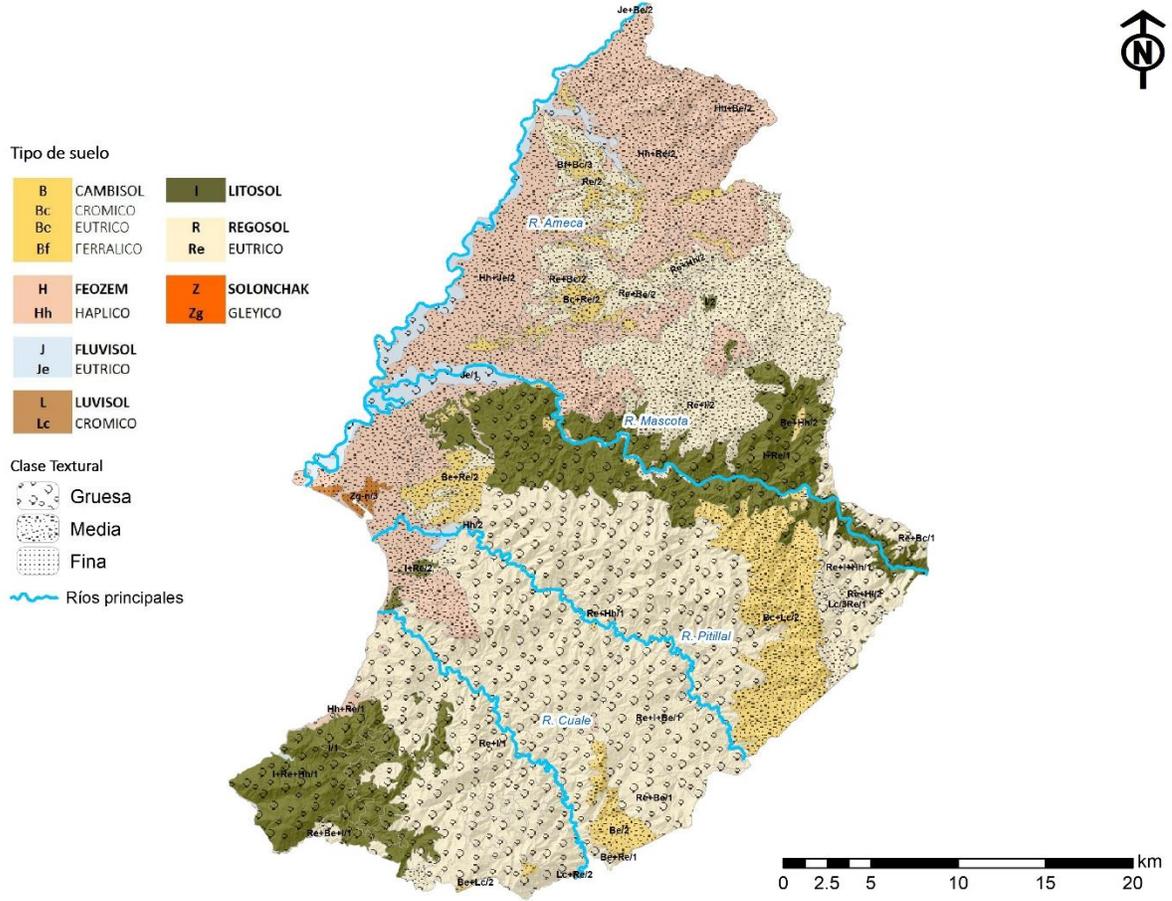
El suelo juega un papel importante en el apoyo a la biodiversidad animal sobre el suelo, incluida la vida silvestre y el ganado domesticado (FAO, 2020). El suelo, junto con el paisaje y su vegetación, es responsable de la distribución de toda el agua de lluvia que cae sobre él y, por lo tanto, juega un papel clave con respecto al ciclo y suministro del agua como ahora reconocen los hidrólogos. En relación con la forma en que el agua se mueve a través del suelo y las propiedades de absorción de los suelos, está la

capacidad del suelo para realizar una función importante en el control de la contaminación (pesticidas, nitratos, etc.) (FAO,2020).

En el municipio predomina el Regosol, Feozem, Litosol y Cambisol (ver Figura 26). De acuerdo con la FAO (2008), estos se definen como:

- Regosoles: Forman un grupo que contiene todos los suelos que no pudieron acomodarse en alguno de los otros Grupo de Suelos de Referencia. Son suelos minerales muy débiles, desarrollados en materiales no consolidados, no son muy someros, ni muy ricos en gravas, arenosos o con materiales flúvicos. Están extendidos en tierras erosionadas, particularmente en áreas áridas y semiáridas y en terrenos montañosos.
- Feozem o Phaeozems: Son suelos de pastizales relativamente húmedos y regiones forestales en clima moderadamente continental. Suelos oscuros, rico en materia orgánica. Los Phaeozems pueden o no tener carbonatos secundarios, pero tienen alta saturación con bases en el metro superior del suelo.
- Litosoles: Son suelos muy someros sobre roca continua y suelos extremadamente gravillosos y/o pedregosos, son comunes en regiones montañosas.
- Cambisoles: Son suelos con por lo menos un principio de diferenciación de horizontes en el subsuelo evidentes por cambios en la estructura, color, contenido de arcilla o contenido de carbonato.

En menor grado también se cuenta con Fluvisoles, los cuales son suelos desarrollados en depósitos aluviales y Solonchak, que son suelos con alta concentración de sales solubles en algún momento del año.



**Figura 26. Mapa edafológico del municipio. Elaborado con información de la carta edafológica 1:50,000, INEGI 1971.**

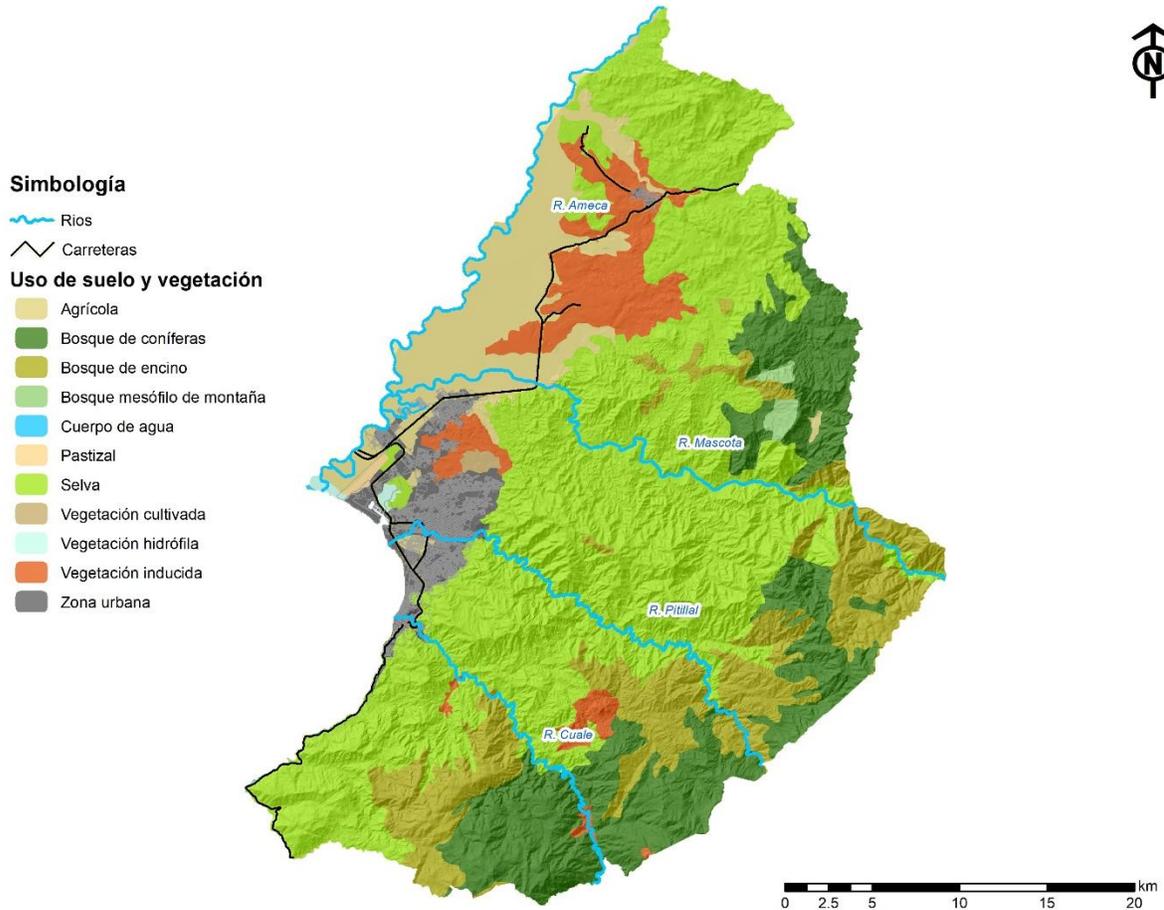
### Uso de suelo y vegetación

Para la descripción de uso de suelo y vegetación del municipio se utilizó la carta de uso de suelo y vegetación serie VI del INEGI, escala 1:250,000. La clasificación utilizada fue de la misma carta, la cual se realizó en el 2014 y cuenta con 15 categorías, las cuales fueron agrupadas en 11 subgrupos. La zona urbana abarca el 4.18% del territorio y la selva abarca el 48.87% del municipio, siendo uno de los ecosistemas más abundantes. En la Tabla 19 se muestra la superficie de cada subgrupo y su proporción superficial.

**Tabla 19. Superficies correspondientes a los usos de suelo y vegetación del municipio.**

Uso de suelo y vegetación	Superficie (Ha)	Proporción (%)
Agricultura	10507	9.50
Bosque Conífero	18439	16.66
Bosque encino	14659	13.25
Bosque mesófilo de montaña	479	0.43
Cuerpo de agua	48	0.04
Pastizal	149	0.13
Selva	54077	48.87
Vegetación cultivada	229	0.21
Vegetación hidrófila	248	0.22
Vegetación inducida	7189	6.50
Zona Urbana	4628	4.18
<b>Total (ha)</b>	<b>110,652</b>	

En comparación con los datos obtenidos en la tabla anterior y el mapa de uso de suelo y vegetación (Figura 27), se observa que la selva es uno de los usos de suelo más predominante en el municipio, además del bosque conífero, de encino y mesófilo de montaña, que se encuentran en las zonas de mayor altitud. Asimismo, se observa que la actividad agrícola es mayor en la zona cercana al río Ameca y la zona urbana.



**Figura 27. Mapa de uso de suelo y vegetación del municipio. Elaborado con información de la carta de uso de suelo y vegetación 1:250,000 serie VI, INEGI 2001.**

**Piezometría y permeabilidad**

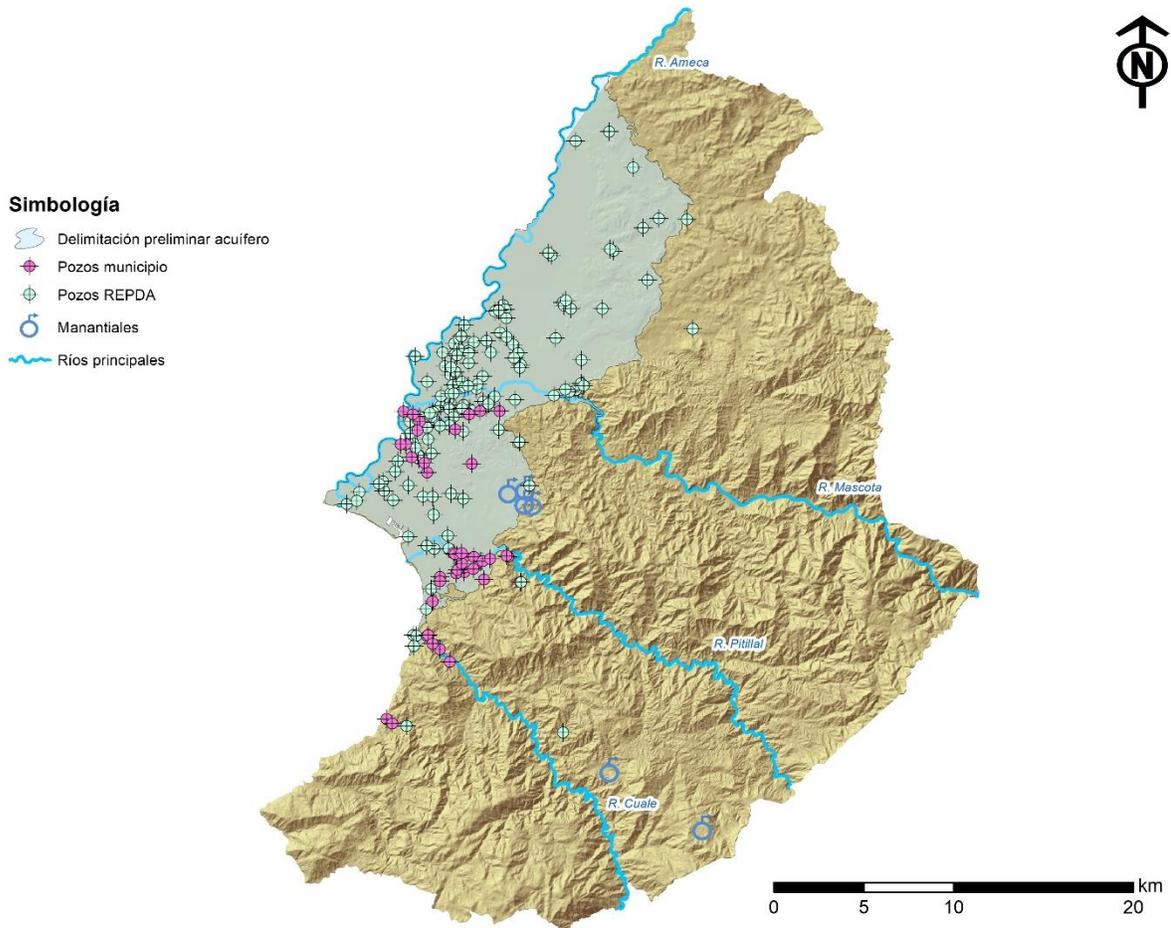
Con información de permeabilidad, niveles piezométricos y litología es posible identificar las zonas potenciales de almacenamiento de agua subterránea en el municipio. De acuerdo con la información obtenida, en el municipio se cuenta con un acuífero costero, el cual se caracteriza por tener material no consolidado con permeabilidad alta y se encuentra constituido por suelos, arenas, gravas, conglomerados y/o tobas arenosas mal compactadas que presentan alta permeabilidad y capacidad de almacenar agua debido a su porosidad y bajo grado de cementación. Las obras de explotación en este tipo de acuífero tienen un rendimiento promedio superior a 40 litros por segundo (INEGI, 2012). La litología del acuífero consta de depósitos aluviales, areniscas conglomeradas y basaltos.

El municipio cuenta con información piezométrica de 43 pozos. Se han monitoreado los niveles de agua y la calidad de esta durante varios años. Para cada sondeo se cuenta con: nombre del pozo, coordenadas geográficas, profundidad de construcción del pozo (m), título de concesión, gasto en el título de concesión, gasto real, nivel dinámico (ND), nivel estático (NE), y nivel del agua subterránea. Además de realizar periódicamente muestreos para obtener la calidad de agua de por lo menos 35 pozos, se cuenta

con información del último análisis realizado a inicios del 2020. Dicha información fue utilizada para la elaboración de cartografía.

### Delimitación preliminar del acuífero

En la Figura 28, se presenta una delimitación preliminar del acuífero realizada por el equipo de trabajo de la evaluación ambiental. Se puede observar que los pozos de extracción registrados se encuentran dentro de la delimitación preliminar. El propósito de dicha delimitación es mejorar la gestión del agua subterránea incluyendo un enfoque hidrogeológico y de esta generar la información que ayude a un mejor entendimiento del entorno hidrogeológico del municipio. Es importante puntualizar que la delimitación es preliminar puesto que el agua no respeta límites municipales. Por lo anterior, resulta importante realizar una gestión con el municipio vecino de Bahía de Banderas, para delimitar el acuífero en conjunto.



**Figura 28. Mapa de delimitación preliminar del acuífero para el municipio. Elaborado con información de la carta de aguas subterráneas 1:250,000, serie 1, INEGI 1999.**

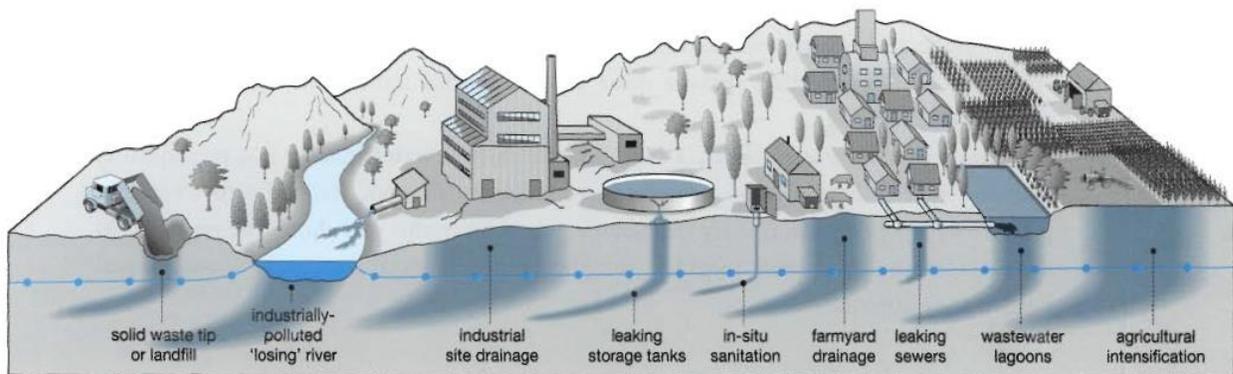
### 4.3.2. Diagnóstico

#### Vulnerabilidad a la contaminación

La mayor parte del agua subterránea se origina como exceso de lluvia que se infiltra en la superficie terrestre. En consecuencia, las actividades urbanas, industriales, agrícolas, mineras, que se realizan en la superficie, pueden amenazar la calidad del agua subterránea; la contaminación de los acuíferos ocurre cuando la carga de contaminantes subsuperficiales generada por descargas y lixiviados provenientes de actividades humanas, está poco controlada y en ciertos componentes químicos excede la capacidad natural de atenuación de suelos y estratos (Foster, et al. 2002).

Existen diversas causas para el deterioro de la calidad de agua en un acuífero. Foster, et al. (2002) clasifica los problemas de contaminación que puede tener un acuífero; (1) *contaminación del acuífero*: cuando el acuífero vulnerable no ha tenido protección contra descargas y lixiviados provenientes de actividades urbanas/industriales/agrícolas; (2) *contaminación en la boca del pozo*: cuando no se ha llevado a cabo un diseño/construcción del pozo, lo que provoca que ingrese agua superficial o agua subterránea poco profunda contaminada; (3) *contaminación por intrusión salina*: cuando un flujo de agua subterránea salina (algunas veces contaminada) se infiltra y fluye hacia el acuífero de agua dulce, como resultado de una extracción excesiva; (4) *contaminación natural*: está relacionado al cambio en la química del agua subterránea y por disolución de minerales.

Los acuíferos presentan cierta capacidad de atenuación ante los contaminantes, mediante distintos mecanismos (físicos, químicos y/o biológicos) ocurridos en el suelo, la zona no saturada y la zona saturada. La vulnerabilidad de un acuífero es inversamente proporcional a su capacidad de proteger el agua subterránea que almacena. La cartografía de vulnerabilidad ayuda a delimitar el territorio donde, si ocurriera un episodio de contaminación, podría afectar al agua subterránea (Rizo- Decelis,2007).



**Figura 29. Principales fuentes de contaminación de agua subterránea (Foster, 2002).**

#### Mapas de vulnerabilidad a la contaminación

Los mapas de vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea son herramientas fundamentales para la gestión y para llevar a cabo una planeación del territorio compatible con la preservación de este recurso. La cartografía de vulnerabilidad permite evaluar la susceptibilidad natural de los acuíferos a la contaminación de sus aguas subterráneas por cualquier tipo de sustancia o actividad contaminante. Las

medidas preventivas, frente a las paliativas, tienen gran interés para la protección de las aguas subterráneas, puesto que la descontaminación de los acuíferos es un proceso complejo, sumamente costoso y tardado (Hyman y Dupont, 2001; USEPA, 2013; Faybishenko et al., 2015; Rizo-Decelis, 2017).

Por otro lado, los mapas de vulnerabilidad se presentan como una respuesta a problemas futuros. Por ejemplo, en zonas donde los recursos hídricos son limitados; una mala gestión o una incorrecta utilización del territorio pueden ocasionar graves problemas, no sólo ambientales sino también sociales. Este escenario podría presentarse en el municipio, ocasionando problemas para el desarrollo de sus actividades turísticas, por lo cual es importante contar con estas herramientas.

### **Método DRASTIC**

Para el desarrollo del mapa de vulnerabilidad del acuífero en el municipio, se utilizó el método DRASTIC, desarrollado por Aller, et al. (1987) para la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). Se trata de un modelo empírico para evaluar la vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación. El método utiliza las siguientes 7 variables:

**D** = *Depth to water* o Profundidad del agua subterránea

**R** = (*Net*) *Recharge* o Recarga neta

**A** = *Aquifer media* o Litología del acuífero

**S** = *Soil media* o Textura del suelo

**T** = *Topography* o Pendiente

**I** = *Impact of vadose zone* o Atenuación de la zona no saturada

**C** = *Hydraulic conductivity* o Permeabilidad

Para evaluar el potencial de contaminación del agua subterránea dentro del entorno hidrogeológico, se utiliza una clasificación numérica para las variables representadas en las siglas DRASTIC (Piscopo, 2001). A cada variable se le asigna un rango de puntuación que va de 1 (mínima vulnerabilidad) a 10 (máxima vulnerabilidad) (ver Tabla 20). Asimismo, a cada variable se le asigna un peso relativo, de acuerdo con la influencia que tiene en la vulnerabilidad, donde al más significativo se le asigna un valor de 5 y al menos significativo el valor de 1. Una vez que se clasifican las capas, se multiplica cada variable por su peso, sumando al final los siete resultados, como se muestra en la siguiente ecuación, donde *r* es el rango de puntuación y *w* (*weight*) es la ponderación de las variables:

$$\text{DRASTIC} = (D_r \cdot D_w) + (R_r \cdot R_w) + (A_r \cdot A_w) + (S_r \cdot S_w) + (T_r \cdot T_w) + (I_r \cdot I_w) + (C_r \cdot C_w)$$

**Tabla 20. Rangos de puntuación de las variables del método DRASTIC (Aller et al., 1987).**

D (w = 5)	
Profundidad del agua subterránea [m]	Dr
0 – 0.15	10
1.5 – 4.6	9
4.6 – 9.1	7
9.1 – 15.2	5
15.2 – 22.9	3
22.9 – 30.5	2
>30.5	1

R (w = 4)	
Recarga neta [mm/año]	Rr
0 – 50	1
50 – 103	3
106 – 178	6
178 – 254	8
>254	9

T (w = 1)	
Pendiente [%]	Tr
0 – 2	10
2 – 6	9
6 - 12	5
12 – 18	3
>18	1

C (w = 3)	
Permeabilidad [m/día]	Cr
0.04 – 4.1	1
4.1 – 12.2	2
12.2 – 28.6	3
28.6 – 40.8	6
40.8 – 81.5	8
>81.5	10

A (w = 3)	
Litología del acuífero	Ar
Lutita	2
Metamórficas/ígneas	3
Metamórficas/ígneas más meteorizadas	4
Depósitos glaciales	5
Secuencias de areniscas, calizas y lutitas	6
Areniscas	6
Calizas	6
Arena/Grava	8
Basaltos	9
Calizas kársticas	10

I (w = 5)	
Atenuación de la zona no saturada	Ir
Capa confinante	1
Cieno – arcilla	3
Lutita	3
Caliza	6
Arenisca	6
Arena/grava con alto contenido de arcilla	6
Grava/arena	4
Metamórfica/ígnea	8
Basalto	9
Caliza kastificada	10

S (w = 2)	
Textura del suelo	Sr
Delgado/ausente	10
Gruesa	10
Media	9
Fina o compacta	7
Arenisca	6
Margas	5
Limo margoso	4
Arcilla margosa	3
Estiércol/cieno	2
Arcilla no compactada	1

Los valores obtenidos de la ecuación equivalen al nivel de vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, según las clasificaciones que se muestran en la Tabla 21.

**Tabla 21. Valores DRASTIC y clasificación de nivel de vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación.**

Valor DRASTIC	Nivel de vulnerabilidad
≤ 64	<i>Muy baja</i>
65 – 105	<i>Baja</i>
106 – 146	<i>Moderada</i>
147 – 187	<i>Alta</i>
≥ 188	<i>Muy alta</i>

### Aplicación del método DRASTIC

Para modelar la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación, se utilizó la delimitación preliminar mostrada en la sección 4.3.1 (Figura 28). Las variables de profundidad del agua subterránea (**D**), litología del acuífero (**A**), textura del suelo (**S**) y pendiente (**T**), se clasificaron según los valores indicados en la Tabla 22.

Por otro lado, la recarga neta (**R**) es una variable de naturaleza cuantitativa, que depende, fundamentalmente, de la cantidad de lluvia, de la topografía y de la capacidad de infiltración de agua a través del suelo. No obstante, también depende de otras variables más cualitativas (e.g. litología, tipo y textura de la capa edáfica, usos del suelo y presencia de vegetación, etc.) (Rizo-Decelis, 2007). Aller, et al. (1987) aclararon que los rangos de puntuación establecidos para dicha variable son intencionadamente amplios. La recarga neta representa la cantidad de agua que penetra la superficie del suelo y llega al nivel freático. Esta agua, puede transportar un contaminante verticalmente al nivel del agua y horizontalmente dentro del acuífero. Además, controla el volumen de agua disponible para la dispersión y dilución del contaminante en las zonas vadosa y saturada. En general, cuanto mayor es la recarga, mayor es el potencial de contaminación de las aguas subterráneas (Piscopo, 2001). Piscopo (2001), propuso la siguiente ecuación para el cálculo de la recarga neta, la cual utiliza las variables de pendiente, permeabilidad del suelo y precipitación:

$$\text{Recarga neta} = \text{pendiente [\%]} + \text{precipitación} + \text{permeabilidad del suelo}$$

**Tabla 22. Valores para determinar la recarga neta (Piscopo, 2001).**

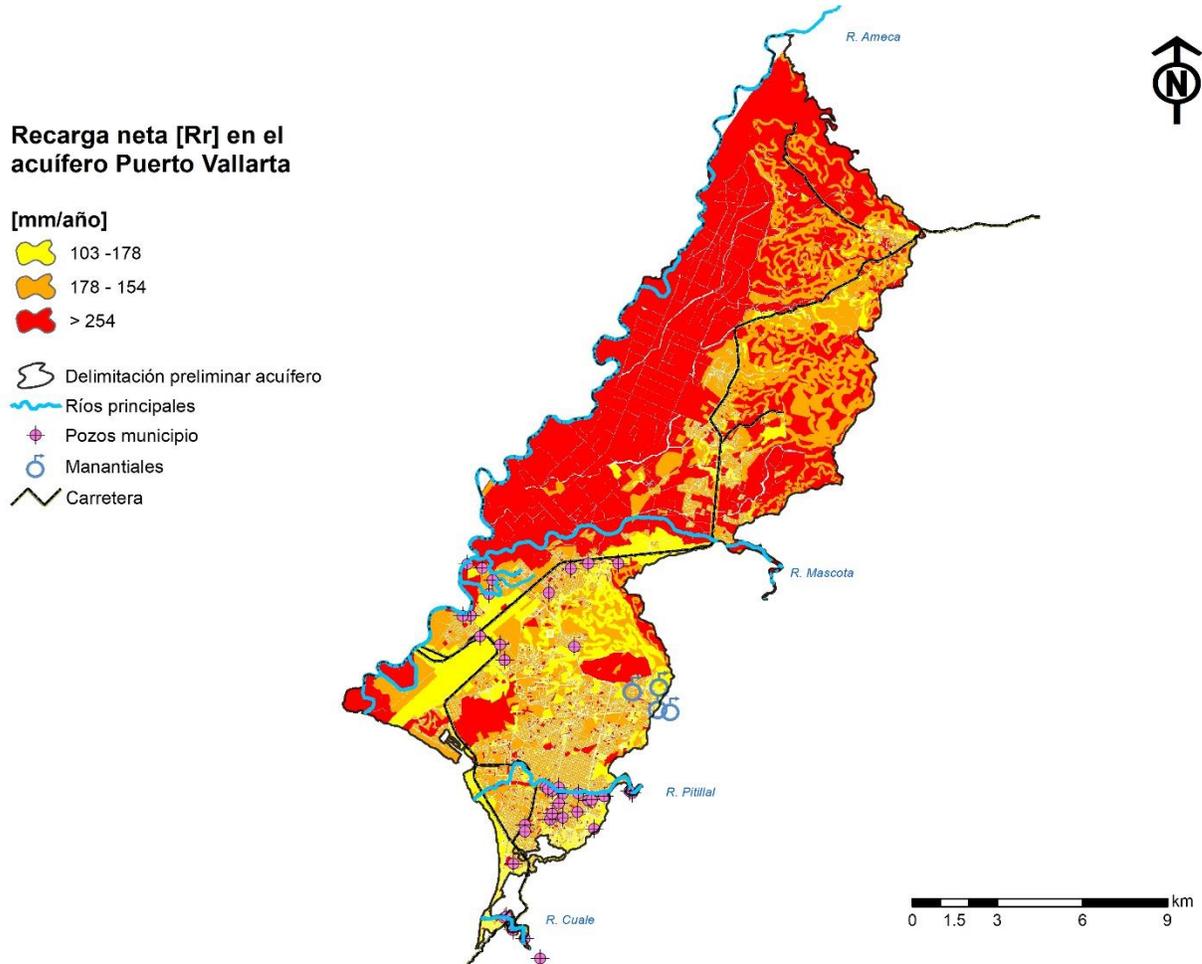
Pendiente [%]	Fs	Precipitación [mm/año]	Fp	Permeabilidad	Fsp
< 2	4	> 850	4	Alta	5
2 - 10	3	700 - 850	3	Moderada - Alta	4
10 - 33	2	500 - 700	2	Moderada	3
> 33	1	< 500	1	Lenta	2
				Muy Lenta	1

**Tabla 23. Valores de recarga neta y equivalente para método DRASTIC (Piscopo, 2001).**

Rr	Valor	Recarga neta [mm/año]
11 - 13	9	≥ 254
9 - 11	8	178 - 254
7 - 9	6	103 - 178
5 - 7	3	50 - 103
3 - 5	1	< 50

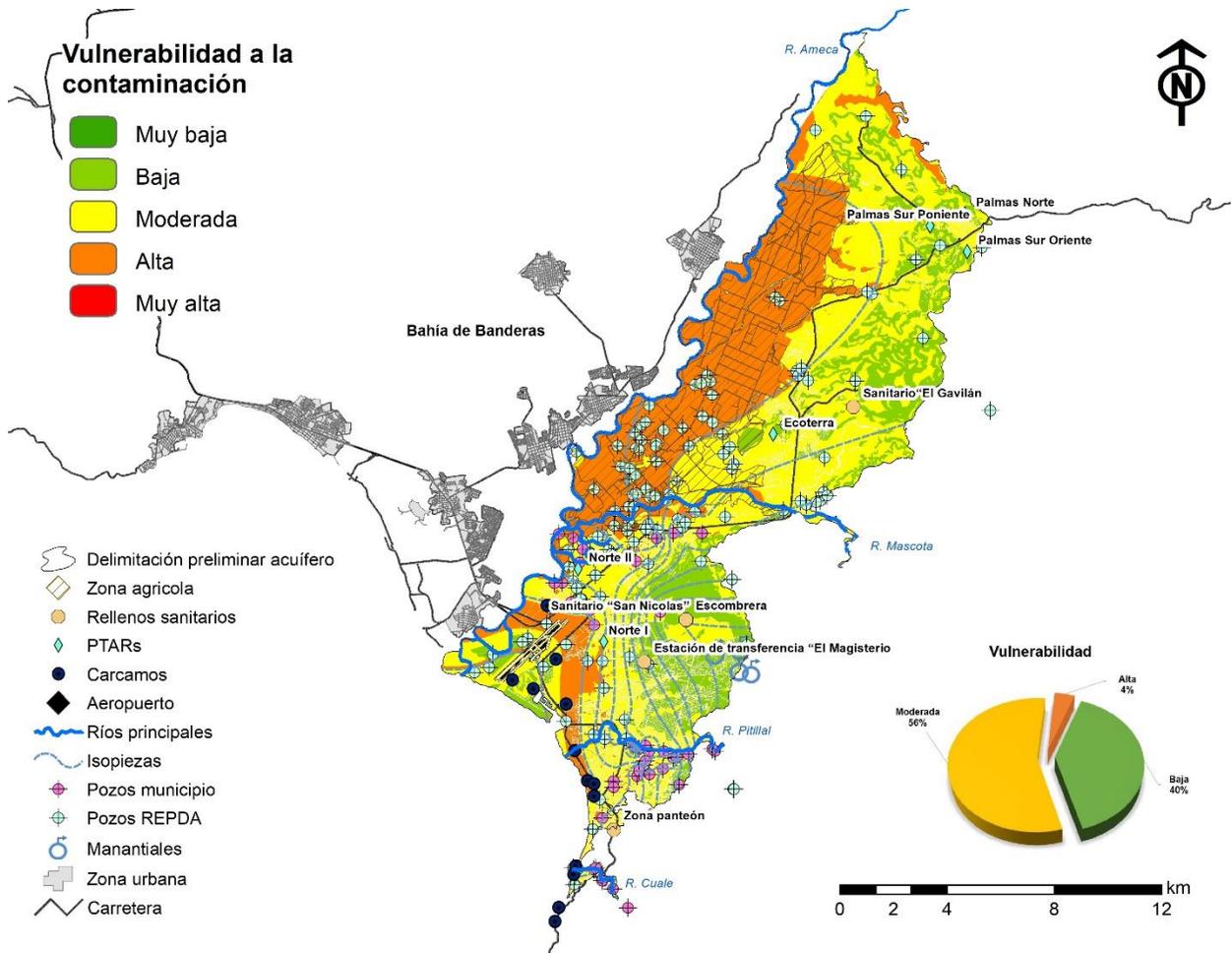
A continuación, se muestran las coberturas generadas a partir de los valores de la Tabla 22 y 23 para la cobertura de recarga neta (Figura 30). La cobertura de pendiente se clasifica en un rango de 1 a 4, donde 1 representa porcentajes mayores al 33% de pendiente y 4 representa porcentajes menores al 2%. Este último valor abarca la mayor parte del territorio, debido a que la zona se encuentra en la parte más baja del terreno. La capa de precipitación tiene un valor de 4, ya que la precipitación promedio anual es de

1320 mm/año, es decir, mayor a 850 mm/año (ver Tabla 22). Para la cobertura de permeabilidad, se utilizaron los datos de textura de suelo y de uso de suelo y vegetación. A cada uso de suelo se le dio un valor de acuerdo con el criterio de permeabilidad de la Tabla 22. El mapa de recarga neta resultante se muestra en la Figura 30. Se puede observar que en la mayor parte del territorio se cuenta con valores mayores a 254 mm/año de recarga de agua subterránea. Asimismo, se observa que dicha zona coincide en gran parte a zonas agrícolas y/o que aún no se han urbanizado.



**Figura 30. Mapa de recarga neta elaborado con el método de Piscopo (2001).**

Por último, para la variable atenuación de la zona no saturada (I), se utilizó la capa de uso de suelo y litología con el fin de obtener resultados más precisos. Una vez comparada la información se asignaron valores de acuerdo con la Tabla 20. Para la variable de permeabilidad (C) se utilizó información geológica y datos de las unidades hidrogeológicas obtenida de la carta de agua subterránea del INEGI (1999) y se asignaron los valores de acuerdo con la Tabla 22. Una vez clasificadas las capas, se aplicó la ecuación DRASTIC y se obtuvo el mapa de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero (ver Figura 31).



**Figura 31. Mapa de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero del municipio desarrollado con el método DRASTIC.**

Como se observa en la Figura 31, solo el 4% del acuífero cuenta con una vulnerabilidad alta. Dentro de esta área se desarrollan actividades agrícolas y existen algunas zonas urbanas. Asimismo, un porcentaje alto de pozos de extracción se encuentra dentro de la zona agrícola. Por otro lado, el 56% cuenta con una vulnerabilidad moderada. En esta área se encuentran tres rellenos sanitarios, y cuatro plantas de tratamiento de agua residual (PTAR). Por último, el 40% del acuífero cuenta con una vulnerabilidad baja.

Esta información nos ayuda a entender el entorno en el cual se encuentra el acuífero y las posibles causas de su contaminación. Como se mencionó anteriormente, existen distintos tipos de contaminación hacia un acuífero. Dentro de las zonas agrícolas se utilizan varios fertilizantes y pesticidas, que pueden contaminar el acuífero. De acuerdo con Foster, et al. (2002) los contaminantes que se pueden encontrar por agricultura son nitratos, amonio, pesticidas y materia fecal. Asimismo, los rellenos sanitarios pueden contribuir a su contaminación, debido a la infiltración potencial de lixiviados derivados de un mal manejo. Los rellenos sanitarios o basureros pueden contaminar el acuífero con amonio, salinidad, hidrocarburos halogenados y metales pesados.

### **4.3.3. Pronóstico**

Las actividades que se llevan a cabo dentro de la zona urbana (e.g. turismo, agricultura, desarrollos habitacionales, entre otras) utilizan agua subterránea para su abastecimiento por medio de pozos de extracción. Con el paso de los años, el aumento de la población y de desarrollos habitacionales dentro del municipio, han provocado un aumento en la extracción de agua subterránea. Sin embargo, de acuerdo con el PMDU, el agua subterránea no ha presentado problemáticas relativas a su calidad, ni a los niveles del acuífero. Como se mencionó anteriormente, la calidad de agua es analizada cada año.

Para este componente se prevé que el crecimiento de la población y el incremento del sector turístico generen una mayor demanda hídrica. Asimismo, de acuerdo con el PMCC, se prevén efectos del cambio climático tales como años con altas temperaturas y de poca precipitación (Pleno del Ayuntamiento Constitucional, 2020). Esto podría provocar una disminución de la recarga del acuífero y un aumento del riesgo de escasez del recurso hídrico. Así mismo, se prevé que el incremento de la temperatura genere un incremento en el consumo de agua, lo que aumentaría la presión en los sistemas de suministro (Pleno del Ayuntamiento Constitucional, 2020).



# Biodiversidad

## 4.4. Biodiversidad

### 4.4.1. Caracterización

Los cambios de uso de suelo y vegetación en la superficie de un territorio se deben frecuentemente a la dinámica de crecimiento económico y poblacional. El PMDU tiene como objetivo principal conseguir una ciudad más funcional y conservar los terrenos que aún son agrícolas o con superficies de vegetación natural.

Para entender la importancia del objetivo del PMDU es necesario conocer la dinámica del cambio de uso de suelo y vegetación de los últimos 35 años. Lo anterior puede ser analizado utilizando información oficial del INEGI relativa a las coberturas geográficas que datan de 1985 en la serie I hasta la serie VI. Estas permitirán observar de forma gráfica y numérica el crecimiento urbano del municipio y la disminución en otras coberturas de uso de suelo y vegetación.

La Tabla 2 mostrada en la sección 3.5 fue utilizada para describir las coberturas de cambio de uso de suelo y vegetación de los seis tipos de series. Esta información será de utilidad para generar los modelos de distribución potencial para la flora y fauna del municipio y facilitar un mayor rango de observación. Dicha tabla muestra la manera en la que las diferentes series del INEGI fueron evolucionando en la clasificación de sus coberturas de vegetación hasta llegar a una clasificación más condensada u homogénea en la serie 6. Es importante mencionar que esta cobertura cuenta con una escala de 1:250,000 y por lo tanto son útiles para entender cambios a gran escala del crecimiento de la zona urbana y del municipio. Se aprecia que el uso de suelo urbano en 1985 representaba el 0.11% de la superficie total del municipio, mientras que para 2011 representaba el 4.19%. Este cambio, comparado con el resto del municipio, pudiera parecer poco significativo, pero es un evidente crecimiento a lo largo de los años. Partiendo del comportamiento de crecimiento de los últimos 35 años, se puede estimar que para el 2030 se tendría una superficie total urbana del 5.18%, para el 2040 del 6.15% y para el 2050 de 6.81%.

En la Tabla 2 aparecen cambios en la cobertura del 2016 que pudieran ser números o valores fuera de rango o proporción, lo que pudo haber sido ocasionado por las herramientas tecnológicas con las que anteriormente se medían los usos de suelo y vegetación respecto a los actuales. A pesar de ello las seis series de coberturas permiten analizar patrones de comportamiento que evidencian la realidad y tendencia del municipio.

### 4.4.2. Diagnóstico

El PMDU busca formar una ciudad que aproveche los espacios ya impactados por el crecimiento urbano e incrementar la densidad poblacional en los sitios que cuentan con infraestructura y servicios, por lo que es importante analizar espacialmente los cambios territoriales e identificar los sitios en los que se han presentado las condiciones favorables para el crecimiento de la ciudad. La Figura 32 muestra una zona de transición urbana al norte del municipio, contigua a un terreno de selva conservado y a una zona agrícola. La fotografía representa un ejemplo de los cambios de uso de suelo que se dan en sitios que se encuentran lejos de la zona urbana y el área costera.



**Figura 32. Fraccionamiento Ecoterra en la parte norte del municipio. Fotografía tomada en octubre 2020.**

En 1985 la dinámica urbana giraba en torno a lo que hoy se conoce como la zona del malecón, la cual se encontraba rodeada por terrenos agrícolas y vegetación secundaria. En cambio, en 2007, la zona urbana ya se encontraba delimitada por un suelo de selva conservada. Estos cambios de ampliación de la zona urbana se han dado hacia terrenos agrícolas y pecuarios, principalmente donde la baja pendiente ha facilitado la construcción de edificaciones (ver Figuras 33, 34 y 35).



**Figura 33. Traza urbana de la ciudad limitada por pendiente y vegetación. Fotografía tomada en octubre 2020.**



**Figura 34. Traza urbana de la ciudad limitada por pendiente y vegetación. Fotografía tomada en octubre 2020.**



**Figura 35. Traza urbana de la ciudad limitada por pendiente y vegetación. Fotografía tomada en octubre 2020.**

La Figuras 33, 34 y 35 permiten observar la unión de la traza urbana con la vegetación natural de montaña, donde la pendiente representa una limitante natural al crecimiento urbano. Sin embargo, en otras zonas del municipio donde la visibilidad del océano es apreciada por los turistas, se han logrado establecer algunos desarrollos en zonas altas y complejas de construcción (ver Figuras 36 y 37).



**Figura 36. Edificios y casas en pendientes pronunciadas y en vegetación conservada. Fotografía tomada en octubre 2020.**



**Figura 37. Edificios y casas en pendientes pronunciadas y en vegetación conservada. Fotografía tomada en octubre 2020.**

Un aspecto muy característico de las series de uso de suelo y vegetación del INEGI es que la superficie agrícola se ha mantenido relativamente homogénea sobre el territorio en las zonas de baja pendiente y cercanas al río Ameca, mientras que la parte alta del municipio no ha presentado cambios importantes de uso de suelo. Esto permite concebir tres grandes áreas dentro del municipio, la zona urbana, la zona agrícola y la zona forestal, sin que existan otras coberturas sobresalientes como la pecuaria, industrial o

alguna otra comparable en extensión. En la Figura 38, se muestra el valle agrícola del municipio en la zona norte.



**Figura 38. Valle agrícola del municipio en la zona norte. Fotografía tomada en octubre 2020.**

#### **4.4.3. Pronóstico**

Existen diversos impactos ambientales asociados con los cambios de uso de suelo, entre los que destacan la disminución del nicho ecológico de las especies de flora y fauna, la disminución en la infiltración de agua subterránea y los efectos de borde y barrera, entre otros. En esta evaluación ambiental se abordaron diferentes componentes ambientales que en cierta medida se relacionan con el cambio de uso de suelo.

##### **Impacto ambiental por el efecto barrera y borde**

La infraestructura de transporte, la construcción de zonas urbanas y la agricultura son algunos de los impactos antropogénicos que más han modificado al planeta y que más capacidad tienen de seguir haciéndolo en las próximas décadas (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019). En forma simplificada, es la ruptura o barrera entre la vegetación natural y un ecosistema rodeado de actividad humana como la urbanización o la construcción de vías de comunicación.

Cada uno de los bordes o barreras presenta diferentes impactos dependiendo de la actividad y el ecosistema. El crecimiento urbano contiguo a un bosque de encino difiere al crecimiento urbano contiguo a una selva baja o selva mediana caducifolia. De manera similar, el crecimiento urbano a áreas rurales difiere al crecimiento urbano por densificación. Los impactos de ruido e iluminación hacia la fauna difieren en cada situación. La Figura 39 permite apreciar el efecto de la luminosidad de una ciudad.



**Figura 39. Ejemplo de contaminación lumínica.**

Estos impactos están asociados al crecimiento urbano y afectan principalmente a la fauna e insectos que a su vez forma parte de la diversidad de las comunidades de vegetación. En la Figura 40 se aprecia una plantación agrícola alrededor de una selva, donde resalta el cambio abrupto de los tipos de vegetación.



**Figura 40. Ejemplo de efecto borde en el sector agrícola.**

Afortunadamente, para el contexto del municipio, el crecimiento de la frontera agrícola y urbana se ha llevado de manera paulatina, funcionando la pendiente como un freno al crecimiento urbano. En la Figura 41, tomada en la parte norte del municipio, se aprecia un terreno agrícola con una plantación de árboles relativamente nueva, así como algunos terrenos desmontados y terrenos con vegetación forestal. Este paisaje es común en la zona norte del municipio donde se une el valle agrícola con la montaña.



**Figura 41. Ubicación de terrenos agrícolas alrededor de terrenos forestales. Fotografía tomada en octubre 2020.**

Afortunadamente para el municipio de Puerto Vallarta existen dos zonas marcadas de transición urbana que coinciden con dos elementos naturales que sirven como impedimento para el crecimiento urbano: el cambio repentino de la topografía alrededor de la ciudad y el valle agrícola. Ambos elementos han limitado el crecimiento urbano; el valle agrícola por la lejanía hacia las fuentes de trabajo y la topografía por los cambios y pendientes pronunciadas.

La geografía del municipio representa un nicho ecológico para grupos de fauna que han logrado adaptarse a los cambios del uso de suelo y al crecimiento de la ciudad, a tal grado que siguen siendo frecuente los avistamientos de fauna en la ciudad y áreas verdes del municipio.

La Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente realiza rescates de fauna reportada por la población. En las Tablas 24, 25 y 26 se muestran las especies más reportadas por la ciudadanía para su retiro de parques, casas, patios y calles. Se muestran registros de 19 especies de reptiles, 7 especies de mamíferos y 14 especies de aves. Dichos registros pueden considerarse evidencia de la conexión importante que aún existe entre las comunidades de vegetación y el ecosistema costero donde se ubica el municipio.

**Tabla 24. Especies de reptiles rescatados por la Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente.**

Reptiles	
Nombre común	Nombre científico
Cocodrilo	<i>Crocodylus acutus</i>
Iguana	<i>Iguana iguana</i>
Garrobo	<i>Ctenosaura pectinata</i>
Tortuga orejas amarillas	<i>Trachemys ornata</i>
Tortuga de orejas rojas	<i>Trachemys elegans</i>
Tortuga prieta	<i>Chelonia mydas</i>

Reptiles	
Nombre común	Nombre científico
Culebra nocturna	<i>Hypsiglena torquata</i>
Cascabel	<i>Crotalus basiliscus</i>
Chirriónera	<i>Masticophis mentovarius</i>
Boa	<i>Boa sigma</i>
Serpiente ojo de gato	<i>Leptodeira maculata</i>
Serpiente escombrera	<i>Leptodeira annulata</i>
Serpiente Ratonera	<i>Senticolis triaspis</i>
Bejuquillo verde	<i>Leptophis diplotropis</i>
Bejuquillo café	<i>Oxybelis aeneus</i>
Coralillo real	<i>Micrurus proximans</i>
Serpiente tilcuete	<i>Drymarchon corais</i>
Falsa coralillo	<i>Lampropeltis triangulum</i>
Falsa nauyaca	<i>Trimorphodon tau</i>

Tabla 25. Especies de mamíferos rescatados por la Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente.

Mamíferos	
Nombre común	Nombre científico
Ocelote	<i>Leopardus pardalis</i>
Nutria	<i>Lontra longicaudis</i>
Mapache	<i>Procyon lotor</i>
Tlacuache	<i>Didelphis virginiana</i>
Murciélago	<i>Artibeus lituratus</i>
Ardilla	<i>Sciurus colliaei</i>
Armadillo	<i>Dasyus novemcinctus</i>

Tabla 26. Especies de aves rescatados por la Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente.

Aves	
Nombre común	Nombre científico
Águila pescadora	<i>Pandion haliaetus</i>
Gavilán	<i>Accipiter striatus</i>
Lechuza	<i>Strix occidentalis lucida</i>
Búho	<i>Ciccaba virgata</i>
Tecolote serrano	<i>Glaucidium gnoma</i>
Chachalacas	<i>Ortalis wagleri</i>
Carpintero	<i>Dryobates scalaris</i>
Tapacaminos	<i>Nyctidromus albicollis</i>
Pichón	<i>Columba livia</i>
Pichichin	<i>Dendrocygna autumnalis</i>
Gaviota	<i>Larus californicus</i>

<b>Aves</b>	
<b>Nombre común</b>	<b>Nombre científico</b>
Pájaro bobo	<i>Sula leucogaster</i>
Fragata	<i>Fregata magnificens</i>
Pelicano	<i>Pelecanus occidentalis</i>

A pesar de que la Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente cuenta con personal calificado para atender cada caso, la presencia de fauna representa un constante reto. Especies de gran tamaño como el jaguar y el cocodrilo pueden poner en peligro a los habitantes. Por ejemplo, el 16 de abril de 2020 se informó en el canal 44 de la UdeG que un jaguar había sido visto en un fraccionamiento residencial. En este sentido, resulta importante que los desarrollos habitacionales más cercanos a las comunidades de vegetación forestal cuenten con medidas específicas para disminuir su impacto ambiental y protocolos para atender este tipo de situaciones.

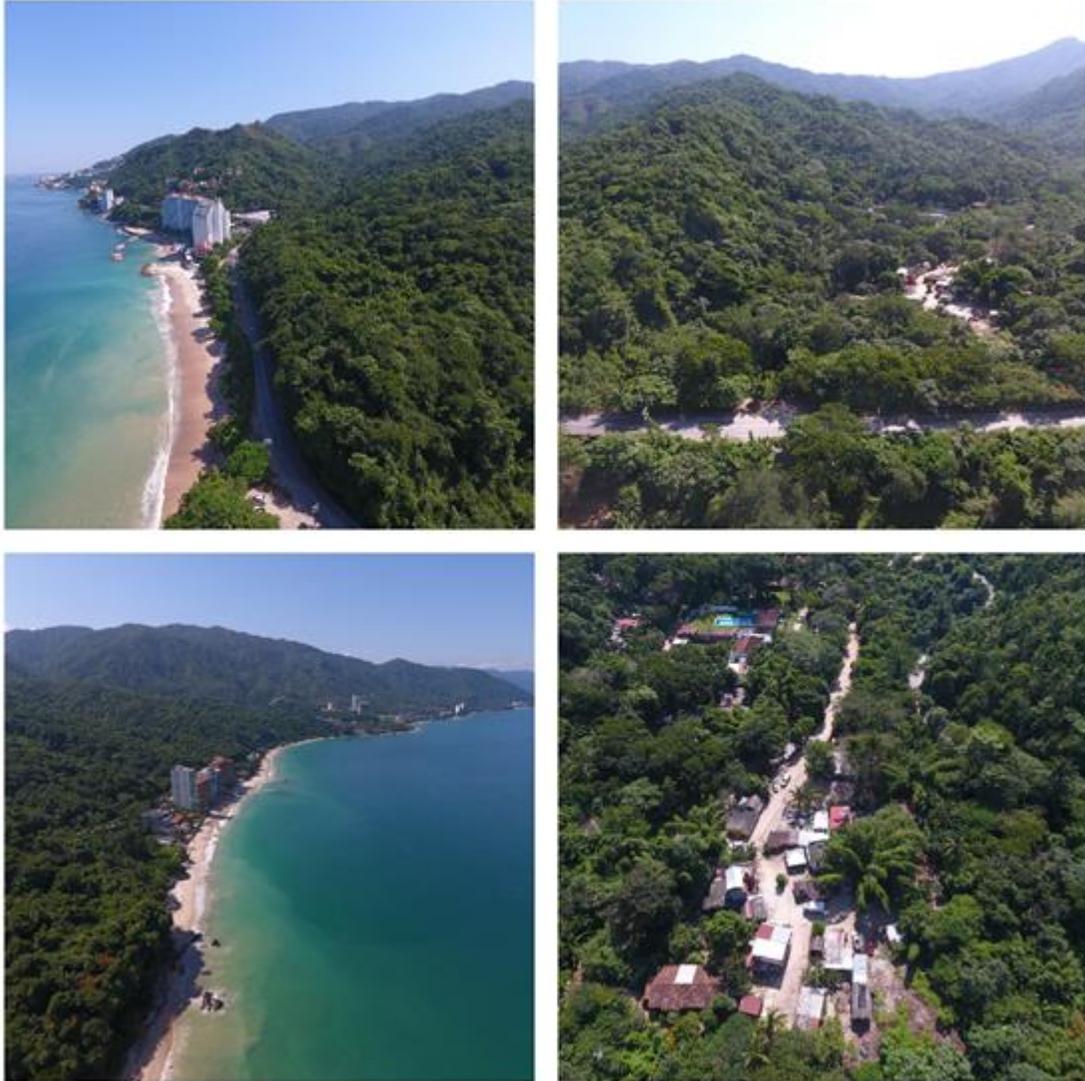
## 4.5. Calidad paisajística

### 4.5.1. Caracterización

En este reporte se entiende por paisaje cualquier parte del territorio en relación con la percepción visual humana, cuyo carácter es el resultado de la acción y la interacción de factores naturales y/o humanos. El artículo 1 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, busca garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano para su desarrollo, salud y bienestar; por medio de la restauración, preservación y mejoramiento de este. El paisaje es un patrimonio común de todos los ciudadanos y es un elemento fundamental para la calidad de vida, por lo que su protección y gestión debe ser adecuada y activa. Forma parte importante de la identidad del territorio, se caracteriza por la integración conjunta de elementos físicos y sociales, siendo el reflejo de la huella humana sobre el medio.

De acuerdo con el PMDU, la actividad económica más importante del municipio es el turismo. Puerto Vallarta ofrece un paisaje natural singular donde se unen dos tipos de ecosistema, el marino y terrestre. Dos Santos (2011) afirma que existe una fuerte relación entre el paisaje y el turismo, pues la percepción que se tiene del paisaje por la industria turística es de un gran valor y atractivo para su crecimiento. Sin embargo, el turismo, como motor de crecimiento económico suele transformar de manera acelerada el paisaje natural al estar utilizando nuevas zonas para la inversión de infraestructura y mantener en pie el funcionamiento de bienes y servicios (Aguilar et al., 2015). Debido a lo anterior resulta de gran importancia proteger y gestionar el paisaje adecuadamente para que la actividad turística no se vea perjudicada.

El municipio cuenta con un centro histórico, así como una zona urbana que se desarrolla a lo largo de la costa y al interior del territorio hacia el norte. Existe una belleza escénica importante en la costa y en el mar. Parte de la zona urbana cercana a la costa alberga manglares, como el área natural protegida “Estero El Salado” y el “Humedal Boca Negra”. El territorio municipal también alberga dos islas denominadas Parque Nacional Marino Arcos de Mismaloya; así como una zona montañosa donde la vegetación predominante es la selva mediana subcaducifolia y en la cual se desarrollan actividades recreativas como montañismo y ecoturismo. De igual forma, dentro de la zona urbana se cuenta con parques, jardines y reservas.



**Figura 42. Paisaje marino y terrestre, Playa Mismaloya. Fotografías tomadas en octubre 2020.**



**Figura 43. Área natural protegida Estero El Salado, contigua a la zona urbana. Fotografía tomada en octubre 2020.**

#### **4.5.2. Diagnóstico**

El componente ambiental de calidad paisajística puede ser analizado mediante estudios de fragilidad paisajística. Dichos estudios permiten definir las áreas más susceptibles ante la integración de nuevos elementos en el paisaje, ya sea, edificios o cambios en el uso de suelo. De esta manera es posible expresar el grado de deterioro que el paisaje experimentaría ante la incidencia de determinadas acciones para poder evitar y/o mitigar los posibles efectos negativos (Aguiló, 2007). Por otro lado, los estudios de integración del paisaje analizan las actividades y procesos que inciden en este, con el objetivo de establecer medidas y acciones necesarias para su protección, ordenación y gestión (Borobio *et al*; 2012).

Cuando se realiza una zonificación de las áreas que presentan mayor fragilidad paisajística, se propone en estos lugares medidas correctivas o de mitigación ante la inclusión de nuevos elementos, para así impedir la degradación territorial y potenciar los valores singulares que ofrece el paisaje, pues estos reflejan la identidad del territorio. Para una adecuada integración paisajística, es importante que, en el desarrollo de obras civiles o sus alteraciones, se tenga presente el significado del concepto de paisaje. Cabe destacar que una acción se considera integrada si no afecta negativamente al carácter del lugar y no impide la posibilidad de percibir los recursos paisajísticos. Las acciones humanas no tienen que estar asociadas exclusivamente a impactos negativos sobre el paisaje (Borobio *et al*; 2012).

#### **Análisis de la fragilidad paisajística del municipio**

La calidad visual o fragilidad paisajística del municipio se analizó con base en el modelo de valoración del paisaje desarrollado por Escribano (1987). Dicho modelo contempla la valoración de cuatro tipos de fragilidad visual (FV): 1) fragilidad visual del punto, 2) fragilidad visual del entorno, 3) fragilidad visual intrínseca, y 4) fragilidad visual adquirida. Para cada tipo de fragilidad se elaboró un mapa utilizando el software ArcGIS®. A continuación, se describen las consideraciones realizadas para determinar cada tipo de fragilidad.

1. Fragilidad visual del punto

Para desarrollar la cobertura de fragilidad visual del punto, se utilizó información geográfica relativa a la pendiente del territorio (ver Figura 44). Dicha cobertura fue reclasificada del 1 al 10, con la herramienta *Reclassify*. Donde 1 indica zonas de menor pendiente y 10 zonas con la más alta pendiente.

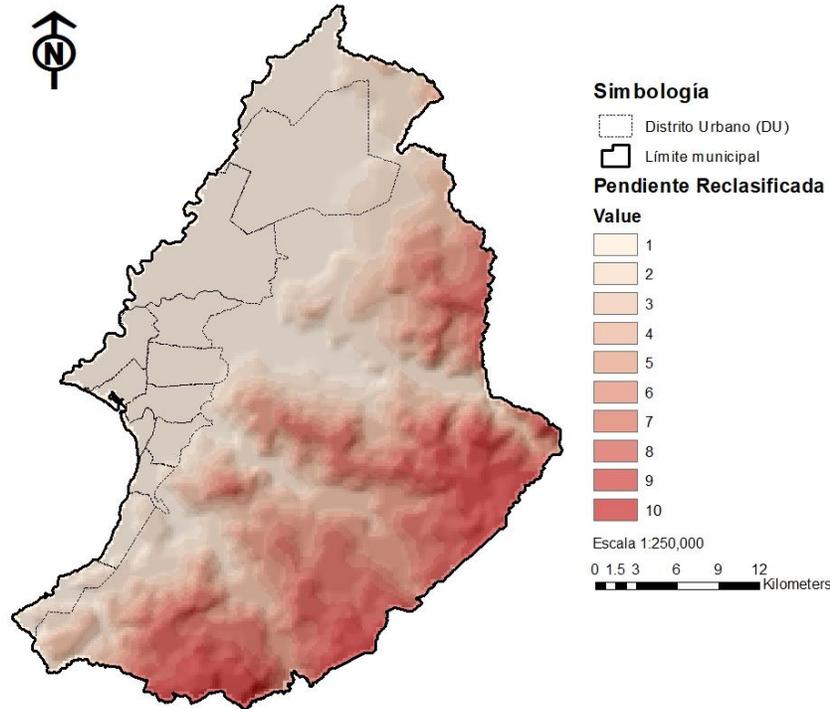


Figura 44. Cobertura de fragilidad visual del punto.

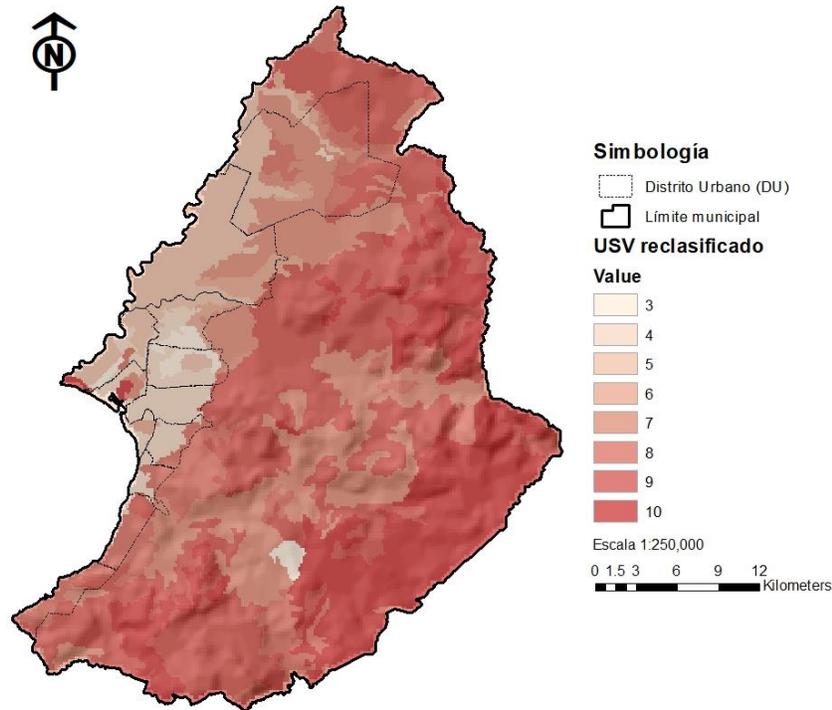
2. Fragilidad visual del entorno

Para desarrollar la cobertura de la fragilidad visual del entorno, se utilizó información geográfica relativa al uso de suelo y vegetación del municipio (ver Figura 45). Se consideró la densidad, altitud y diferencia de usos de suelo y vegetación, así como el contraste entre el uso de suelo y el tipo de vegetación. El equipo de trabajo de la evaluación ambiental asignó un valor del 1 al 10 a cada tipo de uso de suelo y vegetación, donde el 1 indica menor fragilidad visual y el 10 mayor fragilidad visual (ver Tabla 27).

Tabla 27. Fragilidad visual por tipo de uso de suelo y vegetación.

Abreviatura	Uso de suelo y vegetación	Fragilidad visual
AH	Urbano construido	4
BM	Bosque mesófilo de montaña	10
BP	Bosque de pino	10
BPQ	Bosque de pino-encino	10
BQ	Bosque de encino	10
BQP	Bosque de encino-pino	10
PC	Pastizal cultivado	5
PH	Pastizal halófilo	3

Abreviatura	Uso de suelo y vegetación	Fragilidad visual
PI	Pastizal inducido	3
RA	Agricultura de riego de ciclo anual	5
RAP	Agricultura de riego de ciclo anual permanente	6
SBC	Selva baja caducifolia	9
SMC	Selva mediana caducifolia	9
SMS	Selva mediana subcaducifolia	9
TA	Agricultura de temporal anual	6
VM	Manglar	10
Vsa/SMS	Vegetación arbustiva de selva mediana	7
VSI	Sabanoide	7
Vsa/BP	Vegetación arbustiva de bosque de pino	8
Vsa/BPQ	Vegetación arbustiva de bosque de pino-encino	9
Vsa/BQP	Vegetación arbustiva de bosque de encino-pino	9
Vsa/BQ	Vegetación arbustiva de bosque de encino	9
Vsa/SMS	Vegetación arbustiva de selva mediana subcaducifolia	8
ZU	Zona urbana	4



**Figura 45. Cobertura de fragilidad visual del entorno.**

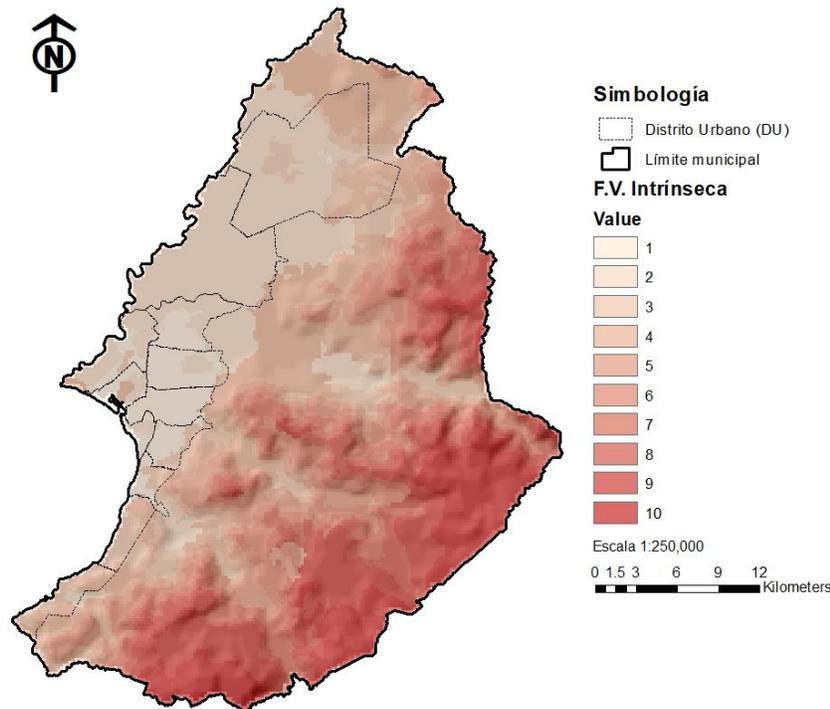
Se puede observar que las zonas con mayor fragilidad visual se encuentran en las áreas de mayor pendiente para la cobertura de fragilidad visual del punto y de fragilidad visual del entorno; en donde se localizan los tipos de uso de suelo y vegetación visualmente más apreciados como bosques, selvas y vegetación arbustiva, y en donde la infraestructura urbana es escasa.

### 3. Fragilidad visual intrínseca

Para la cobertura de fragilidad visual intrínseca (ver Figura 46) se sumaron las coberturas de fragilidad visual del punto y fragilidad visual del entorno utilizando la calculadora ráster, es decir, se combinaron los mapas reclasificados de pendiente y uso de suelo y vegetación. La combinación se realizó tomando en cuenta la siguiente operación, mediante la cual se le asignó una ponderación de 60% a la pendiente y de 40% al uso de suelo y vegetación.

$$\text{Cobertura de fragilidad visual intrínseca} = \text{Cobertura de uso de suelo y vegetación reclasificada} * 0.4 + \text{Cobertura de pendiente reclasificada} * 0.6$$

Se decidió utilizar esta ponderación debido a que la pendiente es un elemento que cuenta con mayor estabilidad a lo largo del tiempo, en comparación con el uso de suelo y vegetación, que es más susceptible a cambios.



**Figura 46. Cobertura de fragilidad visual intrínseca.**

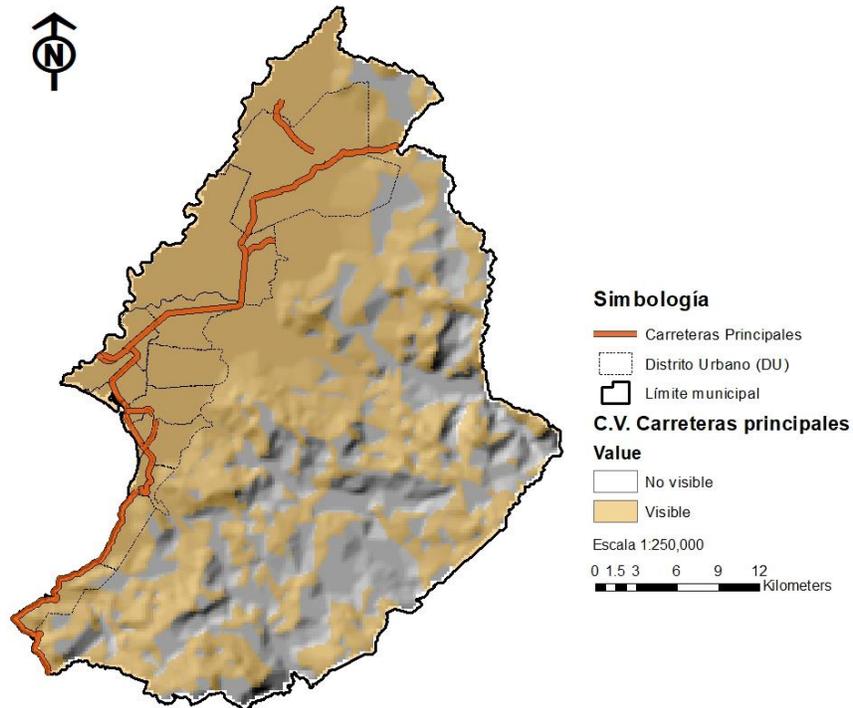
### 4. Fragilidad visual adquirida

Para la cobertura de fragilidad visual adquirida se elaboró una cobertura adicional relativa a la accesibilidad visual, con base en las cuencas visuales de 12 puntos altamente concurridos en el municipio (ver Tabla 28). Para cada punto se desarrolló una cuenca visual con la herramienta *Viewshed*, mediante la cual se determinaron las zonas visibles y no visibles de cada punto en función de la pendiente. En la Figura 47 se muestra como ejemplo la cobertura de la cuenca visual relativa a las carreteras principales. Una vez desarrolladas las cuencas visuales para cada uno de los puntos, se utilizó la calculadora ráster para

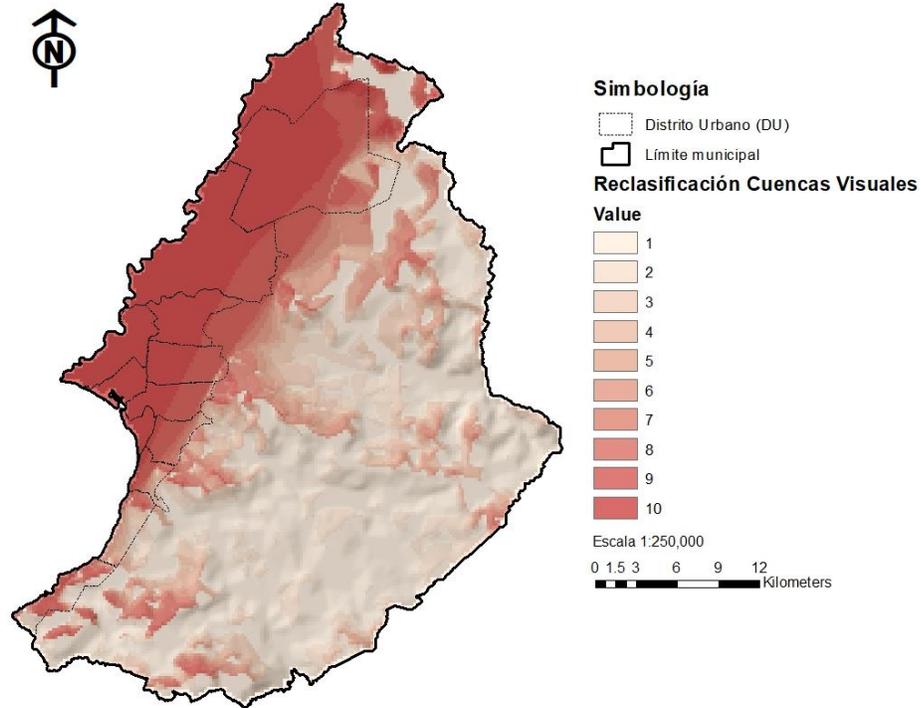
combinar las coberturas de cuenca visual de cada punto, tomando en cuenta las ponderaciones mostradas de la Tabla 28. Estas se asignaron a partir de la apreciación visual en función de la ubicación y la concurrencia del punto. De esta manera se obtuvo la cobertura de accesibilidad visual mostrada en la Figura 48. Se puede observar que la visibilidad es mayor en la zona urbana, pues ahí es donde se concentra el mayor número de personas.

**Tabla 28. Puntos altamente concurridos en el municipio.**

Punto	Ponderación
1. Carreteras principales	0.300
2. El Malecón	0.100
3. Mirador Cruz del Cerro	0.100
4. Estero El Salado	0.100
5. Mirador El Faro de Matamoros	0.100
6. Marina Vallarta	0.043
7. Olas Altas	0.043
8. Los Arcos de Mismaloya	0.043
9. Muelle de Playa Los Muertos	0.043
10. Isla del río Cuale	0.043
11. Playa Mismaloya	0.043
12. Boca de Tomatlán	0.043



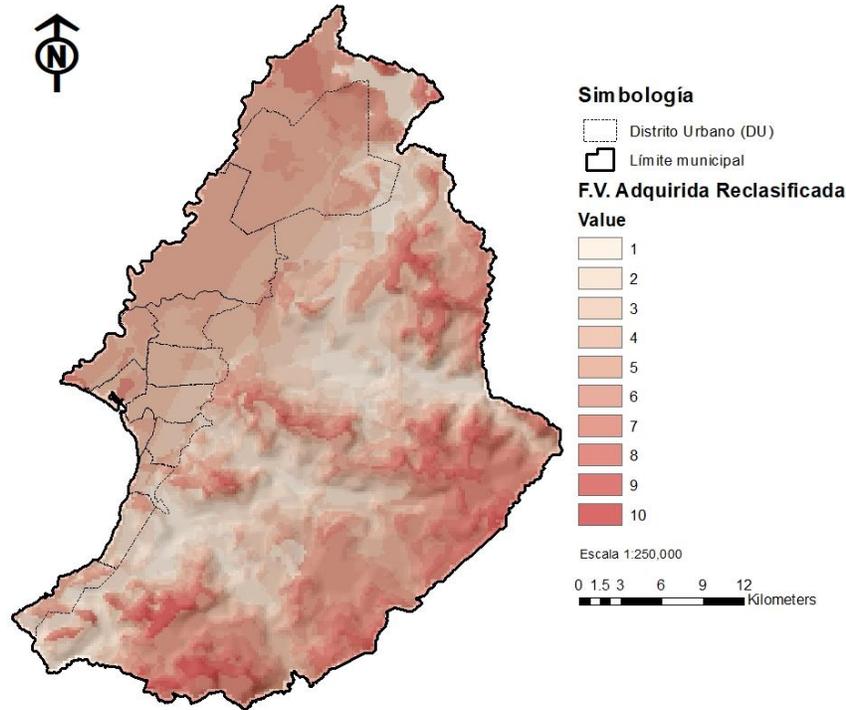
**Figura 47. Cobertura de cuenca visual relativa a las carreteras principales.**



**Figura 48. Cobertura de accesibilidad visual.**

Por último, para desarrollar la cobertura de fragilidad visual adquirida se combinaron las coberturas de accesibilidad y fragilidad visual intrínseca. Las ponderaciones asignadas a cada una de estas dos coberturas fueron del 40% para la accesibilidad visual y del 60% para la fragilidad visual intrínseca, esto debido a que la fragilidad visual intrínseca contiene una mayor cantidad de elementos que la accesibilidad visual. Asimismo, se utilizó la lógica con la que se calculó la capa de la fragilidad visual intrínseca.

En la Figura 49, se observa que la mayor fragilidad visual se encuentra en las pendientes pronunciadas, esto debido a que en dichas zonas se cuenta con tipos de uso de suelo y vegetación de mayor valoración. La modificación del paisaje en esos sitios cambiaría por completo la percepción original que se tiene del paisaje debido a su dominancia visual y contraste, en especial para las personas que transiten por las carreteras.



**Figura 49. Cobertura de fragilidad visual adquirida.**

**Análisis de la fragilidad paisajística de los distritos urbanos**

Para analizar la fragilidad paisajística de los distritos urbanos se clasificó el tipo de fragilidad visual adquirida según los valores mostrados en la Tabla 29. En la Tabla 30 se muestran los aspectos representativos de cada paisaje según el tipo de fragilidad visual.

**Tabla 29. Clasificación del tipo de fragilidad visual adquirida según sus valores.**

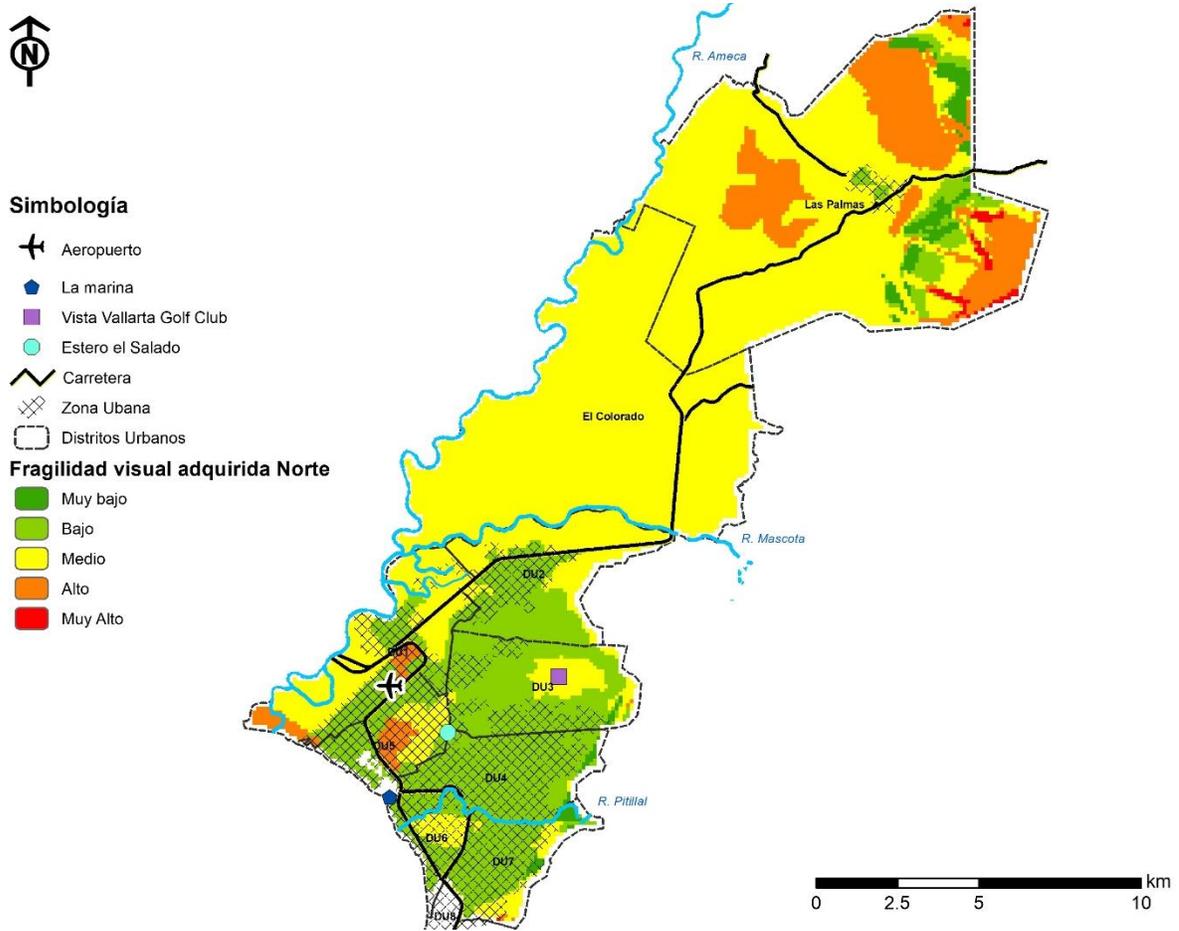
Tipo de fragilidad visual	Valores
Muy baja	1-2
Baja	3-4
Media	5-6
Alta	7-8
Muy alta	9-10

**Tabla 30. Aspectos representativos del paisaje según el tipo de fragilidad visual (Huss et al., 2012).**

Tipo de fragilidad visual	Aspectos representativos del paisaje
<b>Muy alto</b>	Estructura del paisaje nítida; sustrato paisajístico con una organización apropiada de usos en el territorio.
	Recursos paisajísticos/ rasgos distintivos, merecedores de protección.
	Paisaje que conforma un referente visual en el territorio o que está muy expuesto visualmente.
	Paisaje muy singular o representativo del territorio, o con presencia de alta calidad visual.

Tipo de fragilidad visual	Aspectos representativos del paisaje
	Paisaje de importancia clave en el mosaico territorial.
<b>Alto</b>	Estructura del paisaje reconocible; el patrón característico todavía es evidente. Cierta aspecto de integridad y coherencia en la organización de los componentes principales.
	Algunos recursos paisajísticos son merecedores de protección.
	El paisaje presenta zonas de alta exposición visual.
	Paisaje de cierta singularidad o representatividad.
	Tiene importancia dentro del mosaico territorial.
<b>Medio</b>	Estructura del paisaje distinguible; el sustrato paisajístico está con frecuencia enmascarado por los usos que se desarrollan.
	Pueden aparecer recursos paisajísticos merecedores de protección.
<b>Bajo</b>	Estructura del paisaje degradada; el paisaje muestra una organización del paisaje confusa y poco legible.
	Raramente existen recursos paisajísticos de interés especial.
<b>Muy bajo</b>	Estructura del paisaje dañada; el sustrato paisajístico está distorsionado por los usos que se desarrollan en él.
	No existen aspectos que presentan interés por la conservación.

Como se observa en la Figura 50, para los distritos urbanos DU1, DU2, DU3, DU4, DU5, DU6 y DU7 se cuenta en general con una fragilidad visual baja ya que se trata de distritos mayormente compuestos por asentamientos humanos. Se observa que parte del DU5 cuenta con una fragilidad visual alta debido a la presencia del Estero El Salado. Asimismo, en el DU1, situado en colindancia con la costa, se cuenta con una fragilidad visual de media a alta. Lo mismo ocurre en el DU-El Colorado y el DU-Las Palmas, donde se cuenta con una menor proporción de asentamientos humanos. Cabe destacar el DU-Las Palmas, por tener una cubierta de suelo más diversa como vegetación arbustiva y selva mediana subcaducifolia, por lo que cuenta con una mayor fragilidad visual.



**Figura 50. Mapa de fragilidad visual adquirida para los distritos urbanos DU1, DU2, DU3, DU4, DU5, DU6 y DU7, DU-El Colorado y DU-Las Palmas.**

En la Figura 51, se muestra el mapa de fragilidad visual adquirida para los distritos urbanos DU8, DU9 y DU10. Se observa que para los DU9 y DU10 la fragilidad visual es alta o muy alta ya que la zona urbana es escasa y se cuenta con un uso de suelo y vegetación principalmente compuesto por selva mediana subcaducifolia. Cabe destacar que en la zona de la Playa Mismaloya se cuenta con una mayor fragilidad visual, donde la integración de nuevos elementos en el paisaje tendría mayor impacto visual.

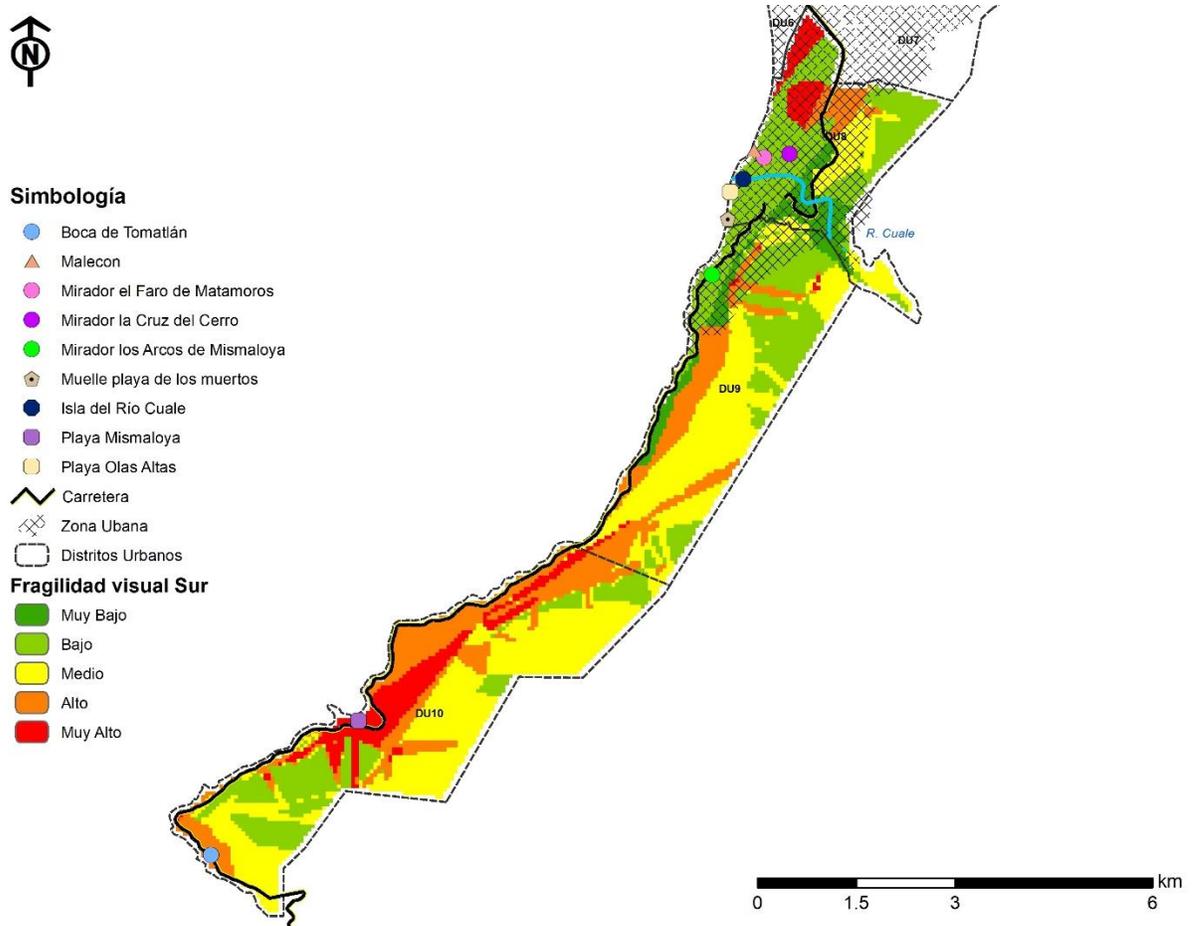
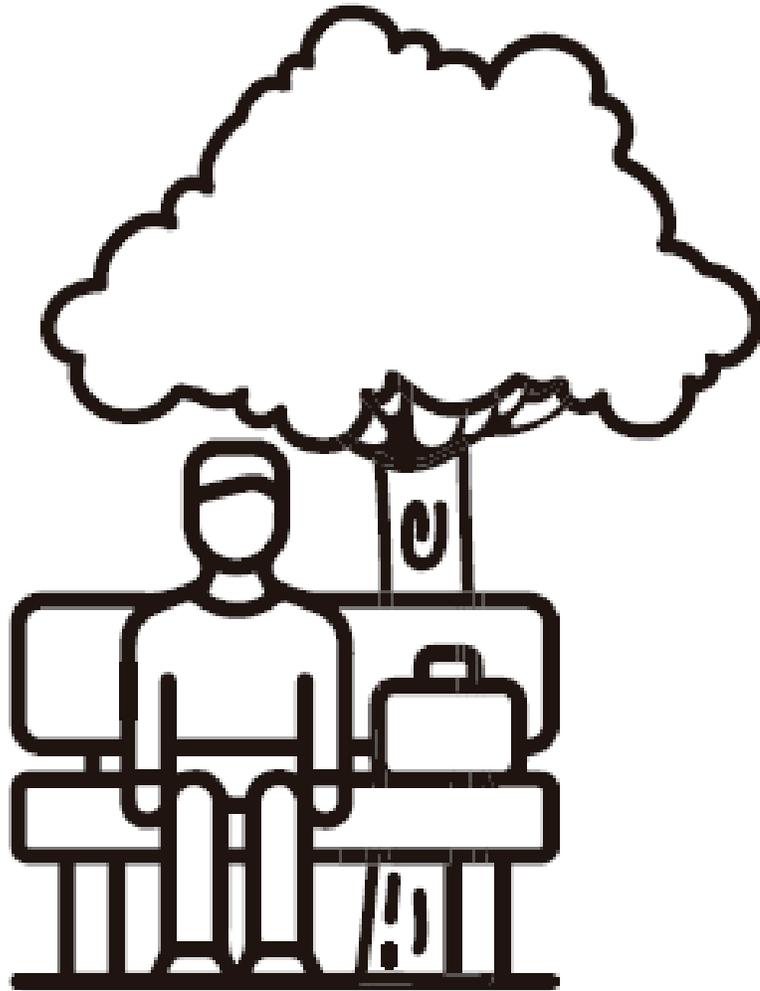


Figura 51. Mapa de fragilidad visual adquirida para los distritos urbanos DU8, DU9 y DU10.

#### 4.5.3. Pronóstico

Aunque no necesariamente de manera negativa, cualquier proyecto de construcción implicará una modificación en el paisaje del municipio. El conocimiento del paisaje y del entorno en el que se desarrollen dichos proyectos podrían asegurar una adecuada integración con el paisaje, desarrollándose impactos poco significativos o residuales sobre el paisaje.

En cambio, una inadecuada gestión de este componente podría repercutir sobre el patrimonio natural y cultural del municipio, así como sobre su actividad turística. Con relación al patrimonio natural, se prevé que los procesos de deforestación, erosión, pérdida de la productividad del suelo y explotación de espacios de alto valor paisajístico, así como la construcción de nuevos fraccionamientos y edificaciones, produzcan una degradación importante de la calidad visual del paisaje. Con relación al patrimonio cultural, en el municipio se han realizado proyectos para conservar la imagen urbana de su centro histórico. Sin embargo, la implementación de algunas construcciones nuevas que no coinciden con dicha imagen urbana ha ocasionado también problemas paisajísticos. Sin la implementación de instrumentos eficientes para controlar estos impactos, se prevé que dichos problemas continúen repitiéndose y se perturbe aún más el patrimonio cultural del municipio.

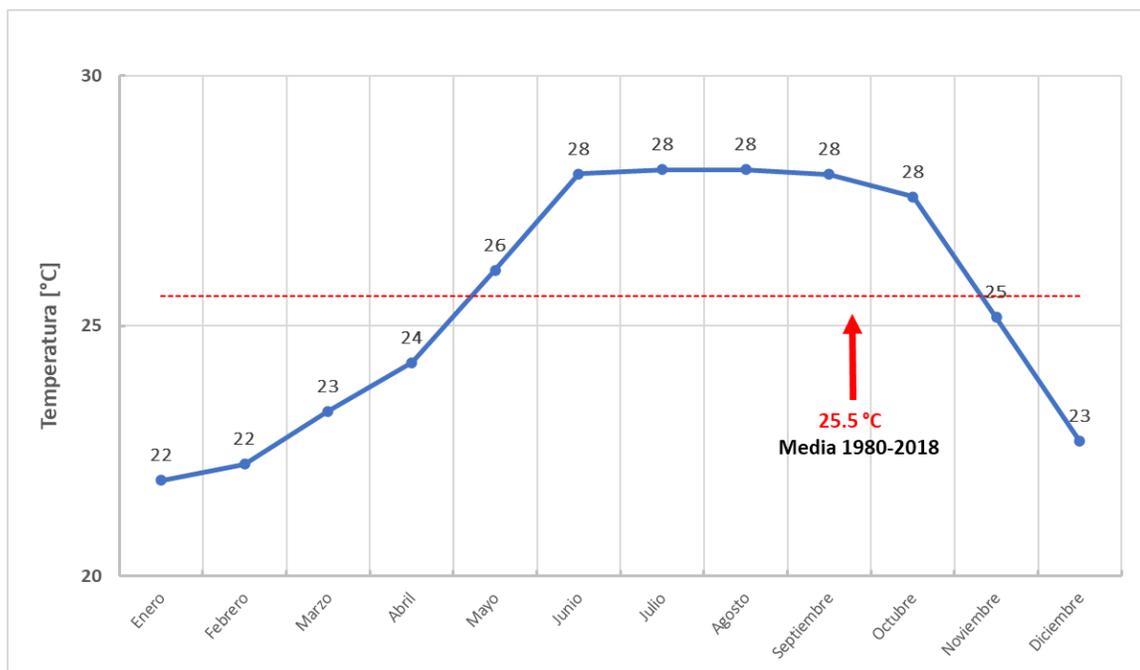


## Clima local

## 4.6. Clima local

### 4.6.1. Caracterización

El clima dominante en el municipio es cálido subhúmedo a húmedo en las zonas de menor altitud, mientras que en las zonas más elevadas el clima es semicálido-semihúmedo. La temperatura media anual es de 21.8°C, con temperaturas máximas de 31.6°C durante el verano y mínimas de 13.4°C durante el invierno (Pleno del Ayuntamiento Constitucional, 2020). En la región se presenta un régimen de lluvias de verano entre los meses de junio y octubre con una precipitación media anual de 1,385 mm (Pleno del Ayuntamiento Constitucional, 2020). En promedio, la temperatura mensual se comporta como se muestra en la Figura 52.



**Figura 52. Temperatura y precipitación promedio mensual en el municipio. Fuente: Elaboración propia con registros de las estaciones climatológicas del municipio.**

El componente de clima local se analizó en la evaluación ambiental con respecto al servicio ecosistémico de regulación del clima local y al efecto de isla de calor. Los ecosistemas de montañas, bosques y selva, así como los costeros y marinos, modifican y regulan el clima local (EM, 2005). Sin embargo, las zonas urbanas pueden modificar el clima local mediante el efecto de isla de calor (Fuentes-Pérez, 2015).

El servicio ecosistémico de regulación del clima local es aquel beneficio que se obtiene de la naturaleza debido a la presencia y efecto de la vegetación sobre la temperatura. La vegetación puede reducir la temperatura al proveer sombra, modificar las características térmicas del contexto urbano e incrementar el efecto de enfriamiento por evapotranspiración. Esto a su vez brinda beneficios a la salud y bienestar humanos al reducir la mortalidad y morbilidad, incrementar el confort y la productividad, y reducir la necesidad del uso de sistemas de aire acondicionado (Zardo et al., 2017).

El efecto de isla de calor es un fenómeno que se produce por la sustitución de superficies vegetadas que regulan la temperatura, por edificaciones que incrementan de manera generalizada la temperatura. Gartland (2008) define el efecto de isla de calor como aquel que se produce en las áreas urbanas y suburbanas como consecuencia de la utilización de materiales con una alta capacidad de absorción y retención del calor solar (también conocido como albedo), muy superiores a las de los materiales naturales o de las áreas rurales menos desarrolladas. El efecto de isla de calor tiene implicaciones directas sobre la calidad del aire, la salud pública, la gestión energética y la planeación urbana (Villanueva-Solis et al., 2012).

De acuerdo con Gálvez-Salinas (2013), las características de este efecto son las siguientes:

- a) Se registran temperaturas más altas que sus entornos más próximos
- b) La temperatura del aire está condicionada por el calor de las superficies urbanas
- c) Las temperaturas incrementan su diferencia dependiendo de las condiciones del tiempo
- d) Cuanto mayor es el grado de desarrollo urbano y menor es la vegetación, mayor es el tamaño e intensidad de la isla de calor
- e) La generación de inversiones térmicas, provocando la concentración de contaminantes atmosféricos e impidiendo su dispersión.

#### **4.6.2. Diagnóstico**

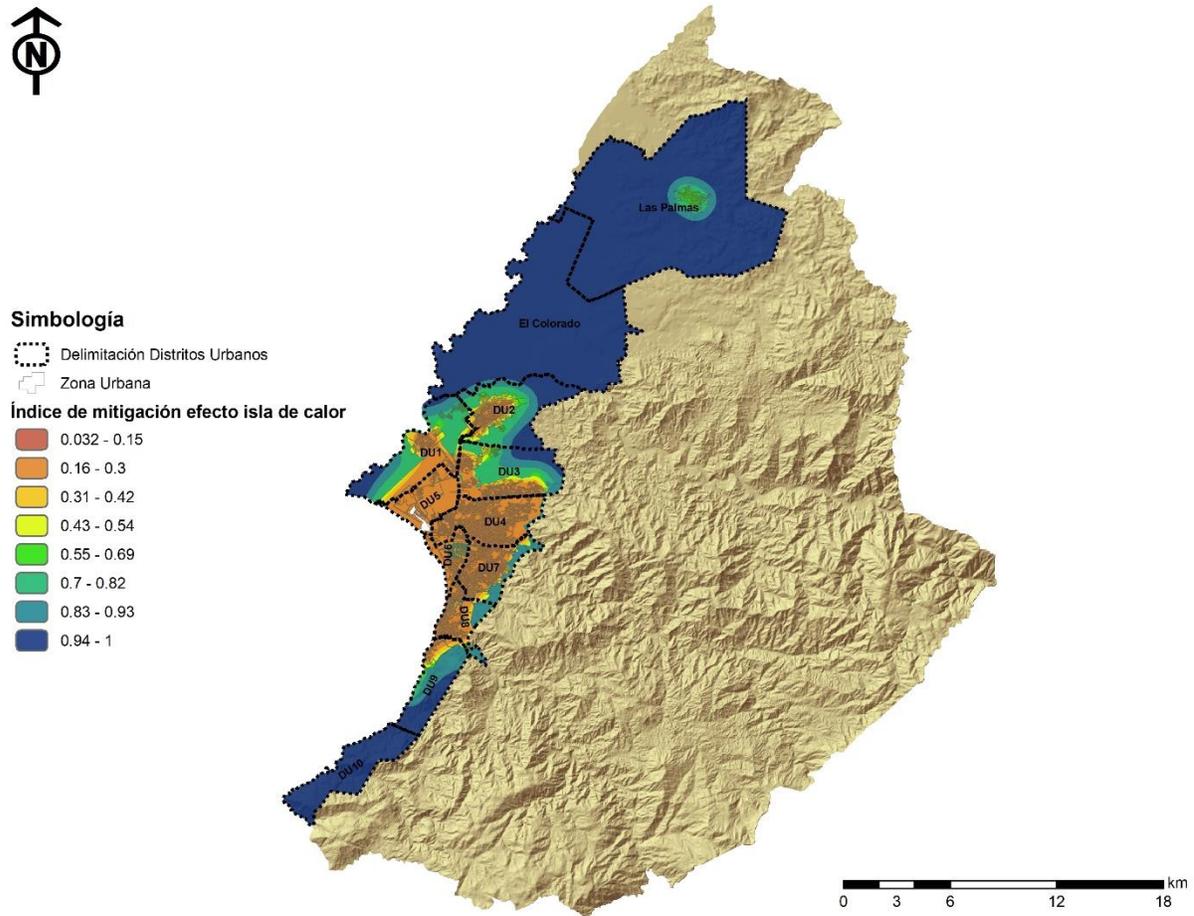
Para el diagnóstico del servicio ecosistémico de regulación del clima local se utilizó el *software* de libre uso InVEST® (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs* o Valoración Integrada de los Servicios Ecosistémicos y Compensaciones), desarrollado por el Proyecto de Capital Natural (Sharp et al., 2020). Dicho *software* permite modelar la provisión de distintos servicios ecosistémicos, entre ellos, el de enfriamiento urbano, asociado directamente con el servicio ecosistémico en cuestión. El modelo calcula un índice de mitigación de calor basado en sombra, evapotranspiración, albedo y distancia de islas de enfriamiento como áreas verdes y parques. El índice se utiliza para estimar la reducción de temperatura por vegetación. El modelo toma como insumos datos de temperatura, coberturas de uso de suelo, evapotranspiración y sombra para cada tipo de uso de suelo.

Utilizando este *software* se modeló un escenario base para las áreas de aplicación de los distritos urbanos, es decir, un escenario tomando en cuenta las condiciones actuales de dichas áreas. Para modelar este escenario se utilizó la siguiente información:

- Temperatura máxima promedio: Se utilizó un valor de 34.6°C, correspondiente a la temperatura máxima promedio según el registro histórico (1962-2019) de la estación climatológica 14081 La Desembocadura del Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA, 2020).
- Uso de suelo y vegetación: Combinación de la cobertura de uso de suelo y vegetación de la serie VI del INEGI y de la traza urbana actual para el área de aplicación de los distritos urbanos.
- Evapotranspiración: Cobertura de evapotranspiración real para el municipio, extraída de Maderey (1990).
- Magnitud del efecto de isla de calor: Se trata de la diferencia en temperatura observada entre el medio rural y el medio urbano. Se consideró que la estación climatológica 14081 La

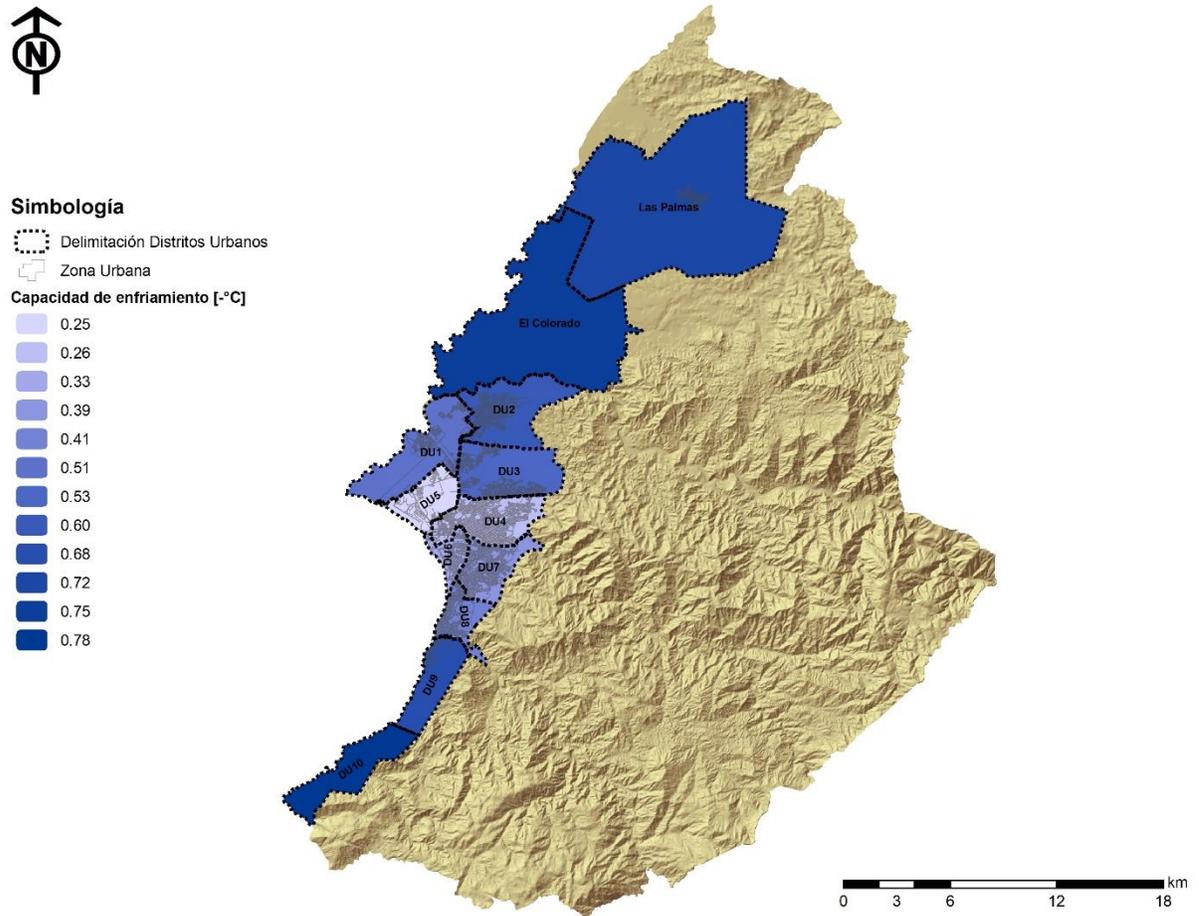
Desembocadura, por su ubicación al norte de la población de Ixtapa, registra temperaturas en el medio rural. Se asumió que, en el área urbana del municipio, por el efecto de isla de calor, se deben registrar por lo menos 2°C adicionales a los observados en la estación climatológica.

Los resultados obtenidos se presentan en las Figuras 53, 54 y 55. En la Figura 53 se observa que el índice de mitigación del efecto de isla de calor es mayor en las áreas con vegetación forestal y agrícolas. Por el contrario, este índice es menor en las áreas urbanizadas del municipio.



**Figura 53. Índice de mitigación del efecto de isla de calor en las áreas de aplicación de los distritos urbanos para el escenario base.**

En la Figura 54 se presenta la capacidad de enfriamiento de los distritos urbanos, es decir, la temperatura que logran reducir (en °C) por sus características y usos de suelo actuales. Los distritos que cuentan con una capacidad de enfriamiento mayor son el DU10-Mismaloya y el DU-El Colorado, mientras que los DU5-Marina Vallarta y el DU4-El Pitillal cuentan con una capacidad de enfriamiento menor.



**Figura 54. Proyección de capacidad de enfriamiento de los distritos urbanos para el escenario base.**

Finalmente, en la Figura 55 se presenta la proyección de temperatura para cada distrito urbano. Se observa que el distrito cuya temperatura modelada es la más baja es el DU-Las Palmas, mientras que el distrito cuya temperatura modelada es la más elevada es el DU6-Fluvial Vallarta.

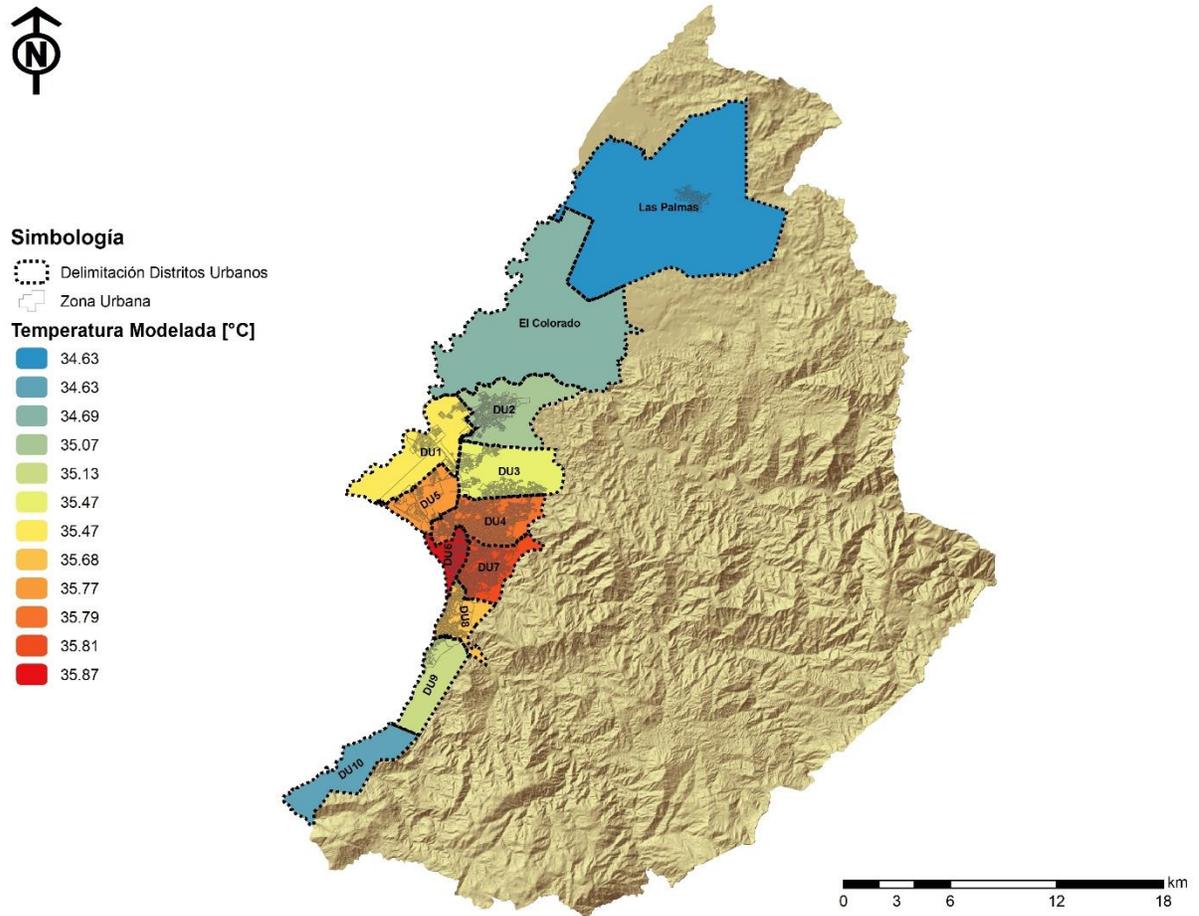
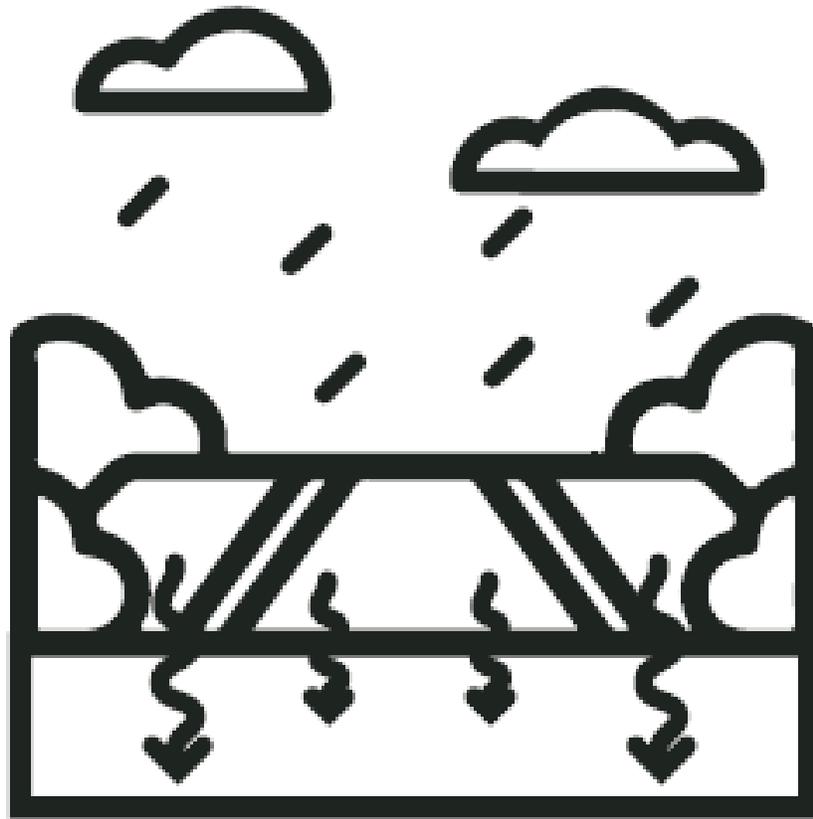


Figura 55. Temperatura modelada en los distritos urbanos para el escenario base.

#### 4.6.3. Pronóstico

En el PMCC se menciona que para el municipio se espera un incremento de entre 0.7 y 1.6°C en promedio para los meses fríos (enero-marzo) y de 1.3 a 2°C para los meses cálidos (junio-agosto) (Pleno del Ayuntamiento Constitucional, 2020). Considerando los efectos del cambio climático mencionados en el PMCC, la regulación de la temperatura será de vital importancia para que el municipio pueda desarrollarse como ciudad sustentable (Pleno del Ayuntamiento Constitucional, 2020). De lo contrario, se espera que los cambios en temperatura generen repercusiones sobre las actividades económicas y del bienestar y salud de la población. Por ejemplo, se prevé un mayor consumo eléctrico para la utilización de sistemas de refrigeración en épocas del año que anteriormente no eran requeridas, así como la disminución del atractivo turístico por el clima (Pleno del Ayuntamiento Constitucional, 2020).



## Escurrimiento Pluvial

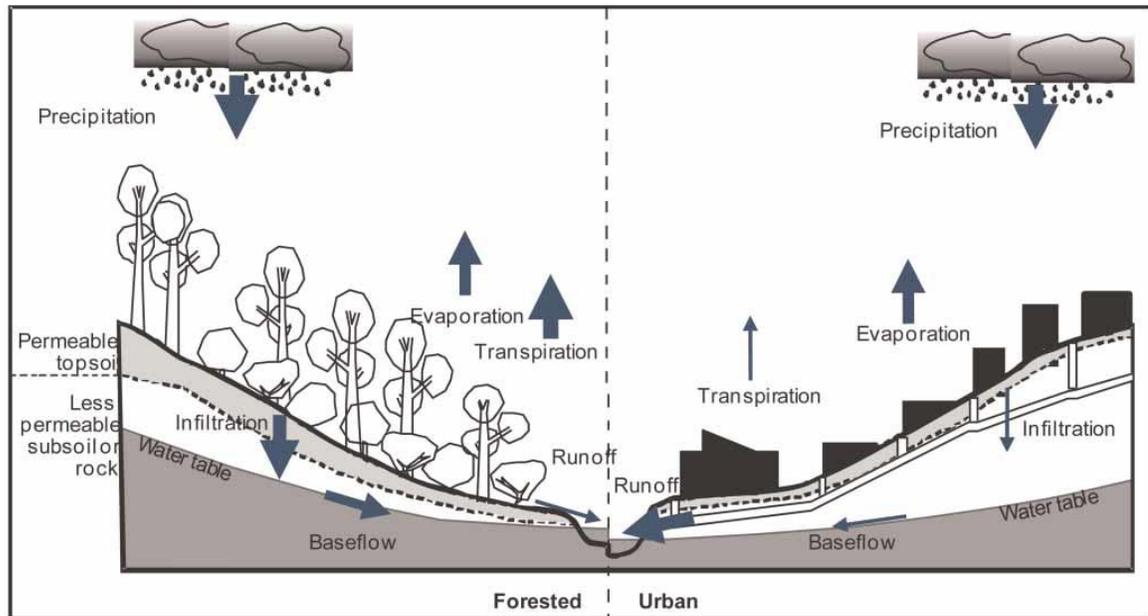
## 4.7. Esguerrimiento pluvial

### 4.7.1. Caracterización

El proceso de urbanización involucra alteraciones al ambiente natural, tales como la remoción de vegetación y el reemplazo de superficies permeables por superficies impermeables (Barbosa et al., 2010). La densificación de áreas urbanas existentes por lo general provoca que las superficies impermeables como calles, techos y estacionamientos aumenten (Parkinson y Mark, 2005). Estas alteraciones tienen impactos importantes en el ciclo hidrológico de la cuenca, incluyendo los siguientes (Parkinson y Mark, 2005; Burns et al., 2012):

- Incremento de la cantidad de lluvia que se convierte en esguerrimiento pluvial
- Reducción de la capacidad de infiltración causada por el incremento de superficies impermeables y la compactación del suelo
- Reducción de la evapotranspiración causada por la pérdida de vegetación y la capacidad de retención del suelo
- Incremento de los flujos y volúmenes de esguerrimiento pluvial
- Mayor frecuencia de eventos de flujo elevado en arroyos, ríos y cuerpos de agua receptores

La Figura 56 muestra estos cambios comparando el ciclo natural del agua contra el ciclo urbano del agua.



**Figura 56. Comparación entre el ciclo natural del agua (*forested*) y el ciclo urbano del agua (*urban*) (Walsh, 2004).**

En el contexto urbano, aún los eventos de precipitación ligera son suficientes para generar esguerrimiento pluvial debido al alto nivel de impermeabilidad del suelo (Fletcher, et al. 2011). De acuerdo con Winz, et al. (2011), el esguerrimiento pluvial elevado puede tener impactos negativos sobre la calidad del agua, los

ecosistemas y las especies que habitan en los cuerpos de agua receptores, así como sobre la salud y seguridad humana debido a las inundaciones y la contaminación del agua.

Los sistemas tradicionales de gestión de agua pluvial abordan los riesgos de salud y seguridad implementando sistemas de alcantarillado o drenaje que dirigen el escurrimiento pluvial a cuerpos de agua receptores (Burns, et al. 2012). Estos sistemas buscan eliminar el escurrimiento pluvial lo más rápido posible y abordan al agua pluvial como un inconveniente (Roy, et al. 2008). Los sistemas tradicionales siguen un proceso lineal de recolectar, almacenar, tratar y descargar el agua a través de soluciones de ingeniería como tuberías y canales (Newman, 2001), y están enfocados principalmente en mejorar las condiciones sanitarias y prevenir inundaciones (Fryd, et al. 2012). Sin embargo, las condiciones socioeconómicas determinan la efectividad de estos sistemas. Generalmente las ciudades con altos niveles de desarrollo económico cuentan con buenos sistemas de drenaje que resultan en menores eventos de inundación y en un mejor control de los contaminantes en escurrimientos pluviales, mientras que ciudades con niveles menores de desarrollo económico se caracterizan por drenajes inadecuados en capacidad que a su vez no son mantenidos de manera frecuente y que resultan en mayores eventos de inundación (Parkinson y Mark, 2005).

El servicio ecosistémico de reducción del escurrimiento pluvial, también conocido como mitigación del riesgo de inundación pluvial, se encuentra directamente asociado al componente de escurrimiento pluvial. Este servicio es un beneficio obtenido de la naturaleza que consiste en la regulación de los flujos pluviales mediante la infiltración del agua a través de superficies permeables, así como mediante la evapotranspiración a través de la vegetación (Vidal y Romero, 2010). En el contexto urbano, dicho servicio permite mitigar el riesgo de inundación en eventos de precipitación extrema. Por lo tanto, el componente de escurrimiento pluvial fue analizado en esta evaluación ambiental bajo la perspectiva del servicio ecosistémico de mitigación del riesgo de inundación pluvial.

De acuerdo con el Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco, la precipitación media anual en el municipio es de 1,385 mm (IIEG, 2018). Como se menciona más adelante en la sección 6.2.1 del presente reporte, en el municipio se presentan eventos de precipitación pluvial que provocan inundaciones pluviales. En el PMDU (Riesgos hidrometeorológicos) se menciona que los peligros hidrometeorológicos en el municipio se han acentuado durante cada temporal de lluvias, al manifestarse tormentas más intensas cada año. Con respecto a este tipo de eventos en el Atlas de Riesgos por Amenazas Naturales del municipio (Universidad de Guadalajara, 2014) se menciona que dichas inundaciones se manifiestan en una temporalidad anual y se originan por intensas precipitaciones pluviales en el verano. En el Atlas de Riesgos se identifican zonas de inundación en el municipio a diciembre de 2014, mismas que se localizan en su mayoría en las zonas bajas de la planicie costera, en las llanuras de inundación de los cauces de los ríos Ameca, Mascota, Pitillal, El Cuale y Horcones, así como la zona del Estero El Salado y la zona de Ixtapa. En el PMDU (Síntesis del medio físico natural) se menciona que las áreas de alta vulnerabilidad a eventos meteorológicos por inundaciones son los distritos donde se encuentran asentamientos en cercanía de cauces hidrológicos, como el río Ameca en el DU1, el río Mascota al norte del DU2 y las localidades de La Desembocada y El Ranchito, el río Pitillal en el DU4, el río Cuale en el DU8 y Mismaloya en el DU10. Asimismo, en el PMDU (Inundación) se presenta un mapa de riesgos de inundaciones identificando dichas zonas.

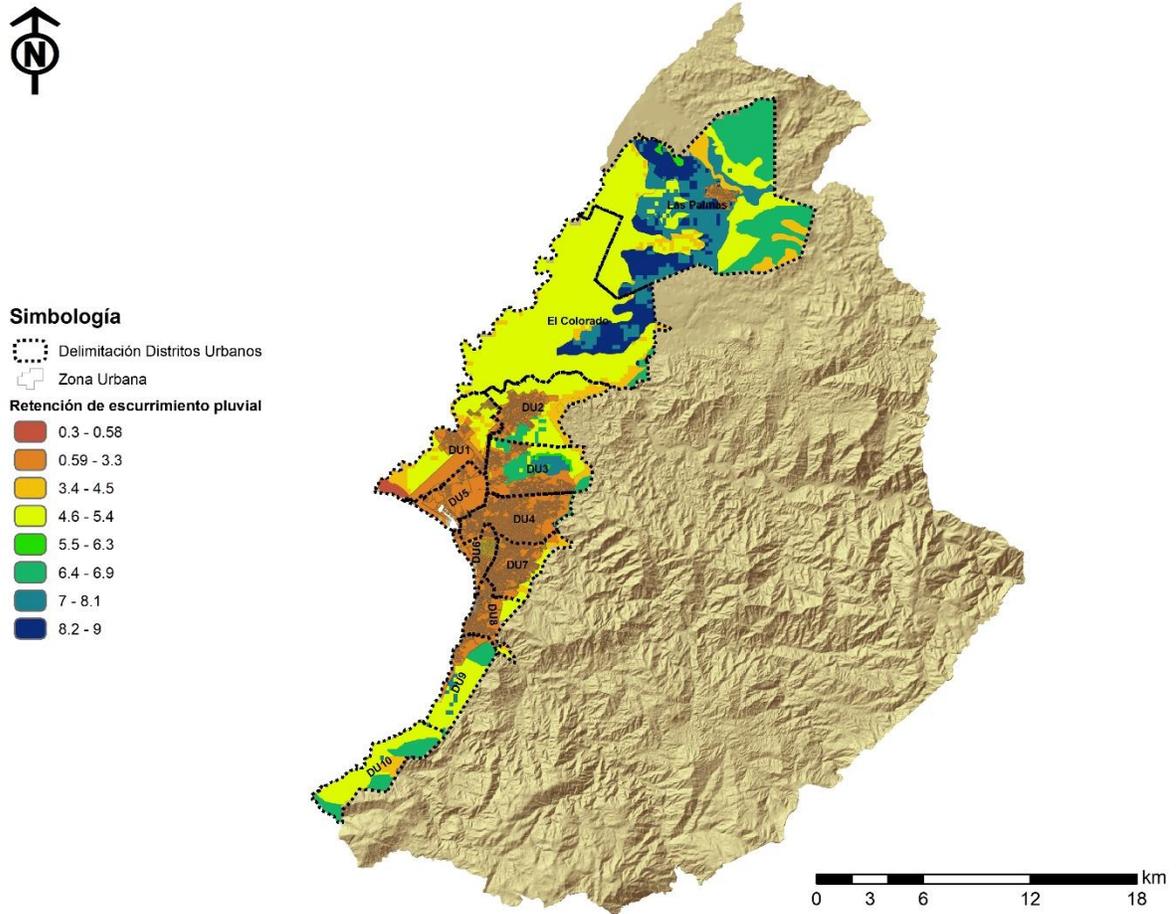
#### 4.7.2. Diagnóstico

Para el diagnóstico del servicio ecosistémico de mitigación del riesgo de inundación pluvial se utilizó el *software* InVEST® (Sharp et al., 2020) mencionado en la sección 4.6.2. Dicho *software* permite modelar la provisión de distintos servicios ecosistémicos, entre ellos, el servicio de mitigación del riesgo de inundación pluvial. El modelo calcula el volumen de agua pluvial que es retenido por los distintos tipos y usos de suelo que se encuentran en un área para un determinado evento de precipitación pluvial, utilizando la metodología del número de curva del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-NRCS, 2004). El modelo toma como insumos datos de precipitación y coberturas de uso y grupo hidrológico del suelo.

Utilizando este *software* se modeló un escenario base para las áreas de aplicación de los distritos urbanos, es decir, un escenario tomando en cuenta las condiciones actuales de dichas áreas. Para modelar este escenario se utilizó la siguiente información:

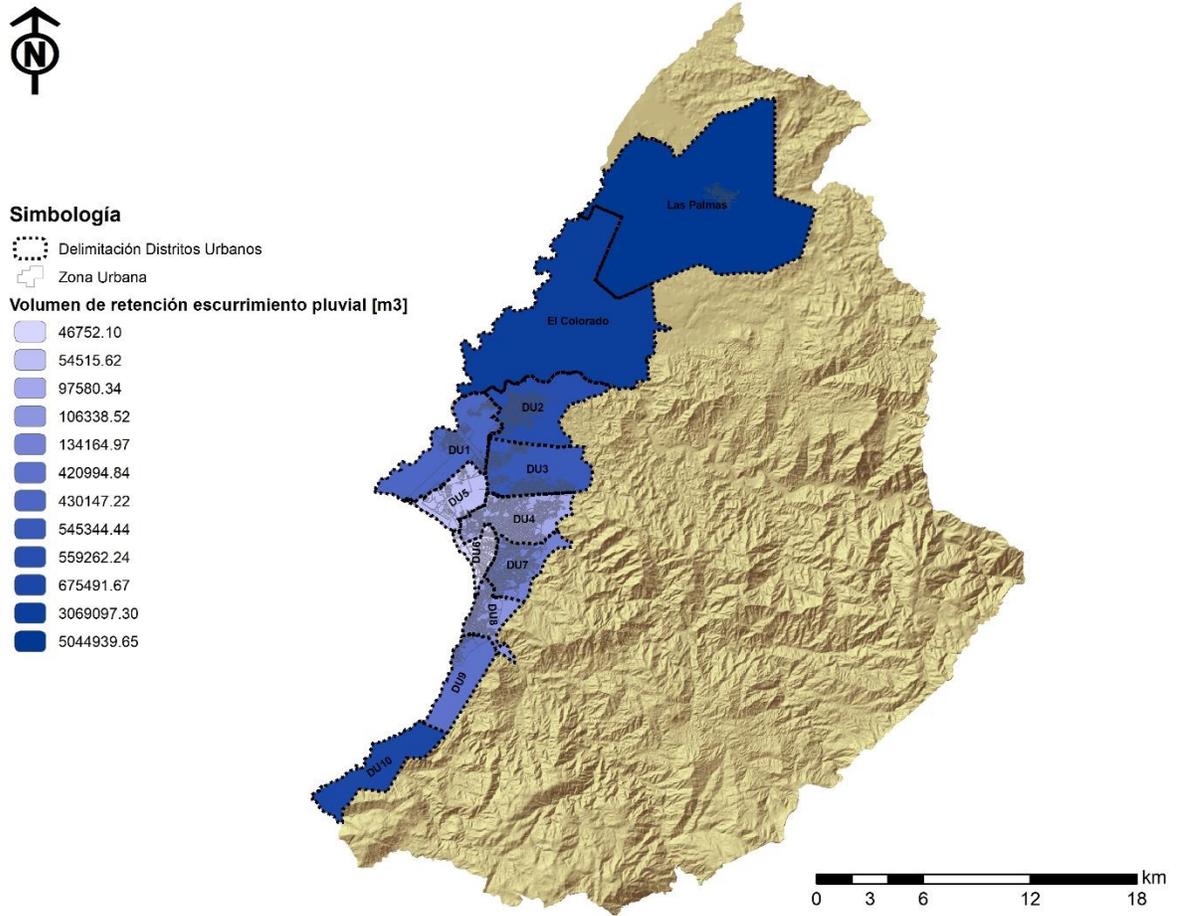
- Precipitación máxima en 24 horas: Se utilizó un valor de 204.3 mm, basado en los valores de precipitación registrados en la estación climatológica 14081 La Desembocadura del Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA, 2020). Para determinar dicho valor se promediaron los valores de precipitación máxima en 24 horas correspondientes a los meses de julio a septiembre (en los cuales se registran las precipitaciones más intensas) en el periodo de 1949 a 2019.
- Uso de suelo y vegetación: Combinación de la cobertura de uso de suelo y vegetación de la serie VI del INEGI y de la traza urbana actual.
- Grupos hidrológicos del suelo: Cobertura de los grupos hidrológicos del suelo presentes en el municipio, según la base de datos HYSOGs250m (Ross, et al. 2018).

Los resultados obtenidos se presentan en las Figuras 57 y 58. En la Figura 57 se observa que las áreas urbanizadas cuentan con menor capacidad de retención de escurrimiento, en comparación con las zonas al norte con menor grado de urbanización.



**Figura 57. Retención de escurrimiento pluvial en las áreas de aplicación de los distritos urbanos para el escenario base de provisión del servicio ecosistémico de mitigación del riesgo de inundación.**

En la Figura 58 se presentan los volúmenes de retención de escurrimiento pluvial de los distritos urbanos. Se observa que los distritos en los que se retienen mayores volúmenes de escurrimiento pluvial son los DU-Las Palmas, DU-El Colorado y DU10-Mismaloya, en los cuales se cuenta con menores índices de urbanización. En contraste, los distritos con menores volúmenes de retención son los DU6-Fluvial Vallarta, DU5-Marina Vallarta y DU4-El Pitillal, correspondientes a distritos más urbanizados.



**Figura 58. Volúmenes de retención de escurrimiento pluvial (m<sup>3</sup>) de los distritos urbanos para el escenario base de provisión del servicio ecosistémico de mitigación del riesgo de inundación.**

### **4.7.3. Pronóstico**

De acuerdo con el PMCC, para el municipio se prevén cambios relevantes en la precipitación. De manera general, se prevé que la precipitación promedio anual disminuya entre 25 y 50 mm (Pleno del Ayuntamiento Constitucional, 2020). Sin embargo, de acuerdo con el PMCC “las proyecciones de cambio climático indican una concentración e intensificación de la estacionalidad de la precipitación, es decir durante los meses lluviosos (julio a septiembre), las precipitaciones serán más intensas” (Pleno del Ayuntamiento Constitucional, 2020, pág. 23). De igual forma se menciona que se prevé un incremento en el riesgo a inundaciones y deslaves (Pleno del Ayuntamiento Constitucional, 2020).

Los efectos del cambio climático sobre la precipitación repercutirán de manera directa sobre el componente ambiental en cuestión. Debido a que no se cuentan con predicciones de los efectos del cambio climático sobre la precipitación máxima diaria, no es posible llevar a cabo modelaciones de escenarios con cambio climático para estimar la provisión del servicio ecosistémico de mitigación del riesgo de inundación pluvial. Sin embargo, se espera que el incremento de la intensidad de las precipitaciones conlleve la generación de escurrimientos pluviales de mayores volúmenes y, de manera asociada, se incremente el riesgo de inundaciones pluviales en el municipio.



# Residuos

## 4.8. Residuos

### 4.8.1. Caracterización

La gestión adecuada de residuos es uno de los retos más importantes a los que se enfrentan los gobiernos locales en todo el mundo. Una inadecuada gestión de residuos puede representar una amenaza para la salud pública y el medio ambiente. Las zonas costeras son especialmente vulnerables debido a la falta de sitios de disposición final con infraestructura adecuada, amplias fluctuaciones poblacionales debido al turismo y actividades económicas próximas al ecosistema marino (Oliveira, 2015).

La presencia de actividades humanas en estas zonas puede implicar el depósito o migración de residuos, provocando daños a los ecosistemas marinos, así como a las actividades que se realizan en él, como el turismo, la pesca y la navegación. Por ello la segunda conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, también conocida como la Cumbre de la Tierra, llevada a cabo en Río de Janeiro en 1992, fue un referente internacional para la gestión integral de residuos y la protección de zonas costeras (Oliveira, 2015). Por otro lado, en la Agenda 21 se estableció como una de las prioridades proteger los océanos, mares y costas, así como reducir la contaminación causada por los residuos mediante mejores prácticas de gestión que permitan minimizar la generación y maximizar el reciclaje y reutilización (ONU, 1992).

En el PMDU, la gestión integral de residuos se contempla dentro del capítulo 9.5 correspondiente a Cambio climático. Se plantea dentro de los objetivos para el 2030 reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización. Para ello el PMDU plantea que es indispensable la revisión y actualización de los instrumentos de planeación municipal, entre los que se destaca la actualización del último Programa Municipal de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos del Municipio de Puerto Vallarta (PMPGIR) publicado en 2010.

La gestión integral de residuos debe considerar aspectos clave como la capacidad de sitios de disposición final, el crecimiento poblacional, la tasa de generación per cápita, entre otros. El análisis de dichos elementos permite no solo conocer el impacto de estos, sino también sus causas, para así diseñar y formular políticas y estrategias que conlleven a una gestión ambiental adecuada (Ávila, 2011).

En el caso de la generación de residuos, es importante conocer su relación respecto a factores socioeconómicos, por ejemplo, Producto Interno Bruto, Producto Interno Bruto per cápita, población urbana, área de construcción urbana, áreas verdes, consumo de energía, consumo anual per cápita en hogares, entre otros. Sin embargo, el peso de cada uno de estos factores varía en función del nivel de desarrollo del país. En países en vías de desarrollo como México, factores como el desarrollo económico o la mejora en la calidad de vida, el crecimiento económico o renta nacional, así como el crecimiento poblacional, influyen de manera directa en la generación de residuos (Liu & Wu, 2010).

En 1980 el municipio contaba con una población de 57,028 habitantes y una superficie urbana aproximada de 19.61 km<sup>2</sup>. En 2010, la población aumentó casi cuatro veces, a 255,681 habitantes, y la superficie de la zona urbana creció aproximadamente el triple, a 63.05 km<sup>2</sup> (H. Ayuntamiento de Puerto Vallarta, 2010). Durante el periodo entre los 1970 y 2005 la tasa media de crecimiento poblacional del municipio fue de

5.48% (INEGI, Censo General de Población y Vivienda 1970, 1970). mientras que la Estatal fue de solo 2.13% (INEGI, II Conteo de Población y Vivienda, 2005). Por otro lado, en el 2005 existían 7,865 unidades económicas (UE) en el municipio (H. Ayuntamiento de Puerto Vallarta, 2010), mientras que en el 2017 prácticamente se habían duplicado a 14,672 UE (IIEG, Diagnóstico municipal, 2018) y posteriormente ascendieron a 16,345 UE en 2019 (IIEG, Diagnóstico municipal, 2019).

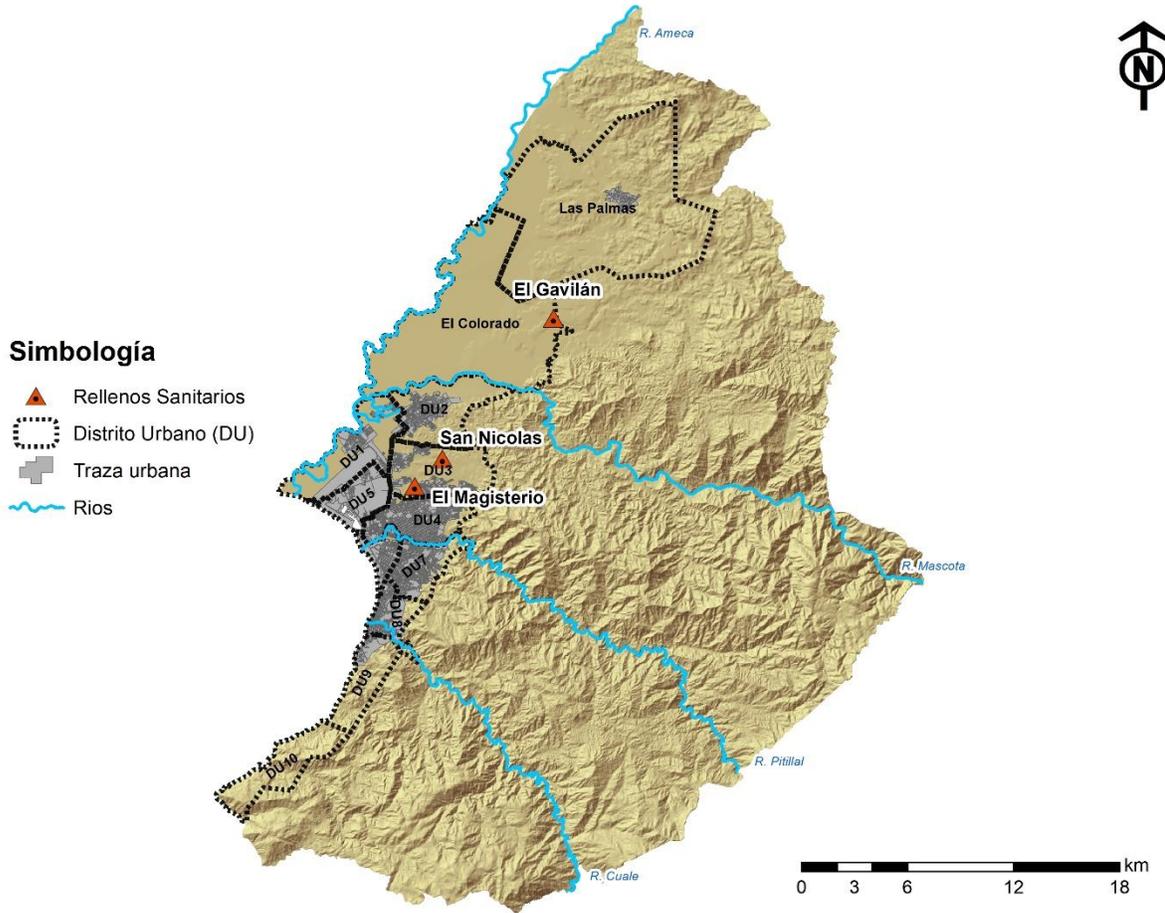
De igual forma la actividad turística ha incrementado. De acuerdo con el PMDU, la Administración Portuaria Integral de Puerto Vallarta S.A de C.V. (API) tuvo en 2017 un total de 145 arribos de cruceros, lo que representó un total de 338,538 cruceristas. Para el año 2019, se esperaba un total de 180 arribos, con una estimación de 480,649 cruceristas. El Grupo Aeroportuario del Pacífico (GAP) cerró el 2018 con un estimado de 4,760,000 pasajeros.

El artículo 115 constitucional prevé que los municipios tienen la responsabilidad de prestar el servicio no solo de limpia, sino también de recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos. Anteriormente en el municipio estos servicios estaban concesionados a una empresa privada. Sin embargo, a partir de 2017, una vez finalizado el convenio, el Ayuntamiento comenzó a prestarlos de manera directa a través de su Dirección de Servicios Públicos.

Actualmente el municipio cuenta con dos sitios de disposición final de residuos (ver Figura 59): el relleno sanitario El Gavilán y el sitio de disposición final de residuos San Nicolas también conocido como La Escombrera. Este último es utilizado para la disposición final de residuos de la construcción y demolición, así como residuos provenientes de podas y jardinería. En El Gavilán son depositados el resto de los residuos sólidos urbanos (RSU) y los residuos de manejo especial (RME) generados en el municipio. Adicionalmente el equipo de trabajo de la evaluación identificó que el antiguo relleno sanitario El Magisterio se utiliza como estación de transferencia (ver Tabla 31).

**Tabla 31. Resumen de infraestructura principal para el manejo de residuos.**

Infraestructura	Etapas de manejo	Detalles
Estación de transferencia El Magisterio	Transferencia	Antiguo relleno sanitario
Sitio de disposición final de residuos San Nicolas	Disposición final	Utilizado únicamente para residuos de construcción, forestales y de podas.
Relleno sanitario El Gavilán	Disposición final	Utilizado para el resto de RME y RSU



**Figura 59. Ubicación de la infraestructura principal para el manejo de residuos. Elaborado con información obtenida en trabajo de campo.**

Como se ha mencionado, el incremento poblacional y de la actividad económica principalmente la turística implica un incremento en la generación de RSU y RME<sup>1</sup>. Por ello, el sistema de gestión de residuos del municipio deberá mejorar y adaptarse en función a este fenómeno.

---

<sup>1</sup> De acuerdo con la LGPEGIR, los RME son aquellos generados en procesos productivos, que no tienen características para considerarlos peligrosos o sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores. Mientras que los RSU son aquellos generados en casas habitación, en establecimientos o vía pública con características domiciliarias.

## 4.8.2. Diagnóstico

### Generación de residuos

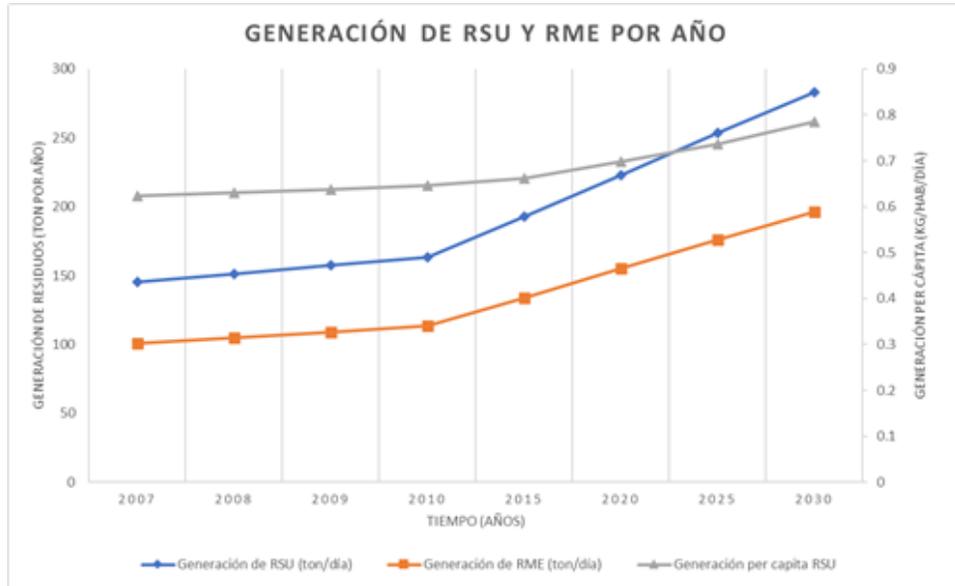
De acuerdo con el PMPGIR, la generación de residuos per cápita en el municipio no ha tenido incrementos importantes en los últimos años. En 2007 la generación de RSU per cápita para la población fija fue de 0.624 kg/hab/día y para el 2020 se incrementó apenas a 0.699 kg/hab/día. De acuerdo con el PMPGIR, la generación de RSU para el año 2020 sería de 223.16 ton/día, mientras que la generación de RME de 154.96 ton/día, proyectándose para el 2030 un incremento a 282.8 ton/día y 196.4 ton/día respectivamente.

**Tabla 32. Generación de residuos sólidos urbanos y de manejo especial según el PMPGIR 2010.**

Año	Generación de RSU (ton/día)	Generación de RME (ton/día)	Total (ton/día)
2007	145.53	101.06	246.59
2008	151.36	105.11	256.47
2009	157.23	109.18	266.41
2010	163.12	113.27	276.39
2015	192.92	133.97	326.89
2020	223.16	154.96	378.12
2025	253.39	175.96	429.35
2030	282.88	196.43	479.31

Mientras la generación de residuos se ha incrementado en los últimos años, la generación de residuos per cápita se encuentra aún en estándares normales, considerando que el promedio nacional es de 0.653 kg/hab/día para residuos domiciliarios (SEMARNAT, 2020). En contraste con países desarrollados, la generación per cápita en el municipio aún es baja. Por ejemplo, para el año 2006 en la Unión Europea se generaban 1.51 kg/hab/día, mientras que en Estados Unidos 2.08 kg/hab/día.

En la Figura 60 se puede apreciar el incremento en la generación de RME y RSU desde 2007 y proyectado a 2030, así como el comportamiento en la generación per cápita de RSU de la población fija durante ese mismo periodo.



**Figura 60. Generación de residuos (RSU y RME) y generación per cápita en Puerto Vallarta según el PMPGIR 2010.**

A pesar del incremento en la cantidad de unidades económicas, durante los años 2000 y 2009, el municipio presentó un decrecimiento en términos reales de su economía, así como una excesiva concentración de sus actividades, reflejada en la disminución real de todos los sectores, pero a mayor velocidad en los sectores primario y secundario. Durante este periodo el PIB del municipio disminuyó de \$11,678,770.51 a \$9,522,350.47, es decir tuvo un decrecimiento de 18.46%, mientras que el PIB per cápita pasó de \$63,221.44 a \$64,283.70 (Silva, 2012). Esto nos puede decir que no solamente no hubo crecimiento económico, sino que el desarrollo económico tampoco tuvo un incremento considerable, por lo que la generación de residuos puede estar vinculada en mayor medida al incremento poblacional y no a un cambio en los estándares de vida de la población en el municipio.

Otro elemento importante para entender la generación de residuos es la composición, ya que puede revelar patrones de consumo, estilo de vida y estatus económico. En el municipio casi el 50% de los residuos generados son de tipo orgánico, de los cuales son 41.7% alimenticios y 7.7% de jardinería, mientras que el papel corresponde al 19.2% y residuos como plásticos, vidrio, cartón y metales representan en su conjunto apenas un 10% aproximadamente. Esta composición se asemeja a la del resto del país (SEMARNAT, 2020).

### Infraestructura y equipamiento para el manejo de residuos

En 2010 el municipio contaba con un parque vehicular para llevar a cabo la recolección de residuos conformado por 55 vehículos recolectores operados por 62 choferes y 173 ayudantes. El porcentaje de cobertura del servicio de recolección de residuos era de apenas 40.7% respecto a la generación (H. Ayuntamiento de Puerto Vallarta, 2010).

De acuerdo con el reporte de encuestas de foro realizadas como parte del PMDU, la limpieza se encuentra como segundo problema que aqueja a la ciudad. El 14.69% de los participantes del foro consideraron que

la contaminación es el problema más importante por resolver en el municipio. De igual forma el 18.38% consideró al cuidado al medio ambiente como una acción indispensable para mejorar la calidad de vida de la ciudad. Específicamente en materia de medio ambiente, el 44% de los participantes consideraron que los tiraderos clandestinos de residuos son el principal problema, por encima de la tala y poda de árboles sin autorización, la contaminación del aire y la contaminación del agua.



**Figura 61. Residuos obstruyendo vía pública. Fotografía tomada en la colonia Díaz Ordaz en septiembre 2020.**

Como ya se mencionó anteriormente, en 2017 el servicio de recolección de residuos pasó de ser prestado por una empresa privada a ser prestado directamente por el Ayuntamiento. Por otro lado, durante las visitas al municipio el equipo recibió opiniones de ciudadanos respecto a la calidad del este servicio, manifestando una mejora progresiva a partir de la toma del servicio por parte del Ayuntamiento.

#### **Sitio de disposición final de residuos de la construcción y demolición San Nicolás**

El sitio de disposición final de residuos de la construcción y demolición San Nicolás se ubica en la localidad de Ixtapa y cuenta con una superficie de aproximadamente 3 hectáreas. Este sitio es utilizado para la disposición final de residuos de la construcción y demolición, así como residuos de podas y jardinería. Cuenta con una caseta de control al ingreso donde se realizan los cobros a los vehículos privados de acuerdo con el volumen de residuos ingresados. Como parte de la evaluación ambiental, no se pudo evidenciar que el sitio contara con un proyecto ejecutivo ni manual de operación. Además, durante la visita de campo por parte del equipo de trabajo de la evaluación ambiental se evidenció que la conformación de taludes en los linderos norte, noroeste y suroeste se realiza de manera inadecuada, comprometiendo la integridad de la vegetación inmediata. Es relevante mencionar que, durante la visita al sitio, el equipo evidenció que los vehículos que ingresaban al sitio transportaban los residuos de construcción y demolición separados de los residuos de poda y jardinería, por lo que existe un área de oportunidad para el aprovechamiento de estos últimos para la generación de composta.



**Figura 62. Vista aérea del frente de los taludes en San Nicolás, dirección norte a sur. Fotografía tomada en 30 septiembre 2020.**

### **Relleno Sanitario El Gavilán**

Ubicado sobre la carretera a Las Palmas dentro del DU-El Colorado, el relleno sanitario El Gavilán cuenta con una superficie de 95.3 hectáreas aproximadamente (considerando celda 2). El sitio inició operaciones en 2009 para la disposición final de RSU y RME generados en el municipio (H. Ayuntamiento de Puerto Vallarta, 2010). Si bien cuenta con vida útil para los siguientes 20 años, de acuerdo con lo manifestado por personal operativo en el sitio, el equipo de trabajo de la evaluación pudo evidenciar elementos que pudieran representar un riesgo de contaminación.

Particularmente se pudo observar que en lindero sur del sitio existe una escorrentía de temporal. Las escorrentías, aun cuando son de temporal, pueden servir como medio de transporte de contaminantes aguas abajo. Los derrames de lixiviados son un riesgo presente comúnmente en rellenos sanitarios debido al posible desborde en las lagunas de lixiviados en los temporales de lluvias.

Asimismo, se observó una amplia superficie de la celda de residuos sin cobertura de material geológico, por lo que existe el riesgo de migración de voladuras, propagación de vectores y olores, además de incrementar el riesgo de incendios. Se observó además la presencia de asentamientos irregulares dentro de la celda de residuos, aparentemente de pepenadores.



**Figura 63. Asentamientos irregulares en la celda de residuos en Relleno Sanitario El Gavilán. Fotografía tomada en septiembre 2020.**



**Figura 64. Escorrentía de temporal ubicada al sur del sitio respecto a la ubicación de las fosas de lixiviados, separados por el camino de acceso. Fotografía tomada en septiembre 2020.**

Por otro lado, se observó que en el ingreso del sitio la acumulación de una gran cantidad de residuos sin cobertura con material geológico y sin ninguna medida de control aparente. De acuerdo con personal operativo del sitio, durante el temporal de lluvias se complica el ingreso a la celda de residuos por lo que se emplea ese espacio como celda de emergencia. Esta celda de emergencia puede representar un riesgo de migración de contaminantes al escurrimiento antes mencionado, ya que esta se encuentra más cercana que las celdas de residuos.



**Figura 65. Celda temporal de residuos del relleno sanitario. Fotografía tomada en septiembre 2020.**

### **Generación de lixiviados**

Los lixiviados son líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contienen, en forma o en suspensión, sustancias que pueden identificarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y cuerpos de agua, provocando su deterioro y presentar un riesgo potencial a la salud humana (SEMADET, 2018).

Como parte del análisis para dimensionar las emisiones contaminantes, se llevó a cabo una estimación de la generación de lixiviados en el sitio de disposición final. Para la estimación de generación de lixiviados se han desarrollado diversos modelos a nivel mundial, estos parten del análisis del balance hídrico de un volumen de control correspondiente al área del relleno sanitario (SEMADET, 2018). Uno de los modelos más simples para realizar esta estimación es el modelo suizo. Es importante mencionar que este modelo no considera aspectos como la capacidad de absorber agua, la cantidad de agua empleada en el proceso de metanogénesis, entre otros. Las variables empleadas para este modelo se enlistan a continuación:

1. Caudal medio de lixiviado o líquido percolado:  $Q$  (L/s)
2. Precipitación media anual:  $P$  (mm/año)
3. Área superficial del relleno sanitario:  $A$  ( $m^2$ )
4. Número de segundos en un año:  $t$  (31,536,000 seg/año)
5. Coeficiente que depende del grado de compactación de los residuos, cuyos valores recomendados por el modelo son los siguientes:  $k$  (adimensional)
  - a. Débilmente compactados ( $0.4$  a  $0.7$  ton/ $m^3$ ):  $0.25$  a  $0.50$
  - b. Fuertemente compactados ( $> 0.7$  ton/ $m^3$ ):  $0.15$  a  $0.25$

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{PAk}{t}$$

**Tabla 33. Estimación de generación anual de lixiviados para el relleno sanitario El Gavilán, mediante el modelo suizo.**

Variable	Valor	Unidades
Precipitación media anual (IIEG, Diagnóstico municipal, 2019)	1,385	mm/año
Área superficial del relleno sanitario. Estimación propia con base en imágenes satelitales.	95,350	m <sup>2</sup>
Numero de segundos en un año	31,563,000	seg/año
Coficiente <sup>2</sup>	0.25	NA
Caudal medio de lixiviados o líquido percolado (Q)	1.05	l/s
Generación anual de lixiviados	33,015	m <sup>3</sup> /año

### Generación de gases de efecto invernadero (GEI)

A partir de noviembre de 2019, el municipio cuenta con un Programa Municipal de Cambio Climático (PMCC). En él se estimaron siete GEI referidos en el Protocolo de Kioto; dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), y trifluoruro de nitrógeno (NF<sub>3</sub>), con base en el Protocolo Global para para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria (GPC por sus siglas en inglés).

De acuerdo con dichas estimaciones, el sector residuos generó 7.71% de las emisiones totales del municipio en el año 2007, correspondiente a 130,273.49 t CO<sub>2</sub>eq. La gran mayoría de las emisiones generadas por este sector provienen de la disposición de residuos sólidos, contribuyendo con el 82%, mientras que el tratamiento y vertido de aguas residuales generó el 18% de las emisiones en este sector.

### 4.8.3. Pronóstico

Como se mencionó anteriormente, el incremento poblacional es el factor de mayor relevancia respecto a la generación de residuos y por ende al sistema de gestión y su infraestructura. De mantenerse esta tendencia, el municipio podría incrementar su generación en 100 ton/día, es decir un incremento del 26% respecto a la estimación de generación para el 2020 (H. Ayuntamiento de Puerto Vallarta, 2010).

El sistema de gestión de residuos actual consiste principalmente en labores de limpieza de la vía pública y playas, recolección en casas habitación y comercios y disposición final en rellenos sanitarios. De

---

<sup>2</sup> Durante la visita al sitio se evidenció que la capa de residuos en el frente de tiro era de más de 3 metros, por lo que el nivel de compactación se consideró como bajo (CATERPILLAR, 2001).

continuar con este mismo esquema el municipio puede enfrentarse a distintos problemas socioambientales en el mediano y largo plazo.

Existen diversos casos de estudio que evidencian la importancia de mantener limpias no solo playas sino también la vía pública a fin de no impactar la actividad turística. Por ejemplo, durante diciembre del 2016 a diciembre del 2018 la costa sur de Barbados permaneció clausurada debido a un derrame de aguas residuales no tratadas a causa de una falla en una de sus plantas de tratamiento, esto aunado a que sus principales mercados de turismo (EUA, Reino Unido, Canadá y Alemania) emitieran alertas de salud y advertencias a los viajeros de no visitar dicha zona. La situación provocó que durante ese periodo hoteles, restaurantes y demás comercios cerraran. El sector turismo representa un 40% del PIB y un 60.8% de las exportaciones de Barbados, por lo que este cierre afectó severamente su economía (Schuhmann et al., 2019). En Nápoles, Italia, durante 1994 y 2011, eran recurrentes las crisis debido a la falta de un sitio permanente para la disposición final de residuos que derivaba en la suspensión temporal de la recolección de residuos. Estas suspensiones generaban acumulación de residuos en las calles provocando impactos estéticos y de salubridad. Durante estos cierres el gobierno local optaba por apertura sitios temporales para el depósito de residuos, sin embargo, estos eran en todo caso improvisados y en ocasiones generaban descontento social o incluso manifestaciones. En 2013 inició operaciones un incinerador en Accerra, cerca de Nápoles y se llevaron a cabo acciones para promover el reciclaje. Asimismo, se comenzó a exportar residuos a otros países de la UE. Sin embargo, el gobierno municipal recalcó la importancia de generar soluciones locales, principalmente para el manejo adecuado de residuos orgánicos mediante la generación de composta y separación de residuos desde las casas habitación (Wilson, 2015).

El sistema de gestión de residuos en el municipio depende de la operación ininterrumpida de los dos sitios de disposición final, principalmente El Gavilán, en el cual se recibe la mayor cantidad de RSU y RME generados. Por ello un incendio, un derrumbe de talud de residuos, una manifestación social o cualquier eventualidad que implique el cierre temporal del sitio, tendría graves implicaciones en todo el sistema de gestión, incluyendo la recolección en casas habitación y vía pública. Esto impactaría de manera significativa la calidad de los servicios turísticos del municipio, y por ende la actividad turística.

Si bien El Gavilán no se encuentra en condiciones críticas, durante la visita en el sitio, el equipo pudo percatarse de áreas de oportunidad de mejora. De no tomar medidas operativas en el sitio, se corre el riesgo de generar impactos ambientales que propicien un descontento social, mismo que pudiera implicar un cierre temporal. Mientras que, en el largo plazo, una vez concluida la vida útil del sitio, el municipio se verá en la necesidad de ampliar la superficie del sitio actual o de construir un nuevo en otro sitio. El segundo escenario es de especial relevancia ya que no solamente los lineamientos de la NOM-083-SEMARNAT-2003 limitan las áreas viables para la construcción de rellenos sanitarios sino las posibles comunidades cercanas, asociaciones civiles y opinión pública en general pueden estar en desacuerdo con las propuestas dificultando aún más la apertura de sitios de disposición final nuevos.

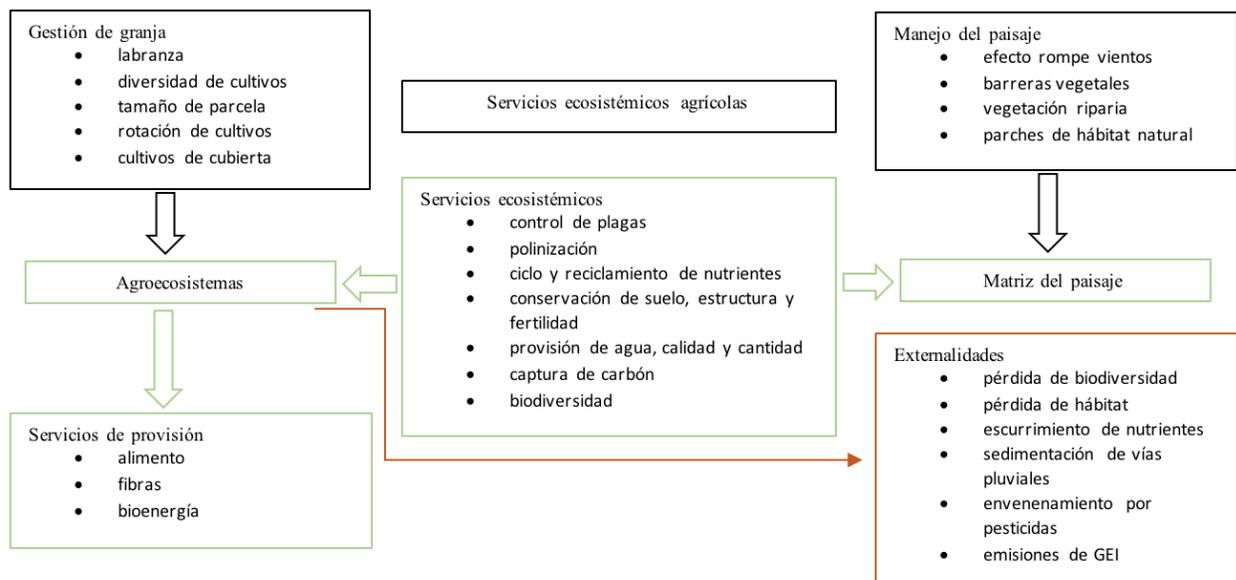
Finalmente, al incrementarse año con año la generación de residuos en el municipio será necesario destinar una mayor cantidad de recursos a este rubro. El incremento en los costos operativos del servicio de recolección debido al mantenimiento de vehículos, la necesidad de ampliar la plantilla de empleados de limpieza y choferes, así como la necesidad de incrementar la flotilla de vehículos recolectores, puede comprometer la sostenibilidad financiera del sistema de gestión.

## 5. Análisis de impactos ambientales potenciales

Los impactos ambientales potenciales se definen como cualquier cambio en el medio natural y sus elementos como: flora, fauna, suelo, gea, aire, agua, clima, paisaje, estructura y función de los ecosistemas, e interacciones ecológicas clave, incluyendo exigencias previsibles en el tiempo, relativas al uso del suelo y de recursos naturales. El impacto de una actividad puede ser adverso o beneficioso, y puede estar derivado total o parcialmente de las actividades, productos o servicios (CONAMA, 2016). Por lo tanto, es de vital importancia analizar dichos impactos en el ámbito ambiental, considerando los efectos que se prevén a corto y largo plazo por la implementación del PMDU, para cada uno de los componentes ambientales relevantes.

### 5.1. Agricultura

Se estima que la superficie de área agrícola abarca aproximadamente la mitad de la tierra no clasificada como desierto, roca o permafrost (Swinton, Lupi, Robertson, & Hamilton, 2007), el ecosistema manejado por el humano más extendido del planeta (Swinton, Lupi, Robertson, & Landis, 2006). La agricultura cubre principalmente necesidades de comida, fibras y combustible. El servicio de provisión de la agricultura depende y provee de servicios de regulación y de soporte para mantener una producción sostenida (polinización y el ciclo de nutrientes, respectivamente) (Swinton, Lupi, Robertson, & Hamilton, 2007). Además, la agricultura provee servicios culturales como el turismo, vistas escénicas, recreación y usos tradicionales (Power, 2010). Esto hace a la agricultura una actividad humana en la que intervienen los cuatro tipos de servicios ecosistémicos de los cuales solamente los servicios de provisión cuentan con mercados formales.



**Figura 66. Impactos de la gestión de granja y gestión del paisaje en el flujo de servicios ecosistémicos y externalidades hacia y desde los agroecosistemas. Adaptado de Power (2010).**

Muchos de los servicios que la agricultura recibe y provee van más allá de la provisión de fibras, comida y combustible, y son en su mayoría indirectos, no gestionados, subvalorados y/o no valorados. Algunos ejemplos de estos son los servicios de polinización, el control natural de plagas, la fertilidad del suelo y la regulación de nitratos lixiviados. Reconociendo que la agricultura forma parte de una red de servicios y externalidades desde y hacia los ecosistemas ayuda a reconocerla como una actividad basada en un paisaje, no en un terreno (Swinton, Lupi, Robertson, & Hamilton, 2007). Esto quiere decir que la agricultura tiene y es sujeta a efectos más allá de las parcelas donde se lleva a cabo.

Es importante señalar que algunos de los efectos no valorados o no reconocidos de la agricultura no siempre son benéficos para los ecosistemas que la contienen y pueden llegar a ser de gran impacto. Algunos de estas externalidades son: los cambios de uso de suelo para el desarrollo agrícola pueden propiciar pérdida de hábitat, la necesidad de riego promueve el desvío de cauces y uso excesivo de agua subterránea, el sobrepastoreo ayuda a los procesos de erosión y puede iniciar la desertificación, entre otros (Swinton, Lupi, Robertson, & Hamilton, 2007). La manera en la que estos sistemas agrícolas se manejan puede ayudar a preservar los servicios ecosistémicos que la misma actividad requiere para considerarse sostenible.

Los efectos negativos de prácticas agrícolas y su impacto están bien reconocidos: los cambios de uso de suelo para el desarrollo agrícola produce pérdida de hábitat, las necesidades de irrigación puede ocasionar agotamiento de agua subterránea y desvío de cauces, el sobrepastoreo lleva a la erosión y puede iniciar desertificación, la carga acelerada de fósforo y nitrógeno en agua superficial promueve la eutrofización marina y de cuerpos de agua, entre otros (Swinton, Lupi, Robertson, & Hamilton, 2007).

La provisión de fibras, alimentos y biocombustibles cuenta con un mercado que propicia su manejo para maximizar el rendimiento de este servicio. Esto se refleja en políticas, investigaciones y apoyos financieros al sector que propician un flujo continuo de estos servicios. Muchos de los servicios ecosistémicos que ayudan a mantener una producción agrícola sostenible no cuentan con mercados establecidos y tampoco el interés por un manejo que garantice su mantenimiento. Los esfuerzos para la protección de los servicios no valorados hacia y desde la agricultura constan, a grandes rasgos, de tres partes: 1) medir la provisión de los servicios ecosistémicos; 2) determinar el valor monetario de los servicios; 3) diseñar herramientas de política para su manejo (Power, 2010).

La determinación del valor de los servicios ecosistémicos ayuda a elaborar políticas para inducir cambios en las prácticas agrícolas que abonan al mantenimiento y provisión de dichos servicios. Por lo general, un cambio en las prácticas agrícolas con el fin de incrementar servicios ecosistémicos significa pérdidas económicas para los agricultores, por lo que debe haber un valor mínimo de compensación que se traduce en el valor que ese servicio ecosistémico tiene para los agricultores. A esto se le denomina “disponibilidad para aceptar”. El valor que le dan los consumidores a los servicios ecosistémicos proveídos se le denomina “disponibilidad para pagar” (Swinton, Lupi, Robertson, & Hamilton, 2007).

Es de suma importancia, al momento de valorar los servicios ecosistémicos hacia y desde la agricultura, un entendimiento de la relación entre las prácticas de gestión agrícolas y el flujo de servicios ecosistémicos, un entendimiento lo más claro posible de los procesos de los que dependen estos servicios ecosistémicos. Esto puede ayudar a que los valores asociados a los servicios ecosistémicos sean realistas.

Zhang, et al. (2007) identifican algunas de las necesidades que existen respecto a la investigación de los servicios ecosistémicos agrícolas:

- Aunque se conocen los servicios ecosistémicos que son importantes para la agricultura, poco se sabe sobre los detalles de cómo es que funcionan y sobre los factores que afectan su provisión. Poco es sabido sobre las especies que generan los servicios ecosistémicos de soporte que requiere la agricultura.
- Es necesario un entendimiento lo más a fondo posible sobre la escala a la que los ecosistemas proveen de servicios a la población. Muchos de los servicios ecosistémicos necesarios para la agricultura actúan a nivel de paisaje, mientras que las decisiones sobre la gestión agrícola se toman de acuerdo con el valor *in situ* de la parcela.
- Muchos de los servicios ecosistémicos y de los factores que los propician dependen del contexto. Las reglas universales son raras, esto debido a que el valor que cada comunidad atribuye a un servicio ecosistémico depende del sistema ecológico donde se presenta. Las poblaciones atribuyen diferente valor a distintos aspectos de acuerdo con el contexto, por lo que los mismos procesos son valuados de manera distinta en contextos distintos.
- Las decisiones de gestión de servicios ecosistémicos agrícolas a nivel de paisaje se toman sabiendo que es necesario hacer compromisos entre diferentes servicios. El objetivo de la política agrícola será maximizar los resultados socialmente deseados para lo cual es necesario entender cómo se comportan y relacionan diferentes servicios ecosistémicos en el sistema. Algunos de estos compromisos pueden hacerse basándose en el valor monetario de cada servicio ecosistémico, aunque todavía son necesarios análisis donde se evalúe el impacto acumulativo de una decisión en diferentes servicios ecosistémicos. Además, existen formas de evaluar estos compromisos mediante análisis de información y modelos que ayuden a tomar decisiones informadas.

Entendiendo a los servicios ecosistémicos en función de su relación con los humanos ayuda a cuestionar cómo y por qué nos relacionamos con los ecosistemas de la forma que lo hacemos (Swinton, Lupi, Robertson, & Landis, 2006). Debido también a que la agricultura se trata una actividad manejada por el humano donde intervienen los cuatro tipos de servicios ecosistémicos se presentan ventajas y oportunidades: por un lado, los esfuerzos por aumentar la productividad agrícola han fomentado la investigación científica formal en este campo; por otro lado, la atención fija en la producción agrícola ha dejado de lado los otros servicios ecosistémicos que influyen o son resultado del proceso. Los mejores resultados obtenidos de la investigación sobre la relación entre el manejo de ecosistemas agrícolas y los servicios ecosistémicos se han obtenido de un acercamiento sistémico. “Las limitaciones de la investigación problema-respuesta se hacen rápidamente aparentes cuando una solución desarrollada para solucionar un problema crea otro en otro lugar. Una aproximación sistémica, explorando cómo los componentes del ecosistema interactúan, tiende a explotar de mejor manera las sinergias y predecir los efectos de una intervención de gestión específica en otras partes del sistema” (Swinton, Lupi, Robertson, & Landis, 2006).

Entendiendo que los servicios ecosistémicos necesarios para sostener la agricultura pueden generarse lejos de las parcelas a las que benefician y que los servicios que ofrece la agricultura van más allá que la provisión de fibras, comida y combustible puede ayudar a definir el alcance requerido para la planeación

del sector primario. Con un enfoque en la maximización de la producción de los servicios de provisión es muy probable que las actividades agrícolas disminuyan o modifiquen los servicios ecosistémicos que proveen otro tipo de ecosistemas no gestionados, pero identificando procesos clave y gestionándolos de manera adecuada los agroecosistemas pueden proveer una variedad de servicios. Para esto se considera importante un enfoque sistémico, multidisciplinario y a nivel de paisaje que atienda a la complejidad de las interacciones que ocurren en el ecosistema a diferentes escalas de espacio y tiempo.

Para este componente, el equipo de trabajo de la evaluación identificó los siguientes impactos ambientales potenciales con la implementación del PMDU:

1. Incremento del uso de agua para actividades agrícolas
2. Presión a la frontera del bosque
3. Pérdida de calidad de suelos por prácticas de agricultura intensiva

Las estrategias de mitigación para este componente ambiental se presentan en la sección 7.1.

### **5.1.1. Incremento del uso de agua para actividades agrícolas**

Según datos del PMDU, las actividades agrícolas utilizan actualmente el 67% del volumen de agua superficial para uso consuntivo y el 17% del agua subterránea. El objetivo de duplicar la producción agrícola requerirá en la práctica un mayor uso de este servicio ecosistémico de provisión hacia la agricultura. Es importante señalar que estos datos de consumo de agua corresponden a una actividad que aporta \$11.89 millones de pesos al Producto Bruto por tipo de Actividad (PBA) del municipio, lo que representa el 0.07% del total municipal. La pérdida de humedad de suelos agrícolas puede acrecentarse por las labores de labranza o prácticas en las que se deja el suelo descubierto entre las temporadas de los cultivos.

### **5.1.2. Presión a la frontera de bosque**

Aun cuando la topografía del terreno pueda ser pronunciada, las características del suelo de bosques y selvas hace atractivo su uso para soportar actividades agrícolas, aunque la pendiente hace necesario el uso de terrazas para conservar el suelo ante la erosión. El aumento de las actividades agrícolas puede representar una amenaza a zonas de bosque y selva natural. Esto representaría una disminución de los servicios ecosistémicos que proveen a las mismas actividades productivas y a otros sectores de la población. Algunos de impactos por el cambio de uso de suelo de bosque a agrícola está la emisión de GEI, disminución de la infiltración de agua, pérdida de la biodiversidad.

### **5.1.3. Pérdida de calidad de suelos por prácticas de agricultura intensiva**

Las prácticas de labranza, monocultivo, uso de plaguicidas y herbicidas y la falta de cobertura vegetal en temporadas cuando no hay cultivos en las parcelas contribuyen a la disminución de la calidad de los suelos agrícolas. Esto hace que aumente la necesidad de usar insumos para aumentar o mantener la producción de los suelos. Una mayor dependencia de insumos evidencia un sistema que no es sostenible por sí mismo. Se enlistan a continuación los impactos asociados a la pérdida de calidad de los suelos agrícolas:

- Uso menos eficiente de nutrientes lo que puede ocasionar mayor lixiviación de estos a otros ecosistemas como acuíferos, cambiando la calidad del agua, así como a cuerpos de agua, pudiendo ocasionar eutrofización.
- La mayor dependencia a insumos externos puede vulnerar el sustento de los agricultores.
- Erosión de suelo por pérdida de vegetación de cobertura y materia orgánica en suelos.
- Sedimentación de vías pluviales relacionada al punto anterior.
- Emisiones de GEI al necesitar de mayor cantidad de insumos como plaguicidas, herbicidas y fertilizantes minerales.
- Afectaciones por pesticidas a agricultores y a la fauna local.

## 5.2. Agua residual

Para este componente, el equipo de trabajo de la evaluación identificó los siguientes impactos ambientales potenciales con la implementación del PMDU:

1. Incremento de la demanda de los servicios de agua potable y drenaje
2. Incremento de la generación de agua residual y del requerimiento de infraestructura para su tratamiento
3. Incremento del peligro de accidentes por el uso de gas cloro para desinfección
4. Incremento del consumo de energía para tratamiento y bombeo, y emisiones asociadas de GEI
5. Incremento de la generación de biosólidos

Las estrategias de mitigación para este componente ambiental se presentan en la sección 7.2.

### 5.2.1. Incremento de la demanda de los servicios de agua potable y drenaje

En la Tabla 34 se presenta la superficie de zona urbanizada en 2020 en cada distrito urbano, así como de zona urbanizable a 2030. Estos valores permitirán determinar si los distritos cuentan actualmente con la cobertura necesaria, así como el área de cobertura que se requerirá en caso de desarrollarse la totalidad de la zona urbanizable en 2030. Cabe aclarar que la zona urbanizable puede o no ser desarrollada en su totalidad. Según el PMDU (apartado: superficie urbanizada por año) se espera que la zona urbanizada para 2030 sea de 8,346 Ha; según la Tabla 34 el área de la zona urbanizada es de 7,063.45 Ha y el área de la zona urbanizables es de 4,661.94. Sin embargo, para los análisis se tomará el peor caso posible, como que toda el área urbanizable sea urbanizada para 2030.

**Tabla 34. Superficie de zona urbanizada en 2020 en cada distrito urbano y zona urbanizable a 2030.**

Distrito Urbano	Área Total (Ha)	Zona urbanizada en 2020 (Ha)	Proporción de zona urbanizada en 2020 (%)	Zona urbanizable a 2030 (Ha)	Proporción de zona urbanizable a 2030 (%)	Zona no urbanizable (Ha)	Proporción de zona no urbanizable (%)
1	1,810.29	925.37	51.12%	557.67	30.81%	327.25	18.08%
2	1,684.19	509.63	30.26%	689.21	40.92%	485.35	28.82%
3	1,595.06	968.50	60.72%	497.46	31.19%	129.10	8.09%
4	1,305.99	1,152.85	88.27%	72.19	5.53%	80.95	6.20%
5	845.16	526.23	62.26%	10.30	1.22%	308.63	36.52%
6	420.90	402.15	95.55%	1.22	0.29%	17.53	4.16%
7	941.54	722.42	76.73%	51.29	5.45%	167.83	17.82%
8	652.02	497.95	76.37%	2.97	0.46%	151.10	23.17%
9	992.05	289.18	29.15%	58.20	5.87%	644.67	64.98%
10	1,312.66	264.12	20.12%	314.63	23.97%	733.91	55.91%
Las Palmas	8,558.47	301.36	3.52%	1,434.01	16.76%	6,823.10	79.72%
El Colorado	6,170.13	503.68	8.16%	972.79	15.77%	4,693.66	76.07%
<b>Total</b>	<b>26,288.47</b>	<b>7,063.45</b>	-	<b>4,661.94</b>	-	<b>14,563.08</b>	-

Según lo visto en el diagnóstico, el DU4 y el DU5 requieren completar la cobertura de agua potable y drenaje en un 30% y 70% respecto al área urbanizables respectivamente.

### 5.2.2. Incremento de la generación de agua residual y del requerimiento de infraestructura para su tratamiento

Para la estimación de generación de agua residual al año 2030, se consideró que la población flotante, constituida mayoritariamente por turistas, representará un 5% de la población total del municipio. Asimismo, se consideró que la población flotante (principalmente turística) se localiza principalmente en los distritos costeros donde se ubica la mayoría de los establecimientos de hospedaje y turismo, es decir, los distritos DU4 al DU10. De esta forma fue posible llevar a cabo una estimación de la generación del caudal medio de agua residual. Sin embargo, es importante mencionar que la población flotante puede distribuirse de forma diferente si se toman en cuenta otros establecimientos turísticos como el ecoturismo en montaña. Para una estimación más precisa será necesario realizar un análisis detallado respecto al movimiento y consumo de agua potable de la población flotante. Asimismo, para el cálculo poblacional (fija y flotante) se consideró un consumo de agua potable de la población fija de 250 L/Hab/día y de 500 L/habitante/día para la población flotante, según se menciona en el PMDU (apartado: agua potable). De igual forma, se consideró que la generación de agua residual es de un 80% con respecto al consumo de agua potable.

En la Tabla 35 se presenta como referencia el consumo de agua en litros por día por persona (habitante y turista) en diferentes partes del mundo. Esta figura resalta la disparidad de consumo en ciertas zonas.

**Tabla 35. Consumo de agua a nivel mundial. Elaborado con datos de Becken (2014), Ruiz (2018) y We Are Water Foundation (2017).**

Lugar	Consumo de Agua por Habitante (L/d*persona)	Consumo de Agua por Turista (L/d*persona)	Referencia
Puerto Vallarta	250	500	PMDU, sección Agua potable
España	127	450-800	<a href="https://www.wearewater.org/es/turismo-y-agua-una-relacion-dificil-que-debe-ser-modelica_282641#:~:text=En%20la%20actualidad%2C%20el%20turismo,del%20consumo%20mundial%20de%20agua.&amp;text=En%20zonas%20situadas%20en%20el,seg%C3%BAAn%20datos%20de%20la%20OAMD.">https://www.wearewater.org/es/turismo-y-agua-una-relacion-dificil-que-debe-ser-modelica_282641#:~:text=En%20la%20actualidad%2C%20el%20turismo,del%20consumo%20mundial%20de%20agua.&amp;text=En%20zonas%20situadas%20en%20el,seg%C3%BAAn%20datos%20de%20la%20OAMD.</a>
Guanajuato	92	233	<a href="https://www.eumed.net/rev/turydes/24/agua-turismo.html">https://www.eumed.net/rev/turydes/24/agua-turismo.html</a>
Filipinas	180	981	<a href="https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2212371714000341?token=EBE5D8D08B9577B0F2F6CB295E1FC4856E043697E2B501CD7D5BE0DD4798167233293860C96C90D61A295F7F60B1E0D6">https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2212371714000341?token=EBE5D8D08B9577B0F2F6CB295E1FC4856E043697E2B501CD7D5BE0DD4798167233293860C96C90D61A295F7F60B1E0D6</a>
China	140	956	
Malaysia	390	914	
Australia	490	332	
Egipto	210	717	
Fiji	80	716	
Francia	250	169	
Alemania	180	198	
Indonesia	190	860	
Italia	430	264	
Mexico	280	568	
Nueva Zelanda	700	295	
Reino Unido	330	178	
Japon	370	437	

La ecuación utilizada para calcular el caudal medio de agua residual es la siguiente, donde  $Q_D$  es el caudal medio diario,  $C$  es el consumo medio de agua potable por habitante por día (L/Hab/día),  $P$  es la población (fija o flotante) y  $R$  es el coeficiente de agua potable que resulta en agua residual.

$$Q_D = \frac{C * P * R}{86,400}$$

En la Tabla 36 se presentan las estimaciones de generación de agua residual por distrito al 2030. Se estima que, en el distrito urbano con mayor población, el DU4, se generará el mayor caudal medio diario de agua residual. Asimismo, se estima que para el 2030, el caudal medio diario generado por la población flotante será de 91.14 L/s, mientras que por la población fija será de 991.36 L/s. Se estima que el caudal medio diario de agua residual por la población general será de 1,002.5 L/s.

**Tabla 36. Estimaciones de caudal medio diario de agua residual por distrito urbano al 2030.**

Distrito Urbano	Proyección de población fija en 2030	Población flotante en 2030	Caudal medio diario por población fija (L/s)	Caudal medio diario por población flotante (L/s)	Caudal medio diario por población general (L/s)
1	37,967.00	-	87.89	-	87.89
2	40,883.00	-	94.64	-	94.64
3	34,812.00	-	80.58	-	80.58
4	134,874.00	2,812.21	312.21	13.02	325.23
5	12,377.00	2,812.21	28.65	13.02	41.67
6	15,232.00	2,812.21	35.26	13.02	48.28
7	68,824.00	2,812.21	159.31	13.02	172.33
8	35,399.00	2,812.21	81.94	13.02	94.96
9	1,583.00	2,812.21	3.66	13.02	16.68
10	2,291.00	2,812.21	5.30	13.02	18.32
Las Palmas	4,905.00	-	11.35	-	11.35
El Colorado	4,562.00	-	10.56	-	10.56
<b>Total</b>	<b>393,709.00</b>	<b>19,685.45</b>	<b>911.36</b>	<b>91.14</b>	<b>1,002.50</b>

Para estimar la generación de agua residual por industrias, comercios e instituciones (dependencias de gobierno, escuelas, iglesias, etc.), se utilizaron datos proporcionados por la Jefatura de Instrumentos Urbanos de la Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente, sobre las áreas urbanizables por distrito urbano en los periodos 2010-2020 y 2020-2030 (ver Tabla 37). Para el análisis se sumaron las zonas urbanizables de ambos periodos (ver Tabla 38).

**Tabla 37. Áreas urbanizables por distrito urbano en los periodos 2010-2020 y 2020-2030.**

Distrito Urbano	Industrial		Comercio		Instituciones	
	Área urbanizable en el periodo 2010-2020 (Ha)	Área urbanizable en el periodo 2020-2030 (Ha)	Área urbanizable en el periodo 2010-2020 (Ha)	Área urbanizable en el periodo 2020-2030 (Ha)	Área urbanizable en el periodo 2010-2020 (Ha)	Área urbanizable en el periodo 2020-2030 (Ha)
1	135.02	86.49	512.59	577.91	369.86	382.92
2	165.57	0.00	384.86	885.52	106.06	53.42
3	0.00	0.00	103.87	927.87	105.88	51.57
4	0.00	0.00	338.16	767.66	24.85	43.29
5	14.11	4.52	162.33	282.13	159.56	50.29
6	0.00	0.00	165.90	183.37	97.55	7.38
7	0.00	0.00	185.29	414.33	12.12	21.91
8	0.00	0.00	134.20	220.65	7.10	10.81
9	0.00	0.00	22.61	120.78	36.39	1.69
10	0.00	0.00	9.86	107.48	2.91	0.92
Las Palmas		0.00		547.91		11.40
El Colorado	0.00	0.00	156.78	752.23	102.26	38.69
<b>Total</b>	<b>314.69</b>	<b>91.01</b>	<b>2,176.46</b>	<b>5,787.86</b>	<b>1,024.54</b>	<b>674.30</b>

**Tabla 38. Áreas construcción por distrito urbano en el periodo 2010-2030.**

Distrito Urbano	Industria (Ha)	Comercio (Ha)	Instituciones (Ha)
1	221.51	577.91	752.78
2	165.57	885.52	159.48
3	0.00	927.87	157.46
4	0.00	767.66	68.14
5	18.63	282.13	209.85
6	0.00	183.37	104.93
7	0.00	414.33	34.03
8	0.00	220.65	17.91

Distrito Urbano	Industria (Ha)	Comercio (Ha)	Instituciones (Ha)
9	0.00	120.78	38.08
10	0.00	107.48	3.83
Las Palmas	0.00	547.91	11.40
El Colorado	0.00	752.23	140.95
<b>Total</b>	<b>405.70</b>	<b>5,787.86</b>	<b>1,698.84</b>

La probabilidad de que la totalidad del agua que sea utilizada es baja, por lo que se elaboraron distintos escenarios de desarrollo, considerando porcentajes de urbanización de 10%, 20%, 30%, 50%, 70% y 100% de la superficie total para cada distrito. Para las estimaciones se consideró que la contribución del área industrial, comercial e institucional (las instituciones son por poner un ejemplo: escuelas, dependencias de gobierno, iglesias) de 0.4 L/s/Ha (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2012). Este valor se multiplica por el área proyectada para cada escenario de desarrollo. En la Tabla 39 se presenta un ejemplo de los cálculos realizados para una proyección de construcción del 100%. El color rojo representa la mayor aportación general de la industria, comercio e instituciones. Los valores mostrados pueden interpretarse como los límites máximos de aportación de agua residual por industria, comercio e institución en caso de que se mantengan las zonas destinadas para estas actividades y las consideraciones realizadas en la zonificación primaria. En los demás escenarios se mantiene el mismo patrón de aportación, pero decremента su aportación.

**Tabla 39. Proyección de caudal medio diario de agua residual por distrito urbano para el escenario al 100% de las zonas urbanizables de industria, comercio e instituciones.**

Distrito Urbano	Caudal medio industrial (L/s)	Caudal medio comercial (L/s)	Caudal medio institucional (L/s)	Caudal medio general (L/s)
1	88.60	231.16	301.11	620.88
2	66.23	354.21	63.79	484.23
3	0.00	371.15	62.98	434.13
4	0.00	307.07	27.26	334.32
5	7.45	112.85	83.94	204.24
6	0.00	73.35	41.97	115.32
7	0.00	165.73	13.61	179.34
8	0.00	88.26	7.17	95.43
9	0.00	48.31	15.23	63.54

Distrito Urbano	Caudal medio industrial (L/s)	Caudal medio comercial (L/s)	Caudal medio institucional (L/s)	Caudal medio general (L/s)
10	0.00	42.99	1.53	44.52
Las Palmas	0.00	219.16	4.56	223.72
El Colorado	0.00	300.89	56.38	357.27
<b>Total</b>	<b>162.28</b>	<b>2,315.14</b>	<b>679.54</b>	<b>3,156.96</b>

En la Tabla 40 se presenta el caudal medio diario de agua residual por distrito urbano y el total para el municipio, para los distintos escenarios de desarrollo, tomando en cuenta la proyección de población al 2030 para cada distrito. El color verde representa una menor aportación mientras que el rojo una mayor aportación de agua residual.

**Tabla 40. Caudal medio diario de agua residual por distrito urbano, incluyendo la población proyectada para 2030 y escenario de desarrollo.**

Distrito Urbano	Caudal medio, escenario 10% (L/s)	Caudal medio escenario 20% (L/s)	Caudal medio escenario 30% (L/s)	Caudal medio escenario 50% (L/s)	Caudal medio escenario 70% (L/s)	Caudal medio escenario 100% (L/s)
1	149.97	212.06	274.15	398.33	522.50	708.76
2	143.06	191.48	239.90	336.75	433.60	578.86
3	124.00	167.41	210.82	297.65	384.48	514.72
4	358.66	392.09	425.52	492.39	559.25	659.55
5	62.09	82.52	102.94	143.79	184.64	245.91
6	59.81	71.34	82.88	105.94	129.00	163.60
7	190.27	208.20	226.14	262.01	297.87	351.68
8	104.50	114.05	123.59	142.67	161.76	190.39
9	23.04	29.39	35.75	48.46	61.16	80.23
10	22.78	27.23	31.68	40.58	49.49	62.85
Las Palmas	33.73	56.10	78.47	123.22	167.96	235.08
El Colorado	46.29	82.02	117.74	189.20	260.65	367.84
<b>Total</b>	<b>1,318.20</b>	<b>1,633.89</b>	<b>1,949.59</b>	<b>2,580.98</b>	<b>3,212.37</b>	<b>4,159.46</b>

Como el caudal de agua residual por población permanece constante, y solo cambia el área urbanizada, se pueden observar las aportaciones para los diferentes escenarios de área construida. Para el 2030 se

estima que la generación de agua residual se incrementará en todos los casos. La estimación lineal presenta 1,285.81 L/s, la estimación exponencial presenta 1,339.68 L/s y por uso de agua general, con CONAPO presenta 1,173.80 L/s y la proyección por distritos presenta 1,282.48 L/s. Los escenarios que consideran el incremento de las áreas destinadas a la industria, al comercio y a las instituciones, presentan 1,318.20 L/s con un mínimo de 10% de urbanización y un máximo de 4,159.46 L/s, aunque improbable en esa fecha específica.

Cabe resaltar que estos resultados se tratan meramente de la aportación de casas, industria, comercio e instituciones, en promedios anuales y estos no son los caudales de diseño y operación de las PTARs. Para los caudales de diseño será necesario integrar el factor de aportación por hora (pues el agua residual tiene picos en su generación). Para obtener la aportación por la precipitación, con drenaje combinado, el resultado suele multiplicarse por un factor de 1.5 a 2 en cuanto al diseño de PTARs, mientras que con drenajes separados se toma un factor 0.1 a .2 por alguna conexión errada del sistema. Ambos deberán integrarse a la capacidad cárcamos de bombeo y PTARs a futuro. Asimismo, como se muestra en la Tabla 40 en los meses de lluvia, el agua residual a tratar se incrementará hasta un 30% del promedio esperado en los meses no lluviosos. Es importante considerar episodios de lluvia extrema, por los efectos del cambio climático, donde el incremento puede ser del 60% del agua residual.

### **5.2.3. Incremento del peligro de accidentes por el uso de gas cloro para desinfección**

Con respecto al tipo de desinfección utilizado como parte del proceso de tratamiento, es importante mencionar que, aunque el cloro es una sustancia económica para lograr este objetivo, la Organización Mundial de la Salud (2004) señala que todas las formas de cloro son perjudiciales para la salud. El cloro es un gas inestable que reacciona con el agua y con una variedad de sustancias químicas cuando se libera al medio ambiente. En el aire, el cloro se disuelve en con el vapor de agua y se convierte en cloruro y ácido hipocloroso. Aunque el cloro es degradado por la luz solar en unos pocos minutos, si el cloro se libera al agua o al suelo, o si se escapa al aire desde un tanque, se evaporaría rápidamente formando una nube verde-amarillenta que puede ser movilizada por el viento lejos de la fuente original (ATSDR, 2016). Asimismo, el gas cloro provoca irritaciones en el sistema respiratorio y en los ojos a bajas concentraciones (entre 1 y 15 ppm), dolor en el pecho, vómitos, alteraciones del ritmo respiratorio y tos (a 30 ppm), neumonía tóxica y edema pulmonar (entre 40-60 ppm), pudiendo incluso provocar la muerte después de 30 minutos de exposición a 430 ppm y casi inmediata a una exposición de 1,000 ppm. También es altamente dañino para los organismos acuáticos, pues con una concentración de tan solo 0.1 ppm puede producir efectos adversos sobre estos organismos (ATSDR, 2016). Por otro lado, al utilizar la cloración del agua para eliminar organismos patógenos o potabilizarla, se generan subproductos derivados de la cloración de las aguas. Al ser una sustancia tan activa, un exceso de cloro puede reaccionar con distintos compuestos orgánicos, por lo que aumenta el riesgo de que se produzcan trihalometanos (THMs), que son compuestos carcinógenos para el ser humano (Sánchez-Zafra, 2008).

Se considera que la PTAR Norte II ubicada en el distrito DU1, dada la cantidad de agua residual que trata y por lo tanto el gas cloro que debe almacenar para su tratamiento, es la que representa el mayor riesgo en el municipio en cuanto a este factor. Para el distrito en cuestión se estima un aumento poblacional del 91.8% en el periodo 2010-2030. Dicho incremento repercutirá sobre el caudal de agua residual a tratar y,

por lo tanto, sobre la cantidad de gas cloro a utilizar. Por lo anterior, se considera que el peligro de accidentes por su uso será mayor con la implementación del PMDU.

#### **5.2.4. Incremento del consumo de energía para tratamiento y bombeo, y emisiones asociadas de GEI**

Se prevé que con el incremento de la población se incremente la generación de agua residual. Debido a este impacto, se prevé que el SEAPAL consumirá mayor cantidad de energía eléctrica para transportar el agua residual a las PTARs correspondientes por medio de los cárcamos de bombeo. Igualmente se incrementará el consumo eléctrico en las plantas, ya que, al incrementar la cantidad de agua a tratar, se requerirá mayor cantidad de energía para realizar los procesos de tratamiento de agua, ya sea para bombear el agua cuando sea requerido, para mover los motores de los sedimentadores y otros equipos necesarios para el tratamiento.

Derivado de lo anterior, se prevé un incremento en las emisiones de GEI por la generación de electricidad a base de hidrocarburos. En 2017, se trataron 975.65 L/s de agua residual y se estimó una generación de 23,477.02 ton CO<sub>2</sub>eq por el tratamiento y vertido de aguas residuales. Considerando que todas las proyecciones a 2030 muestran un incremento en la generación de agua residual, con un valor medio de 1,300 L/s, se podría esperar una generación de 31,281.84 ton CO<sub>2</sub>eq, es decir un incremento del 33% en las emisiones de GEI respecto del 2017.

#### **5.2.5. Incremento de la generación de biosólidos**

Se prevé que la generación de biosólidos se incremente de manera proporcional al aumento en la generación de agua residual. Actualmente se generan 18 toneladas en base seca diarias de biosólidos, por lo que se prevé la generación de una mayor cantidad de biosólidos. La cantidad exacta dependerá del agua residual tratada y los procesos de tratamiento, estabilización y secado de los lodos. Asimismo, el proceso de convertir de lodos a biosólidos involucra un consumo energético variado y espacio requerido, los cuales se incrementarán también dependiendo del proceso de secado y estabilización utilizado en cada PTAR.

### **5.3. Agua subterránea**

Para este componente, el equipo de trabajo de la evaluación identificó los siguientes impactos ambientales potenciales con la implementación del PMDU:

1. Aumento de la demanda de agua subterránea
2. Aumento del riesgo de contaminación de acuífero
3. Aumento de la impermeabilización del suelo y reducción de oportunidad de infiltración
4. Abatimiento del nivel piezométrico

Las estrategias de mitigación para este componente ambiental se presentan en la sección 7.3.

#### **5.3.1. Aumento de la demanda de agua subterránea**

La actividad urbana, turística y agrícola se abastecen principalmente de agua subterránea. El incremento de la población y el turismo provocará un aumento en la demanda de agua potable y en la extracción de agua subterránea. Aunque el agua es un recurso renovable, debe gestionarse adecuadamente, ya que las implicaciones de no contar con este recurso pueden repercutir de manera importante en el bienestar de la población, economía, y medio ambiente.

Debido a la propuesta de crecimiento, si la extracción aumenta en un solo punto o en 10, crecerá la presión sobre el acuífero y provocará un cambio en la calidad del agua. Como se mencionó en la caracterización del componente, Vallarta tiene un acuífero costero; una de sus características particulares es que, existe una interfaz entre el agua dulce del acuífero y el agua salada del mar, así como causas naturales que pueden producir variaciones en la interfaz (e.g. mareas, variaciones en el clima y en el nivel del mar) y causas inducidas por el hombre. Esto ocurre cuando aumenta la extracción de agua, provocando una intrusión de agua salada y consiguiendo un cambio en la calidad del agua. Como consecuencia se necesitaría modificar y ampliar las plantas potabilizadoras con las que cuenta el municipio o desarrollar un nuevo método para potabilizarla.

A la fecha, el problema del abasto de agua no ha presentado alguna dificultad y ha sido resuelto por el municipio. Optando por un sistema descentralizado de puntos de abastecimiento de acuerdo con la demanda y condiciones topográficas del municipio, como lo es la planta potabilizadora que se ubica en la playa de Mismaloya, en la Figura 67.



**Figura 67. Planta potabilizadora de la playa de Mismaloya. Fotografía tomada en septiembre del 2020.**

Otro aspecto que busca promover el PMDU, es el aumento en la producción agrícola del municipio, para poder mejorar la economía y lograr tener un consumo interno, algo que sin duda requerirá en ciertas épocas del año de un aumento en la demanda de agua subterránea para riego.

Es difícil llegar a una evaluación cuantitativa del impacto que sufrirá el acuífero por la demanda de agua derivada del crecimiento de la población y turismo, ya que no se cuenta con una red para el monitoreo de agua subterránea, sin embargo, el municipio se encuentra a tiempo, pues los niveles de agua de acuerdo con el SEAPAL no han tenido un cambio importante en los últimos años, ni la calidad de agua del acuífero.

### **5.3.2. Aumento del riesgo de contaminación de acuífero**

El mapa de vulnerabilidad de contaminación del acuífero muestra la zona agrícola como principal área de alta posibilidad de contaminación, esta zona se comparte con el municipio de Bahía de Banderas y representa el sustento para muchos campesinos de la región a pesar, de que la actividad turística es una de la principal actividad económica del municipio. Como se mencionó anteriormente existen diferentes actividades que pueden llegar a contaminar el acuífero, una de ellas es la agricultura y los contaminantes más comunes por esta actividad son los pesticidas, material fecal, amonio y nitritos. Estos, se utilizan en técnicas para la siembra de alimentos, en productos utilizados para mejorar las tierras y los productos utilizados para evitar y controlar plagas. Un ejemplo de contaminación de acuífero por agricultura es en las islas Canarias, ya que se han identificado varias zonas con contenidos altos en nitratos en las aguas subterráneas (300-400 mg/l), fruto de una actividad agrícola intensiva (Custodio, 1981; Custodio et al. 1989; Cabrera, 1995; Muñoz Carpena et al., 1997a, 1997b).

En el PMDU, en el apartado de participación ciudadana se reporta que 44% de los participantes consideran que el peor problema ambiental son los tiraderos clandestinos de basura. Los rellenos sanitarios o basureros contaminan el agua subterránea con amonio, salinidad, hidrocarburos halogenados y metales

pesados (Foster et. al, 2020). Al no tener un control y no llevar a cabo la construcción adecuada de un relleno sanitario, se convierte en una zona de contaminación para el acuífero por la infiltración de lixiviados.

Los lixiviados contaminan y pueden causar que cambie la calidad de agua, provocando que esta no sea apta para el consumo humano o que se requiera una mayor tecnificación para remover los contaminantes y obtener agua potable, en cualquier caso, aumentan la inseguridad de obtener el recurso y los gastos asociados.

Puerto Vallarta tiene un acuífero costero y otro tipo de contaminación es la intrusión de agua salina, lo que modificaría la calidad de agua del acuífero, esto en caso de que exista una sobreextracción. Es importante entender que una vez que se rompe la interfaz entre agua dulce y salada y hay una intrusión al acuífero, el cambio será irreversible. Si no se cambia el modelo de gestión de los recursos hídricos, este riesgo es el escenario futuro para el municipio, limitando los lugares para obtener agua potable en Puerto Vallarta.

El análisis de agua subterránea se realizó para el límite territorial del municipio, pero es evidente la necesidad de realizar un análisis en conjunto con el municipio de Bahía de Banderas, debido a la conexión que tienen en todos los aspectos. Cualquier impacto puede generar cambios en la cantidad y calidad de agua de ambos municipios. Bahía de Banderas también cuenta con una amplia zona agrícola dividida solamente por el río Ameca, por lo que la gestión debería de ser paralela para cambiar las prácticas agrícolas y disminuir el riesgo de contaminación al acuífero. Una propuesta es llevar a cabo una red de monitoreo entre ambos municipios, para cuidar la calidad de agua.

### **5.3.3. Aumento de la impermeabilización del suelo y reducción de oportunidad de infiltración**

Debido a la propuesta de crecimiento en zonas urbanas del PMDU, aumentará la población y turismo, lo que provocará un aumento del área urbana y un crecimiento en el desarrollo de infraestructura, incrementando la cantidad de zonas impermeables que impedirán la infiltración de agua pluvial. Como ejemplo se tienen las calles, los complejos hoteleros, las zonas industriales, los edificios, las carreteras, entre otros; los cuales generan una menor oportunidad de infiltración en la zona, disminuyendo la posibilidad de recarga.

Como se puede ver en la Figura 30, el mapa de recarga del acuífero, las zonas en rojo son de mayor posibilidad de infiltración (> 254 mm/año), coincidiendo con zonas que actualmente no están urbanizadas, si se urbanizaran las áreas de alta recarga como lo son las áreas agrícolas (enfocado al distrito urbano el Colorado) o las zonas con poca pendiente (del 0 a 5%) disminuye la probabilidad de infiltración.

Al no regular el aumento de construcciones impermeabilizantes en áreas importantes de recarga, el acuífero tendrá un decremento en su volumen almacenado, por lo que no se cumplirían las estrategias propuestas del PIMA y el PAMIC sobre una gestión sostenible del recurso, provocando que el agua subterránea, ya no pueda ser una opción como fuente de agua potable asequible por las problemáticas que acarrea el decrecimiento del nivel piezométrico para acuíferos costeros.

#### **5.3.4. Abatimiento del nivel piezométrico**

Al realizar la extracción del agua por medio de pozos, se genera un cono de abatimiento alrededor de este. Entre mayor sea el caudal extraído de forma constante, mayor será el abatimiento del acuífero, lo que disminuirá el nivel piezométrico de forma notable en las zonas aledañas. En la parte norte de Puerto Vallarta se ubica la zona urbana y zona agrícola que generan la mayor concentración de pozos, al igual que el mayor porcentaje de volumen por concesiones, por lo cual, se espera que en esta zona se encuentre un mayor abatimiento. A la par, en los pozos con mayor extracción, existirá un abatimiento mayor, comparado con las zonas de poca o nula extracción.

El problema de tener un abatimiento diferenciado es el aumento de zonas de hundimiento dentro de la zona urbana, generando problemas para el funcionamiento y mantenimiento de la infraestructura, poniendo en riesgo el bienestar social, económico y ambiental.



# Biodiversidad

## 5.4. Biodiversidad

Para este componente, el equipo de trabajo de la evaluación identificó los siguientes impactos ambientales potenciales con la implementación del PMDU:

1. Disminución de espacios para albergar flora y fauna en condiciones naturales
2. Aumento de la captura o caza con la fauna local

Las estrategias de mitigación para este componente ambiental se presentan en la sección 7.4.

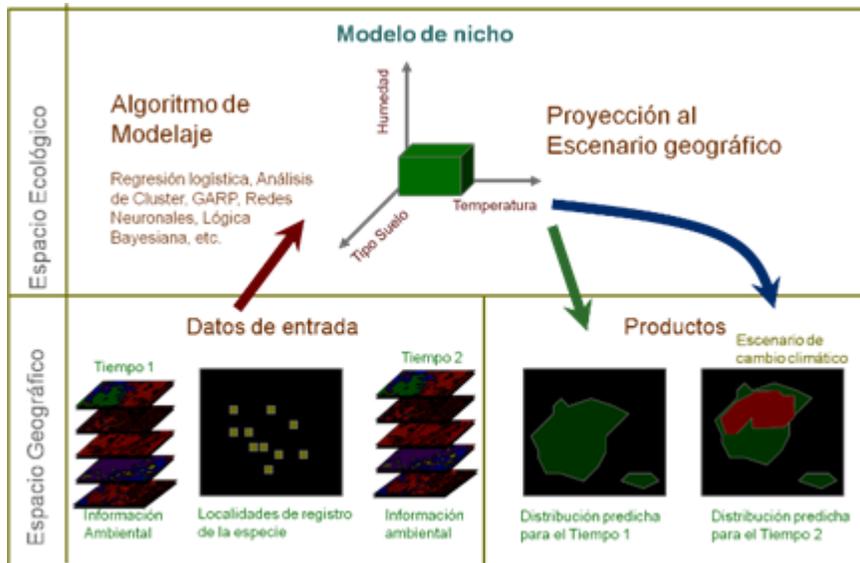
### 5.4.1. Disminución de espacios para albergar flora y fauna en condiciones naturales

El municipio de Puerto Vallarta tiene una geografía y características bióticas muy particulares, que hacen que la diversidad y concentración de especies dentro de su territorio sea una parte muy importante en cualquier política de crecimiento urbano. Es un municipio, a diferencia de otros, que tienen una gran diversidad y que se encuentra en constante movimiento de especies en todo su territorio incluyendo la zona urbana. Realizar los modelos los nichos ecológicos de las especies que se encuentran dentro del municipio lo cual permitirá conocer, como los registros de las especies, las condiciones físicas del terreno y las condiciones climatológicas que forman espacios para la flora y la fauna.

En este sentido, conocer la distribución geográfica de las especies adquiere gran relevancia para la conservación de la biodiversidad, ya que no existe información detallada sobre la distribución geográfica de la mayoría de las especies. Lo anterior en el contexto de un PMDU donde se recortan áreas urbanas, se reciclan espacios y se buscan conservar la superficie agrícola y forestal.

El modelado del nicho ecológico es un instrumento que permite analizar los factores ecológicos asociados a distintas poblaciones de determinada especie y que la influyen en distintos grados y modos, es información que analizada por distintos tipos de algoritmos nos posibilita proyectar a nivel geográfico el área potencial que ocupa la especie. Para Soberón y Nakamura (Jorge Soberón, 2009) el propósito del modelado del nicho ecológico o de los modelados de distribución de especies y del modelado de hábitat son el mismo: identificar los sitios adecuados para la supervivencia de las poblaciones de una especie por medio de la identificación de sus requerimientos ambientales.

Para realizar la modelación se utilizó la versión de escritorio *3.4.1 Maxent Software for modeling species niches and distributions* (Steven J. Philips, 2006). En general, MAXENT identifica asociaciones no aleatorias entre presencias conocidas de cada una de las especies y características ambientales, en una determinada área de estudio, para generar un modelo de nicho ecológico (es decir, un conjunto de condiciones ecológicas habitables por la especie); luego MAXENT identifica el conjunto de tales condiciones en el área de estudio y produce un mapa de presencia-ausencia. En la Figura 68 se puede apreciar un esquema gráfico de la modelación.



**Figura 68. Esquema general del proceso del modelaje de nicho ecológico (Martínez-Meyer y Sánchez-Cordero, 2006).**

Este marco conceptual ha adquirido gran relevancia en estudios de conservación (Margules y Sarkar, 2007), específicamente en predicción de cambios de distribución en escenarios de cambio climático o predicción geográfica de una especie invasora (Rouget et al., 2004), o bien, para identificar áreas potenciales de reintroducción de especies amenazadas y en peligro de extinción (Bourg et al., 2005) o cuantificar el impacto de la pérdida de hábitat en la distribución de especies (Sánchez-Cordero, et al. 2005) e identificar áreas prioritarias de conservación (Ferrier et al., 2002; Fuller et al., 200; Sarkar, et al. 2009). Una explicación detallada de los aspectos técnicos de MAXENT se puede revisar en Phillips, et al. (2006).

Existen una gran cantidad de estudios para México, en relación a la distribución y conservación de especies, pérdida de hábitats naturales, biodiversidad, etc., en los cuales se ha empleado el modelado de nicho ecológico como un enfoque teórico-metodológico muy poderoso, entre los cuales podemos citar los siguientes: Disponibilidad de hábitats adecuados para especies de mamíferos a escalas regional (estado de Guerrero) y nacional (México) de (Francisco Botello, 2015), Biodiversidad, distribución y estado de conservación de la familia *Pinaceae* en Puebla, México (Diana B. Ramos-Dorantes, 2017), Distribución potencial histórica y contemporánea de la familia *Psittacidae* en México (Tiberio C. Monterrubio-Ricoa, 2016), Distribución geográfica y conservación de nueve especies del género *Ferocactus* (Cactaceae) en México (Claudia Ballesteros-Barrera, 2017), Uso del modelado de nicho ecológico como una herramienta para predecir la distribución potencial de *Microcystis sp* (cianobacteria) en la Presa Hidroeléctrica de Aguamilpa, Nayarit (Ibarra-Montoya, 2012), Modelo de nicho ecológico para predecir la distribución potencial de fitoplancton en la Presa Hidroeléctrica Aguamilpa, Nayarit ( Ibarra-Montoya, 2010).

El presente análisis utiliza el enfoque de modelación de hábitats adecuados potenciales de las especies a partir del modelado de la distribución potencial (Francisco Botello, 2015) (A. Guisan, 2000).

## **Metodología**

De manera general, la metodología empleada consistió en recabar registros geográficos de las especies a través de diferentes fuentes de datos, así mismo, las bases de datos de los registros obtenidos fueron revisadas con el objetivo de contar con datos de calidad. Por otro lado, se descargaron las coberturas climáticas de alta resolución para México, que, junto con los registros de las especies, se emplearon para alimentar el software MAXENT y obtener los modelos de nicho ecológico. Posteriormente se construyó un Sistema de Información Geográfica, en el cual se generaron coberturas en formato “raster” de cada uno de los modelos de nicho ecológico y se elaboraron mapas por cada grupo biológico.

### **Registros geográficos**

Para poder llevar a cabo los modelos de nicho ecológico, se requieren registros geográficos de las especies, los registros, se obtuvieron a través de tres fuentes de datos distintas, las cuales se mencionan a continuación.

1. Red Mundial de información sobre Biodiversidad de CONABIO
2. Naturalista
  - a. Registros por grupo biológico para el municipio de Puerto Vallarta
  - b. Registros del proyecto POLINATUR para el municipio de Puerto Vallarta
3. Registros de fauna por parte del área de Medio Ambiente del municipio de Puerto Vallarta

De manera más particular, la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB) es un sistema computarizado de información biológica (incluye bases de datos de tipo curatorial, taxonómico, ecológico, cartográfico, bibliográfico, etnobiológico, de uso y catálogos sobre recursos naturales y otros temas) basado en una organización académica interinstitucional descentralizada e internacional formada por centros de investigación y de enseñanza superior, públicos y privados, que posean tanto colecciones biológicas científicas como bancos de información.

Naturalista, es una colaboración de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) con iNaturalist.org junto con California Academy of Sciences y National Geographic Society.

Por su parte, el POLINATUR forma parte de los proyectos de Naturalista, y es un proyecto paraguas que alberga seis proyectos a nivel nacional. Los proyectos compilan las observaciones sobre las especies de aves, mamíferos e insectos que prestan el servicio de polinización o son visitantes florales (CONABIO, 2020).

Así mismo, los registros que se tienen dentro del municipio por el área de Medio Ambiente son el resultado de acciones de rescate o aviso de vecinos sobre especies de fauna, estos registros son muy valiosos porque demuestran que a pesar de ser una zona urbana amplia sigue existiendo presencia de fauna de manera constante. El departamento de Medio Ambiente del municipio en diferentes entrevistas comenta que es común que la población hable para mencionar avistamientos o pedir ayuda para el desalojo o rescate de fauna, actividad que lleva un registro ordenado y permiten aumentar la precisión de los modelos.

A través de dichas fuentes de datos (municipio, naturalista, CONABIO) fue posible reunir un total de 4,123 registros de flora y fauna repartidos en seis grupos biológicos con un total de 1,234 especies, quedando como se muestra en las Tablas 41 y 42.

**Tabla 41. Registros geográficos para las modelaciones.**

Grupo	Número de registros
Flora	1,425
Aves	1,408
Anfibios	56
Reptiles	358
Insectos	760
Mamíferos	116
Polinizadores asociados a cultivos	22
<b>Total</b>	<b>4,145</b>

**Tabla 42. Número de especies por grupo biológico.**

Grupo	Número de especies
Flora	527
Aves	173
Anfibios	12
Reptiles	56
Insectos	430
Mamíferos	29
Polinizadores asociados a cultivos	7
<b>Total</b>	<b>1,234</b>

### Revisión de bases de datos

Debido a la diversidad de la procedencia de los datos y sus diferentes formatos, fue necesario revisar y estandarizar la información de cada una de las bases para que fueran compatibles con el software MAXENT. La revisión de las bases de datos consistió, en la detección de errores e inconsistencias con la finalidad de conservar la calidad de los datos, en términos de confiabilidad y exactitud. Por lo tanto, las bases de datos se depuraron, conservando solo los registros de calidad, eliminando los registros que no contaran con determinación a nivel de nombre científico, registros repetidos, así como registros de especies domésticas.

Posteriormente, una vez depurados los registros, para realizar los análisis correspondientes al modelado de nicho, se construyeron bases de datos por grupo biológico. La base de datos se almaceno en formato (.csv), conteniendo: nombre científico, longitud y latitud. De esta manera se obtuvo la base final para alimentar el modelo de nicho ecológico, como se describe más adelante.

## VARIABLES AMBIENTALES

Se emplearon las coberturas climáticas de alta resolución actualizadas para México, obtenidas del Centro de Recursos Idrisi (UAMEX, 2020), los cuales fueron realizadas por investigadores de la UAE Méx, UNAM, y el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, quienes actualizaron dichas superficies climáticas a nivel mensual (periodo 1910 - 2009), utilizando ANUSPLIN como método de interpolación. Con el objetivo de que puedan ser utilizados en procesos de conservación biológica, seguridad ambiental, etc. (Angela Cuervo-Robayo, 2013).

La principal ventaja de estas coberturas es que cubren prácticamente todo el siglo 20 y casi toda la primera década del siglo 21, siendo la cobertura climática más actualizada y de mayor resolución para el país.

Las coberturas integran 19 variables bioclimáticas para dibujar o plasmar el nicho ecológico de las especies o especies que se desee modelar, los bioclimas que se utilizan se muestran en la Tabla 43.

**Tabla 43. Descripción de bioclimas.**

Bioclima	Descripción
Bio1	Temperatura Media Anual
Bio2	Rango Medio Diurno (Media mensual (Temperatura máxima – Temperatura min))
Bio3	Isotermalidad (Bio2/Bio7) (* 100)
Bio4	Estacionalidad de la Temperatura (coeficiente de variación)
Bio5	Temperatura Máxima del Mes más Cálido
Bio6	Temperatura Mínima del Mes más Frío
Bio7	Rango de Temperatura Anual (Bio5 - Bio6)
Bio8	Temperatura Media del Trimestre más Húmedo
Bio9	Temperatura Media del Trimestre más Seco
Bio10	Temperatura Media del Trimestre más Caliente
Bio11	Temperatura Media del Trimestre más Frío
Bio12	Precipitación Anual
Bio13	Precipitación del Mes más Lluvioso
Bio14	Precipitación del Mes más Seco
Bio15	Estacionalidad Precipitación (Coeficiente de Variación)
Bio16	Precipitación del Trimestre más Húmedo
Bio17	Precipitación del Trimestre más Seco
Bio18	Precipitación del Trimestre más Caliente
Bio19	Precipitación del Trimestre más Frío

## Modelado de nicho ecológico

Como se menciona anteriormente, se utilizó la versión de escritorio *3.4.1 Maxent Software for modeling species niches and distributions* (Steven J. Phillips, 2006).

Se obtuvieron modelos de nicho ecológico para los seis grupos biológicos. La resolución espacial obtenida para los modelos corresponde a una resolución con tamaño de píxel de 90m<sup>2</sup>.

### **Sistema de Información Geográfica**

Mediante la construcción de un Sistema de Información Geográfica, se generaron coberturas en formato “ráster” de cada uno de los modelos de nicho ecológico y se elaboraron mapas con el rango de probabilidad de presencia para cada una de las especies.

Así mismo, se desplegaron los registros geográficos de las especies, con la finalidad de identificar la distribución actual de las especies.

### **Resultados obtenidos**

A partir de los resultados obtenidos, es posible, en primera instancia, identificar que la distribución actual de las especies contempladas en el presente análisis abarca áreas que se encuentran inmersas en la zona urbana de Puerto Vallarta. Esto permite, por un lado, visualizar la dinámica actual en la que se encuentra dicho territorio, en términos de resguardar hábitats adecuados para la presencia de especies de anfibios, reptiles, mamíferos, aves y polinizadores. Así mismo, adquiere una mayor relevancia el rol actual que juegan las áreas de conservación dentro de la zona urbana, como el Estero El Salado y sus alrededores, en la preservación de los ciclos biológicos de estas especies, así como, los diferentes procesos ecológicos que sustentan dicha biodiversidad, esto, a pesar de los efectos ambientales, que ha generado la planeación, el desarrollo inmobiliario acelerado y la actividad turística poco sustentable, entre otras problemáticas ambientales.

Por su parte, la distribución potencial de las especies, obtenida a través del modelado del nicho ecológico, igualmente indican que, en la zona urbana, así como, en las zonas agrícolas, existe cierta proporción de hábitat adecuado, en la cual las especies pueden satisfacer sus requerimientos mínimos.

En este sentido, conceptualmente, aunque los modelos obtenidos contemplan el nicho realizado de las especies, lo cierto es que, debido a la dinámica propia del área urbana y las limitaciones en términos de requerimientos de hábitats particulares, que pueden ofrecer las áreas agrícolas, los modelos continúan relacionándose con el modelado de una parte del nicho fundamental de las especies, sobre todo, porque no se incluyen las interacciones bióticas y los procesos de dispersión y dinámica de meta-poblaciones, como lo menciona (Francisco Botello, 2015).

De igual manera, es posible identificar que la distribución potencial de las especies modeladas cubre las áreas por donde corren las principales corrientes de agua perennes del territorio municipal, lo cual, adquiere relevancia en función de definir estas zonas como áreas de conservación de la biodiversidad.

Es importante mencionar que, tanto la distribución actual de las especies en la mayoría de los grupos biológicos analizados, esta menormente representada en las áreas que conservan vegetación nativa dentro del municipio, esto puede deberse por un lado a que esas áreas presentan una menor accesibilidad y por lo tanto han sido menos exploradas, por otro lado, a que algunas de las especies tienen un rango de distribución restringida o bien, a algunas de las especies están adaptadas a condiciones antropogénicas. En las Figuras 69, 70, 71, 72 y 73 se pueden apreciar los modelos de distribución para diferentes grupos de fauna.

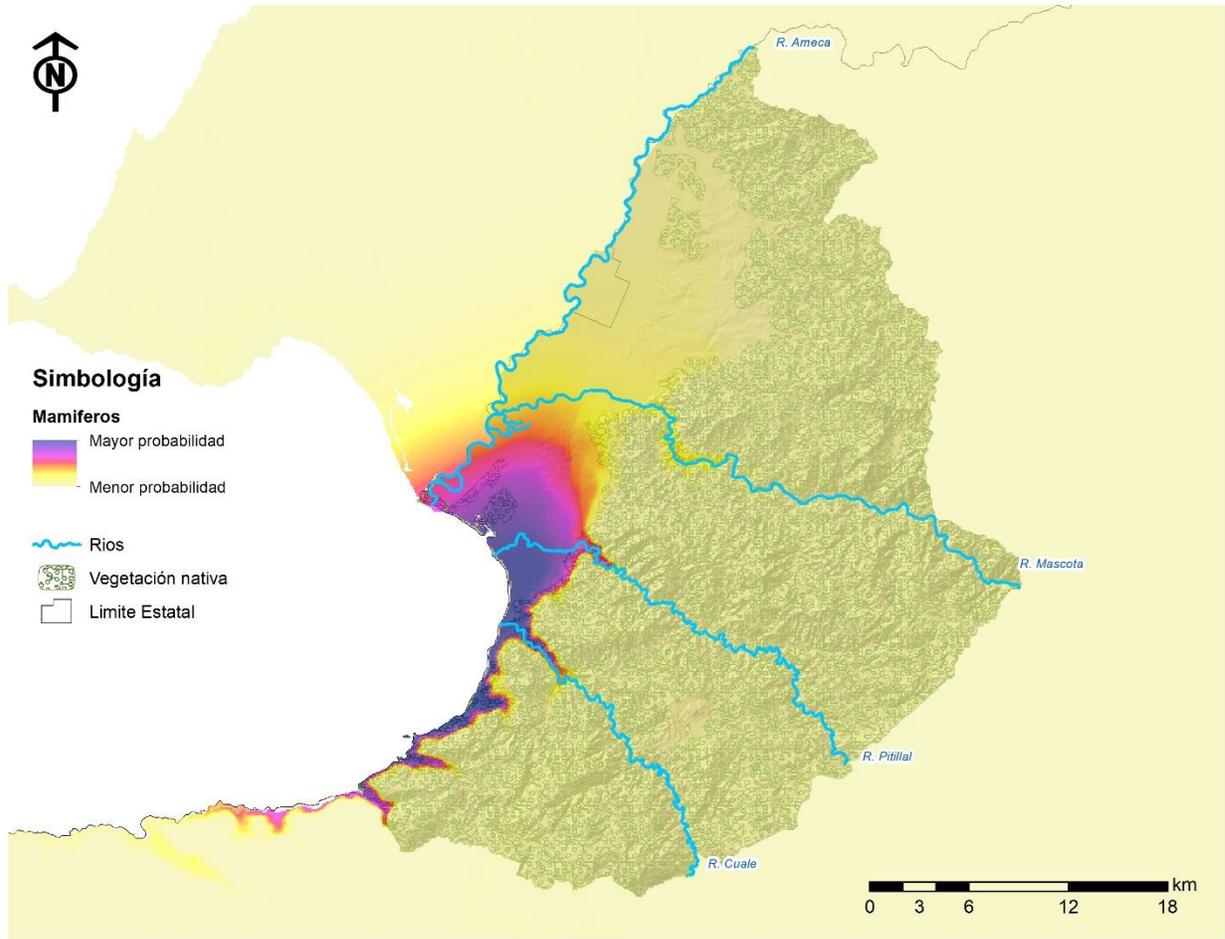


Figura 69. Distribución potencial de mamíferos.

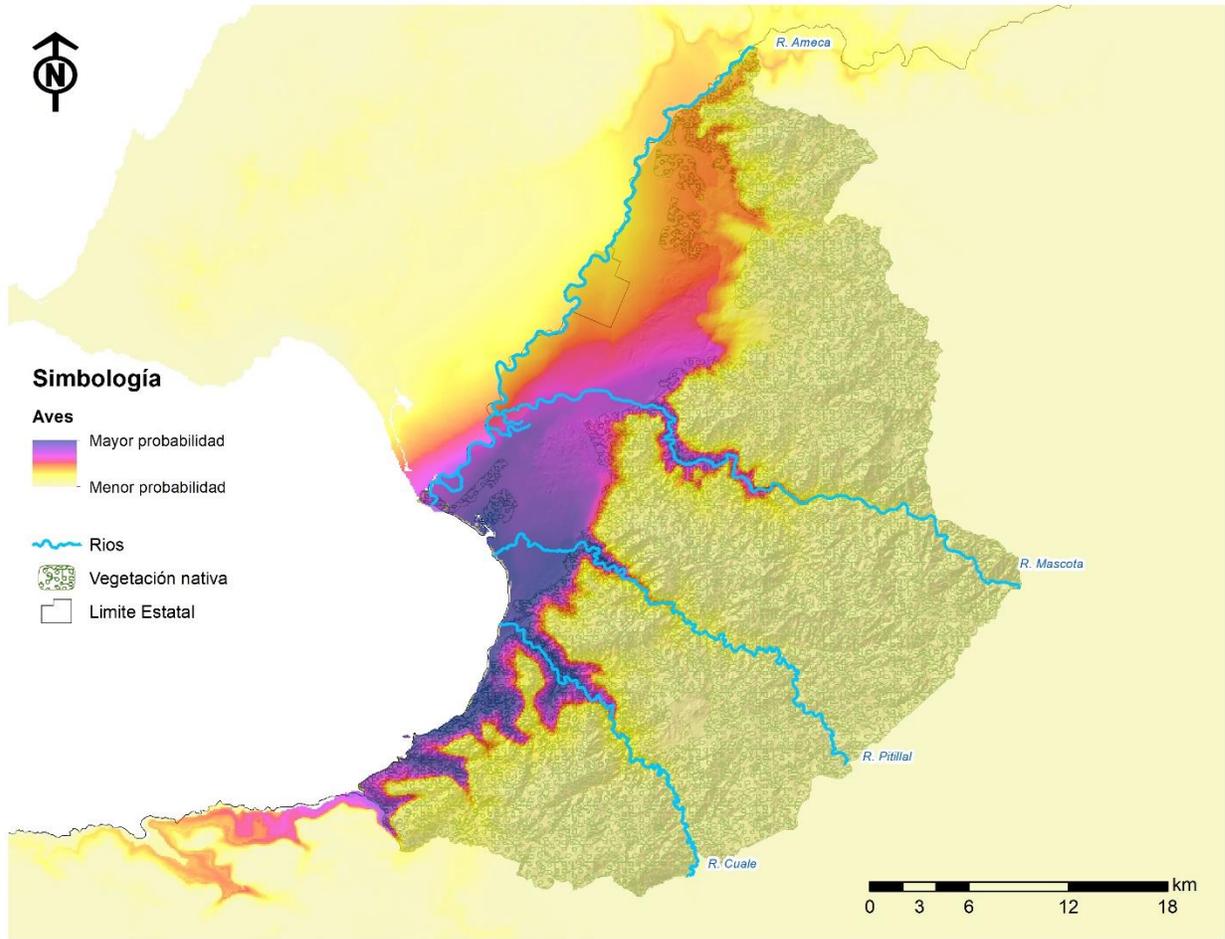
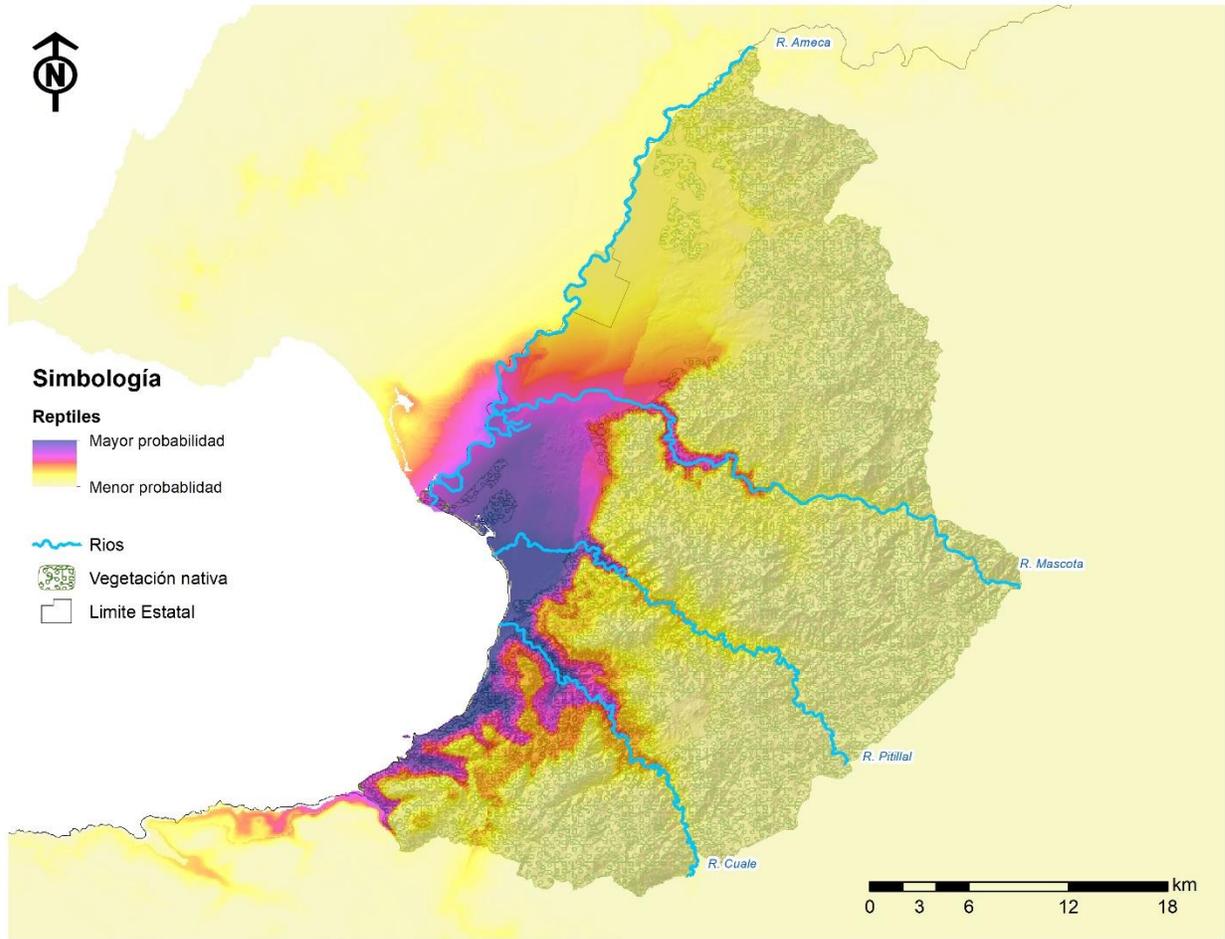
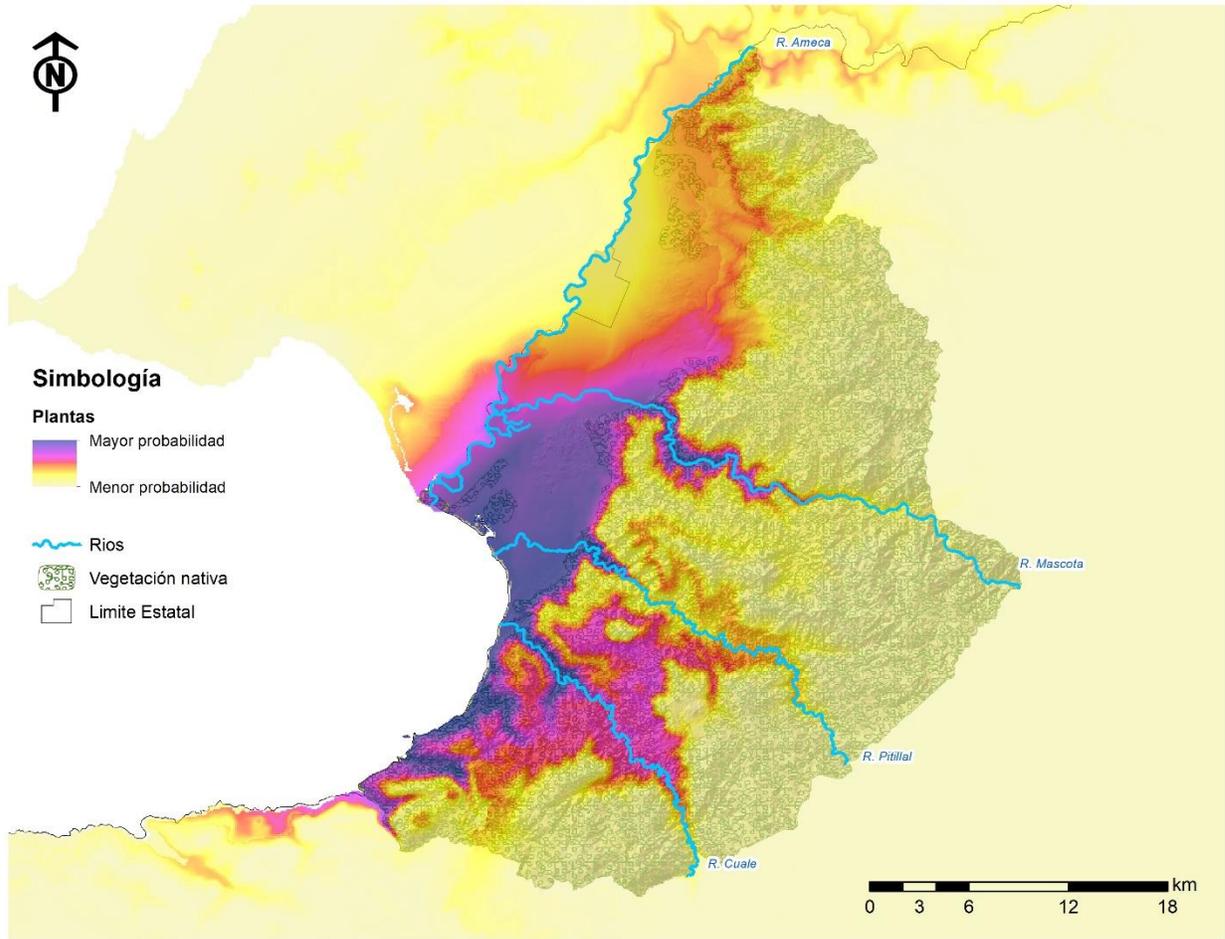


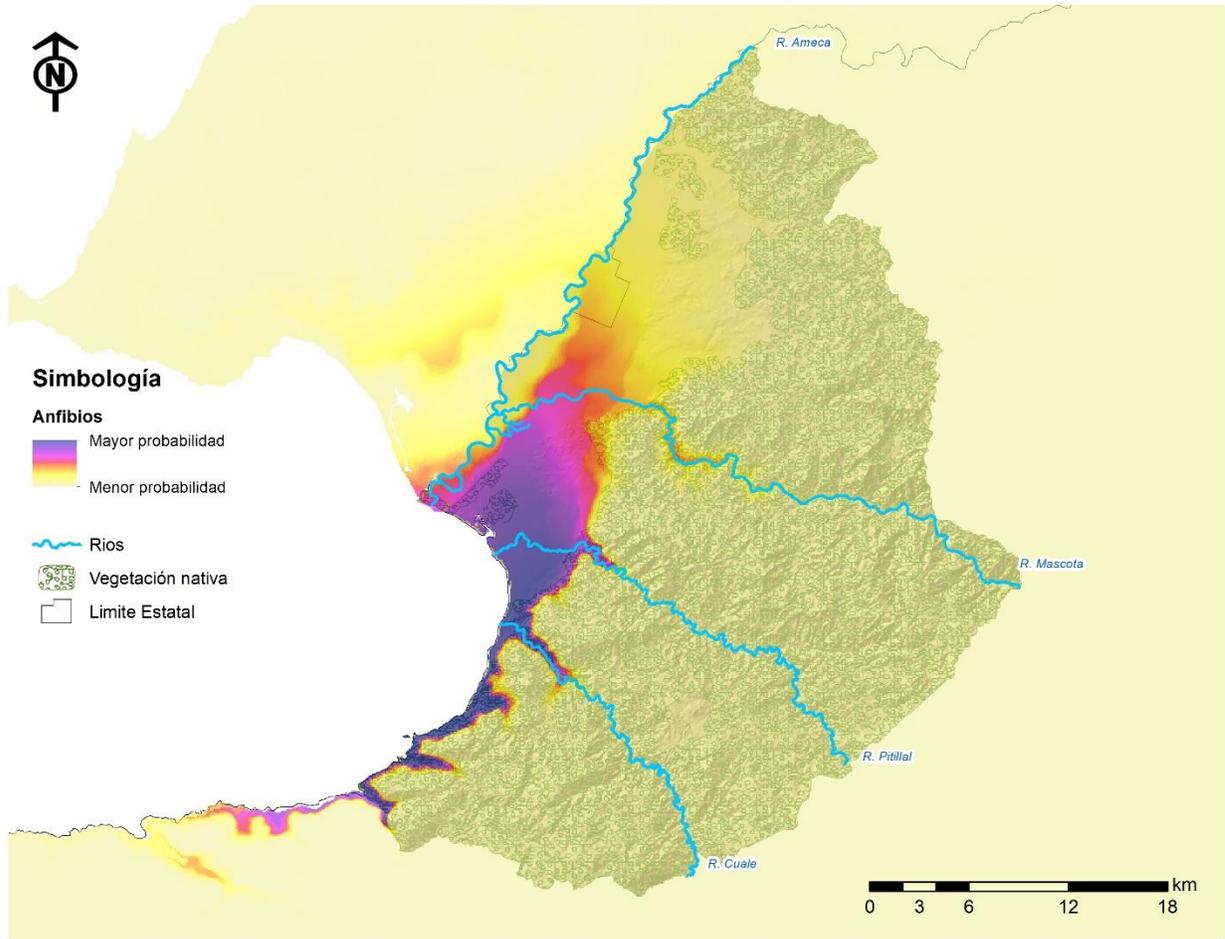
Figura 70. Distribución potencial de aves.



**Figura 71. Distribución potencial de reptiles.**



**Figura 72. Distribución potencial de flora.**



**Figura 73. Distribución potencial de anfibios.**

A manera de conclusión, la zona urbana del municipio, así como, las zonas agrícolas, y el cauce de los ríos principales dentro del territorio municipal, bajo un manejo adecuado, con estrategias de conservación implementadas a una escala apropiada, pueden continuar a lo largo del tiempo, manteniendo condiciones de hábitat idóneo, para las diferentes especies analizadas, conservando de forma exitosa la biodiversidad.

#### **5.4.2. Aumento de la captura o caza de fauna local**

El crecimiento de una ciudad en superficie o en cantidad de población aumenta la probabilidad de encuentros con fauna local en sitios como Puerto Vallarta razón por la cual el impacto ambiental a las comunidades de fauna pudiera ser un elemento que ponga peligro algunas especies con las que la población no se sienta cómoda vivir.

Los modelos de nicho ecológico de la sección anterior evidencian la presencia en la ciudad de los diferentes grupos de fauna y los registros obtenidos por la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente constata que la ciudad forma parte del espacio vital para muchas especies de fauna.

Se han encontrado especies de reptiles grandes en canales de la ciudad y felinos en la parte de alta de la montaña cercanos a casas habitación que han desato acciones directas de la ciudadanía, a pesar de ello el impacto ambiental por la cantidad de animales capturados o cazados por la población no ha repercutido en las poblaciones, esto no quiere decir que se encuentra en equilibrio o que no se requieren acciones, por el contrario al planear una ciudad más compacta será indispensable que la población este cada día más informada y educada sobre cómo actuar ante la presencia de cualquier especie de fauna.

## **5.5. Calidad paisajística**

Para este componente, el equipo de trabajo de la evaluación identificó los siguientes impactos ambientales potenciales con la implementación del PMDU:

1. Modificación de los elementos visuales del paisaje
2. Alteración sobre la lógica territorial y la funcionalidad social y económica
3. Modificación de la funcionalidad geosistémica
4. Modificación del patrimonio histórico y cultural
5. Alteración de los elementos que comprenden el patrimonio natural

Los impactos sobre este componente se encuentran descritos de manera enunciativa en este apartado y se desarrollan de forma más específica para cada distrito urbano en la sección de Anexos de este reporte.

Las estrategias de mitigación para este componente ambiental se presentan en la sección 7.5.

### **5.5.1. Modificación de los elementos visuales del paisaje**

Con la implementación del PMDU se prevé una modificación de los elementos visuales del paisaje. Los impactos visuales pueden comprender cambios en los elementos geomorfológicos, vegetales y patrones compositivos. En cuanto a los elementos geomorfológicos, se puede alterar la integridad morfológica del terreno. Los cambios a los elementos vegetales consisten en alteraciones en la integridad de la vegetación natural. Por último, los cambios en los patrones formales y/o compositivos se relacionan con alteraciones en la forma, textura y escala dentro de las diferentes escenas del paisaje.

### **5.5.2. Alteración sobre la lógica territorial y la funcionalidad social y económica**

Con la implementación del PMDU se prevé una alteración sobre la lógica territorial y la funcionalidad social y económica. Cada lugar, en función del tipo de paisaje, posee una funcionalidad con la que se ve involucrada la distribución de los elementos que lo conforman. Cuando se modifica esa disposición se afecta la lógica territorial. Este hecho puede ocasionar una pérdida de productividad, ya sea recreativa, turística, forestal y agrícola, por lo que se pueden observar insatisfechas las necesidades económicas y sociales de una población. Si no se gestiona bien el modelo de organización del territorio y los posibles impactos de proyectos de desarrollo, puede ocasionarse una desconexión entre las distintas áreas destinadas a un determinado rubro económico o social.

### **5.5.3. Modificación de la funcionalidad geosistémica**

Con la implementación del PMDU se prevé una modificación de la funcionalidad geosistémica. La pérdida de biodiversidad y geodiversidad puede estar relacionada con la pérdida tanto indirecta como directa de la calidad paisajística. Por ejemplo, la expansión de la red de infraestructura de transporte como carreteras y autopistas altera la calidad visual y del mismo modo dificulta la conectividad ecológica que existe en el territorio, ocasionando la fragmentación de hábitats (Fernández, et al. 2005).

#### **5.5.4. Modificación del patrimonio histórico y cultural**

Con la implementación del PMDU se prevé una modificación del patrimonio histórico y cultural. Este impacto se encuentra relacionado con la transformación de los elementos materiales e inmateriales que surgen a partir de las herencias culturales de diferentes épocas. Los edificios y calles con significado histórico forman parte de la identidad territorial. Los impactos sobre estos elementos pueden desencadenar la pérdida de identidad, la uniformización o la extinción de los elementos culturales. Cabe destacar que estos se deben frecuentemente a la deficiencia o falta de instrumentos para la correcta valorización del paisaje, así como de la carencia de mecanismos para la protección del paisaje cultural.

#### **5.5.5. Alteración de los elementos que comprenden el patrimonio natural**

Con la implementación del PMDU se prevé una alteración de los elementos que comprenden el patrimonio natural. El patrimonio natural se encuentra conformado por zonas con un alto valor estético y/o científico debido a las singularidades físicas y biológicas de la naturaleza. Los impactos sobre el patrimonio natural abarcan las alteraciones ambientales sobre la integridad de los ecosistemas, como la fauna, la vegetación, la geología y la hidrología.

## 5.6. Clima local

Para este componente, el equipo de trabajo de la evaluación identificó el siguiente impacto ambiental potencial con la implementación del PMDU:

1. Incremento del efecto de isla de calor

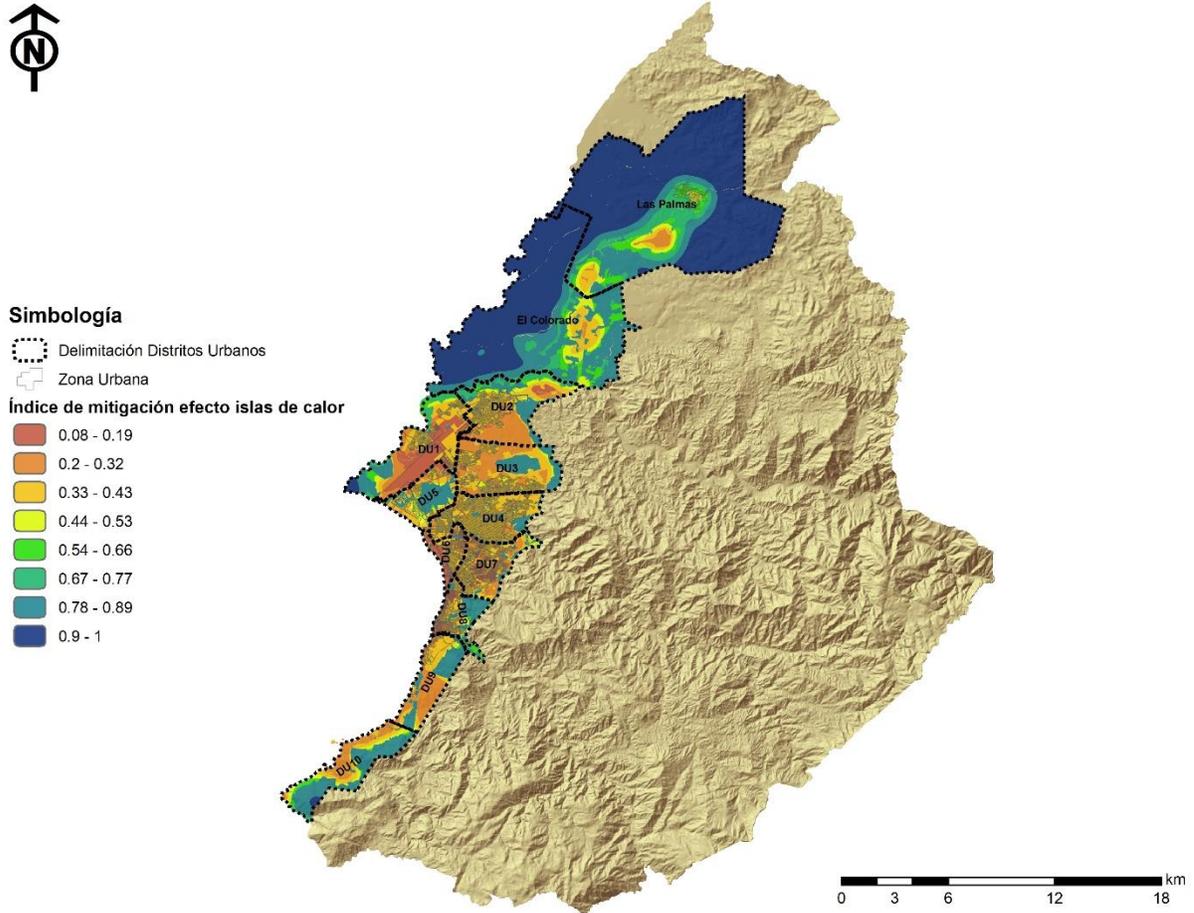
Las estrategias de mitigación para este componente ambiental se presentan en la sección 7.6.

### 5.6.1. Incremento del efecto de isla de calor

La implementación del PMDU implicará la expansión de la superficie urbana. Esto a su vez provocará que el efecto de isla de calor se presente en las nuevas áreas urbanas del municipio. Para analizar este impacto ambiental, se utilizó de nueva cuenta el *software* InVEST®, descrito en la sección 4.6.2. Se modeló un escenario con la implementación del PMDU, es decir, un escenario que considera el desarrollo urbano propuesto en el PMDU. Para modelar este escenario se utilizó la siguiente información:

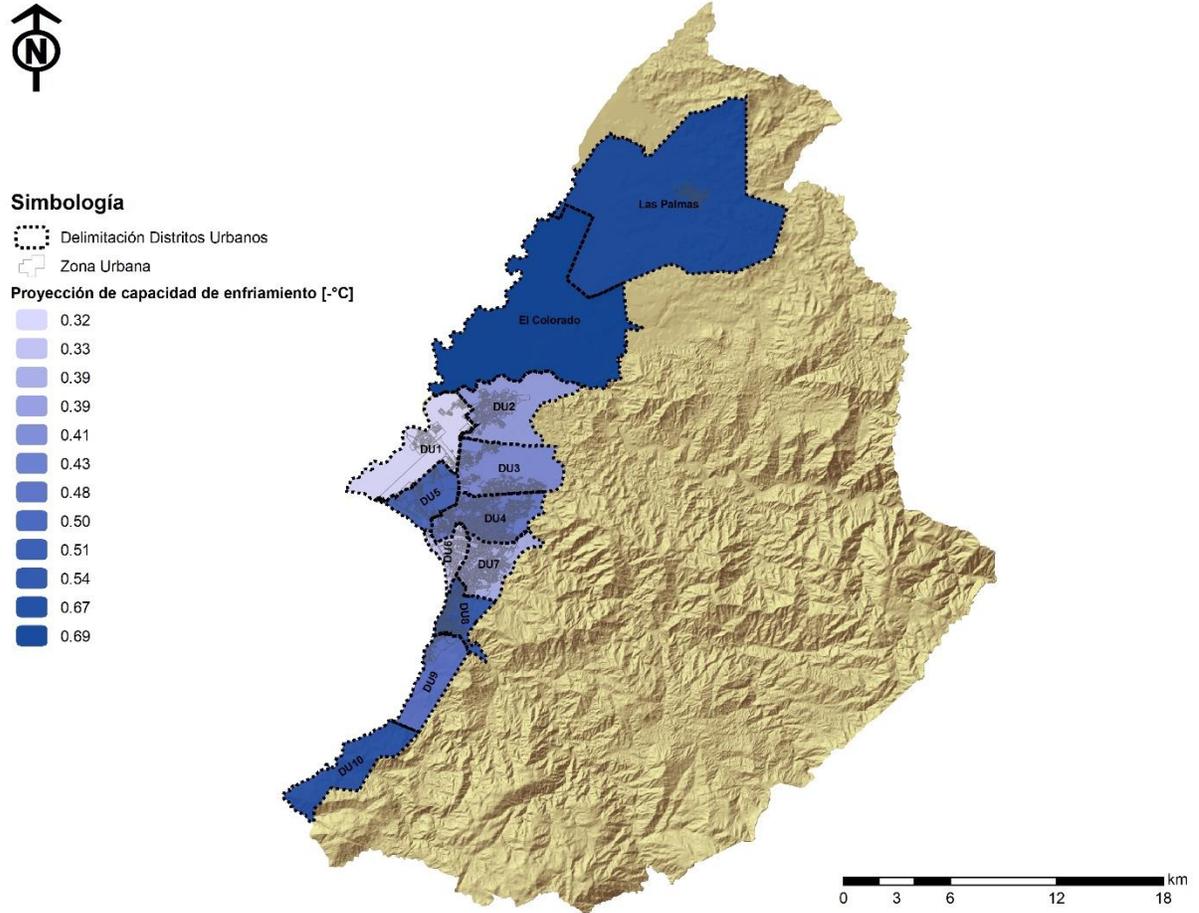
- Temperatura máxima promedio: Se utilizó un valor de 36.6°C, correspondiente a la temperatura máxima promedio esperada con los efectos del cambio climático, de acuerdo con lo mencionado en la sección 4.6.3.
- Uso de suelo: Zonificaciones secundarias propuestas para los doce distritos urbanos.
- Evapotranspiración: Cobertura de evapotranspiración real para el municipio, extraída de Maderey (1990).
- Magnitud del efecto de isla de calor: Se utilizó el valor de 2°C, según lo mencionado en la sección 4.6.2.

Los resultados de este escenario se presentan en las Figuras 74, 75 y 76. En la Figura 74 se observa que el índice de mitigación del efecto de isla de calor será mayor en las áreas con vegetación forestal y agrícolas, así como en los espacios abiertos y verdes. Por el contrario, este índice será menor en las áreas con mayor grado de urbanización existente y propuesto en el PMDU.



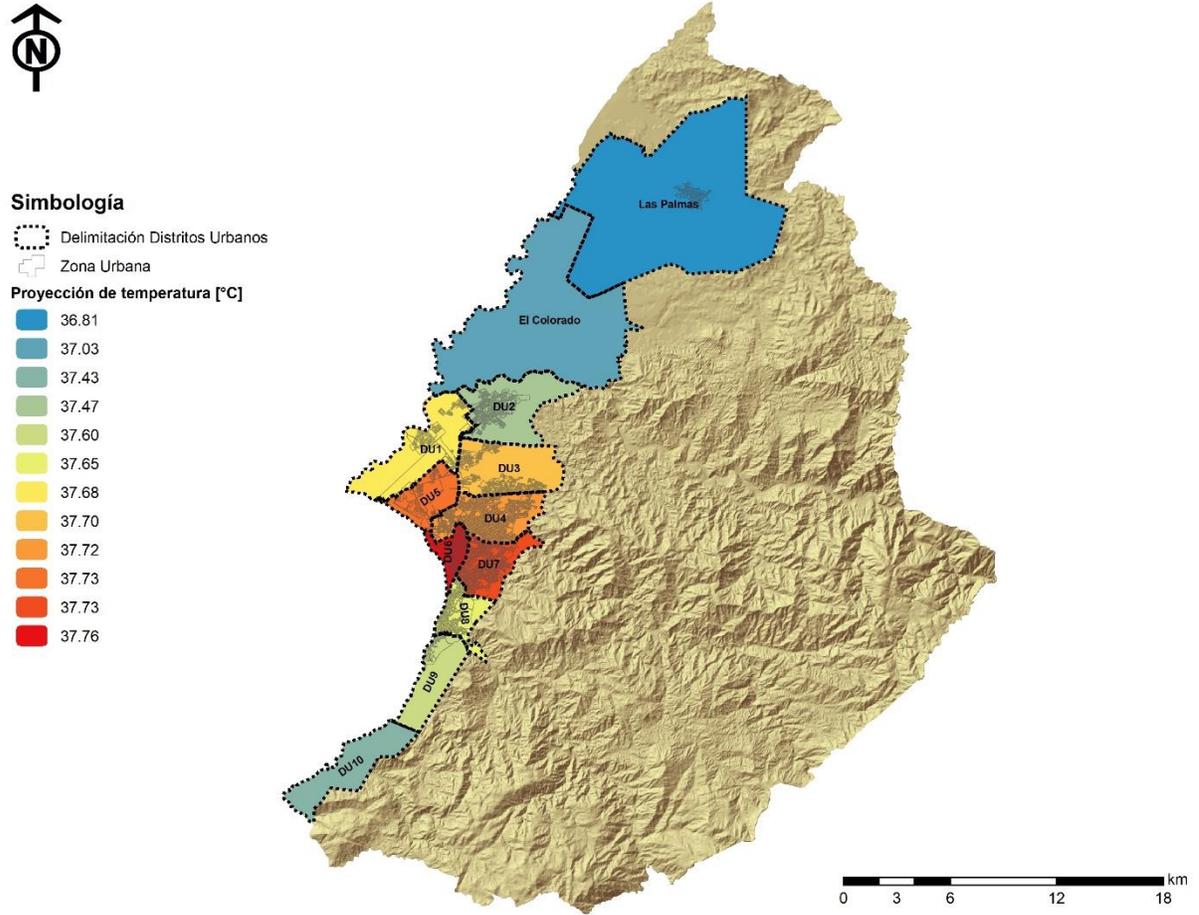
**Figura 74. Índice de mitigación del efecto de isla de calor en las áreas de aplicación de los distritos urbanos para el escenario con la implementación del PMDU.**

En la Figura 75 se presenta la capacidad de enfriamiento de los distritos urbanos, es decir, la temperatura que logran reducir (en °C) por sus características y usos de suelo. Los distritos para los que se proyecta una capacidad de enfriamiento mayor son el DU-El Colorado y el DU-Las Palmas, mientras que para el DU1-Las Juntas y el DU6-Fluvial Vallarta se proyecta una capacidad de enfriamiento menor.



**Figura 75. Proyección de capacidad de enfriamiento de los distritos urbanos para el escenario con la implementación del PMDU.**

Finalmente, en la Figura 76 se presenta la proyección de temperatura para cada distrito urbano. Se observa que el distrito para el que se proyecta la temperatura más baja es el DU-Las Palmas, mientras que el distrito para el que se proyecta la temperatura más elevada es el DU6-Fluvial Vallarta.



**Figura 76. Proyección de temperatura en los distritos urbanos para el escenario con la implementación del PMDU.**

## 5.7. Esguerrimiento pluvial

Para este componente, el equipo de trabajo de la evaluación identificó los siguientes impactos ambientales potenciales con la implementación del PMDU:

1. Incremento del volumen de esguerrimiento pluvial
2. Incremento del riesgo y la severidad de las inundaciones pluviales

Las estrategias de mitigación para este componente ambiental se presentan en la sección 7.7.

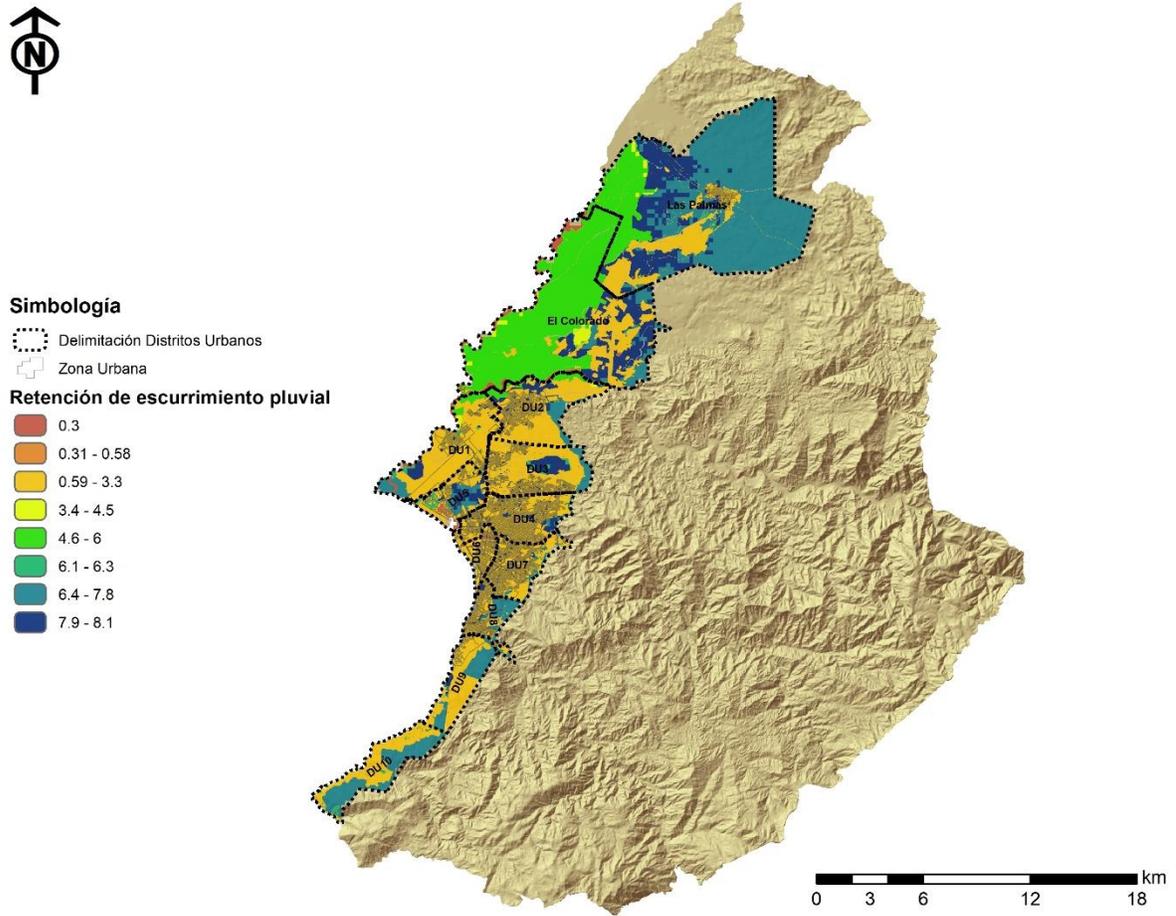
### 5.7.1. Incremento del volumen y flujo del esguerrimiento pluvial

Con el PMDU se impulsará la expansión física de los asentamientos humanos en las áreas de reserva territoriales del municipio mediante la implementación de políticas de crecimiento. Esto se llevará a cabo principalmente en los distritos urbanos DU1, DU2, DU3, DU4, DU-Las Palmas y DU-El Colorado, en las áreas identificadas como urbanizables en el PMDU. La urbanización de dichas áreas provocará alteraciones en el ciclo hidrológico de la cuenca mediante el aumento de superficies impermeables, de acuerdo con el proceso de urbanización descrito en la sección 4.7.1. Esto a su vez conllevará un incremento de la cantidad de lluvia que se convierte en esguerrimiento pluvial. Asimismo, como se mencionó en la en la sección 4.7.1, los sistemas tradicionales de gestión de agua pluvial buscan eliminar el esguerrimiento pluvial a través de soluciones de ingeniería como tuberías y canales. Sin embargo, frecuentemente este tipo de intervenciones incrementan la velocidad del esguerrimiento pluvial, incrementando también, de manera asociada el flujo de este.

Para analizar este impacto ambiental, se utilizó de nueva cuenta el *software* InVEST®, descrito en la sección 4.6.2. Se modeló un escenario con la implementación del PMDU, es decir, un escenario que considera el desarrollo urbano propuesto en el PMDU. Para modelar este escenario se utilizó la siguiente información:

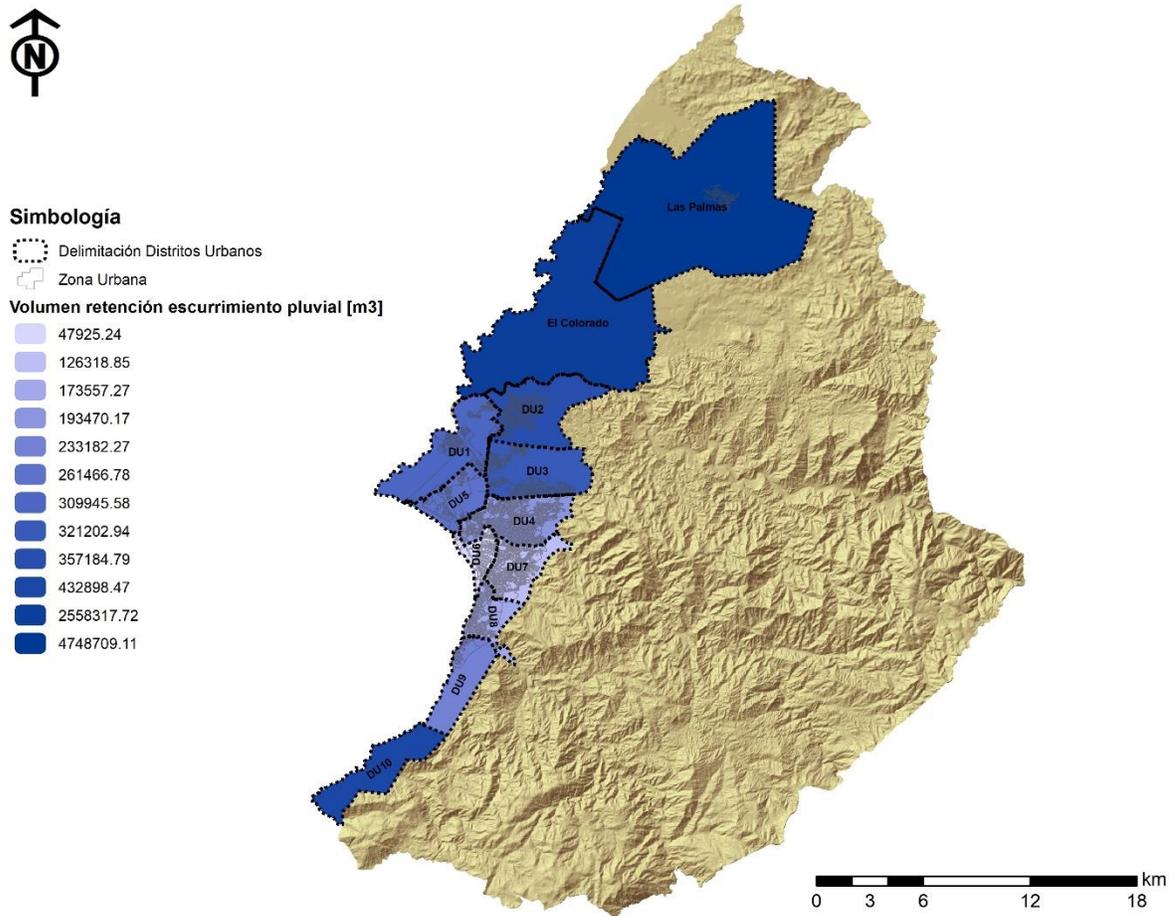
- Precipitación máxima en 24 horas: Se utilizó el mismo valor de precipitación de 204.3 mm utilizado en el escenario base (ver sección 4.7.2).
- Uso de suelo: Zonificaciones secundarias propuestas para los doce distritos urbanos.
- Grupos hidrológicos del suelo: Cobertura de los grupos hidrológicos del suelo presentes en el municipio, según la base de datos HYSOGs250m (Ross et al., 2018).

Los resultados obtenidos se presentan en las Figuras 77 y 78. En la Figura 77 se observa que en las áreas urbanizadas y urbanizables cuentan con menor capacidad de retención de esguerrimiento, en comparación con las zonas al norte con menor grado de urbanización. Es importante mencionar que existe una diferencia marcada en la capacidad de retención de esguerrimiento pluvial del territorio analizado entre el escenario base presentado en la sección 4.7.2 y el resultado mostrado en la Figura 57. Lo anterior se debe al incremento en la superficie de urbanización que se generaría con la implementación del PMDU.



**Figura 77. Retención de escurrimiento pluvial en las áreas de aplicación de los distritos urbanos para el escenario con la implementación del PMDU.**

En la Figura 78 se presentan los volúmenes de retención de escurrimiento pluvial de los distritos urbanos. Se observa que los distritos en los que se retienen mayores volúmenes de escurrimiento pluvial son los DU-Las Palmas, DU-El Colorado y DU10-Mismaloya, en los cuales existen menores índices de urbanización existente y propuesta. En contraste, los distritos con menores volúmenes de retención son los DU6-Fluvial Vallarta, DU7-Aralias y DU8-Centro, correspondientes a distritos más urbanizados.



**Figura 78. Volúmenes de retención de escurrimiento pluvial (m<sup>3</sup>) de los distritos urbanos para el escenario con la implementación del PMDU.**

### 5.7.2. Incremento del riesgo y la severidad de las inundaciones pluviales

De manera asociada al incremento del volumen y flujo del escurrimiento pluvial, se prevé que el riesgo y la severidad de las inundaciones pluviales se incrementarán por la implementación del PMDU (ver sección 6.3), así como por los efectos de cambio climático descritos en la sección 4.7.3. Se prevé que las inundaciones pluviales a su vez aumenten los riesgos de daños a infraestructura y propiedades. Asimismo, se prevé un incremento de los riesgos sobre la seguridad y salud humana.

## **5.8. Residuos**

Para este componente, el equipo de trabajo de la evaluación identificó los siguientes impactos ambientales potenciales con la implementación del PMDU:

1. Incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)
2. Contaminación por migración de lixiviados
3. Incremento en la generación de residuos del sector agropecuario
4. Impacto visual

Las estrategias de mitigación para este componente ambiental se presentan en la sección 7.8.

### **5.8.1. Incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)**

Cuando los residuos sólidos son depositados en el relleno sanitario, estos inician un proceso de descomposición en ausencia de oxígeno, es decir, un proceso anaerobio. Después de aproximadamente un año, estas condiciones propician la aparición de bacterias metanogénicas las cuales comienzan a descomponer los residuos y generar metano (CH<sub>4</sub>) (EPA, 2020).

Uno de los siete GEI referidos por el Protocolo de Kioto estimados en el PMCC es el metano. Este compuesto representa alrededor del 50% de la composición del biogás generado en rellenos sanitarios. Actualmente el método empleado para la disposición final de residuos orgánicos en el municipio es mediante relleno sanitario. De no tomarse medidas alternativas, se puede esperar un incremento en la disposición final de residuos orgánicos en el relleno sanitario “El Gavilán”, así como en “San Nicolas” que además de servir como sitio de disposición final de residuos de la construcción y demolición, también recibe residuos orgánicos provenientes de podas y jardinería. Estos incrementos en el confinamiento de residuos orgánicos implicarían un incremento en las emisiones de metano.

De acuerdo con las proyecciones del PMCC de Puerto Vallarta, para el año 2030 las emisiones de CO<sub>2</sub>e del sector residuos tendrá un incremento del 35% respecto a 2017, siendo este el segundo sector con mayor incremento proyectado solo después del sector transporte.

### **5.8.2. Contaminación por migración de lixiviados**

Durante la visita al relleno sanitario “El Gavilán” el equipo pudo evidenciar áreas de oportunidad operativas identificando principalmente la falta de cobertura de los residuos tanto en la celda de disposición como en la celda de emergencia. Aunado a esto se observaron diversos escurrimientos de lixiviados en los extremos de los taludes de las celdas conformadas y en algunos puntos incluso evidencias de escurrimientos en dirección a la escorrentía de temporal ubicada en dirección Oeste.

La falta de medidas alternativas de manejo y el riesgo de posibles fenómenos meteorológicos que propicien un incremento en la generación de lixiviados, pone en riesgo la correcta operación del relleno sanitario. Los escurrimientos de lixiviados en el sitio representan un riesgo de contaminación tanto del suelo inmediato, así como aguas abajo.

### **5.8.3. Incremento de la generación de residuos del sector agropecuario**

Uno de los objetivos del PMDU es la diversificación de la economía local. Se plantea impulsar la actividad agrícola mediante programas que ayuden a los productores a financiar y promocionar sus productos. Los residuos principalmente asociados a este sector son agroplásticos, aunque también existe generación de residuos orgánicos. Un crecimiento en este sector implicaría un incremento en la generación de este tipo de residuos.

Se plantea, además, potenciar y proteger el sistema agropecuario como motor económico del Municipio. En el caso de la actividad pecuaria, los residuos asociados a las excretas de animales como bovinos y porcinos son de especial relevancia tanto por su cantidad como por sus características y potencial de contaminación en caso de un manejo inadecuado.

### **5.8.4. Impacto visual**

Los residuos generados en el municipio pueden tener diferentes rutas de acuerdo con el manejo que se les dé, una cantidad limitada se incorporará a rutas de reciclaje mientras que la mayor cantidad tendrá como destino un relleno sanitario. Sin embargo, algunos de estos residuos se podrán encontrar de manera temporal en zonas con afluencia turística, desde playas hasta la vía pública generando un impacto visual. Dependerá en gran medida de las medidas preventivas que se tomen respecto a la disminución de disposición de residuos por parte de locales y turistas en playas, así como del sistema de recolección que garantice que no se acumulen los residuos en la vía pública.

## 6. Análisis de riesgos relevantes

El desarrollo turístico y los servicios que ofrece el municipio han provocado un crecimiento tanto de población como de la zona urbana, principalmente hacia la zona costera y en áreas de pendiente pronunciada, susceptibles a riesgos geológicos (deslizamientos, fallas y fracturas, tsunamis). La construcción de desarrollos habitacionales, comerciales y hoteles ha ocasionado alteraciones topográficas, fluviales y de cuerpos de agua mediante acciones de corte, nivelación y relleno. El Atlas de Riesgo de Puerto Vallarta (ARPV) menciona que las características geográficas del municipio y su desarrollo urbano facilitan la formación y evolución de riesgos por fenómenos geológicos e hidrometeorológicos (Universidad de Guadalajara, 2014). En esta sección se resumen estos riesgos.

### 6.1. Riesgos geológicos

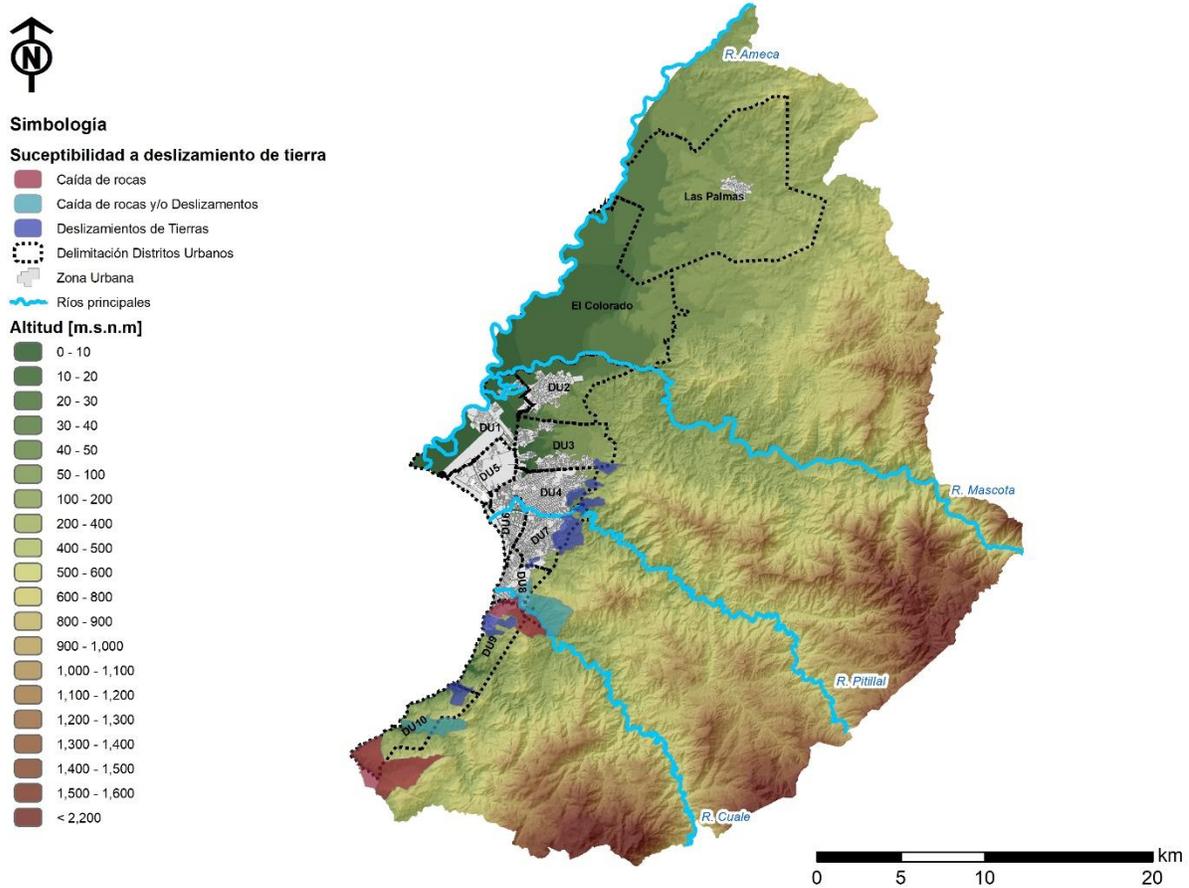
Los riesgos por fenómenos geológicos se presentan debido a agentes perturbadores asociados a las acciones y movimientos de la corteza terrestre. Los riesgos geológicos más relevantes para el municipio de acuerdo con el ARPV son (Universidad de Guadalajara, 2014): deslizamientos, fallas y fracturas, y tsunamis.

#### 6.1.1. Deslizamientos

De acuerdo con la guía para la elaboración de Atlas Estatales o Municipales de Peligros y Riesgos del CENAPRED (2004), los deslizamientos son procesos geomorfológicos que ocurren cuando se rompe o pierde el equilibrio de una porción de los materiales que componen una ladera y se deslizan ladera abajo por acción de la gravedad. Los deslizamientos suelen presentarse en taludes empinados. Sin embargo, también se pueden presentar en laderas con poca pendiente. La inestabilidad de las laderas depende de la composición de los materiales de la falla. El grado de inestabilidad está relacionado con el origen geológico de las masas térreas, la pendiente natural del terreno, sismicidad, clima y ambiente propio de cada lugar. Por la forma de la superficie de falla se encuentran dos tipos de deslizamientos:

- Rotacionales: Deslizamientos en los que la superficie principal de falla es cóncava hacia arriba, definiendo un movimiento de suelos y/o fragmentos de rocas con centro de giro por encima del centro de gravedad. Los tipos de suelo en los que normalmente se produce este movimiento son blandos arcillosos y formaciones de rocas blandas muy intemperizadas.
- Traslacionales: Deslizamientos en los que los fragmentos de roca o suelos se desplazan hacia afuera y hacia abajo, a través de una superficie de falla plana con muy poco o nada de movimiento de rotación. Los tipos de suelo en los que normalmente se produce este tipo de movimiento son granulares.

Según el ARPV (Universidad de Guadalajara, 2014), la zona centro-sur de los distritos urbanos presenta una susceptibilidad media a los deslizamientos (ver Figura 79).



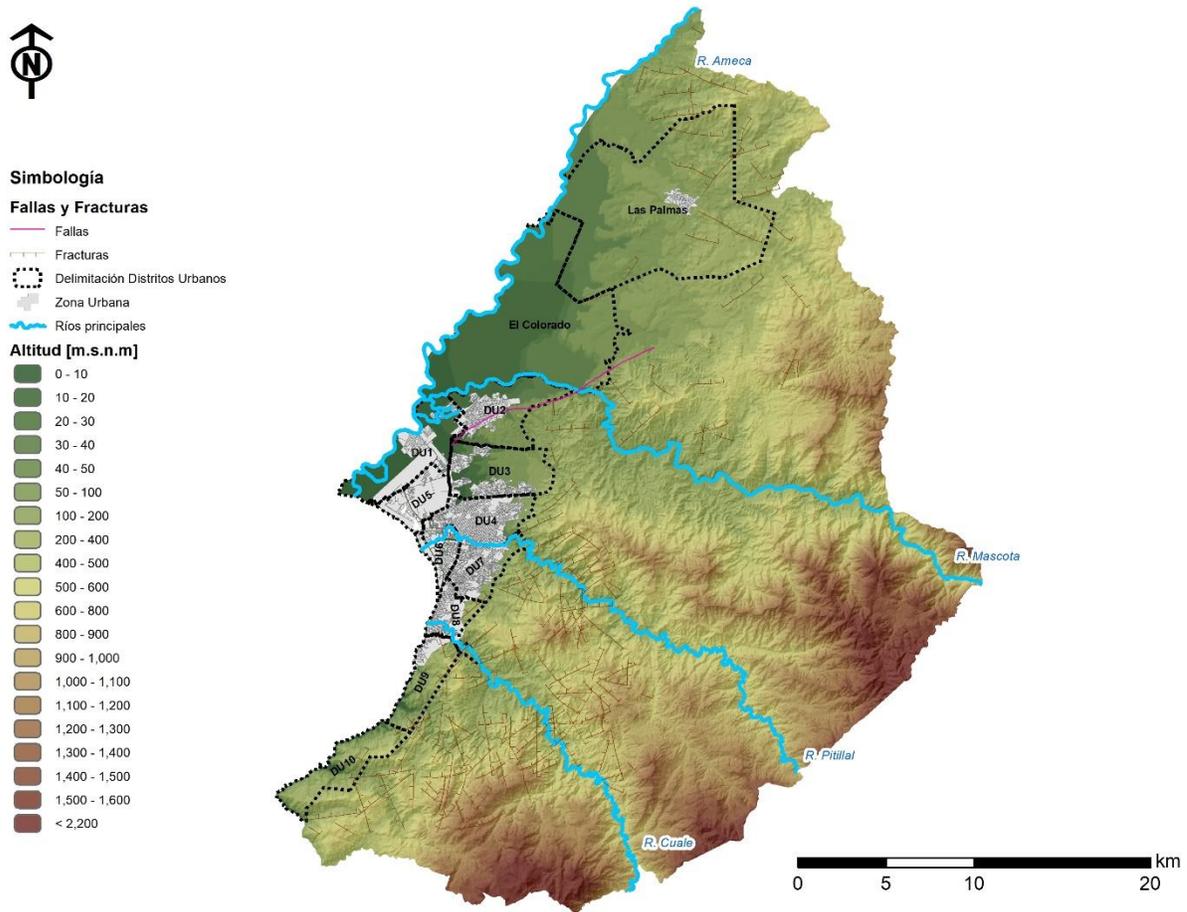
**Figura 79. Zonas de deslizamientos. Elaborado con información del Atlas de Riesgo de Puerto Vallarta (Universidad de Guadalajara, 2014).**

### 6.1.2. Fallas y fracturas

Este fenómeno geológico es generado por procesos de tectonismo, los cuales producen la deformación de la litosfera terrestre. Una falla es una fractura por la cual a lo largo de ella una roca es desplazada por otra (SEDESOL, 2012). Una fractura es un plano discontinuo de una masa rocosa o de material poco consolidado, viéndose desde la superficie como una línea con una abertura de un ancho de milímetros o varios decímetros (SEDESOL, 2012). Por sí solas, las fallas y las fracturas no ocasionan desastres; sin embargo, pueden estimular los procesos que generan agravamientos en las infraestructuras. La agrupación de fracturas produce un debilitamiento en la roca o material no consolidado, favoreciendo los deslizamientos, derrumbes o caídas de bloques que afectan a las zonas urbanas (SEDESOL, 2012).

Las fallas se dividen en dos categorías, pasivas y activas (SEDESOL-Coremi, 2004). Las pasivas no presentan un riesgo ya que no se producen desplazamientos. Las activas pueden tener movimientos imperceptibles o súbitos, pudiendo romper aceras, tuberías, viviendas, surcos de cultivo, generar sismos, deslaves o derrumbes en las zonas cercanas a la falla

En la Figura 80 se presenta el mapa de fallas y fracturas para el municipio.



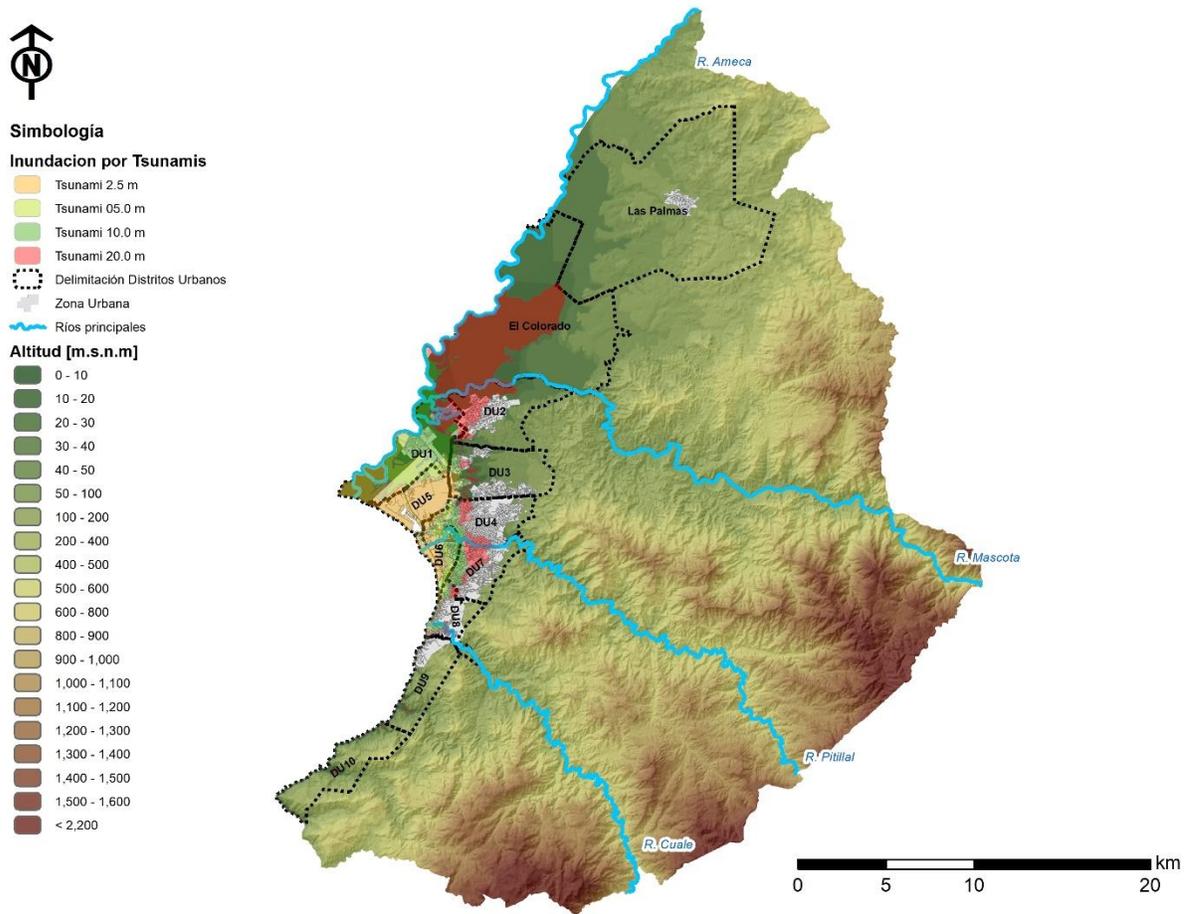
**Figura 80. Mapa de fallas y fracturas. Elaborado con información del Atlas de Riesgo de Puerto Vallarta (Universidad de Guadalajara, 2014).**

### 6.1.3. Tsunamis

Los maremotos, también conocidos como tsunamis, son consecuencia de sismos tectónicos de gran magnitud cuyo origen se encuentra bajo el fondo del océano. Debido al movimiento vertical del piso oceánico, la perturbación generada en el agua llega a desplazarse con velocidades de hasta 900 km/h en mar abierto, sin que sea posible percibir cambios de nivel. Sin embargo, al llegar a la costa su velocidad disminuye notablemente, pero su altura puede alcanzar aproximadamente 30 metros (CENAPRED, 2004). Aunque la frecuencia de ocurrencia de los maremotos es relativamente baja (no todos los sismos con epicentro en zona marina los generan), el daño que pueden producir, y que en algunos casos se suma al ocasionado por el sismo, puede alcanzar niveles considerables.

Los tsunamis son uno de los peligros de origen geológico a los que está expuesto el municipio debido a su ubicación geográfica y características tectónicas. De acuerdo con el CENAPRED (2004), la costa del Pacífico de México pueden ser afectada por tsunamis de tipo regional, originados a miles de kilómetros de

distancia, y de origen local, provocados por sismos o deslizamientos submarinos. La costa del municipio puede ser afectada por las dos procedencias de este fenómeno (ver Figura 81).



**Figura 81. Riesgo por tsunami de 2.5 m, 5 m, 10 m y 25 m. Elaborado con información del Atlas de Riesgo de Puerto Vallarta (Universidad de Guadalajara, 2014).**

## **6.2. Riesgos hidrometeorológicos**

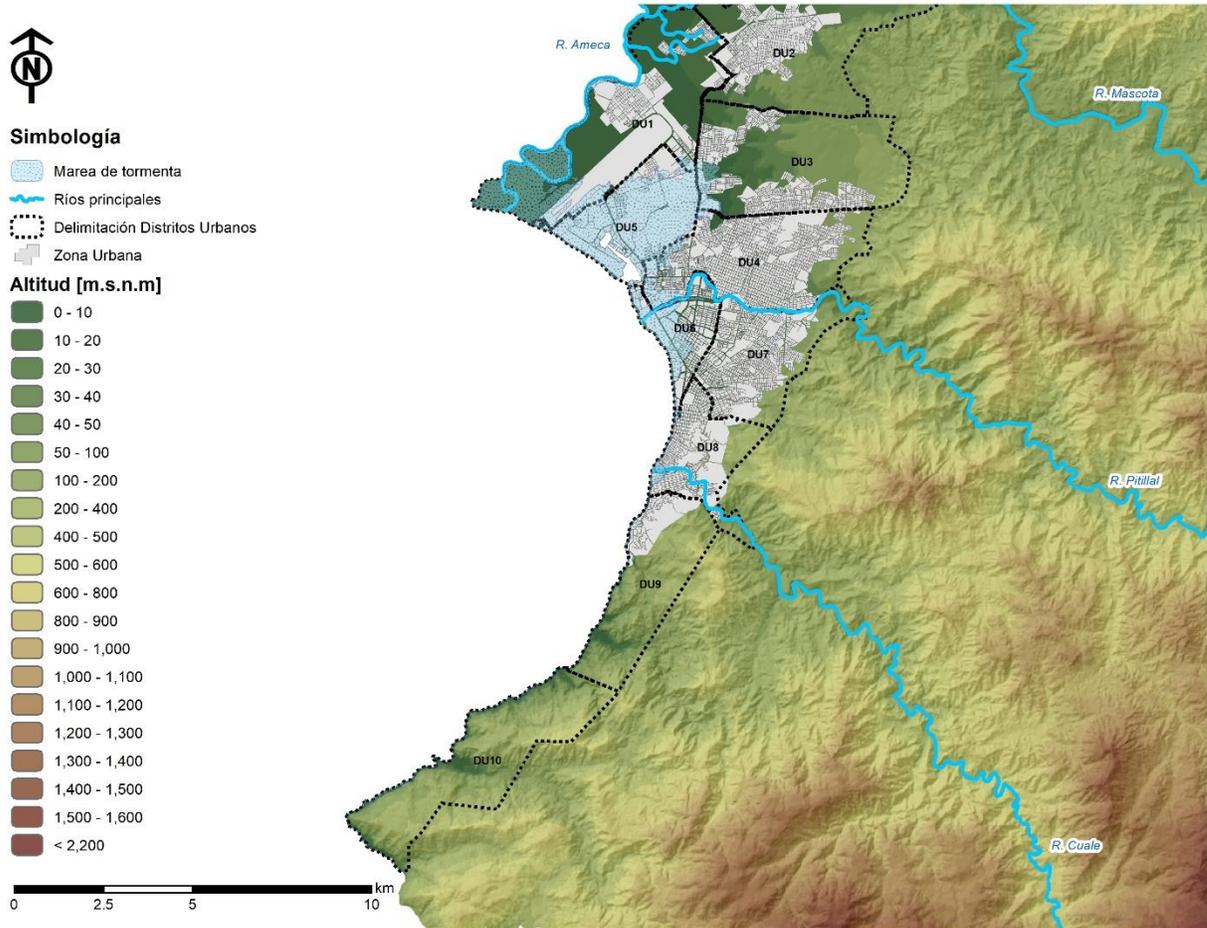
Los riesgos por fenómenos hidrometeorológicos se presentan debido a agentes perturbadores de tipo atmosférico. Los riesgos hidrometeorológicos más relevantes para el municipio son: inundaciones (costeras, fluviales y pluviales), ondas cálidas y sequías.

### **6.2.1. Inundaciones**

Las inundaciones son aquellos eventos que, debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica, provocan un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente provoca daños a la población, agricultura, ganadería e infraestructura (CENAPRED, 2019).

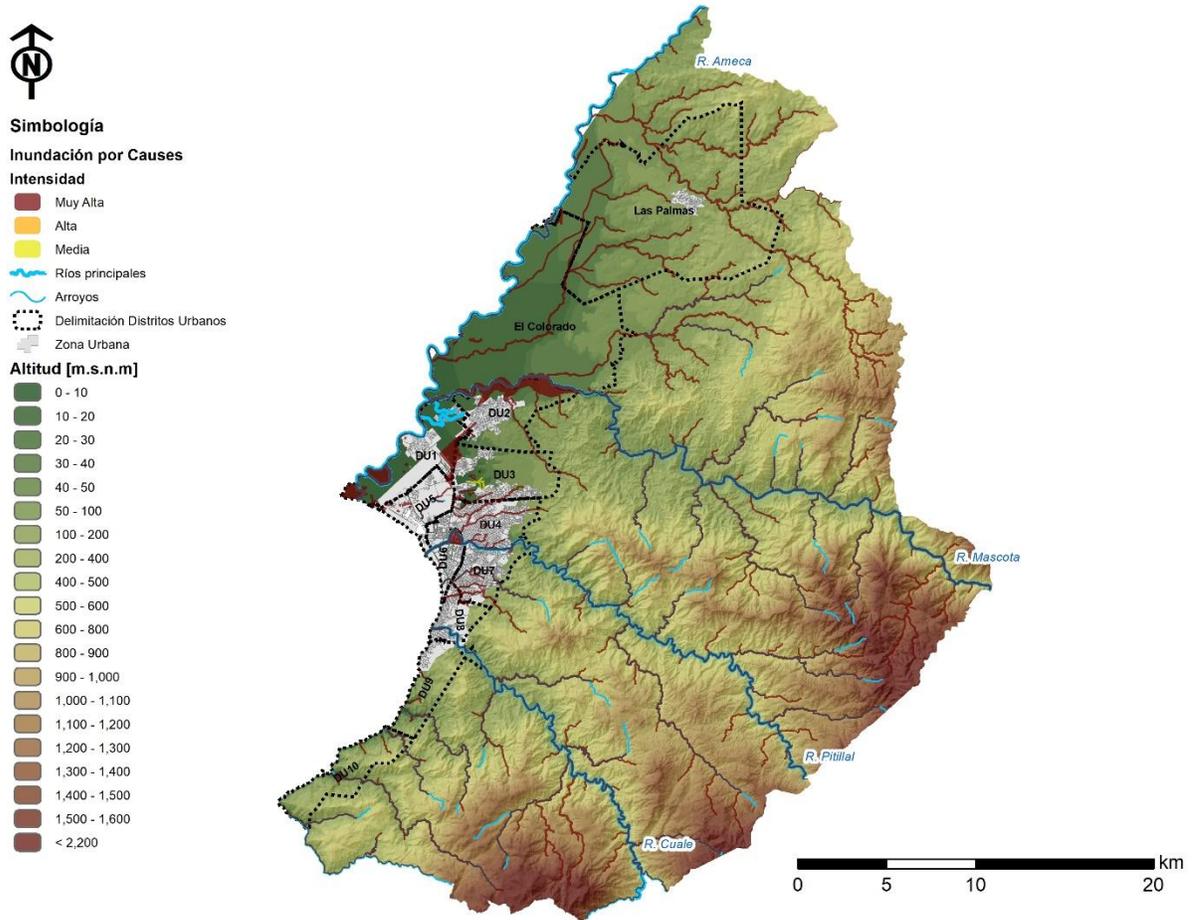
Las inundaciones se producen debido a modificaciones del terreno en las cuencas causadas por ejemplo por cambios en los usos del suelo. Los daños que causan por las inundaciones pueden incrementarse en función del grado de modificación de la cuenca. El tiempo que debe transcurrir para que los efectos de una inundación sean percibidos por la población puede ser mínimo, provocando que en ocasiones la respuesta de las autoridades y de la población se vea comprometida (CENAPRED, 2019).

De acuerdo con el Atlas de Riesgo de Puerto Vallarta (Universidad de Guadalajara, 2014), las inundaciones identificadas para el municipio son de tipo costeras, fluviales y pluviales. Las inundaciones costeras son derivadas de fenómenos como marea ciclónica, marea de tormenta y mar de fondo. Se tratan de un aumento anormal del agua en la costa del mar o de un lago, por vientos fuertes de un ciclón. En la Figura 82 se muestra el mapa de inundación costera para el municipio.



**Figura 82. Mapa de inundación costera. Elaborado con información del Atlas de Riesgo de Puerto Vallarta (Universidad de Guadalajara, 2014).**

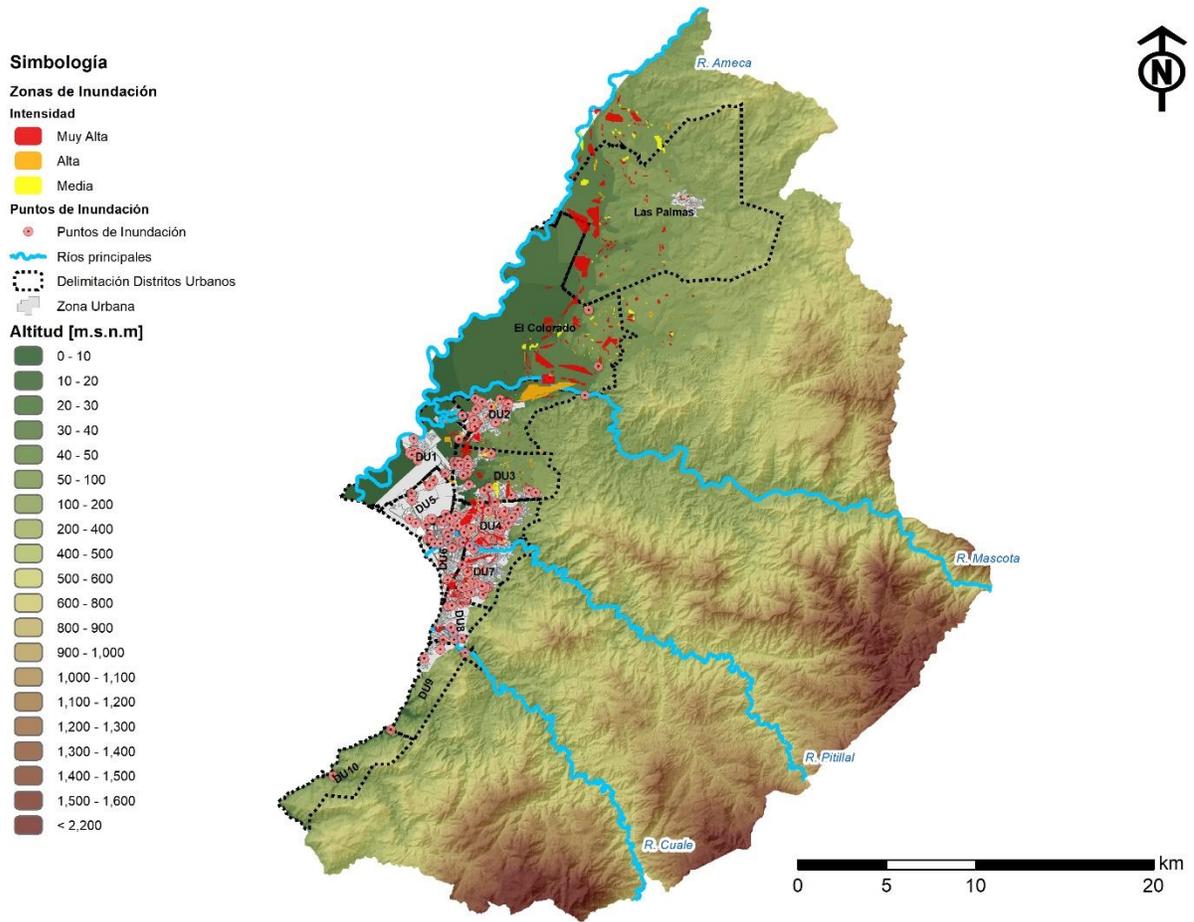
Por otro lado, las inundaciones fluviales se generan cuando el agua se desborda de los ríos y queda sobre la superficie del terreno cercano a ellos. A diferencia de las pluviales, en este tipo de inundaciones el agua que se desborda sobre los terrenos adyacentes corresponde a precipitaciones registradas en cualquier parte de la cuenca tributaria y no necesariamente a lluvias sobre la zona afectada. Es importante mencionar que el volumen que escurre sobre el terreno a través de los cauces se va incrementando con el área de aportación de la cuenca, por lo que las inundaciones fluviales más importantes se pueden dar en los ríos con más desarrollo (longitud) o que lleguen hasta las planicies costeras (CENAPRED, 2019). Este tipo de inundaciones también ocurren debido a las condiciones de insuficiencia de los sistemas de evacuación, como cauces naturales, sistemas de drenaje artificiales y colectores urbanos, entre otros (Universidad de Chile, 2006). Pueden ocasionarse por causas naturales como lluvias, u oleaje; y también por causas no naturales como la ruptura de presas. Las inundaciones fluviales que afectan al municipio y su área urbana manifiestan una temporalidad anual y se originan por intensas precipitaciones pluviales en el verano que ocasionan el crecimiento de los ríos y arroyos que drenan la cuenca (ver Figura 83).



**Figura 83. Mapa de inundaciones fluviales. Elaborado con información del Atlas de Riesgo de Puerto Vallarta (Universidad de Guadalajara, 2014).**

Por último, las inundaciones pluviales son consecuencia de la precipitación. Se presentan cuando el terreno se ha saturado y el agua de lluvia excedente comienza a acumularse, pudiendo permanecer horas o días. Su principal característica es que el agua acumulada es agua precipitada sobre esa zona y no la que viene de alguna otra parte (por ejemplo, de la parte alta de la cuenca) (CENAPRED, 2019).

De acuerdo con el Atlas de Riesgo de Puerto Vallarta (Universidad de Guadalajara, 2014), las inundaciones fluviales son representadas por zonas y puntos de inundación, los cuales son áreas que están sujetas a inundaciones como resultado de lluvias fuertes o continuas, que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los ríos y áreas costeras. Actualmente se han acentuado lluvias y tormentas cada año. Hay afectaciones directas por precipitaciones locales y otras con lluvias en la zona montañosas que al descender provocan inundaciones en diversas partes del municipio. Los puntos de inundación son sitios donde se favorece la retención de agua. En el Atlas de Riesgo de Puerto Vallarta (Universidad de Guadalajara, 2014), se identifican 248 puntos de inundación en el municipio (ver Figura 84).



**Figura 84. Mapa de zonas y puntos de inundación pluvial. Elaborado con información obtenida del Atlas de Riesgo de Puerto Vallarta (Universidad de Guadalajara, 2014).**

### 6.2.4. Ondas cálidas

La Organización Meteorológica Mundial define una onda de calor como un estado en el cual en un transcurso de 5 días la temperatura máxima supera la temperatura máxima promedio. Se trata de una sensación agobiante y a menudo agotadora para cualquier ser vivo que no está acostumbrado a un ambiente particularmente caluroso. Sin embargo, la definición puede variar de una región a otra en cuanto a las condiciones climáticas que dan lugar a la ola de calor. Es decir, las temperaturas a las cuales se considera una onda de calor en una región de clima templado son distintas a las de una zona de clima seco, aunque los efectos son similares (GeoEnciclopedia, 2016). De acuerdo con el PMDU, la ola de calor es un calentamiento importante del aire, o invasión de aire muy cálido, sobre una zona extensa, donde la temperatura máxima supera su umbral durante tres días consecutivos.

### **6.2.5. Sequías**

Las sequías se definen como un conjunto de condiciones ambientales atmosféricas de muy poca humedad que se extiende durante un periodo suficientemente prolongado como para que la falta de lluvias ocasione un grave desequilibrio hidrológico y ecológico. De acuerdo con el PMDU, el agua deja de fluir en ríos que normalmente no se secan y los lagos y lagunas se convierten en valles áridos. Entre los efectos que tendría la falta de lluvias se encuentran los incendios forestales en las áreas montañosas cercanas al municipio, como la Sierra de Vallejo. De acuerdo con el PMDU, en caso de presentarse dicho fenómeno, se generarían problemas en la calidad del aire y de deslizamiento de tierras.

### 6.3. Riesgos potenciales con la implementación del instrumento

En esta sección se presenta un análisis de riesgos potenciales con la implementación el PMDU. Se analizaron los riesgos geológicos e hidrometeorológicos para los fenómenos más relevantes a las áreas de aplicación de los distritos urbanos.

#### 6.3.1. Riesgos geológicos

Con respecto a los riesgos geológicos analizados, en la Tabla 44 se muestran los siguientes: tsunami, deslizamientos y fallas y fracturas.

**Tabla 44. Impactos por riesgos geológicos por distrito urbano.**

Distrito urbano	Superficie (ha)	Superficie de inundación por tsunami 2.5 m (ha)	Superficie de inundación por tsunami 5 m (ha)	Superficie de inundación por tsunami 10 m (ha)	Superficie de inundación por tsunami 20 m (ha)	Superficie de deslizamiento (ha)	Cantidad de fallas y fracturas registradas
1	1,810	473	944	1,579	1,810	0	0
2	1,684	0	0	4	481	0	1
3	1,595	67	109	217	328	80	0
4	1,306	100	235	355	527	229	0
5	846	708	790	797	846	0	0
6	422	183	327	421	421	0	0
7	942	0	15	146	356	359	1
8	652	28	69	133	203	505	1
9	992	13	23	38	72	519	4
10	1,313	30	37	54	103	1303	2
El Colorado	6,148	0	0	150	2,539	0	1
Las Palmas	8,558	0	0	0	0	0	6

El riesgo de inundación por tsunami se divide en 4 categorías: tsunamis de 2.5 m, tsunamis de 5 m, tsunamis de 10 m y tsunamis de 20 m. Como se observa en la Tabla 45, el riesgo de inundación por tsunami afecta más a los distritos DU1, DU5 y DU6 debido a su cercanía a la línea de costa.

**Tabla 45. Porcentaje de afectación por tsunami por distrito urbano.**

Distrito urbano	Superficie (ha)	Inundación por tsunami 2.5 m (%)	Inundación por tsunami 5 m (%)	Inundación por tsunami 10 m (%)	Inundación por tsunami 20 m (%)	Porcentaje de inundación (%)
1	1,810	26	52	87	100	100
2	1,684	0	0	0	29	29
3	1,595	4	7	14	21	45
4	1,306	8	18	27	40	93
5	846	84	93	94	100	100

Distrito urbano	Superficie (ha)	Inundación por tsunami 2.5 m (%)	Inundación por tsunami 5 m (%)	Inundación por tsunami 10 m (%)	Inundación por tsunami 20 m (%)	Porcentaje de inundación (%)
6	422	43	78	100	100	100
7	942	0	2	16	38	55
8	652	4	11	20	31	66
9	992	1	2	4	7	15
10	1,313	2	3	4	8	17
El Colorado	6,148	0	0	2	41	44
Las Palmas	8,558	0	0	0	0	0

En la Figura 85 se muestran el riesgo de inundación por categoría de tsunamis. Se observa que el DU5 sería el de mayor afectación considerando cualquier tipo de tsunami. La población proyectada para 2030 es de 12,377. De las 845.17 ha que conforman el DU5, en 2020 se cuenta con un área urbanizada de 526.48ha y de acuerdo con el plan parcial de desarrollo urbano el área urbanizable a 2030 es de 55.29 ha.

Los DU1 y DU6 son los siguientes distritos de mayor afectación. Para 2030 se proyecta una población de 37,967 y 15,232 habitantes respectivamente. Respecto a su urbanización, el DU1 cuenta con una superficie urbanizada de 924.88 ha y un área urbanizable de 557.66 ha. El DU6 cuenta con una superficie urbanizada de 402.0 ha y un área urbanizable de 1.19 ha.

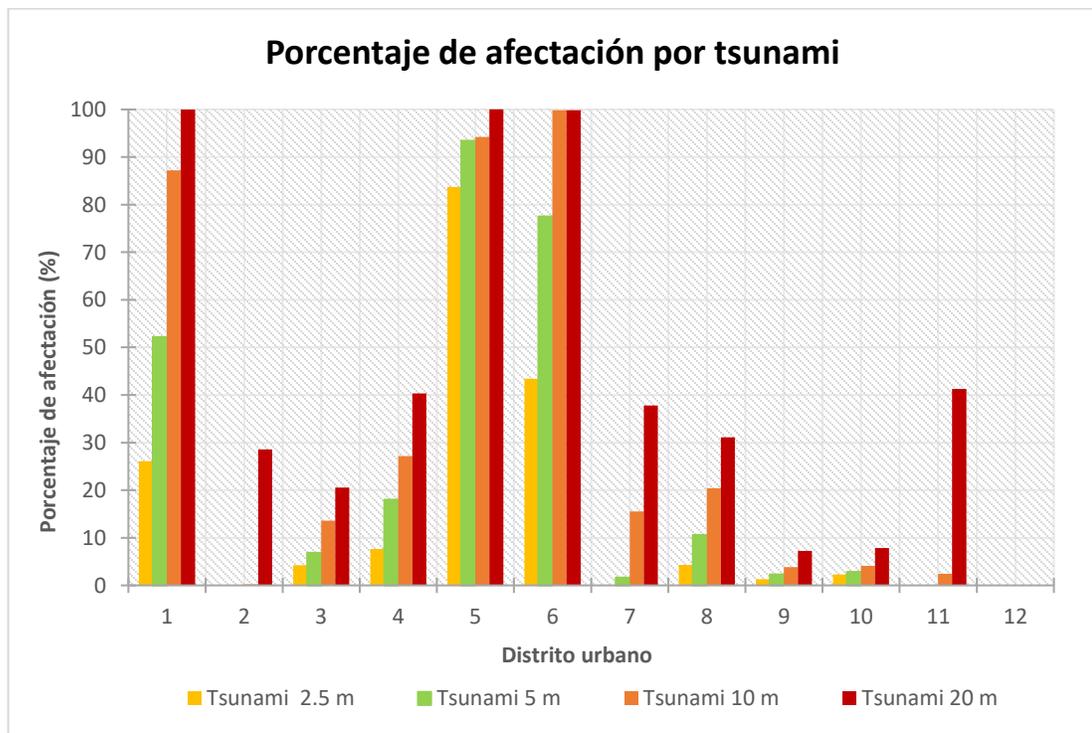


Figura 85. Porcentaje de afectación por tsunami por distrito urbano.

### 6.3.2. Riesgos hidrometeorológicos

En la Tabla 46 se muestran los impactos por riesgos hidrometeorológicos analizados: inundaciones fluviales, zonas de inundación pluvial y puntos de inundación pluvial.

**Tabla 46. Impactos por riesgos hidrometeorológicos por distrito urbano.**

Distrito urbano	Superficie (ha)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Superficie de inundación fluvial (m <sup>2</sup> )	Superficie de zonas de inundación pluvial (m <sup>2</sup> )	Puntos de inundación pluvial
1	1810	18,102,940	2,330,281	843,237	13
2	1684	16,841,952	2,327,499	2,758,011	21
3	1595	15,950,608	2,615,313	1,723,682	22
4	1306	13,059,910	283,710	1,466,220	102
5	846	8,457,235	28,407	130,171	9
6	422	4,217,702	300,389	300,389	9
7	942	9,415,401	300,035	768,300	51
8	652	6,520,268	219,167	513,909	12
9	992	9,920,599	212,338	0	3
10	1313	13,126,603	220,970	0	1
El Colorado	6148	61,484,631	2,308,781	6,040,002	4
Las Palmas	8558	85,584,713	2,307,182	4,258,894	0

Para su análisis se separaron en dos grupos los impactos. El primer grupo está conformado por las superficies de inundación fluvial y de inundación pluvial (Tabla 47). Para este grupo se obtuvo un porcentaje de afectación por inundación por distrito urbano.

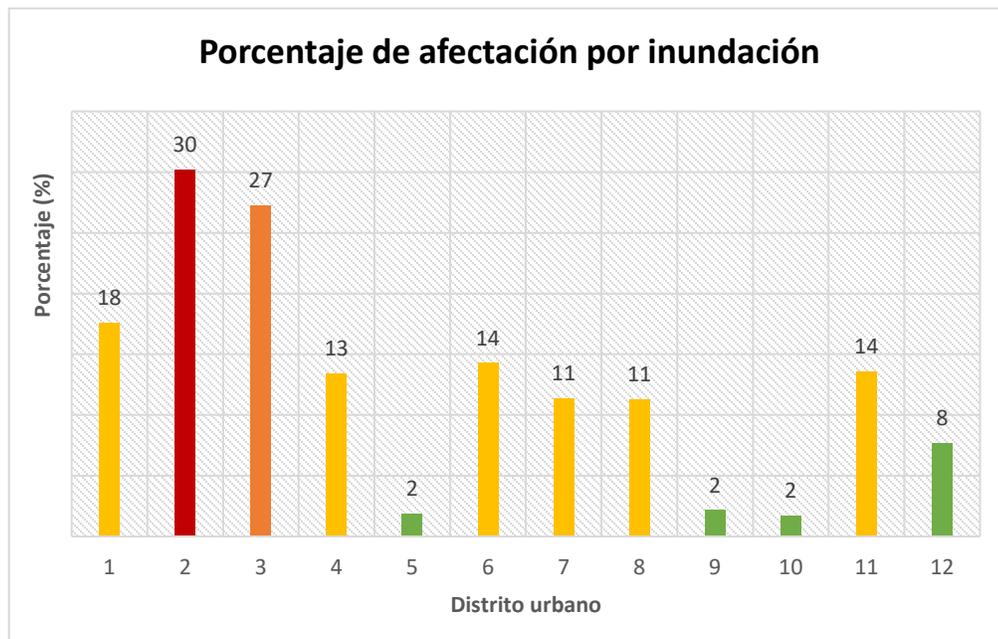
**Tabla 47. Porcentaje de afectación por riesgos hidrometeorológicos por distrito urbano.**

Distrito urbano	Superficie (ha)	Porcentaje de afectación por inundación fluvial (%)	Porcentaje de afectación por inundación pluvial (%)	Porcentaje de afectación total (%)
1	1810	13	5	18
2	1684	14	16	30
3	1595	16	11	27
4	1306	2	11	13
5	846	0	2	2
6	422	7	7	14
7	942	3	8	11
8	652	3	8	11
9	992	2	0	2
10	1313	2	0	2
El Colorado	6148	4	10	14
Las Palmas	8558	3	5	8

En la Figura 86 se muestra el porcentaje de afectación total por distrito para este grupo. Se observa que el DU2 es el más afectado actualmente. De no tomarse acciones estratégicas y efectivas para abordar dicho riesgo, se prevé que en el futuro afecte a una mayor cantidad de personas, pues se prevé que para 2030 la población del DU2 será de 40,883 (proyección obtenida del PPDU DU2 2012), representando un

aumento de 40.8% comparado con datos del 2010. Por otro lado, la superficie urbanizada en el 2020 del DU2 es de 509.63 ha, lo cual representa el 30% del área del distrito. De acuerdo con el plan parcial de desarrollo urbano del DU2, el área urbanizable es de 497.46 ha, lo que sumado a la superficie urbanizada representaría el 71% del distrito. Resulta crítico que la administración municipal tome acciones para minimizar el riesgo de inundación en las áreas urbanizadas y urbanizables. En la sección 7.7 se presentan estrategias que además de ser útiles para mitigar los impactos previstos por la implementación del PMDU sobre el componente de escurrimiento pluvial, también pueden ser utilizadas para minimizar los riesgos por inundación.

El segundo distrito más afectado por este tipo de riesgo es el DU3, para el cual se proyecta que la población en 2030 sea de 34,812 (proyección obtenida de la gaceta municipal del periodo 2010-2010 núm. 8). Esto generaría un incremento poblacional de 45.9% comparado con la población en 2010. Por otro lado, la superficie urbanizada en el 2020 del DU3 es de 968.5 ha, lo cual representa el 61% del área del distrito. De acuerdo con el plan parcial de desarrollo urbano del DU2, el área urbanizable es de 497.46 ha, lo que sumado a la superficie urbanizada representaría el 92% del territorio. De igual forma resulta crítico contar con la infraestructura adecuada para minimizar el riesgo de inundación en dicho distrito. Los distritos urbanos DU1, DU4, DU6, DU7, DU8, y DU-El Colorado también presentan riesgo de inundación, pero a menor escala, por lo que se deberán tomar las precauciones necesarias para su minimización. Los distritos urbanos menos afectados por inundaciones son el DU5, DU9, DU10 y DU-Las Palmas.



**Figura 86. Porcentaje de afectación por inundaciones fluviales y pluviales por distrito urbano.**

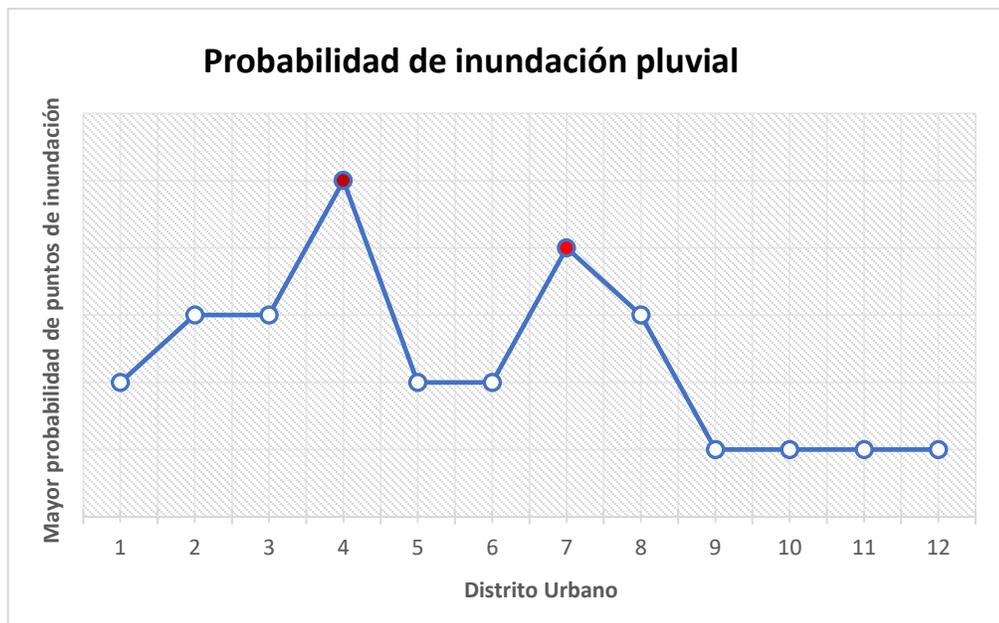
El segundo grupo está conformado por el número de puntos de inundación pluvial por distrito. Los puntos de inundación se clasificaron en un rango de 1 a 5, dependiendo de la cantidad de puntos de inundación registrados (Tablas 48 y 49). En la Figura 87 se observa que los distritos urbanos con mayores puntos de inundación pluvial registrados son el DU4 y el DU7. De igual forma, en la sección 7.7 se presentan estrategias que pueden ser utilizadas para minimizar los riesgos por inundación.

**Tabla 48. Clasificación del valor de riesgo para puntos de inundación pluvial.**

Rango	Riesgo	Valor
> 60	Muy alto	5
35 a 60	Alto	4
15 a 35	Medio	3
5 a 15	Bajo	2
< 5	Muy bajo	1

**Tabla 49. Valor de riesgo por puntos de inundación pluvial por distrito urbano.**

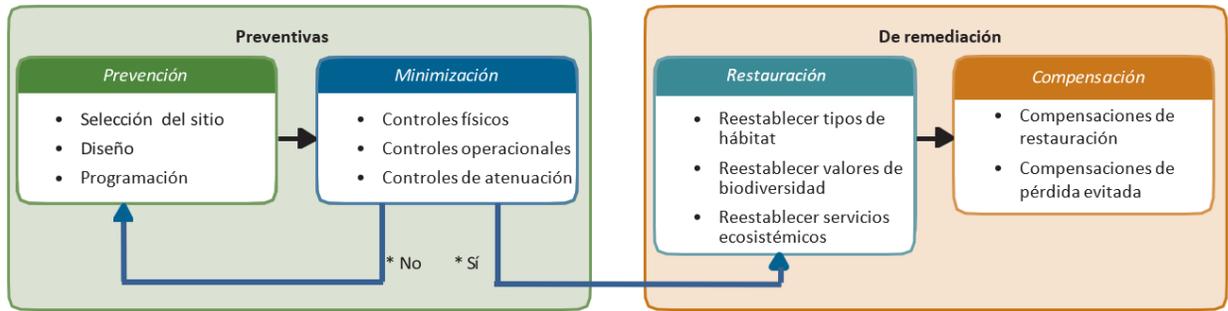
Distrito Urbano	Superficie (ha)	Puntos de inundación	Valor de riesgo
1	1810	13	2
2	1684	21	3
3	1595	22	3
4	1306	102	5
5	846	9	2
6	422	9	2
7	942	51	4
8	652	12	3
9	992	3	1
10	1313	1	1
El Colorado	6148	4	1
Las Palmas	8558	0	1



**Figura 87. Probabilidad de inundación pluvial según el número de puntos registrados.**

## 7. Estrategias de mitigación

La jerarquía de mitigación es un marco para la gestión de riesgos e impactos potenciales relacionados con el medio ambiente. Puede definirse como la secuencia de acciones para anticipar y prevenir impactos, seguido de su minimización, luego su reparación o restauración de daños, y finalmente la compensación de impactos donde permanezcan impactos residuales significativos (CSBI, 2015). Para su correcto uso, es importante que las acciones tengan prioridad en dicho orden (ver Figura 88).



\* ¿Pueden los impactos potenciales ser gestionados adecuadamente a través de medidas de remediación?

**Figura 88. Implementación de la jerarquía de mitigación (Brownlie y Treweek, 2018).**

La jerarquía de mitigación se puede utilizar al planificar e implementar políticas, planes, programas y proyectos, para proporcionar un enfoque lógico y eficaz para proteger y conservar el ambiente (CSBI, 2015). Es una herramienta para ayudar en la gestión sustentable de los recursos naturales, y que proporciona un mecanismo para tomar decisiones explícitas que equilibren las necesidades de conservación con las prioridades de desarrollo.

En la Tabla 50 se muestra un resumen numérico de las 81 estrategias de mitigación identificadas para los componentes ambientales relevantes, clasificadas con base en la jerarquía de mitigación. En la Tala 51 se presenta una clasificación de las estrategias según el tipo de instrumento que abordan.

**Tabla 50. Estrategias de mitigación por componente ambiental relevante.**

Componente	Prevención	Minimización	Restauración	Compensación	Total
Agricultura	1	2	3	2	8
Agua residual	6	4	1	3	14
Agua subterránea	4	3	1	1	9
Biodiversidad	4	2	1	2	9
Calidad paisajística	4	4	4	4	16
Clima local	2	2	1	1	6
Escorrentamiento pluvial	4	7	2	1	14
Residuos	2	1	1	1	5
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>25</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>81</b>

**Tabla 51. Clasificación de estrategias de mitigación según el tipo de instrumento abordado.**

Clasificación de estrategia	Número	Proporción
Programas	6	7.41%
Planes	6	7.41%
Proyectos	9	11.11%
Medidas particulares	60	74.07%
<b>Total</b>	<b>81</b>	<b>100.00%</b>

En la sección 8.1 se presenta un resumen de las estrategias de mitigación, las acciones y resultados esperados, los responsables y tiempos para su implementación, y los indicadores de seguimiento de las estrategias.

## 7.1. Agricultura

En la sección 5.1 se describieron los siguientes impactos ambientales potenciales con la implementación del PMDU sobre este componente:

1. Incremento del uso de agua para actividades agrícolas
2. Presión a la frontera del bosque
3. Pérdida de calidad de suelos por prácticas de agricultura intensiva

En esta sección se describen las estrategias de prevención, minimización, restauración y compensación para mitigar dichos impactos ambientales.

En el PMDU (Ejes estratégicos) se propone “duplicar la productividad agrícola y los ingresos de los productores de alimentos en pequeña escala” al mismo de tiempo de “asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad de la tierra y el suelo”. Además, se identifica la necesidad de crear estrategias para la promoción y financiamiento de los productos agrícolas. Para ayudar a cumplir con esas metas y complementando lo propuesto en el PMDU, se recomiendan las siguientes estrategias de mitigación para este componente.

### 7.1.1. Estrategias de prevención

#### Gestionar las poblaciones de polinizadores animales

Los polinizadores salvajes tienen la capacidad de aumentar la producción de los cultivos, de esta forma se convierten en un importante recurso natural; los agroecosistemas intensivos pueden perjudicar a las comunidades de polinizadores animales al afectar características del paisaje como la biodiversidad. Como se ha mencionado, los polinizadores actúan a una escala de paisaje y por esta razón las prácticas de gestión para el manejo de estas poblaciones deben adecuarse a dicha escala para aumentar la capacidad del

paisaje para alojar este tipo de poblaciones. Las medidas propuestas a continuación se basan en Klein et al. (2007):

- Aumentar oportunidades de anidación que cubran las necesidades de diferentes especies de polinizadores identificados en la región.
- Incrementar los recursos florales durante la temporada de actividad de polinizadores mediante la rotación de cultivos. Esta práctica también puede ayudar con otros servicios ecosistémicos como la mejora del suelo y manejo de plagas.
- Crear franjas de vegetación o borduras naturales o implantadas en el perímetro de los campos para conectar hábitats.
- Evitar el uso de insecticidas de amplio espectro durante la temporada de floración, especialmente aquellos con fórmulas sistémicas o micro encapsuladas que puedan contaminar el néctar o el polen.

### **7.1.2. Estrategias de minimización**

#### **Utilizar el agua residual tratada en actividades agrícolas**

Con el objetivo de reducir la extracción de agua subterránea y superficial de buena calidad directamente de los ecosistemas que las contienen, se recomienda el uso del agua tratada en el sistema de agua residual del municipio para su uso en las actividades primarias.

Deben considerarse las facilidades que se les dará a los agricultores para el uso de agua residual tratada, haciendo su uso más atractivo que la extracción de agua directamente del acuífero o cuerpos de agua superficial.

#### **Reducir el uso de plaguicidas: manejo ecológico de plagas (Paleologos & Flores, 2014)**

Se entiende que las plagas son aquellas especies que tienen relación alimenticia con especies vegetales de valor económico. Estas plagas alcanzan densidades poblacionales relevantes debido a las condiciones creadas en los agroecosistemas que propician su desarrollo.

El cambio de acercamiento de “control y eliminación” hacia “manejo y mantenimiento” de plagas, considerando, además, el impacto que tienen los plaguicidas en la salud de quienes llegan a interactuar con ellos y en el ambiente donde son usados, puede ayudar a reducir el uso de plaguicidas en los sistemas agrícolas.

El enfoque cambia de “¿cómo controlar las plagas?” hacia “¿por qué aparecen las plagas?” Para responder a esta pregunta sobresalen dos hipótesis: 1) hipótesis de la concentración del recurso y 2) hipótesis del enemigo natural. La primera tiene que ver con la diversidad del sistema: mientras que en sistemas intensivos de monocultivos significan una alta disponibilidad de alimento de alta calidad de fácil localización, en un sistema diverso estas condiciones no se presentan. Las condiciones de baja diversidad del monocultivo favorecen un incremento de la población de las plagas. La segunda hipótesis se relaciona con la primera en cuanto a que la disminución de la diversidad en un sistema monocultivado carece de

las condiciones favorables para el desarrollo de enemigos naturales de las plagas. Las dos hipótesis tienen como base la poca diversidad vegetal como causa del aumento de plagas.

De esta forma se plantean tres lineamientos para el manejo de plagas:

1. Las especies de plaga se consideran parte del sistema agrológico. De esta forma se obliga a un entendimiento detallado de cómo funciona el agroecosistema lo que permite desarrollar estrategias que ataquen puntualmente los problemas detectados. Estas estrategias de manejo pueden enfocarse en disminuir el acceso y disponibilidad de alimento o hacerlo menos atractivo a las poblaciones de plaga o favorecer condiciones para el desarrollo de enemigos naturales.
2. Conocer el nivel de daño económico de la plaga, esto es, en qué punto del crecimiento poblacional de la plaga ésta se vuelve perjudicial económicamente.
3. Crear estrategias de manejo simultáneas sobre las vulnerabilidades encontradas evitando perjudicar otros componentes del agroecosistema.

Para el manejo se consideran estrategias las siguientes estrategias:

- A nivel de cultivo:
  - Uso de variedades resistentes: Se trata de especies que tienen cierta resistencia a las plagas (antibióticas, tolerantes o no-preferenciales).
  - Uso de plantas genéticamente modificadas: Son especies de plantas con propiedades antibióticas insertadas genéticamente en lugar de adquirirlas mediante cruzamiento. El alto nivel de resistencia a las plagas puede propiciar la aparición de formas resistentes de plagas. Otros riesgos asociados al uso de variedades transgénicas es el posible escape de transgenes hacia especies silvestres y ayudar al desuso y potencial pérdida de especies nativas.
- A nivel agroecosistema
  - Control biológico: Se trata del manejo de enemigos naturales de la plaga. La presencia de enemigos naturales no garantiza un manejo eficaz, más bien, se atribuye la efectividad a características de especificidad alta, alta capacidad de búsqueda y tasa de ataque, y alta tasa de crecimiento y persistencia en la interacción con la plaga. Estos enemigos pueden ser depredadores o parasitoides. Las formas en las que este manejo se puede dar son las siguientes:
    - Importación de especies exóticas: Para el control de plagas exóticas o plagas nativas y debe considerarse el comportamiento de esta especie exótica en el ecosistema al que se incorpora: nichos disponibles, competencia con otras especies, desplazamiento o extinción de especies nativas, todo con el objetivo de impedir que la especie exótica se convierta en plaga.
    - Aumento de población de especies de enemigos naturales nativos: Se favorecen las condiciones del sistema para que aparezcan especies nativas. Se liberan periódicamente individuos en los momentos en los que la población de la plaga aumenta y la población de enemigos naturales no crecen al mismo ritmo.

- Conservación de especies nativas: Se controlan las condiciones del ambiente que favorecen el crecimiento de la población de los enemigos naturales. Este tipo de manejo, a diferencia de la estrategia anterior, disminuye la dependencia al uso de insumos. Las estrategias enfocadas a aumentar la diversidad en sus diferentes dimensiones pueden ayudar a aumentar la presencia de enemigos naturales (ver estrategias de mitigación sobre diversidad).
- Técnicas culturales: Entendiendo que el alcance de las plagas no se limita a los espacios de producción ni su relación únicamente con las plantas de las que dependen, se trata de técnicas que gestionan la diversidad en todas sus dimensiones y a diferentes escalas. Deben identificarse los elementos de diversidad que quieren ser favorecidos, para esto es necesario el entendimiento de la plaga y el enemigo natural.
  - Aumento de biodiversidad a escala de parcela: El aumento de la diversidad específica, varietal, genética o fenológica dentro de la parcela cultivada puede disminuir la población de plagas al “enmascarar” el alimento. Los policultivos y la vegetación espontánea presente en diferentes momentos del ciclo de producción son prácticas que pueden ayudar de esta manera.
  - Aumento de biodiversidad a escala de finca: La vegetación espontánea en forma de corredores o borduras ayudan a enmascarar el alimento de las plagas y propician el desarrollo de enemigos naturales. Otro beneficio de estos parches de vegetación es la disponibilidad de néctar y polen que beneficie las poblaciones de parasitoides.
  - Aumento de biodiversidad a escala de paisaje: Según lo descrito anteriormente, un aumento de la diversidad favorece el manejo de plagas al enmascarar su fuente de alimento y propiciar las poblaciones de enemigos naturales.
  - Aumento de biodiversidad temporal: La rotación de cultivos entre variedades preferidas y variedades no-preferidas cortan los ciclos de la plaga. Variedades de maduración temprana o periodo corto ayudan para este fin.

### 7.1.3. Estrategias de restauración

#### Gestionar la biodiversidad de los agroecosistemas

El modelo de producción agrícola moderno apoya un sistema simplificado de reducidos componentes que facilita el control de su funcionamiento mediante el uso de insumos externos (Stupino, Iermanó, Gargoloff, & Bonicatto, 2014). Sembrar diferentes y variadas especies de cultivos estabiliza los rendimientos a largo plazo, promueve la productividad en sistemas en condiciones de recursos limitados y bajos niveles de tecnología (Nicholls & Altieri, 2012 en Stupino *et al.*, 2014). “Las prácticas de manejo se visualizan a nivel de individuos o poblaciones, obviando el nivel de comunidad o ecosistema de donde surgen los procesos ecológicos (Gliessman, 2002 en Stupino *et al.*, 2014). Entre menos biodiversidad del sistema agrícola, más cantidad de insumos serán requeridos para sustituir los procesos ecológicos necesarios para un adecuado funcionamiento del sistema (Iermanó & Sarandón, 2009 en Stupino *et al.*, 2014). Esto se puede medir en la cantidad de energía invertida para reemplazar los procesos del sistema

como la regulación biótica y el ciclo de nutrientes, que son variables dependiendo del sistema utilizado y el cultivo.

El propósito de promover la biodiversidad en los sistemas agrícolas es transformar las estructuras y funciones del agroecosistema para propiciar los servicios ambientales de la biodiversidad (Flores & Sarandón, 2014).

La diversidad vegetal está asociada al incremento de diversidad de la biota asociada y puede lograrse por una variedad de estrategias: policultivos, uso de cultivos de cobertura o abonos verdes, rotaciones de cultivos, bordes, cercas y manejo de vegetación espontánea, y sistemas agroforestales. Lo anterior debe ir asociado al conocimiento y objetivos de los agricultores, la diversidad cultural (Flores & Sarandón, 2014). Otras de las ventajas de la biodiversidad incluyen (Power, 1999 en Flores & Sarandón, 2014):

- Ayuda al ciclo de nutrientes y la captación de energía.
- Diversificación de la biota asociada.
- Los sistemas diversos y complejos tienden a tener mayor productividad total.
- Mejor regulación de plagas, enfermedades y malezas además de ayudar a la polinización.

Algunas estrategias para aumentar la biodiversidad de los agroecosistemas se describen a continuación:

- Rotación de cultivos: Definida como la alternancia regular y ordenada en el cultivo de diferentes especies vegetales en secuencia temporal en un área determinada (Geisler, 1980 en Flores & Sarandón, 2014). Las combinaciones de cultivos y sus temporalidades pueden ser variados, pero es aconsejable que se atengan a las siguientes pautas (modificado de Arnon, 1972 en Flores & Sarandón, 2014).
  - Turnar especies con diferentes capacidades de absorción de nutrientes del suelo, cuyos sistemas radicales alcancen diferentes profundidades.
  - Turnar especies débiles a ciertas plagas o enfermedades con aquellas que no lo son. Esto ayuda disminuir la aparición de resistencia.
  - Las secuencias deben tomar en cuenta los efectos positivos o negativos que un cultivo pueda tener en el siguiente. Efectos como la liberación de sustancias tóxicas (alelopatía), suministro de nutrientes, aporte de materia orgánica, entre otras.
  - Alternar especies que toman nutrientes del suelo con aquellas que ayudan a fijarlos (leguminosas-gramíneas).
  - Turnar especies con diferentes necesidades de mano de obra en diferentes épocas.
- Policultivos: Se trata de sistemas de cultivos que crecen de manera conjunta en la misma superficie durante parte o todo su ciclo. Sus beneficios incluyen una mayor resistencia a adversidades como malezas, plagas y enfermedades, y/o mayor eficiencia en el uso de recursos (Sarandon & Labrador Moreno, 2002; Sarandón & Chamorro, 2003 en Flores & Sarandón, 2014). Para aumentar las posibilidades de éxito es necesario comprender los mecanismos ecológicos que pueden ayudar a su mayor eficiencia, por esta razón los policultivos son sitio-específicos y la medición de su rendimiento debe hacerse mediante un acercamiento holístico viéndolo como un sistema completo y se recomiendan los índices Razón Equivalente de la Tierra (Land Equivalent

Ratio o LER) o el Rendimiento Relativo Total (Relative Yield Total o RYT) que miden (Flores & Sarandón, 2014). Para diseñar sistemas de policultivos es necesario entender dos principios (Vendermeer, 1989 en Flores & Sarandón, 2014):

- Principio de producción competitiva: Existe competencia entre los componentes del policultivo, pero, aun así, los cultivos se benefician por la presencia de todos porque se da un solapamiento de los nichos ecológicos.
  - Principio de facilitación: Que explica que la presencia de una especie genera condiciones en el ambiente que ayudan a la otra especie del sistema. Cuando la competencia es mayor que el beneficio de facilitación, entonces el comportamiento del policultivo es peor que el del cultivo puro.
- Cultivos de cubierta: “Un Cultivo de Cobertura (CC) es definido como una cobertura vegetal viva que cubre el suelo en forma temporal o permanente, el cual está cultivado en asociación con otras plantas (intercalado, en relevo o rotación)”. Entre sus funciones está la producción de alimentos para consumo humano y para ganado, control de enfermedades y plagas, control de malezas y conservación de suelo y agua. Se puede tratar de cultivos anuales que se destruyen antes del ciclo de producción de cultivos comerciales; o cubiertas vivas que se desarrollan junto a cultivos comerciales. La mayoría de los cultivos de cubierta son leguminosas (Flores & Sarandón, 2014).
  - Sistemas agroforestales: Se trata de sistemas en los que interactúan especies vegetales perennes leñosas en la misma superficie con animales y/o cultivos. Son de particular importancia en agroecosistemas donde los árboles son parte del bioma original del lugar. Se pueden diseñar en tres modalidades diferentes: sistemas agrosilvícolas (árboles y cultivos anuales o perennes); sistemas silvopastoriles (árboles y pastizales para la producción animal); sistemas agrosilvopastoriles (árboles, cultivos perennes o anuales y pastos para la producción animal. Estos sistemas tienen la capacidad de mejorar el suelo mediante el reciclaje de nutrientes de horizontes profundos del suelo, además de fijar nitrógeno y carbono además de materia orgánica que ayuda también a la estructura del suelo.

### **Gestionar de manera eficiente los nutrientes del suelo**

“La vida en los ecosistemas es posible, entre otras cosas, por los nutrientes necesarios por los organismos, los que son tomados del ambiente utilizando la corriente de energía que fluye y atraviesa el agroecosistema” (Abbona & Sarandón, 2014). Por su naturaleza, los agroecosistemas actuales son sistemas abiertos a los nutrientes, esto quiere decir que los nutrientes necesarios para generar los productos agrícolas no se quedan dentro del sistema de donde se tomaron, un agroecosistema no se autoabastece de nutrientes.

Por las funciones que desempeña el suelo en un agroecosistema se considera un elemento complejo. Los diferentes componentes que lo conforman (materia orgánica; el agua en el suelo y las soluciones que se forman; la micro, meso y macrofauna y flora que lo habitan; los minerales) desempeñan funciones distintas pero relacionadas generando un flujo de nutrientes. No se desea crear sistemas cerrados de

nutrientes sino hacerlos balanceados y eficientes, evitando salidas de nutrientes por lixiviación, erosión o volatilización (Abbona & Sarandón, 2014).

Se considera importante tener un entendimiento claro del comportamiento de los nutrientes dentro del agroecosistema. Entendiendo que se trata de un sistema abierto, realizar balances de nutrientes ayuda a identificar claramente las vías por las cuales los nutrientes entran y salen del sistema. Para esto se usa un balance de nutrientes en el que se evalúan las entradas y salidas del sistema. Para las entradas se consideran la fertilización, orgánica y mineral, y si se tienen los recursos, la fijación biológica. Para las salidas se cuentan las salidas por cosecha y de rastrojo; las salidas por lixiviación, volatilización y erosión son más difícil de estimar (Abbona & Sarandón, 2014). Las decisiones sobre la adición de nutrientes se toman de manera puntual sobre las necesidades detectadas.

Se recomienda crear estrategias para hacer uso de los biosólidos generados en las PTAR municipales en la recuperación de los nutrientes del suelo que lo requieran. Para esto, y de acuerdo con lo descrito anteriormente en esta sección, se deben conocer las propiedades de los biosólidos para identificar las necesidades de nutrientes que van a satisfacer.

#### **Capturar carbono en suelos degradados**

Las Prácticas de Gestión Recomendadas (PGR) son acciones para la captura de carbono en el suelo. Estas PGR están enfocadas a agregar grandes cantidades de biomasa al suelo, evitar al máximo la labranza, conservar agua y suelo, desarrollar la estructura del suelo, mejorar la diversidad y la actividad de la fauna del suelo, y ayudar a mantener y mejorar los mecanismos del ciclo de nutrientes (Lal, 2004). Algunos ejemplos de estas prácticas son la labranza cero y cultivos de cobertura que tienen como objetivo “proteger físicamente el suelo de la acción del sol, la lluvia y el viento y alimentar la biota del suelo. El resultado es una menor erosión del suelo y mejor contenido de materia orgánica y de carbono” (FAO, 2002).

Se debe hacer notar que las prácticas de poca o nula labranza (labranza cero) están asociadas a mayor uso de herbicidas debido a la aparición de malezas (Flores & Sarandón, 2014), por lo que se recomienda su práctica en zonas donde el suelo está degradado pero que no requiera un control estricto de malezas.

### **7.1.4. Estrategias de compensación**

#### **Compensar económicamente por la implementación de nuevas prácticas**

Debido a la implementación de nuevas prácticas en las parcelas como la disminución de la aplicación de plaguicidas y herbicidas, y la adopción de rotación de cultivos y cultivos de cobertura, es probable que los rendimientos de las tierras cambien y no se produzca la misma cantidad de cultivos que con las prácticas de agricultura intensiva.

Se recomienda elaborar una serie de compensaciones económicas o incentivos para cubrir las posibles pérdidas de la producción o para motivar a los agricultores a la adopción de las nuevas prácticas.

Los incentivos pueden estar ligados a servicios ambientales, se estaría pagando a los agricultores por la regeneración y el mantenimiento de los servicios que provee la agricultura. Aunque no existe una

definición exacta de pago por servicios ambientales se presentan cinco principios básicos para ayudar a entender el concepto (Perrot-Maître, 2006):

1. Una transacción voluntaria donde
2. Un servicio ambiental bien definido (o un tipo de uso de suelo que ayude a conservar el servicio)
3. Es comprado por al menos un comprador
4. A por lo menos un proveedor de servicios ambientales
5. Solamente si el proveedor de servicios ambientales asegura la provisión de dicho servicio

### **Promocionar e incentivar productos agrícolas orgánicos**

Según lo establecido en el PMDU se reconoce la necesidad de crear oportunidades para la promoción y financiamiento de productos agrícolas. Estas estrategias para crear una demanda de productos agrícolas de alta calidad pueden ayudar a hacer más atractivas las prácticas de producción sostenibles.

Esto puede ir de la mano de la vocación turística del municipio y de la infraestructura de servicios que ya existe.

## 7.2. Agua residual

En la sección 5.2 se describieron los siguientes impactos ambientales potenciales con la implementación del PMDU sobre este componente:

1. Incremento de la demanda de los servicios de agua potable y drenaje
2. Incremento de la generación de agua residual y del requerimiento de infraestructura para su tratamiento
3. Incremento del peligro de accidentes por el uso de gas cloro para desinfección
4. Incremento del consumo de energía para tratamiento y bombeo, y emisiones asociadas de GEI
5. Incremento de la generación de biosólidos

En esta sección se describen las estrategias de prevención, minimización, restauración y compensación para mitigar dichos impactos ambientales.

### 7.2.1. Estrategias de prevención

#### **Implementar obras de infraestructura para la conducción y tratamiento de agua residual mencionadas en el PMDU**

En la sección de Estrategias de Desarrollo Urbano, Objetivo Específico 6 del PMDU se plantea “establecer un programa de acciones para implementar en materia de infraestructura básica con el fin de abastecer de agua potable, contar con drenaje sanitario y tratar el agua residual”. Asimismo, respecto a este componente se mencionan los siguientes proyectos y acciones específicas (PMDU, apartado: Franjas de protección de infraestructura básica, subsección: plantas de tratamiento):

- Proyecto de rehabilitación integral del Colector Centro-Norte, con operación a gravedad en una longitud de 6 km, en diámetros de 20, 24, 36, 42, 54, 60 y 72 pulgadas
- Construcción de 3.5 km de la segunda línea de bombeo de agua negra, que va del cárcamo Norte I a la PTAR Norte II
- Proyecto de rehabilitación de la PTAR Norte II
- Conservar como espacios verdes y abiertos, las áreas de restricción por infraestructura en las PTAR Norte I, Norte II
- Construir un emisor afluente de la PTAR Norte II al río Ameca
- Rehabilitación o sustitución de infraestructura hidráulica sanitaria, ya que el 40% de la infraestructura existente ha rebasado su vida útil

Dichos proyectos y acciones permitirán mejorar e incrementar la capacidad de la infraestructura para la conducción de agua residual, así como su tratamiento, y ayudarán a prevenir la contaminación de cauces y agua subterránea en zonas que actualmente no cuentan con cobertura de drenaje y que utilizan sistemas como fosas sépticas.

### **Considerar el incremento de la generación de agua residual debido al crecimiento del área urbana**

El PMDU plantea elaborar el Programa de Saneamiento y Cobertura de Agua Potable, Alcantarillado y Drenaje, así como el Programa Integral de Manejo de Agua (PIMA), mismo que se menciona de igual forma en el PMCC. Tanto en el PMDU como en el PMCC se considera que el PIMA comprenderá los proyectos, programas y políticas en materia de gestión integral del agua que permitirán proyectar un aprovechamiento sostenible del recurso hídrico.

Con respecto a estos programas, se recomienda que en su elaboración se considere el aumento de la generación de agua residual derivado del crecimiento del área urbana proyectado en el PMDU, tomando como base las estimaciones presentadas en la sección 5.2.1 y 5.2.2.

### **Priorizar los distritos urbanos con mayores requerimientos de infraestructura**

Dadas las limitaciones presupuestales que pudieran presentarse para desarrollar proyectos de infraestructura, se recomienda que estos se prioricen por distrito urbano con base en las necesidades de infraestructura para la conducción de agua residual y su tratamiento. Con base en lo descrito en la sección 4.2.2, actualmente las PTARs ubicadas en el DU-Las Palmas operan a su máxima capacidad, por el tipo de tratamiento que recibe el agua residual, que requiere de un reflujo constante para su funcionamiento. Asimismo, con base en las estimaciones presentadas en la sección 5.2.1, los distritos urbanos con mayor requerimiento actual de cobertura de drenaje y agua potable son los DU4 y DU5

### **Evaluar la emisión de licencias de construcción con base en la capacidad de infraestructura instalada**

Se recomienda evaluar de manera detallada la emisión de licencias de construcción en distritos urbanos con base en la capacidad de la infraestructura para la conducción de agua residual y su tratamiento completo, en caso de que esta no sea suficiente, limitar los permisos hasta que se cuente con la infraestructura necesaria.

### **Implementar un sistema de medición y registro de descargas de aguas residuales**

Se recomienda implementar un sistema de medición y registro de descargas de aguas residuales para contar con datos más precisos sobre la generación de aguas residuales. Dicho sistema y registro permitirá contar con información más precisa acerca de la generación de agua residual de cada sector (vivienda, comercios, servicios, industria, etc.). Esto es importante ya que las concentraciones de contaminantes en el agua residual varían con respecto al sector. Esto repercutirá sobre el tipo de tratamiento a implementar en las PTARs. Además, permitirá facilitar la detección de descargas clandestinas.

### **Utilizar un tratamiento alternativo para la desinfección del agua residual**

Para reducir el peligro de accidentes por el uso de gas cloro para la eliminación de microorganismos, se recomienda utilizar un tipo de tratamiento alternativo que represente un menor riesgo. En la Tabla 52 se presenta una comparación de las ventajas, desventajas y datos de mantenimiento de tres métodos de tratamiento: ozono, luz ultravioleta y cloro. Se considera que los tratamientos por ozono o luz ultravioleta conllevan menos riesgos en comparación con el cloro.

**Tabla 52. Ventajas, desventajas y datos de mantenimiento de tratamientos de desinfección por ozono, luz ultravioleta y cloro. Fuente: Doménech (2004) y VIQUA (2015).**

Método de tratamiento	Ventajas	Desventajas	Mantenimiento
Ozono	<p>Bajo tiempo de contacto</p> <p>Buen funcionamiento en pH amplio (de 5.5 a 9.5)</p> <p>Buen funcionamiento en el rango de temperaturas de 5°C a 35°C</p> <p>No genera subproductos indeseables</p> <p>Eliminación del riesgo de formación de Trihalometano (THM), compuestos químicos volátiles y cancerígenos que se generan durante el proceso de potabilización del agua por la reacción de la materia orgánica, aún no tratada, con el cloro utilizado para desinfectar.</p>	<p>Al oxidar los elementos en el agua puede producir un aumento del carbono orgánico disuelto biodegradable</p> <p>Tiene un escaso poder residual por lo que hace necesario el uso de un desinfectante como el cloro adicionado en la fase final del sistema de tratamiento</p> <p>Altos costos de adquisición de los equipos</p>	<p>Alto costo de mantenimiento</p> <p>Requiere personal especializado</p>
Luz ultravioleta (UV)	<p>No requiere de sustancias químicas: no hay subproductos de la desinfección</p> <p>Fácil instalación</p> <p>Efectiva frente al Criptosporidio y la Giardia</p> <p>No altera el sabor ni el olor del agua</p>	<p>Requiere de tratamiento previo (por ejemplo, filtrado previo para sedimentos y descalcificadores para áreas con aguas duras)</p> <p>Algunos microorganismos requieren de una dosis alta de UV</p> <p>El uso a gran escala puede estar restringido</p>	<p>Sustitución anual de la lámpara</p> <p>Limpieza ocasional de la manga de cuarzo o sustitución</p>
Cloro	<p>Reduce algunos sabores/olores desagradables</p> <p>Proporciona desinfección residual</p> <p>Puede ayudar a extraer el hierro/el manganeso del agua</p> <p>Bajos costos</p>	<p>Puede producir subproductos dañinos</p> <p>Requiere almacenamiento/uso de sustancias químicas nocivas</p> <p>Requiere un control continuo de los niveles de cloro</p> <p>El Criptosporidio es muy resistente</p> <p>A menudo requiere de un tanque de contacto</p> <p>Requiere una instalación profesional</p> <p>Puede alterar el sabor/olor del agua</p> <p>Corrosivo</p>	<p>Requiere una comprobación de piezas sueltas, gastadas o rotas</p> <p>Debe limpiarse el sistema completo semestralmente</p> <p>Deben limpiarse todas las superficies que muestren corrosión</p> <p>Hay que recargar los suministros de cloro</p> <p>Deben limpiarse los puntos de inyección bloqueados</p>

## 7.2.2. Estrategias de minimización

### Promover el uso eficiente del agua por medio del Programa de Educación Ambiental

Dado a que la generación de agua residual se encuentra directamente ligada al consumo de agua potable, se recomienda promover estrategias para el uso eficiente del agua. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, las necesidades básicas humanas pueden ser cubiertas con un uso de entre 50 y 100 litros de agua por persona por día (ONU, 2014). Como ejemplo de dichas cantidades en el contexto mexicano se tiene a la ciudad de Guanajuato, en la cual la población utiliza un promedio de 92 litros por habitante por día (Ruiz Lanuza y Amador Barrón, 2018). Asimismo, en España las personas utilizan 127 litros diarios (We Are Water Foundation, 2017).

Como se mencionó en la sección 4.2.1, el consumo de agua potable por parte de la población fija del municipio es de 250 L/Hab/día. Se considera que una meta adecuada sería reducir dicho consumo a 150 L/Hab/día. Dicha meta puede ser lograda mediante un trabajo conjunto entre la administración municipal, los sectores productivos y la población. En específico, se recomienda que el municipio refuerce el programa de educación ambiental del Departamento de Cultura del Agua y lo complemente con un programa educativo y de responsabilidad ambiental para promover el uso eficiente del agua, el cual sea promovido ampliamente para que esté disponible para todos los ciudadanos. Existen múltiples guías y estrategias disponibles para promover el uso eficiente del agua. Por ejemplo, el manual de buenas prácticas del Ayuntamiento de la ciudad real (s.f.), Canal de Isabel II Gestión (2016), Ecodes (s.f.) y algunos documentos de apoyo para fundamentar los esfuerzos UNEP. (2014), y ejemplos de acciones concretas y sus resultados en *Agua y Desarrollo Sostenible* (ONU, 2015). Cabe señalar que el uso eficiente del agua potable es también una medida de adaptación al cambio climático que permitirá incrementar la resiliencia del municipio a efectos como la reducción de precipitación y el aumento de sequías.

### Implementar obras para la separación de drenajes de agua pluvial y agua residual

Se considera que la separación de drenajes es una estrategia clave para reducir el caudal de tratamiento de aguas residuales, así como los costos asociados de conducción (bombeo) y tratamiento, ya que, en lugar de tratar caudales combinados de agua residual con agua pluvial, solamente se trataría el agua residual. Esto se considera importante ya que, como se describe en la sección 4.2.2, para algunos años, en la temporada de lluvias se sobrepasan las capacidades instaladas de tratamiento debido a las aportaciones de agua pluvial. De continuar con el sistema combinado actual, se espera que esta tendencia aumente en el futuro, como se describe en la sección 5.2.2. Se recomienda que las sustituciones de la infraestructura hidráulica sanitaria a las que refiere el PMDU, así como las instalaciones futuras de este tipo de infraestructura se realicen tomando en cuenta la separación de drenajes.

De acuerdo con Giraldo Gómez (2014), los alcantarillados separados son más costosos de implementar en una ciudad, pero sus beneficios se observan al momento de realizar las obras de tratamiento de las aguas residuales. Adicionalmente permiten un mejor desarrollo urbanístico de la ciudad, ya que con ellos se puede proteger a los cuerpos de agua internos de una ciudad al evitar que las aguas residuales y reboses de alcantarillados combinados entren a ellos (Giraldo Gómez, 2014). Los siguientes casos de estudio muestran las ventajas de contar con sistemas separados de conducción de agua residual y pluvial.

Singapur es un país que se localiza en una isla y cuenta con una alta densidad de población. Por sus condiciones geográficas resulta importante evitar el desperdicio de agua potable. El sistema de alcantarillado en Singapur es separado de manera que las aguas residuales no se combinan con el agua pluvial. Asimismo, la totalidad del agua residual es tratada.

En Chicago, que se caracteriza por ser una ciudad plana cerca a los grandes lagos, en los años 90's dos PTARs fueron diseñadas para tratar 2 billones de galones americanos diarios de agua residual. En múltiples ocasiones su capacidad era sobrepasada por fuertes lluvias, que generaban hasta 5 billones de galones americanos, y se generaban inundaciones por desbordamiento de aguas residuales, con repercusiones sobre la salud humana y a salud ambiental, pues los ríos y lagos cercanos también eran afectados. A finales de la segunda guerra mundial, se generó una infraestructura separada para captar y almacenar el agua de lluvia, gracias a diferentes reservorios que se construyeron por partes, se ha logrado que mejore la calidad del agua y que los ríos y lagos nuevamente almacenen biota (Haydar Mordecai, 2016). Los diferentes reservorios también han generado beneficios a las comunidades ya sea al evitar los desbordamientos o por almacenar agua para las comunidades aledañas, por ejemplo, el reservorio O' Hare que finalizó su construcción en 1998, con una capacidad de almacenar 340 millones de galones americanos (NRDC, 2010) y desde entonces hasta la actualidad ha reducido 116 millones de dólares en valor por daños por desbordamiento (Haydar Mordecai, 2016).

### **Utilizar fuentes alternas de energía para el tratamiento de agua residual**

Se recomienda utilizar fuentes alternas de energía para el tratamiento de agua residual con el fin de reducir el uso de energía proveniente de fuentes fósiles, las emisiones asociadas de gases de efecto invernadero y los costos de operación de las PTARs. Como parte del proceso de tratamiento de agua residual, las PTARs pueden generar metano (biogás), mismo que por sus características fisicoquímicas es susceptible de ser utilizado para la generación de energía eléctrica. Actualmente el biogás que se produce en la PTAR Norte II, solo se utiliza como combustible para los intercambiadores de calor en el proceso de biodigestión anaerobia, que alimenta a tres calentadores para mantener una temperatura de 35°C, que es la temperatura que requieren las bacterias metanogénicas para la producción de metano, (Velazques, 2020b). Para ello se destaca que en el PMDU (apartado: Transición energética) se contempla la optimización energética por el uso de biogás en la PTAR Norte II. Se recomienda que dicha medida sea ampliada al resto de las PTARs existentes y futuras. De la misma forma, se recomienda el uso de energía solar mediante la instalación de paneles fotovoltaicos para cubrir parte de la demanda energética de las PTARs.

### **Promover la captación y uso del agua pluvial**

Como estrategia adicional de minimización se recomienda promover la captación y uso de agua pluvial en viviendas y establecimientos de comercios, servicios e industria. Debido a la infraestructura existente de drenaje combinado, la captación de agua pluvial permitiría reducir los caudales de tratamiento de agua residual a conducir y tratar, así como los costos asociados. El agua pluvial podría ser utilizada para el riego de áreas verdes y para satisfacer necesidades domésticas, comerciales e industriales.

### **7.2.3. Estrategias de restauración**

#### **Implementar proyectos para la remediación y restauración de cauces**

Como se describió en la sección 4.2.2, el 8% de las viviendas en el municipio no cuentan con drenaje conectado a la red pública. Dicha problemática, así como el uso de fosas sépticas ineficiente y descargas clandestinas repercuten sobre la calidad del agua superficial, los ecosistemas que dependen de ella y la salud humana.

Como estrategia de restauración se recomienda la implementación de proyectos para la remediación y restauración de cauces, los cuales se podrán integrar a otro programa propuesto en materia de áreas verdes. Se recomienda al desarrollar los proyectos de remediación de cauces consideren los siguientes puntos:

- A. Levantamiento puntual del cauce, alrededor de todo su trayecto, ya sea dentro o fuera del área urbana para determinar su condición actual
- B. Realizar una batimetría del cauce
- C. Identificar las fuentes de contaminación del cauce y erradicarlas
- D. Priorizar aquellos a intervenir con base en su cercanía a asentamientos humanos o sitios turísticos.
- E. Los proyectos de restauración deberán buscar mejorar las condiciones ecológicas de los cauces que se intervengan.
- F. Informar a la(s) comunidad(es) pertinentes respecto de lo que se desea realizar, y en lo posible buscar la aprobación y el apoyo voluntario de la comunidad para realizar el proyecto de restauración y remediación.
- G. Tener un plan completo respecto a que se de separación de los residuos excavados, en caso de que sean reciclables, reutilizables o residuos peligrosos

### **7.2.4. Estrategias de compensación**

Se considera que el agua residual tratada, el biogás y los biosólidos cuentan con un gran potencial de integrarse al modelo de economía circular, la cual se define como un sistema económico que busca minimizar los residuos y aprovechar los recursos lo mejor posible mediante el remplazo el concepto de final de vida con la restauración. La economía circular busca la eliminación del residuo a través de un diseño superior de los materiales, productos, sistemas y modelos de negocio. La economía circular se basa en tres principios básicos: (i) diseñar para que no se produzca desperdicio y contaminación, (ii) mantener los productos y materiales en uso, y (iii) regenerar los sistemas naturales (Ellen MacArthur Foundation s.f.; WEF 2014).

En México existen implementaciones exitosas del modelo de economía circular. En San Luis Potosí se utilizan aguas residuales tratadas en lugar de aguas subterráneas para la generación de energía eléctrica. Con esto se logra reducir los costos de agua en un 33%, generando ahorros por 18 millones de dólares en un periodo de seis años. En el caso de la empresa proveedora del servicio de agua, los ingresos adicionales provenientes de la venta de aguas residuales tratadas ayudan a cubrir los costos operativos y de mantenimiento (Li Lou y Shane Romig, 2020).

En esta sección se describen tres estrategias ligadas con el modelo de economía circular: La comercialización de agua residual tratada, la comercialización de biogás y la comercialización de biosólidos.

### **Aprovechamiento del agua residual tratada**

Como estrategia de compensación se recomienda el aprovechamiento del agua residual tratada. El agua residual tratada puede ser utilizada en usos que no necesariamente requieren de una alta calidad del agua, tales como algunos usos comerciales (lavado de carros), industriales (torres de enfriamiento) y el riego agrícola. A manera de ejemplo se menciona en el PMDU (apartado: agua potable) que las concesiones de agua para uso agrícola son de 48,847,967 m<sup>3</sup>/año, o bien de 1,548.95 L/s. Sin embargo, el volumen concesionado no equivale al uso real, pero éste puede compararse con el caudal de agua residual tratada a modo de ejemplo. Como referencia, se tiene que en 2019 las PTARs trataron un promedio mensual de 1,032.99 L/s de agua residual o 32,545.152 m<sup>3</sup>/año. Este caudal corresponde al 66.7% del volumen concesionado. Cabe mencionar que para determinar la viabilidad de su comercialización y aprovechamiento deberán tomarse en consideración los costos de conducción o traslado.

Con el fin de poner en perspectiva la reutilización de agua se sugiere realizar un análisis de valoración económica, social y técnica para implementar un proyecto de abastecimiento de agua tratada al valle agrícola que contenga al menos los siguientes puntos:

- A. Vinculación con el Programa de Desarrollo Rural o los programas de apoyo al campo
- B. Vinculación con el PIMA
- C. Vinculación con el PAMIC
- D. Análisis de validación del proyecto
- E. Proyecciones de agua residual tratada necesaria para abastecer a los agricultores involucrados
- F. Infraestructura necesaria para el bombeo
- G. Obras necesarias para la captación de agua tratada en la parte

### **Aprovechamiento del biogás**

En la sección anterior se recomendó como estrategia de minimización el uso de biogás como fuente alterna de energía para el tratamiento de agua residual. Sin embargo, en algunos casos puede ser inviable la implementación de infraestructura y equipo necesario para su uso como fuente de energía. Como estrategia de compensación se recomienda su comercialización. El biogás podría ser vendido a empresas o establecimientos ubicados dentro del municipio.

Sera recomendable realizar al SEAPAL un análisis costo beneficio para utilizar el biogás en la generación de energía eléctrica como lo hacen las dos plantas de tratamiento más de la ciudad de Guadalajara.

### **Aprovechamiento de los biosólidos**

Los biosólidos generados en las PTARs del municipio también podrían ser aprovechados junto con empresas dedicadas a la producción de composta o fertilizantes naturales, viveros, o en el sector agrícola como insumo para la mejora de suelo.

Igualmente pueden incorporarse a la planta de composta que puede instalar el municipio para el manejo de sus residuos orgánicos, afortunadamente por el tipo de agua residual generada por el municipio los lodos están prácticamente exentos de metales o sustancias peligrosas, lo que facilita su comercialización como mejorador de suelo.

Se recomienda generar un programa de aprovechamiento de biosólidos, el cual contenga:

1. Monitores respecto a la calidad y generación de biosólidos mensual, por ubicación de la PTAR
2. Vinculación con el Programa de Desarrollo Rural o los programas de apoyo al campo
3. Infraestructura necesaria para la optimización del recurso
4. Eficiencia en el transporte del recurso para que llegue a su destino

### **7.3. Agua subterránea**

En la sección 5.3 se describieron los siguientes impactos ambientales potenciales con la implementación del PMDU sobre este componente:

1. Aumento de la demanda de agua subterránea
2. Aumento del riesgo de contaminación de acuífero
3. Aumento de la impermeabilización del suelo y reducción de oportunidad de infiltración
4. Abatimiento del nivel piezométrico

En esta sección se describen las estrategias de prevención, minimización, restauración y compensación para mitigar dichos impactos ambientales.

En el PMDU se plantean programas para lograr una mejor gestión del agua subterránea dentro del municipio, los cuales son Programa de Gestión de Agua, Programa de Saneamiento y Cobertura Agua Potable, Alcantarillado y Drenaje. Las líneas de acción planteadas dentro del PMDU son: dotar de agua potable gratuita a la población; gestionar de manera sustentable los cauces, escorrentías y laderas; fomentar la infiltración del agua al subsuelo en áreas urbanas y áreas verdes, con una red de puntos de infiltración de agua pluvial; reforestar en los derechos de paso de vialidades, canales, escurrimientos y cuerpos de agua, e instalar sistemas de captación de agua pluvial para su aprovechamiento.

#### **7.3.1. Estrategias de prevención**

Con los datos de los estudios de calidad del agua, se deberá ejecutar un análisis hidrogeológico y comparativa de los valores. Una vez que se tenga el análisis de calidad de agua, se puede comparar con el análisis de vulnerabilidad a la contaminación del acuífero. La gestión del recurso hídrico debe ser perfeccionado pues el municipio necesita contar con una red específica de monitoreo y control, lo que permitirá una gestión más precisa. Además, se tendrá que considerar realizar estos análisis en conjunto con el municipio de Bahía de Banderas, puesto que el agua no respeta límites municipales, es importante llevar a cabo un trabajo contiguo, para definir los límites reales del acuífero y lograr una gestión adecuada del recurso.

El PMDU busca reciclar espacios al interior de la ciudad para construir nuevas edificaciones y aprovechar para buscar una densificación seguida del respeto de las zonas agrícolas y las zonas de vegetación natural, lo que indica que al menos en superficie se busca impactar lo menos posible al uso de suelo del municipio.

El municipio deberá desarrollar un sistema de monitoreo en la zonas más vulnerables a la contaminación, basándose en el mapa de vulnerabilidad, esto brindara un mejor panorama para en un futuro lograr controlar y evitar la contaminación del acuífero, por ejemplo, reducir o cambiar el uso de pesticidas y agroquímicos en las zonas agrícolas, llevar a cabo las construcciones y el manejo adecuado de los rellenos sanitarios, cuidando la infiltración de lixiviados, además de cuidar las descargar de la zona hotelera o zonas industriales.

Se identificaron cuatro estrategias de prevención, las cuales son: *(1) Identificar zonas de mayor recarga potencial para su protección, (2) Controlar puntos de contaminación (tiraderos clandestinos, rellenos*

*sanitarios, zonas agrícolas), (3) Generar y mejorar gestión y uso de información de agua subterránea y (4) Desarrollar esquema de certificación y acceso a cuotas bajas.* Estas propuestas se llevarían a cabo en conjunto, puesto que todas tienen un resultado similar.

Como se ha mencionado en el análisis de este componente, es importante trabajar en conjunto con el municipio de Bahía de Banderas para lograr los resultados deseados, por lo que se tendrá que llevar a cabo trabajos de investigación para evaluar la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos y mejorar el entendimiento del funcionamiento hidrogeológico del que se abastece el municipio. Esto para lograr gestionar y proteger correctamente su principal fuente de agua potable. Una vez avanzadas las labores de caracterización, se recomienda alimentar un modelo numérico que simule el funcionamiento del sistema acuífero, utilizando la información disponible como base. Con objeto de plantear distintos escenarios a futuro que permitan el desarrollo estratégico del municipio.

Se tendrá que refinar la cartografía de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos para ser utilizados en el desarrollo urbano, considerando la delimitación intermunicipal. Conjuntamente se deberá utilizar la información de calidad de agua para validar la cartografía de vulnerabilidad e identificar fuentes de contaminación, así como focos de contaminación o puntos de dilución.

Ambos municipios tendrán que llevar el mismo análisis de calidad de agua para lograr un trabajo en conjunto, esto, se deberá procesar adecuadamente los datos de análisis fisicoquímicos y microbiológicos de los pozos de extracción, logrando esto se podrá mejorar su aprovechamiento mediante la obtención de índices de calidad del agua. A la par se necesita trabajar en instalaciones de instrumentos de monitoreo de los sistemas hidrogeológicos (control de niveles de agua subterránea mediante piezómetros).

Se deberá aumentar la articulación con el orden federal en materia de protección de fuentes de agua para abastecimiento. Particularmente, para reforzar las medidas de vigilancia de la legislación aplicable, en materia de extracción de agua potable, vertidos de aguas residuales y ordenación territorial.

Estas propuestas se visualizan a un mediano y largo plazo, pues el llegar a un acuerdo con otro municipio y organización, es delicado.

### **7.3.2. Estrategias de minimización**

Se identificaron tres estrategias de minimización, las cuales son: *(1) Mayor uso de agua residual tratada para evitar extracción de agua subterránea, (2) Programa de aprovechamiento de recursos hídricos y (3) Promover uso de alternativas en usuarios.*

Una vez que se tenga contacto con el municipio vecino, se podrá realizar las gestiones necesarias para desarrollar programas intermunicipales (Bahía de Banderas y Puerto Vallarta) de gobernanza del agua subterránea, apoyándose de la información generada sobre hidrogeología, para entender el entorno en el que se encuentra el acuífero y como funciona.

Mejorar la eficiencia de las redes de abastecimiento urbano y, en segundo término, impulsar estrategias para la optimización de los sistemas de abastecimiento a grandes instalaciones turísticas. Al mismo tiempo, se podrá impulsar la instalación de sistemas de aprovechamiento de aguas pluviales.

Se podrá trabajar en conjunto con el SEAPAL para gestionar el uso de agua residual y/o pluvial, para utilizarla en el riego de áreas verdes, campos de golf, para riego de algunos cultivos, entre otros, esto lograra una disminución en la extracción de agua subterránea, logrando desarrollar sistemas nuevos de abastecimiento de agua, el tiempo que se prevé llevar a cabo estas medidas es a largo plazo.

De igual manera se puede generar contenido público, en donde se enseñen nuevas alternativas de uso de agua, brindando información a los usuarios, para cambiar su percepción del uso de agua subterránea.

### **7.3.3. Estrategias de restauración**

Cuando se tenga todo el análisis de calidad de agua y vulnerabilidad, y se entienda el entorno hidrogeológico, se podrá investigar de alternativas para ayudar a la recarga del acuífero una propuesta es la *recarga gestionada o inducida de acuíferos*. Logrando generar una mayor información para el cuidado y protección del acuífero.

La recarga artificial de un acuífero, también llamada Gestión de la Recarga de Acuíferos (GRA), es un método de gestión hídrica que permite introducir agua en los acuíferos (en general, agua de buena calidad y pretratada). Algunos de los objetivos de la Recarga artificial es almacenar agua en el acuífero para su uso futuro, además de disminuir las fluctuaciones en la demanda de agua, desarrollar estrategias de manejo integral de agua en la cuenca, estabilizar los niveles del acuífero y disminuir el riesgo de intrusión salina al acuífero y subsidencia del terreno (Ojeda G., 2016).

El objetivo de esto es generar nuevas propuestas y conciencia en la población sobre la extracción de agua subterránea, no es un trabajo fácil el desarrollar estos proyectos por lo que se visualiza a largo plazo, se podría trabajar en conjunto con Bahía de Banderas puesto que comparten un mismo sistema.

#### **7.3.4. Estrategias de compensación**

Una de las estrategias propuestas para la compensación, es el *uso de multa por exceder la extracción de agua*, aplicando recursos o acciones de compensación.

Desarrollar una red de monitoreo de pozos, en donde se genere una base de datos y constantemente se realice un revisión y análisis de esta, logrando identificar los usuarios que exceden el límite de extracción de agua subterránea. Para poder aplicar esto, deberá de realizarse un estudio y definir la cantidad de m<sup>3</sup>/día que pueden extraer, aun aplicando el uso de agua residual o agua pluvial a la actividad. Se deberá desarrollar un programa o reglamento en donde se mencionen las medidas que se llevarán a cabo si el usuario rebasa el límite de extracción y las medidas de compensación que deberá realizar si excede el límite, o la aplicación de una multa.

Esto se podría visualizar en un tiempo de mediano y largo plazo, ayudará a disminuir la extracción de agua subterránea, así como el desarrollo de nuevos programas de aprovechamiento de agua.

## **7.4. Biodiversidad**

En la sección 5.4 se describieron los siguientes impactos ambientales potenciales con la implementación del PMDU sobre este componente:

1. Disminución de espacios para albergar flora y fauna en condiciones naturales
2. Aumento de la captura o caza con la fauna local

En esta sección se describen las estrategias de prevención, minimización, restauración y compensación para mitigar dichos impactos ambientales.

### **7.4.1. Estrategias de prevención**

#### **Integrar medidas asociadas a la concentración de especies en nuevos desarrollos**

Con la información generada de concentración de los diferentes grupos de fauna al interior del municipio es evidente el fuerte vínculo que existe entre la fauna y la ciudad. La importancia de que los nuevos proyectos estén conscientes de los espacios que están disponibles dentro de los planes parciales proyectados son espacios completamente vivos y que forman parte de un ecosistema donde la fauna no ha dejado parte de su hábitat necesitan que se diseñen y contemplen estrategias de mitigación cada vez más específicas para los proyectos.

Los proyectos de gran escala en el municipio suelen ser desarrollos muy cercanos a la costa y con vista hacia el océano que hacen que se contemplen como un ecosistema costero que deriven en una evaluación en materia de impacto ambiental federal. A pesar de lo anterior buena parte de las licencias que requieren para construir son directamente con el municipio por lo que existe el espacio para poder incidir con la revisión de las medidas contenidas en la manifestación de impacto ambiental y poder ampliarlas.

Será importante que en la medida de lo posible y de acuerdo con el grupo de fauna que la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente solicite medidas específicas que permitan que los proyectos sean lo menos invasivos posibles. Con el trabajo del programa de monitoreo de fauna local que también se sugiere dentro de las presentes estrategias de mitigación será posible que se solicite a las residencias ambientales de los proyectos que compartan la información al municipio para enriquecer los registros y con ello ir afinando con el paso del tiempo los modelos de distribución potencial, las acciones y políticas de conservación.

Otra realidad distinta son los desarrollos que se encuentran fuera del ecosistema costero al interior del municipio que serán aquellos más ubicados en la zona norte o en terrenos agrícolas que requieran de una evaluación en materia de impacto ambiental donde la atribución es directa y podrá permitir a la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente emitir las condicionantes específicas en la materia.

El PMDU y los planes parciales buscan integrar una ciudad aprovechando o reciclando los espacios no utilizados o renovados con los que cuenta el municipio al interior de la zona urbana y el limitar la expansión de la mancha urbana lo más posible, estas políticas urbanas pueden ir acompañadas en todo momento las medidas más actuales para protección de fauna en las distintas etapas del proyecto.

## **Elaborar el Plan de Gestión de Áreas Verdes Urbanas y Comunidades Rurales**

El municipio tiene la fortuna de contar con una superficie relativamente plana en su zona urbana que le ha permitido crecer sin mayor problema al paso de los años, sin embargo, cuenta con diferentes retos como la conservación de arbolado endémico que se encuentra dentro de la ciudad en: camellones, parques, cauces y terrenos privados a lo largo de la mancha urbana, razón por la cual el establecer un Plan de Gestión de Áreas Verdes Urbanas para la ciudad que permite tener una visión de servicios ambientales locales como el refugio y alimentación de fauna local pueden permitir mejorar sus condiciones.

Afortunadamente el ecosistema costero y la gran cantidad de lluvia que recae sobre la ciudad año con año hacen que las plantaciones y el establecimiento de arbolado prospere más fácilmente que en otras ciudades costeras o al interior del estado.

Si bien la política de arborización tiene que estar contemplada en un documento eje que permita establecer proyectos y acciones claras, son las acciones de cuidado del arbolado urbano junto con la ciudadanía y el entendimiento de los servicios ambientales que ofrece el arbolado los que harán que la política pública tenga éxito.

Como parte de la actualización de los instrumentos de planeación urbana será necesario acompañar de un Plan de Gestión de Áreas Verdes Urbanas que permite al municipio y a privados conocer los lineamientos de la política pública en la materia como: la selección de especies, la selección de espacios, acciones de mantenimiento y la vinculación social que requiere todo proyecto urbano.

Este programa podrá también abonar a otras políticas públicas como las establecidas en por el municipio en materia de cambio climático y las establecidas por los programas de monitoreo de fauna local. Entre los muchos apartados que deberá de contener este programa para tener bases sólidas se recomiendan los siguientes puntos:

- A. Diagnóstico completo de arbolado urbano y rural, delimitación de zonas, cuadrantes o transectos representativos
- B. Inventario de especies exóticas e introducidas como parte de las áreas verdes
- C. Inventario de plagas, parásitos y enfermedades dividido en especies locales y foráneas.
- D. Condiciones de riesgo de arbolado en calles, camellones, parques y espacios abiertos
- E. Disponibilidad de especies locales en viveros del municipio
- F. Cuantificación o estimación de arbolado que puede ser colocado en calles, camellones, parques y espacios verdes
- G. Inventario de avifauna, herpetofuna y mamíferos durante los trabajos
- H. Estimación de personal, recursos materiales y financieros para llevar a cabo las acciones delimitadas en el plan.

Cada uno de estos apartados sugeridos y los que decida agregar la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente formarán parte del plan que requiere la ciudad en la materia. El tiempo estimado de elaboración y publicación de dicho instrumento deberá de ser el suficiente para obtener un documento integral validado por especialistas en el municipio ya que será una política que deberá de ser adoptada en cada administración.

### **Establecer un programa de educación ambiental para fauna**

El municipio a través de su Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente realiza rescates de fauna (solicitados por la ciudadanía) de especies que se logran introducir a las casas habitación o a espacios públicos concurridos de manera rutinaria. Si bien las personas conocen parte de la fauna local por llevar toda su vida ahí, también es un hecho que existen especies que por su apariencia puede resultar incómodas o generar pánico entre la población y provocar encuentros desafortunados donde se ponga en riesgo tanto la especie de fauna como la población.

Hacer entender y comprender a la ciudadanía de la importancia que guarda el territorio para las especies y de la importancia en la conservación de las especies que ahí se encuentran es una labor educativa que tienen forjarse con los años para que todas las generaciones sepan cómo actuar ante un avistamiento, a quien llamar y que acciones provisionales se pueden tener para no comprometer la vida de la fauna local.

La mancha urbana tiene el privilegio de contar con una reserva territorial donde se albergan reptiles grandes como cocodrilos y una montaña lo suficientemente conservada como para tener la presencia de felinos grandes en algunos de los desarrollos habitacionales ubicados al sur del municipio, los cuales requieren de una constante labor de difusión y comunicación para saber comportarse ante la fauna por parte de la ciudadanía que permita evitar encuentros con accidentes.

Si bien el PMDU establece una ciudad más compacta como política, lo echo es que al tener mayor cantidad de población al interior de la ciudad la cantidad de avistamientos puede aumentar y un programa claro, continuo y efectivo de educación ambiental para fauna puede ayudar a ambas partes. De manera general se enuncian a continuación algunos de los puntos sobre los que tendrá que construirse el Programa de Educación Ambiental para Fauna:

- A. Inventario local en áreas verdes, camellones y espacios donde se pueda albergar la fauna al menos para los grupos de aves, reptiles y mamíferos.
- B. Diseño del trabajo social con el cual se recabará datos sobre las especies vistas por la población.
- C. Diseño de encuestas para obtener la percepción de la población sobre diferentes grupos de fauna.
- D. Diagnóstico de cómo la población está informada para actuar ante la presencia de fauna y el conocimiento para llamar a las autoridades.
- E. Cuantificación de personal, recursos materiales y financieros que requiere el programa de educación para su implementación.
- F. Diseño de indicadores que permitan medir el cumplimiento y eficiencia del programa a través de los años.

Los anteriores apartados podrán formar parte del programa sin que sean limitativos, el municipio a través de su personal interno o la contratación de técnicos podrá afinar y detallar aún más las actividades por realizar para que el documento sea útil para todos.

### **Fortalecer la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente**

Los compromisos adquiridos en los diferentes programas y planes en materia ambiental requieren de un seguimiento puntual y a largo plazo que permitan dar certeza a que se están realizando los esfuerzos necesarios que lleven la ciudad a buscar la sostenibilidad en un largo plazo.

Un ejemplo de lo anterior es el reciente programa municipal de acción contra el cambio climático publicado por el municipio donde se establecen las líneas de acción y objetivos para poder combatir desde su contexto este problema global y los mecanismos de adaptación que tendrá que implementar la ciudad para mitigar impactos y adaptarse.

Las acciones de este programa se subdividen en múltiples tareas donde se requiere tres elementos principales para su ejecución: personal dedicado al cien por ciento en ellas, presupuesto planificado para abordar el reto y el apoyo político en todo momento para integración social de las medidas.

Lo anterior por poner solo un ejemplo, ahora bien, falta el programa de gestión de residuos, el programa de gestión de agua y otros más que no solo requieren ser elaborados si no tener un equipo permanente para seguimiento de este, que en caso de no contar con el personal adecuado y los recursos necesarios dejarían de arrojar los frutos necesarios para el municipio y para la ciudad.

La Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente cuenta con una estructura que le ha permitido funcionar y adaptarse de la mejor manera a todos los retos que viven día a día, pero será necesario replantear desde todos los programas que se tienen y los que falta por hacer la estructura que realmente se necesita para poder darle seguimiento a todos los objetivos que se establecen y acumulan en los diversos programas, planes y proyectos ambientales.

Afortunadamente el municipio cuenta con la presencia de la Universidad de Guadalajara en el territorio con parte de las carreras universitarias que podrían proveer de los técnicos para conformar equipos que den seguimiento a programas y la relativa cercanía con la ciudad de Guadalajara sumada a una ciudad con espacios para albergar profesionistas permitirán integrar los especialistas que no se encontrarán de manera local.

El PMDU establece varios programas por actualizar y realizar entre los que destaca el ordenamiento ecológico del territorio que requerirían sin duda el fortalecimiento de la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente.

#### **7.4.2. Estrategias de minimización**

##### **Monitorear constantemente los límites marcados en el PMDU y PPDU**

Ya sea a través de la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente o de la Dirección de Inspección y Vigilancia será necesario llevar acciones de monitoreo de los límites marcadas en el PMDU y los planes parciales para poder aterrizar la política urbana buscada.

Para lo anterior se sugiere que el municipio realice una valoración de los recursos humanos y materiales con los que actualmente cuenta para determinar si es posible cubrir todo el territorio urbano y sobre todo los detalles técnicos que se tienen que observar en campo que emanan de los lineamientos de las políticas urbanas.

Esta medida de mitigación será calculada en materia de personal y recursos de acuerdo con los ejercicios internos que determinen las necesidades para mejorar el monitoreo de los límites en el PMDU y PPDU.

#### **Elaborar un plan de monitoreo de fauna local**

La presente evaluación ambiental ha permitido evidenciar desde otro ángulo técnico la presencia de fauna en la ciudad, dando validez y mayor importancia a las acciones que se hacen por parte de la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente.

Si bien se han mantenido acciones de rescate y reubicación de fauna es importante aumentar el conocimiento de la fauna local para poder seguir contribuyendo a la generación de información que permita afinar acciones y estrategias de conservación donde esté involucrada la ciudadanía.

Elaborar un plan de monitoreo de fauna local permitirá programar, estandarizar y utilizar la información que ya se obtiene por la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente y la información en específico que será levantada por el grupo de especialistas que coloquen a la ciudad en la vanguardia del cuidado de la fauna local, además que permitirá ir sensibilizando a la ciudadanía de todas las especies que conviven con ellos.

Los modelos de distribución potencial que se elaboraron para el presente reporte toman la totalidad de registros por grupo, sin embargo, con una base de datos más elaborada y alimentada todos los años por diferentes estudios permitirá generar más y mejores modelos de distribución potencial que a la postre permitan actualizar y rediseñar políticas al interior del municipio.

### **7.4.3. Estrategias de restauración**

#### **Implementar el Plan de Gestión de Áreas Verdes Urbanas por promoventes y autoridades**

Una vez establecido el Plan de Gestión de Áreas Verdes Urbanas por el municipio como instrumento rector para continuar con el proceso de arborización será indispensable que la implementación sea de forma apegada al documento para obtener los resultados buscados. Para poder lograr este objetivo se tendrán que generar los mecanismos necesarios al interior del municipio para que previo a la realización de proyectos se obtenga la información a detalle de las arborizaciones que se van a llevar a cabo y que en las campañas de arborización que lleve a cabo el municipio sean con los lineamientos del plan y se involucre a la población.

Con el fortalecimiento sugerido de las áreas de medio ambiente del municipio será posible contar con el personal técnico que pueda supervisar y monitorear la selección de arbolado, el establecimiento y sus cuidados los primeros meses o años, que es la etapa más difícil para su sobrevivencia.

### **7.4.4. Estrategias de compensación**

#### **Elaborar un tabulador de compensaciones ambientales para proyectos nuevos**

Es importante que el municipio integre tabuladores o pagos de derechos relacionados a los servicios ambientales donde se llevarán a cabo los proyectos para poder generar el financiamiento para la

supervisión de estos. Si bien la presente medida de mitigación no busca impulsar impuestos en materia ambiental, si busca generar a través de la valoración de servicios ambientales donde se encontrará cada proyecto y de sus medidas de mitigación en el proyecto para aumentar las medidas de mitigación o compensaciones para solventar los impactos de este a través del mecanismo que defina el municipio.

Elaborar este tabulador o esquema de trabajo para los proyectos no es un trabajo fácil y será necesario la coordinación estricta con colegios de arquitectos, especialistas, universidades y promoventes como se podrán lograr consensos que permiten establecer reglas claras para que los promoventes puedan previamente al desarrollo de un plan de negocios contemplar los costos de la implementación de medidas de mitigación de acuerdo al grado de conservación o servicios ambientales que provee el terreno donde se llevará a cabo.

Se han desarrollado algunos ejercicios en la zona metropolitana de Guadalajara sobre el cobro o la solicitud de medidas o condicionantes adicionales a las que establecen los proyectos que han generado revuelo y novedad entre los promoventes que requieren ser afinados, razón por la cual es fundamental que el tabulador o mecanismos a desarrollar por parte del municipio cuente con la participación, aprobación y seguimiento de los actores que desarrollan al interior del municipio para que más que una imposición sea un mecanismo de trabajo en conjunto y que cuente con elementos de cálculo muy bien definidos.

### **Decretar los cauces y áreas verdes de la ciudad como áreas protegidas a nivel municipal**

Poco a poco el tema medio ambiental es más entendido y valorado por la sociedad, sin embargo, la historia ha evidenciado que los decretos de superficies de protección ambiental han permitido generar una mayor apropiación por parte de gobierno y sociedad a lo largo del tiempo y han servido como elemento de comunicación efectiva hacia todos.

El municipio conserva elementos de fauna local dentro de la ciudad que en otras partes del estado sería prácticamente imposibles de encontrar, también conserva cauce o ríos que atraviesan la zona urbana que conservan elementos de vegetación natural importante y superficies de áreas verdes que por su estado de conservación sirven como refugio para muchas especies. Si bien han sido espacios que a lo largo del tiempo se han conservado y mantenido con muy poca alteración, el generar un decreto para su conservación es asegurar como municipio que existe el reconocimiento oficial y el respaldo técnico para su preservación a través de los años independientemente de los cambios de administraciones.

Los decretos hacen entre muchas otras cosas, que se establezca un plan de manejo donde se plasman claramente las acciones que se pueden realizar en el espacio, además formula las políticas de conservación que con el tiempo van permeando con la población que adopta estos espacios.

Del mismo modo los decretos abren la posibilidad a participar en fondos para la conservación que puede permitir inversiones para la conservación, investigación y divulgación sobre estos espacios. Estas acciones pueden ser relativamente sencillas si partimos del hecho que son terrenos que se consideran federales al ser límites de cuerpos de agua o que forman parte de la infraestructura que tienen el municipio por lo que suelen representar muy poca resistencia al momento de sus decretos.

## **7.5. Calidad paisajística**

En la sección 5.5 se describieron los siguientes impactos ambientales potenciales con la implementación del PMDU sobre este componente:

1. Modificación de los elementos visuales del paisaje
2. Alteración sobre la lógica territorial y la funcionalidad social y económica
3. Modificación de la funcionalidad geosistémica
4. Modificación del patrimonio histórico y cultural
5. Alteración de los elementos que comprenden el patrimonio natural

En esta sección se describen las estrategias de prevención, minimización, restauración y compensación para mitigar dichos impactos ambientales.

Con respecto a este componente, en el PMDU se plantean los siguientes elementos: Programa Municipal de Reforestación y un Manual técnico del Reglamento de Configuración Urbana e Imagen Visual. Las líneas de acción planteadas son: promover la conservación de zonas arrecifales y el buen manejo de refugios pesqueros en coordinación con el sector turístico y pesquero; detener y revertir el proceso de artificialización de cauces y costas y aprovechar al máximo su potencial como corredores biológicos naturales; implementar acciones de conservación de playas e instalación de infraestructura de protección; establecer una red de áreas verdes en la zona urbana y periurbana; implementar acciones de conservación y manejo de humedales; establecer zona de amortiguamiento y corredores verdes como estrategia en áreas de crecimiento; realizar diagnósticos integrales por sector y zonas homogéneas para definir criterios de diseño urbano, paisaje, rehabilitación, mejoramiento y renovación de mobiliario urbano abierto y recreativo; considerar el valor patrimonial de los paisajes y de los elementos naturales en todas las intervenciones que se efectúen en el territorio; evitar la inserción de nuevas construcciones en sectores patrimoniales, urbanos o rurales que los afecte negativamente y promover que sean coherentes con el entorno natural, la cultura y forma de vida de la comunidad; campaña de limpieza de playas, ríos, arroyos, cauces y lagunas, incluyendo organizaciones de la sociedad civil y dependencia de los tres niveles de gobierno para coadyuvar a sanear los cuerpos de agua y playas del municipio; mantenimiento y aprovechamiento de las zonas federales generadas por las diversas riveras del municipio, desarrollando campañas de forestación en áreas públicas para mejorar la imagen urbana, disminución de la temperatura, captación de dióxido de carbono y contribuir a los mantos freáticos.

### **7.5.1. Estrategias de prevención**

#### **Promover la ubicación de proyectos con consideración del paisaje**

Preferentemente, la localización de los proyectos debe ubicarse fuera del campo visual de un recurso paisajístico. El municipio tiene como propuesta en el PMDU considerar el valor patrimonial de los paisajes y de los elementos naturales para todas las intervenciones que se hagan en el territorio, de manera que no se afecte el patrimonio histórico y natural.

Para esto se deberá realizar un estudio del paisaje para cada nuevo proyecto, en especial si se planea posicionar el proyecto dentro de las áreas delimitadas como alta y muy alta fragilidad visual.

Los estudios deberán contener:

- Un diagnóstico del estado actual del paisaje donde se presenten los principales componentes, valores paisajísticos, visibilidad y fragilidad del paisaje
- Las características más importantes del proyecto respecto al lugar donde se pretende ubicar
- El impacto previsto del proyecto sobre los elementos que configuran el paisaje
- La justificación de cómo se incluyeron en el proyecto los objetivos de calidad paisajística
- Las medidas de mitigación, prevención, reducción y compensación a adoptar para efectuar la integración paisajística del proyecto

Es importante que el municipio integre una guía específica para la valoración del paisaje que pueda ser entregada a los promoventes al momento de solicitar el uso de suelo o cualquier licencia para que se integre dentro de las evaluaciones de impacto ambiental, este procedimiento pudiera formar parte de las manifestaciones de impacto o ser un trámite por separado, todo dependerá de la estructura interna que contemple el municipio para ello.

#### **Elaborar lineamientos de diseño de imagen urbana en zonas de alta fragilidad visual**

En caso de no poder reubicar un proyecto fuera del campo visual de un recurso paisajístico con alta o muy alta fragilidad visual, los elementos del proyecto deberán de diseñarse de tal manera en la que se eliminen o reduzcan los impactos en la zona donde la actuación se encuentre. Por ejemplo:

- Diseño de los elementos del proyecto: Extensión, altura, volumen, distancias entre elementos, colores, texturas.
- Diseño del asentamiento y entorno del proyecto: Diseño de la topografía y plantaciones en el entorno del proyecto para lograr su integración en el paisaje.

Para integrar estas condiciones a la imagen urbana será necesario un análisis del entorno y la modelación o proyección digital de como el proyecto pudiera impactar lo menor posible al entorno, del mismo modo el proyecto podrá utilizar parte del sugerido plan de manejo de arbolado urbano para seleccionar especies que por sus características puedan ayudar a difuminar la construcción.

#### **Promover la continuación del diseño urbano característico de la región**

Para esta medida se debe de tomar en cuenta la arquitectura o el diseño particular de los nuevos asentamientos, de manera que el diseño sea atractivo y vaya de acuerdo con el paisaje natural o característico de la región. En el PMDU se tiene contemplada esta medida al querer realizar diagnósticos integrales por sector y zonas homogéneas, para delimitar los criterios de diseño urbano y paisaje. Asimismo, el municipio pretende elaborar y hacer cumplir un Reglamento de configuración Urbana e Imagen Visual para proteger los recursos patrimoniales y urbano-arquitectónicos.

En la medida que el municipio decida actualizar o configurar su reglamento de imagen urbana e imagen visual será importante tomar en cuenta los polígonos determinados por la presente evaluación para generar condiciones o especificaciones en materia de paisaje.

#### **Implementar normas de integración paisajística**

Con esta medida se pretende el establecimiento de normas de integración paisajística y guías para los estudios de paisaje que fomenten la adecuada ordenación del territorio, tomando en consideración la fragilidad visual y el tipo de actuación a implementarse.

El municipio podrá generar la normatividad, reglamentación o legislación en materia de sus competencias para que la evaluación del paisaje sea un requisito para llevar a cabo los proyectos, independientemente de si la autorización de los proyectos está dada por la SEMARNAT en materia de impacto ambiental.

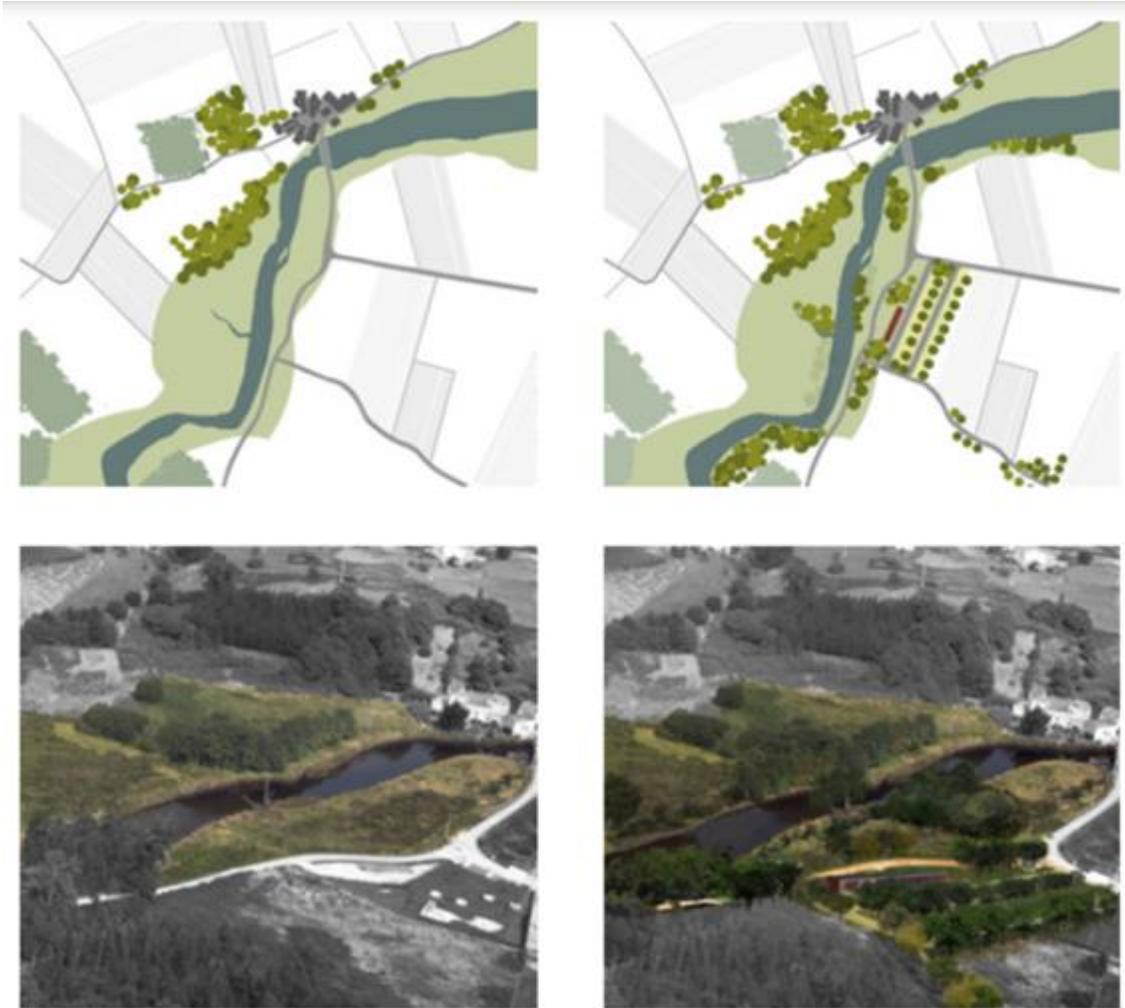
### **7.5.2. Estrategias de minimización**

#### **Integrar elementos naturales del paisaje en proyectos**

Las siguientes medidas de reducción son algunas ideas de estrategias de integración paisajística universalmente aceptadas. Sin embargo, estas medidas se deben de valorar y llevar a cabo por un experto en los nuevos proyectos de construcción, pues su implementación varía de acuerdo con el tipo de actuación y lugar de integración de cada proyecto.

#### **Implementar medidas de naturalización**

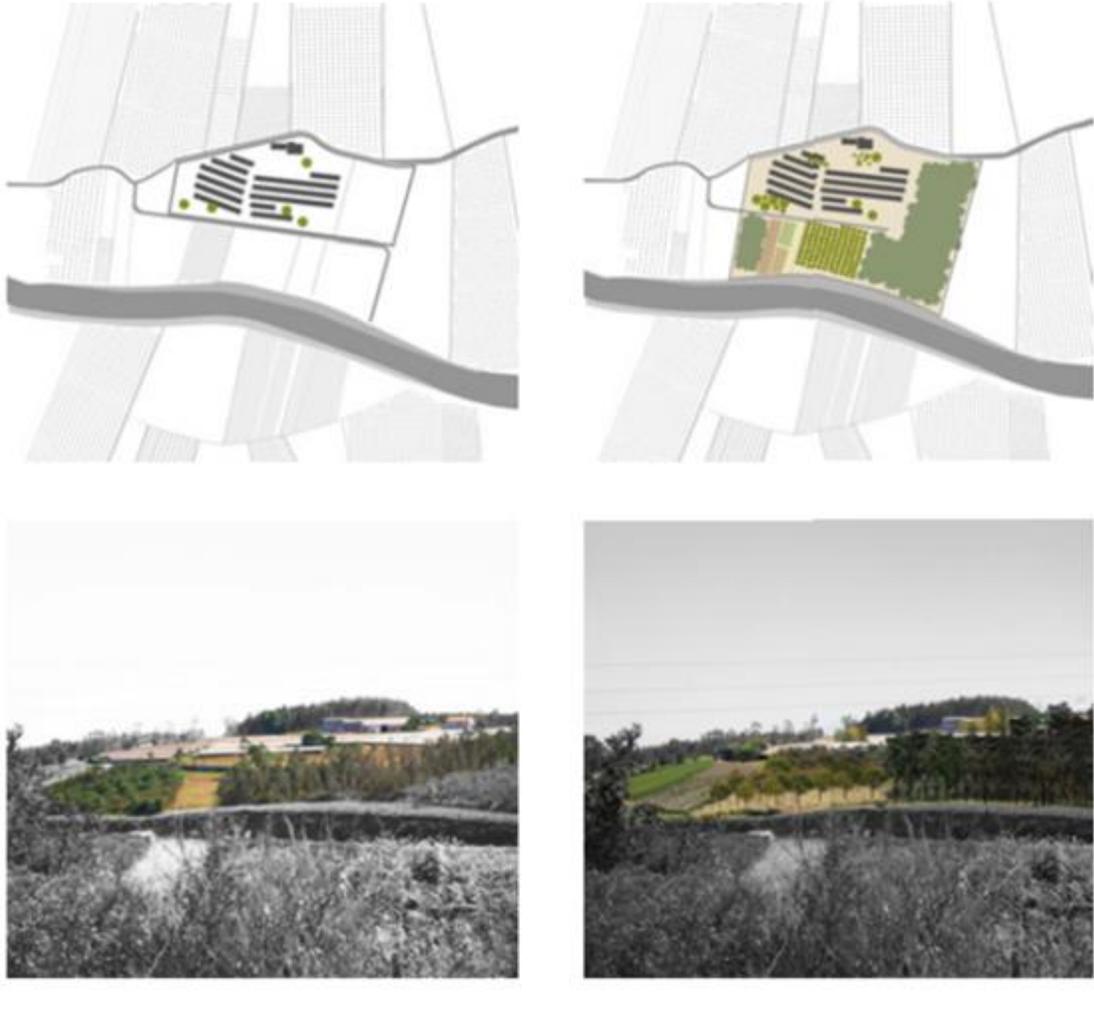
Busca la potenciación de los elementos naturales predominantes y/o de los patrones existentes, los elementos naturales más representativos del paisaje se incluyen en la actuación. Esta medida no busca ocultar el proyecto, sino potenciar el rasgo natural del paisaje sobre la actuación.



**Figura 89. Ejemplo de naturalización en Galicia, España (Borobio et al., 2012).**

### **Implementar medidas de ocultación**

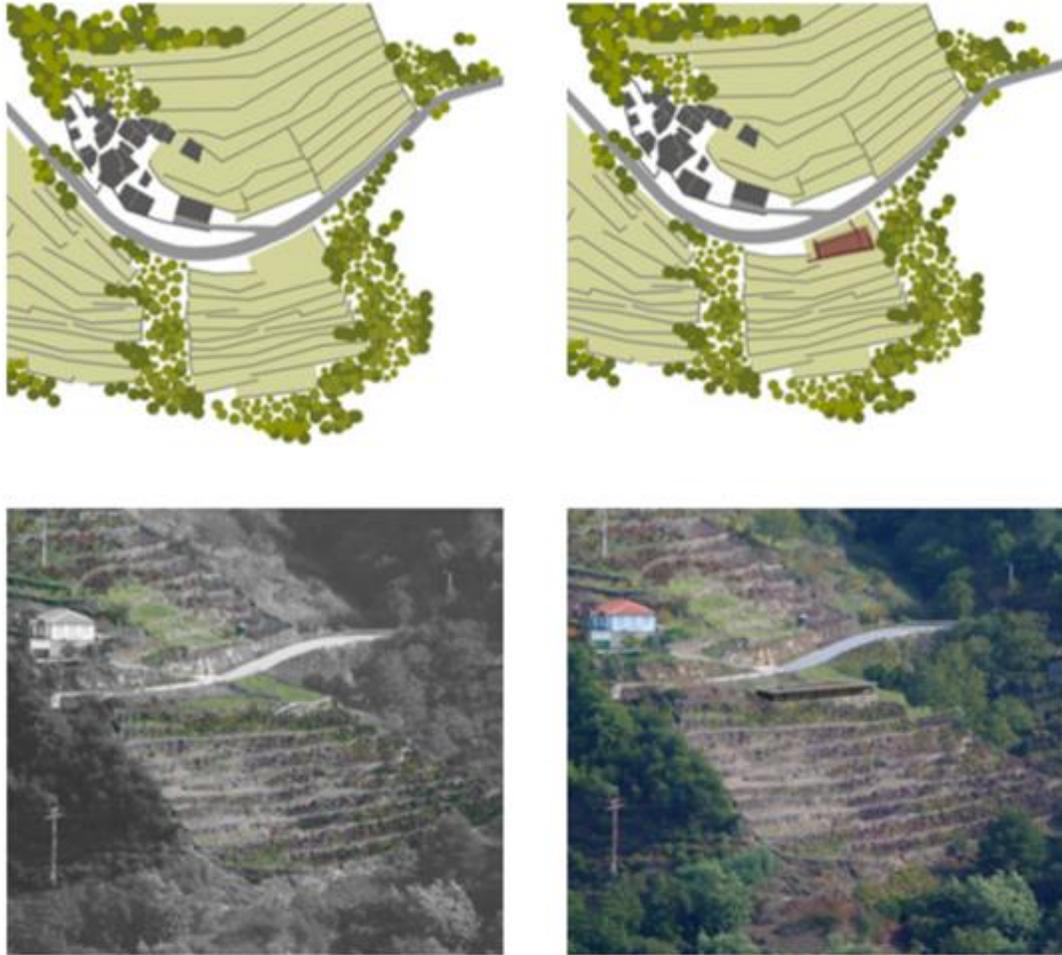
Consiste en cubrir la visión de la actuación desde los principales puntos de observación. En numerosas ocasiones esta estrategia se utiliza de manera parcial alterando (dificultando o modificando) la escala o la percepción de la intervención. Se desarrolla generalmente por medio del empleo de pantallas vegetales que en ocasiones se combinan con la modificación del relieve natural del terreno. En proyectos de gran escala se puede conseguir un mejor resultado si este apantallamiento se produce no sólo en las proximidades de la actuación sino también desde los puntos de observación más representativos.



**Figura 90. Ejemplo de ocultación en Galicia, España (Borobio et al., 2012).**

### **Implementar medidas de fusión**

Consiste en disolver la imagen de la actuación al unirla con la visión del paisaje en el que se integra. Intenta incorporar los mismos rasgos representativos del paisaje. En la Figura 91 se muestra un ejemplo de esta técnica al incorporar una infraestructura con el mismo patrón geométrico de las laderas.



**Figura 91. Ejemplo de fusión en Galicia, España (Borobio et al., 2012).**

### **Implementar medidas de mimetización**

Integración del elemento de manera en que se imiten total o parcialmente los elementos más representativos del paisaje. Se deben de tomar en cuenta los volúmenes, las masas, las texturas, los materiales y colores de la arquitectura en el entorno.

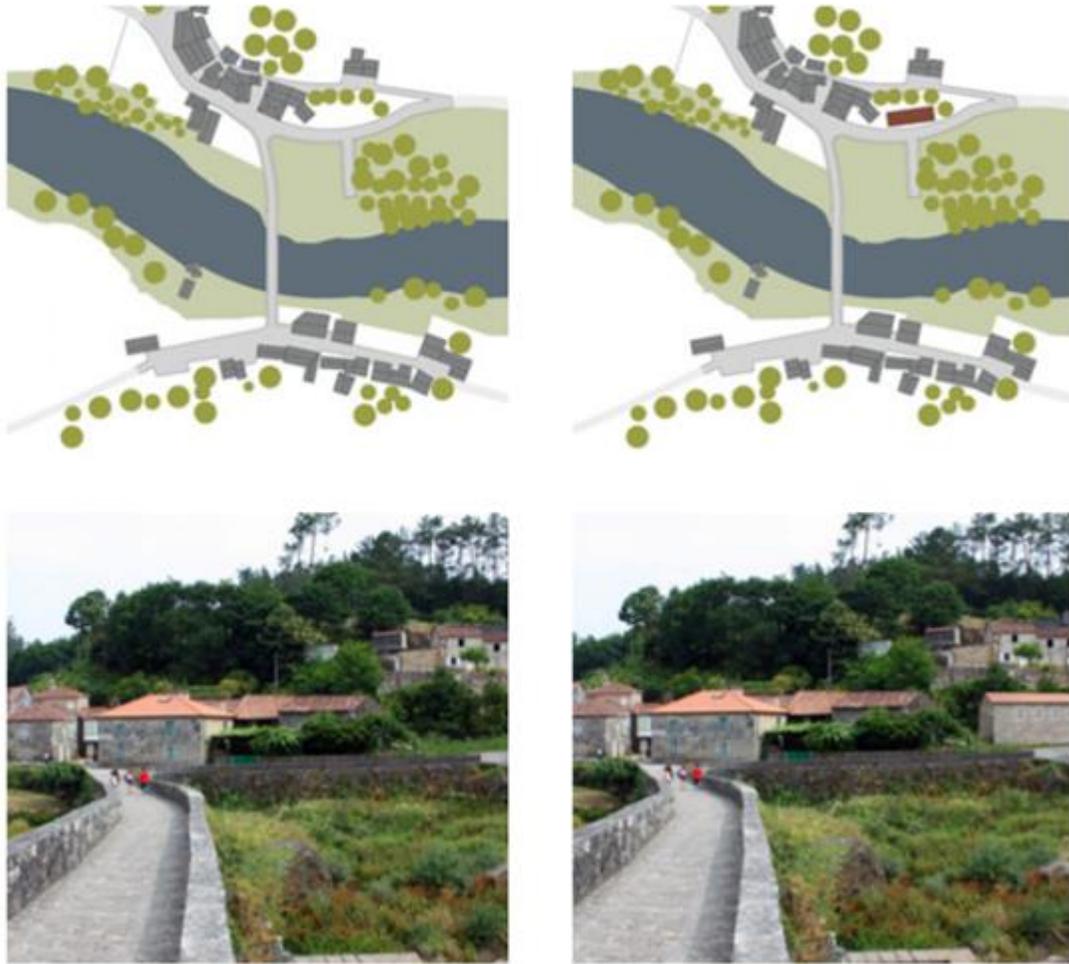


Figura 92. Ejemplo de mimetización en Galicia, España (Borobio et al., 2012).

### 7.5.3. Estrategias de restauración

#### Regenerar zonas existentes degradadas

El PMDU tiene como prioridad rehabilitar el centro histórico a partir de una intervención y mejora de las áreas como los espacios públicos. Sin embargo, también es importante trabajar para la recuperación del suelo, de la vegetación natural y de la fauna, como puede ser el caso de las playas y costas, llevando a cabo planes para la restauración de arrecifes naturales y la implementación de arrecifes artificiales.

Con esta medida también se pretende recuperar los bosques degradados por la tala excesiva y los incendios en Puerto Vallarta al aplicar técnicas de reforestación.

- Técnicas para la reforestación del paisaje forestal:
  - a) Bosques plantados y arboledas: Introducción de especies nativas en tierras previamente forestadas

b) Regeneración natural: En caso de que el uso de suelo sea agrícola, pero se encuentre degradado y ya no pueda cumplir su función pasada, se efectúan plantaciones de especies nativas forestales.

c) Silvicultura: En caso de que el terreno tenga bosques degradados se empleará esta técnica para mejorar las zonas arboladas existentes a través de la reposición de ejemplares (Lapstun, 2015)

- Técnicas para la reforestación del paisaje agrícola:

a) Agrosilvicultura: Establecimiento o gestión de árboles en terrenos agrícolas activos por medio de la plantación o regeneración natural, con la finalidad de mejorar la producción de cultivos, acrecentar la fertilidad de los suelos y mejorar la retención de agua, etc. (Lapstun, 2015)

### **Abrir nuevas vistas hacia los recursos escénicos de la zona**

Los estudios de paisaje involucrados en los planes territoriales urbanísticos deberán de implementar puntos de observación como miradores y observatorios, en actividades paisajísticas-recreativas que ayuden a valorar los recursos paisajísticos, faciliten la admiración del entorno territorial y de las vistas más singulares de cada zona.

### **Retirar artefactos que degradan el paisaje**

Esta medida pretende eliminar aquellos objetos que degradan el paisaje y bloquean las vistas de mayor valor.

### **Acondicionar miradores o recorridos escénicos u otros de naturaleza similar**

Los miradores están entre los espacios públicos y recreativos más representativos del municipio, es por eso por lo que se propone contar con un adecuado acondicionamiento de estos lugares, pues son importantes para el turismo y la satisfacción de las necesidades recreativas de los habitantes.

## **7.5.4. Estrategias de compensación**

### **Penalizar proyectos que interrumpen la calidad visual del paisaje**

Es indispensable que los proyectos que se deseen implementar en zonas de alta o muy alta fragilidad visual contengan junto con la evaluación de impacto ambiental una evaluación de integración paisajística, para así corroborar que la implementación del proyecto no dañe la visión natural del paisaje. De lo contrario, y en caso de perturbar un área de importancia paisajística, ya sea natural o histórica cultural, se impondrá una penalización al proyecto.

### **Utilizar recursos para mejorar la calidad visual del paisaje en zonas aledañas o en áreas de la ciudad donde la calidad paisajística sea menor**

El municipio contempla la rehabilitación, el mejoramiento y la renovación del mobiliario urbano. Los espacios verdes urbanos deben de acondicionarse de manera que sean áreas que integren elementos de

flora del sitio que permita no solo integrar el paisaje local si no aumentar los servicios ambientales por esas especies.

### **Mejorar accesos y accesibilidad a playas**

Una de las políticas sociales más importantes que se han impulsado en los últimos años, es el acceso de la población a las playas, independientemente de la infraestructura construida alrededor de las playas el municipio a través de sus instrumentos de planeación urbana y los programas o proyectos como el plan de manejo de arbolado podrán incentivar para que los corredores urbanos cuenten con elementos naturales y paisajísticos de la región, además de la infraestructura necesaria para la accesibilidad universal.

Será un reto para el municipio sin lugar a duda integrar la infraestructura necesaria para la accesibilidad a las playas, cuidando la estética y los servicios ambientales de la vegetación, sin embargo, no es imposible. La infraestructura de accesibilidad de playas muchas veces suele ser infraestructura oculta o muy bien mimetizada con elementos naturales, por lo que con la calidad de arquitectos y técnicos que se emplean en la zona será posible.

### **Promover los lineamientos para uso de playa por parte de hoteles, distanciamiento e infraestructura móvil que se integre al paisaje.**

El municipio ha realizado junto con hoteles esfuerzos importantes para acceder a las certificaciones de playas limpias que ofrecen diferentes instancias internacionales que le han permitido darles tranquilidad a los visitantes en sus estancias. Sin embargo, aún se puede mejorar la experiencia por parte de los visitantes en las playas con elementos naturales y con un cuidado de paisaje bien pensado.

La mayoría de los hoteles suelen tener concesiones federales de las playas para esparcimiento en donde se les permite colocar mobiliario móvil y especies de vegetación para mejorar la vista, en este sentido será importante que el plan de manejo de arbolado que tenga el municipio integre las especies que pueden ser utilizadas y que forman parte del ecosistema local.

Es importante que los hoteles respeten los espacios públicos de las playas al no poner infraestructura que sobrepase los límites de su territorio. Asimismo, el municipio debe de promover el conocimiento general en la población sobre el uso libre de los espacios públicos de la playa, pues es un bien común y nacional.

## **7.6. Clima local**

En la sección 5.6 se describió el siguiente impacto ambiental potencial con la implementación del PMDU sobre este componente:

1. Incremento del efecto de isla de calor

En esta sección se describen las estrategias de prevención, minimización, restauración y compensación para mitigar dicho impacto ambiental.

### **7.6.1. Estrategias de prevención**

#### **Evitar el cambio de uso de suelo en sitios con vegetación forestal**

Los sitios con vegetación forestal contribuyen en gran medida al servicio ecosistémico de regulación del clima local, ya que reducen la temperatura por medio de la sombra y la evapotranspiración (ver sección 4.6.1). Como estrategia de prevención, se recomienda evitar el cambio de uso de suelo en estos sitios a fin de que continúen proveyendo dicho servicio.

#### **Maximizar la superficie con vegetación en las zonas urbanizables**

Relacionado con lo anterior, se recomienda maximizar la superficie permeable y/o con vegetación en las zonas urbanizables delimitadas en el PMDU. Para ello se deberá maximizar el número y superficie de reservas urbanas y áreas verdes. Se recomienda que éstas se sitúen en lugares estratégicos desde el punto de vista ecológico y climático, con base en los resultados presentados en la sección 5.6.1. Para su establecimiento deberá considerarse el uso de vegetación nativa con el fin de contribuir al componente de biodiversidad.

### **7.6.2. Estrategias de minimización**

#### **Promover la implementación de techos verdes en industrias, establecimientos de comercios y servicios, y desarrollos habitacionales**

Como estrategia de minimización, se recomienda promover la implementación de techos verdes en industrias, establecimientos de comercios y servicios, y desarrollos habitacionales. Estas intervenciones ayudan a regular la temperatura mediante el reemplazo de superficies que almacenan e irradian calor por superficies vegetadas. Consisten en un sistema de impermeabilizado y repelente de raíces de alta calidad, un sistema de drenaje, un medio de filtrado, un medio ligero para el crecimiento de vegetación, y plantas (ver Figura 93).

Para su promoción se recomienda integrar requerimientos relativos a su instalación en instrumentos regulatorios como autorizaciones o licencias de construcción, así como implementar estímulos fiscales para su instalación. Para su implementación deberá considerarse el uso de vegetación nativa con el fin de contribuir al componente de biodiversidad.



**Figura 93. Techos verdes. Fuente: JSCWSC, 2009.**

### **Promover el uso de ventilación natural o pasiva en el diseño arquitectónico de nuevas edificaciones**

Como estrategia de minimización adicional, se recomienda promover el uso de ventilación natural o pasiva en el diseño arquitectónico de nuevas edificaciones. La ventilación natural o pasiva (también conocida como ventilación cruzada) se logra cuando las aberturas en una determinada edificación se disponen en paredes opuestas o adyacentes, permitiendo la entrada y salida de aire (Pereira, 2019). Esto ocasiona que existan cambios constantes de aire dentro del edificio, renovándolo y reduciendo considerablemente la temperatura interna (Pereira, 2019). Este tipo de ventilación ayuda a mejorar el confort térmico y a disminuir el consumo de energía eléctrica para la operación de equipos de aire acondicionado (Pereira, 2019). Para su promoción se recomienda integrar requerimientos relativos a su implementación en instrumentos regulatorios como autorizaciones o licencias de construcción.

### **7.6.3. Estrategias de restauración**

#### **Aumentar la superficie con vegetación en las zonas urbanizadas**

Como estrategia de restauración, se recomienda aumentar la superficie con vegetación urbana en las zonas urbanizadas. Esta estrategia se encuentra relacionada con la estrategia de prevención “Maximizar la superficie con vegetación en las zonas urbanizables”. Ambas estrategias buscan incrementar la superficie con vegetación en el territorio municipal. Sin embargo, esta estrategia difiere en que busca revertir algunos de los impactos ocasionados por los procesos de urbanización sobre la cobertura vegetal con que se contaba previo a la urbanización del municipio.

Para su implementación deberán priorizarse los sitios a intervenir con base en el beneficio potencial esperado. Asimismo, deberá considerarse el uso de vegetación nativa con el fin de contribuir al componente de biodiversidad. De manera inicial, se recomienda la intervención de espacios gestionados por la administración pública como parques, jardines, plazas, márgenes de cauces, banquetas y vialidades.

#### **7.6.4. Estrategias de compensación**

##### **Incentivar el uso de energía solar para la operación de equipos de aire acondicionado**

Con el incremento de la temperatura en el municipio previsto por los efectos del cambio climático (ver sección 4.6.3) y el efecto de isla de calor, resultará cada vez más necesaria la operación de equipos de aire acondicionado para mantener el confort térmico tanto en industrias y establecimientos de comercios y servicios, como en viviendas. Como estrategia de compensación y para reducir la contribución al cambio climático por emisiones de gases de efecto invernadero relacionada a la operación de dichos equipos, se recomienda incentivar el uso de energía solar. Para su incentivo se recomienda implementar estímulos fiscales para la compra e instalación de equipos de generación de energía solar en industrias, establecimientos de comercios y servicios, y viviendas.

## 7.7. Esguerrimiento pluviol

De acuerdo con Brown y Clarke (2007), hoy en día se reconoce que los retos de proveer protección contra inundaciones y de reducir la vulnerabilidad de la salud de los cauces no puede resolverse únicamente mediante los enfoques tradicionales de gestión de agua pluviol. Durante las últimas tres décadas han surgido enfoques alternativos para la gestión del ciclo urbano del agua que buscan abordar las problemáticas de consumo de agua, reciclaje de agua y la protección ambiental. Colectivamente estos enfoques han recibido varios términos como ‘desarrollo urbano sensible al agua’ en Australia, ‘desarrollo de bajo impacto’ en los Estados Unidos y Nueva Zelandia, y ‘sistemas de drenaje urbano sustentable’ en el Reino Unido y otros países europeos (Burns et al., 2012).

El desarrollo urbano sensible al agua es un enfoque alternativo para la gestión del agua pluviol que tiene el objetivo de imitar el ciclo natural del agua por medio de la retención, infiltración y evapotranspiración de agua pluviol en el medio urbano (Backhaus y Fryd, 2012). Este tipo de desarrollo puede proveer los siguientes beneficios (JSCWSC, 2009):

- Reducción de flujos de agua pluviol por medio de un incremento de la infiltración y retención de agua pluviol.
- Mejoramiento de la calidad del agua al reducir la cantidad de contaminantes en el agua pluviol que esgurre en el territorio.
- Incremento en la disponibilidad de agua a través de la captación de agua pluviol y de su almacenamiento en acuíferos.
- Mejoramiento de la amenidad urbana por medio de beneficios en el paisaje.

A través del diseño urbano sensible al agua, el impacto de los desarrollos existentes y nuevos sobre el ciclo del agua puede reducirse mediante la recolección, almacenamiento y limpieza del esgurrimento pluviol antes de ser liberado lentamente al medio ambiente (Surhone et al., 2009) o de ser utilizado como una fuente alternativa de agua (Fletcher et al. 2011). Este enfoque permite reducir la frecuencia de inundaciones y los riesgos asociados a la salud y seguridad humana al capturar el esgurrimento pluviol antes de que se acumule y se convierta en un problema (Roy et al., 2008). Adicionalmente, permite crear oportunidades potenciales de recreación y promueve una identidad espacial importante (Backhaus y Fryd, 2012).

En la sección 5.7 se describieron los siguientes impactos ambientales potenciales con la implementación del PMDU sobre este componente:

1. Incremento del volumen y flujo del esgurrimento pluviol
2. Incremento del riesgo y la severidad de las inundaciones pluviales

En esta sección se describen las estrategias de prevención, minimización, restauración y compensación para mitigar dichos impactos ambientales.

### **7.7.1. Estrategias de prevención**

#### **Evitar la modificación de cauces naturales y cuerpos de agua**

Como estrategia de prevención, se recomienda evitar la modificación de cauces naturales y de cuerpos de agua. Esto permitirá prevenir los impactos de incremento del volumen y flujo del escurrimiento pluvial, así como de incremento del riesgo y la severidad de las inundaciones pluviales. Para ello se deberán prohibir y sancionar las actividades de nivelación de estos elementos o de relleno con residuos (tanto sólidos urbanos como de la construcción y demolición o escombros), así como evitar las obras de rectificación y canalización de cauces naturales en el territorio municipal.

#### **Incrementar la capacidad de cauces naturales y cuerpos de agua e incrementar sus zonas de amortiguamiento**

Relacionado con la estrategia anterior, se recomienda que las capacidades de los cauces naturales y cuerpos de agua se incrementen en sitios estratégicos a fin de prevenir impactos sobre el volumen y flujo del escurrimiento pluvial causados por los procesos de urbanización. La identificación de dichos sitios deberá basarse en un análisis hidrológico a detalle para el territorio municipal en el que se consideren las aportaciones de volumen de escurrimiento pluvial de las microcuencas existentes en el territorio, así como los registros históricos de inundaciones pluviales. Una vez identificados dichos sitios estratégicos, se deberán llevar a cabo proyectos para incrementar su capacidad de retención y conducción de escurrimiento pluvial.

#### **Evitar el cambio de uso de suelo en sitios con vegetación forestal**

Los sitios con vegetación forestal contribuyen en gran medida al servicio ecosistémico de reducción del escurrimiento pluvial, ya que promueven la infiltración y la evapotranspiración de una gran proporción del agua de lluvia en comparación con superficies urbanas o impermeables (ver sección 4.7.1). Como estrategia de prevención, se recomienda evitar el cambio de uso de suelo en estos sitios a fin de que continúen proveyendo dicho servicio.

#### **Maximizar la superficie permeable y/o con vegetación en las zonas urbanizables**

Relacionado con lo anterior, se recomienda maximizar la superficie permeable y/o con vegetación en las zonas urbanizables delimitadas en el PMDU. Para ello se deberá maximizar el número y superficie de reservas urbanas y áreas verdes. Se recomienda que éstas se sitúen en lugares estratégicos desde el punto de vista ecológico e hidrológico, con base en los resultados presentados en la sección 5.7.1. Para su establecimiento deberá considerarse el uso de vegetación nativa con el fin de contribuir al componente de biodiversidad.

### **7.7.2. Estrategias de minimización**

#### **Implementar acequias de bio-retención en áreas contiguas a vialidades**

Como estrategia de minimización, se recomienda la implementación de acequias de bio-retención en áreas contiguas a vialidades existentes y futuras. Las acequias de bio-retención son obras civiles con

elementos de vegetación que pueden ser implementadas en los camellones de avenidas o en las laterales de calles (ver Figura 94). Estas obras reducen la velocidad y flujo del escurrimiento pluvial y provén un tratamiento biológico del mismo para remover contaminantes. El agua pluvial se filtra en dichos espacios y se recolecta en tuberías perforadas conectadas a la red de alcantarillado para después ser conducidas a cauces o cuerpos de agua receptores. Dependiendo de las condiciones hidrológicas del suelo, el agua pluvial también puede ser infiltrada al subsuelo para reducir los volúmenes de escurrimiento pluvial.

Para su implementación deberán identificarse las vialidades existentes donde es viable la implementación de este tipo de intervenciones en relación con el espacio requerido. En cuanto a las vialidades futuras, se recomienda que en su diseño se integren estas intervenciones a fin de minimizar los impactos de estas y de desarrollos circundantes sobre el escurrimiento pluvial. Para su implementación deberá considerarse el uso de vegetación nativa con el fin de contribuir al componente de biodiversidad.



**Figura 94. Acequias de bio-retención. Fuente: Melbourne Water (2005).**

#### **Implementar zanjas de absorción en áreas contiguas a vialidades**

Como estrategia de minimización, se recomienda la implementación de zanjas de absorción en áreas contiguas a vialidades existentes y futuras. Las zanjas de absorción son espacios someros diseñados para retener un volumen específico de escurrimiento pluvial y permitir que se infiltre al subsuelo circundante (ver Figura 95). Estas intervenciones dependen en gran medida de las características particulares del suelo en las que se instalen y son más adecuadas para suelos arenosos donde la profundidad del nivel freático es alta. Los suelos altamente permeables permiten que el agua pluvial se infiltre a una tasa adecuada. Sin embargo, también es posible implementar estas intervenciones en suelos con menor permeabilidad, requiriendo en este caso de una mayor superficie y capacidad de almacenamiento de la zanja. Es importante considerar que, con el fin de preservar la calidad del agua subterránea y evitar reducir la porosidad del suelo, debe existir un pretratamiento del escurrimiento pluvial. Para lograr este objetivo, estas intervenciones pueden ser combinadas con las acequias de bio-retención descritas anteriormente o con las cuencas artificiales de sedimentación descritas más adelante.

Para su implementación deberán identificarse las vialidades existentes donde es viable la implementación de este tipo de intervenciones en relación con el espacio requerido. En cuanto a las vialidades futuras, se recomienda que en su diseño se integren estas intervenciones a fin de minimizar los impactos de estas y de desarrollos circundantes sobre el escurrimiento pluvial.



**Figura 95. Zanjas de absorción. Fuente: Melbourne Water (2005).**

### **Implementar sistemas de recarga artificial de acuíferos**

Como estrategia de minimización, se recomienda implementar sistemas de recarga artificial de acuíferos. Estos sistemas potencializan los procesos de recarga de acuíferos por medios naturales, mecánicos (bombeo) o de gravedad (ver Figura 96). El objetivo de estos sistemas es recolectar y almacenar subterráneamente el agua pluvial recolectada en la temporada de lluvia para posteriormente extraerla y utilizarla en la temporada de estiaje y reducir la demanda y dependencia en el sistema de abastecimiento de agua potable, o bien, para complementar éste.

Para su implementación deberán identificarse los sitios en el territorio municipal donde sea viable su instalación en función de su hidrogeología. Es importante mencionar que para preservar la calidad del agua subterránea se deberá cumplir con lo dispuesto en la normatividad aplicable, incluyendo la NOM-015-CONAGUA-2007: Infiltración artificial de agua a los acuíferos.



**Figura 96. Sistemas de recarga artificial de acuíferos. Fuente: JSCWSC (2009).**

### **Implementar cuencas artificiales de sedimentación y retención de escurrimiento pluvial**

Como estrategia de minimización, se recomienda implementar cuencas artificiales de sedimentación y retención de escurrimiento pluvial. También son conocidas como vasos reguladores. Este tipo de obras interceptan el escurrimiento pluvial y lo almacenan temporalmente para su posterior descarga gradual a cuerpos de agua receptores o a la red de alcantarillado. Contribuyen a reducir la frecuencia y severidad de inundaciones pluviales y a normalizar las condiciones hidrológicas de la cuenca. Asimismo, ayudan a remover o reducir la carga de sedimentos del escurrimiento pluvial, por lo que pueden implementarse en conjunto con otras intervenciones descritas en este apartado.

Para su implementación deberán identificarse los sitios donde sea viable y crítica su desarrollo. Por ejemplo, sitios contiguos a escurrimientos naturales ubicados aguas arriba de puntos donde frecuentemente se presentan inundaciones pluviales.



**Figura 97. Cuencas artificiales de sedimentación y retención de escurrimiento pluvial. Fuente: JSCWSC, 2009.**

### **Promover la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia en industrias, establecimientos de comercios y servicios, y desarrollos habitacionales**

Como estrategia de minimización, se recomienda promover la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia en industrias, establecimientos de comercios y servicios, y desarrollos habitacionales. Estos sistemas captan y almacenan el agua de lluvia que se precipita en las superficies de techos para su posterior uso complementario a la fuente principal de agua potable (ver Figura 98). De esta forma contribuyen a reducir la demanda en la red de suministro de agua potable, así como en la contribución de escurrimiento pluvial y contaminantes que ingresan a la red de alcantarillado y cuerpos de agua naturales. Existen muchos tipos de tanques de almacenamiento, los cuales pueden ser incorporados en el diseño de las edificaciones, o bien localizarse a un costado de estas o bajo tierra. El agua captada puede ser utilizada directamente para el riego de áreas verdes o para otros usos donde no se requiera agua de calidad alta.

Para su promoción se recomienda integrar requerimientos relativos a su instalación en instrumentos regulatorios como autorizaciones o licencias de construcción, así como implementar estímulos fiscales para su compra e instalación.



**Figura 98. Sistemas de captación de agua de lluvia. Fuente: Department of Water WA, 2005.**

**Promover la implementación de techos verdes en industrias, establecimientos de comercios y servicios, y desarrollos habitacionales**

Como estrategia de minimización, se recomienda promover la implementación de techos verdes en industrias, establecimientos de comercios y servicios, y desarrollos habitacionales. Estas intervenciones ayudan a reducir los picos de flujo de escurrimiento pluvial en los eventos de precipitación, así como la carga de contaminantes. Consisten en un sistema de impermeabilizado y repelente de raíces de alta calidad, un sistema de drenaje, un medio de filtrado, un medio ligero para el crecimiento de vegetación, y plantas.

Para su promoción se recomienda integrar requerimientos relativos a su instalación en instrumentos regulatorios como autorizaciones o licencias de construcción, así como implementar estímulos fiscales para su instalación. Para su implementación deberá considerarse el uso de vegetación nativa con el fin de contribuir al componente de biodiversidad.

**Implementar sistemas de colección de agua pluvial conectados a la red de alcantarillado**

Como estrategia de minimización, se recomienda implementar sistemas de colección de agua pluvial conectados a la red de alcantarillado. Estos sistemas recolectan y almacenan el escurrimiento pluvial. Difieren de los sistemas de captación de agua de lluvia en que el escurrimiento pluvial se recolecta de la red de alcantarillado en lugar de los techos de edificaciones (ver Figura 99). El agua recolectada puede ser almacenada temporalmente en tanques de agua instalados bajo tierra o sobre la superficie. Previo a su almacenamiento, el escurrimiento es generalmente tratado para remover contaminantes. El agua almacenada puede ser utilizada para el riego de parques y jardines.

Para su implementación deberán identificarse los sitios donde sea viable y relevante su instalación. Por ejemplo, sitios contiguos a parques y jardines, para maximizar el uso del agua pluvial recolectada en el riego de estos.



**Figura 99. Sistemas de colección de agua pluvial conectados a la red de alcantarillado. Fuente: City of Melbourne, 2013.**

### **7.7.3. Estrategias de restauración**

#### **Recuperar cauces naturales y cuerpos de agua**

Como estrategia de restauración, se recomienda la recuperación de cauces naturales y cuerpos de agua en el territorio municipal. Esta estrategia se encuentra relacionada con la estrategia de prevención “Evitar la modificación de cauces naturales y cuerpos de agua”. Ambas estrategias buscan la conservación del ciclo natural del agua en el territorio municipal. Sin embargo, esta estrategia difiere en que busca revertir algunos de los impactos previamente ocasionados por los procesos de urbanización sobre el ciclo natural del agua y el escurrimiento pluvial.

Para su implementación deberán priorizarse los sitios a recuperar con base en el beneficio potencial esperado. Su restauración deberá incluir el restablecimiento de capacidades de almacenamiento y/o conducción de agua, así como el establecimiento de vegetación nativa, con el fin de contribuir al componente de biodiversidad y brindar oportunidades para la bio-retención de contaminantes.

#### **Aumentar la superficie permeable y/o con vegetación en las zonas urbanizadas**

Como estrategia de restauración, se recomienda aumentar la superficie permeable y/o con vegetación urbana en las zonas urbanizadas. Esta estrategia se encuentra relacionada con la estrategia de prevención “Maximizar la superficie permeable y/o con vegetación en las zonas urbanizables”. Ambas estrategias buscan la conservación del ciclo natural del agua en el territorio municipal. Sin embargo, esta estrategia difiere en que busca revertir algunos de los impactos ocasionados por los procesos de urbanización sobre el ciclo natural del agua y el escurrimiento pluvial.

Para su implementación deberán priorizarse los sitios a intervenir con base en el beneficio potencial esperado. Asimismo, deberá considerarse el uso de vegetación nativa con el fin de contribuir al componente de biodiversidad. De manera inicial, se recomienda la intervención de espacios gestionados por la administración pública como parques, jardines, plazas, márgenes de cauces, banquetas y vialidades.

#### **7.7.4. Estrategias de compensación**

##### **Promover los esquemas de pago por servicios ambientales hidrológicos en áreas forestales**

Como estrategia de compensación, se recomienda implementar esquemas de pago por servicios ambientales hidrológicos en las áreas forestales del municipio. Este tipo de esquemas están dirigidos a propietarios de predios forestales y tienen el fin de promover la conservación de los servicios ecosistémicos que proporcionan desde el punto de vista hidrológico tales como la regulación del ciclo hidrológico y de nutrientes, retención de sedimentos y asimilación de algunos contaminantes que afectan la calidad del agua. La conservación de dichos servicios se garantiza mediante mecanismos de monitoreo y verificación en los cuales se vigila que los sitios continúan proveyendo el servicio ecosistémico durante el periodo de apoyo. La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) opera un programa de pago por servicios ambientales dirigido a propietarios de terrenos forestales que incluye el servicio ecosistémico en cuestión. Para su promoción se recomienda la coordinación entre la administración municipal y la CONAFOR para identificar los predios y propietarios potenciales para participar en el programa.

## 7.8. Residuos

En la sección 5.8 se describieron los siguientes impactos ambientales potenciales con la implementación del PMDU sobre este componente:

1. Incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)
2. Contaminación por migración de lixiviados
3. Incremento de la generación de residuos del sector agropecuario
4. Impacto visual

En esta sección se describen las estrategias de prevención, minimización, restauración y compensación para mitigar dichos impactos ambientales.

### 7.8.1. Estrategias de prevención

Se identificaron dos estrategias de prevención, las cuales son: *(1) Fortalecimiento institucional en materia de Gestión Integral Residuos* y *(2) Prevenir a contaminación por el vertido inadecuado de residuos*.

De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, el principal instrumento con el que cuentan los municipios para alcanzar los objetivos establecidos en ella son los Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. En este sentido, el PMDU establece como una de sus líneas de acción su actualización.

Es en este programa donde se integrarán a detalle todas y cada una de las acciones que se deberán de llevar a cabo para mejorar el sistema de gestión de residuos del municipio, incluyendo las estrategias que se describen en el presente apartado.

Por otro lado, a fin fortalecer las capacidades institucionales en esta materia, el municipio requerirá conformar un área o equipo específico para dar cumplimiento y seguimiento al programa antes mencionado. Será necesario además la elaboración de un Reglamento Municipal de Residuos que permita establecer los mecanismos que permitan alcanzar los objetivos del programa. Tanto el programa como la conformación de un equipo forman parte de estrategias a corto plazo indispensables para mejorar el sistema de gestión de residuos y llevar a cabo el resto de las estrategias.

Finalmente, si bien el municipio realiza actividades de limpieza contaste en playas, en el mediano plazo deberá de elaborar un programa de monitoreo y limpieza detallado que incluya otros elementos naturales como ríos y esteros.

### 7.8.2. Estrategias de minimización

Se identificó una estrategia de minimización: *(1) Reducir la cantidad de residuos depositados en los SDF El Gavilán y San Nicolas*.

Alcanzar este objetivo permitirá no solo incrementar la vida útil sino también reducir los riesgos asociados a la operación de los rellenos sanitarios y sus emisiones.

Para ello será necesario establecer una estrategia en conjunto con sectores privados estratégicos, por ejemplo, los relacionados al turismo, a fin de promover la reducción del uso de materiales con una corta vida útil, como lo pueden ser los plásticos desechables o de un solo uso. Esto permitirá reducir la cantidad de residuos que pudieran llegar al ecosistema marino.

En el caso de residuos sólidos urbanos, la educación y concientización ambiental se considera un elemento fundamental. Una campaña correctamente diseñada e implementada puede sentar las bases de posterior sistema de recolección de residuos diferenciados. Incrementar la separación de residuos desde la fuente de generación permitirá incrementar la valorización de materiales reciclables generados en el municipio.

Finalmente, será necesario también diseñar e implementar una estrategia dirigida a los residuos orgánicos. Al ser los más abundantes en peso de acuerdo con los estudios de composición manifestados en el PMPGIR y dada su relevancia respecto a la generación de metano en los rellenos sanitarios, la estrategia deberá incluir medidas que promuevan la reducción de su generación, así como mecanismos para su aprovechamiento.

### **7.8.3. Estrategias de restauración**

Se identificó una estrategia de restauración: *(1) Fortalecimiento de los SDF*

Se definieron los sitios de disposición final de El Gavilán y San Nicolas los más relevantes respecto a este tipo de estrategias. En ambos casos se identificaron deficiencias operativas e incluso en sus características constructivas.

En necesario realizar un diagnóstico técnico detallado en ambos sitios a fin de definir medidas o mejoras operativas y de obras de ingeniería complementarias. Estas actividades pueden incluir cambios en el método de conformación de celdas y taludes. Se recomienda que estas acciones se lleven a cabo en el corto plazo a fin de reducir lo antes posible la migración de contaminantes como lixiviados a las afueras de estos sitios.

Otra acción necesaria es elaboración de un diagnóstico o monitoreo, principalmente aguas abajo, con el fin de identificar la posible contaminación del suelo en los alrededores de ambos sitios de disposición final.

### **7.8.4. Estrategias de compensación**

Se identificó una estrategia de restauración: *(1) Diseñar e implementar medidas de compensación para generadores de RME y RSU.*

Uno de los principales problemas a los que se enfrentan los municipios en México es la falta de recursos para la adquisición de equipamiento y construcción de infraestructura necesaria para el manejo de residuos, así como para su operación.

Los gobiernos municipales dependen en gran medida de los recursos otorgados por el ejecutivo estatal y federal, esto debido a que los servicios de manejo de residuos se encuentran subsidiados tanto para casas habitación como para la iniciativa privada.

Implementar sistemas tarifarios por la prestación de servicios en cualquiera de las etapas de manejo de residuos permite a los municipios recaudar los recursos necesarios para operar de manera adecuada. Además, representa un fuerte incentivo para reducir la generación de residuos y fomentar su separación, incrementa la transparencia acerca del manejo de residuos, proporciona mayor eficiencia contable y mejor control presupuestario.

## 8. Seguimiento de implementación

### 8.1. Monitoreo

El monitoreo es el seguimiento periódico de un proceso. En este caso, el proceso en cuestión es la implementación de las estrategias de mitigación descritas en el presente reporte. El monitoreo del cumplimiento de las estrategias de mitigación es crucial para obtener información acerca de su cumplimiento. De acuerdo con la IAIA (2013), “siempre se debe monitorear para determinar si las medidas de mitigación, que pueden ser costosas, están teniendo el efecto deseado, es decir, son exitosas”. Si no se obtienen los resultados esperados, se deben de hacer las modificaciones correspondientes para corregir su curso. Una correcta supervisión del avance de las estrategias de mitigación de la evaluación ambiental permitirá reducir la incertidumbre de que estas no sean completadas en tiempo y forma y, por lo tanto, no se obtengan los resultados deseados. Para facilitar el monitoreo, se deben describir claramente los indicadores de las estrategias de mitigación. Dichos indicadores son la métrica de la evaluación y pueden ser cuantitativos o cualitativos. Partidário (2012) recomienda que los indicadores no sean descriptivos, sino indicativos.

En la Tabla 53 se muestra el número y proporción de estrategias de acuerdo con su tipo. Se destaca que las estrategias de prevención representan la mayor proporción, seguidas de las estrategias de minimización, compensación y restauración. En la Tabla 54 se resume el número y proporción de estrategias de mitigación según su plazo de implementación. Para esta evaluación ambiental, el corto plazo se consideró de 1 a 3 años, el mediano plazo de 3 a 6 años y el largo plazo de 6 años en adelante.

**Tabla 53. Clasificación de estrategias según su tipo.**

Tipo de estrategia	Número	Proporción
Prevención	27	33.33%
Minimización	25	30.86%
Restauración	14	17.28%
Compensación	15	18.52%
<b>Total</b>	<b>81</b>	<b>100.00%</b>

**Tabla 54. Clasificación de las estrategias según el plazo de implementación.**

Plazo	Número	Proporción
Corto plazo	25	30.86%
Mediano plazo	44	54.32%
Largo plazo	12	14.81%
<b>Total</b>	<b>81</b>	<b>100.00%</b>

Las Tablas 55 a 62 mostradas a continuación resumen las estrategias de mitigación de cada componente ambiental relevante. Incluyen información acerca de las acciones para implementar las estrategias, los

resultados esperados y los posibles responsables. Asimismo, incluyen los plazos para su implementación y los indicadores de seguimiento para determinar el avance en la implementación de cada acción.

**Tabla 55. Estrategias de mitigación e indicadores de seguimiento del componente: Agricultura.**

<b>Tipo de estrategia</b>		<b>Prevención</b>		
<b>Estrategias</b>		Gestionar las poblaciones de polinizadores animales		
<b>Acciones</b>	Incremento de oportunidades de anidado para diferentes tipos de polinizadores identificados.	Incrementar los recursos florales durante la temporada de actividad de polinizadores mediante rotación de cultivos.	Franjas de vegetación o borduras naturales o implantadas en el perímetro de los campos.	
<b>Resultados esperados</b>	Aumento en las poblaciones de las especies polinizadoras identificadas y aumento de producciones de cultivos dependiente de polinizadores animales. Aumento de la diversidad funcional del sistema agrícola.			
<b>Responsable</b>	Desarrollo Urbano y Medio Ambiente			
<b>Tiempos</b>	Mediano plazo	Mediano plazo	Corto plazo	
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Número y cantidad de especies de polinizadores animales en los campos y zonas circundantes	Número y cantidad de especies de polinizadores animales en los campos y zonas circundantes	Número y cantidad de especies de polinizadores animales en los campos y zonas circundantes	
<b>Tipo de estrategia</b>		<b>Minimización</b>		
<b>Estrategias</b>		Reducir el uso de plaguicidas y herbicidas		
<b>Acciones</b>	Evitar el uso de insecticidas de amplio espectro durante la temporada de floración, especialmente aquellos con fórmulas sistémicas o micro encapsuladas que puedan contaminar el néctar o el polen	Uso de variedades resistentes a plagas	Control biológico mediante el aumento y/o conservación de especies nativas de enemigos naturales o la introducción de especies exóticas	Aumento de la biodiversidad a nivel de parcela, finca, paisaje o temporal
<b>Resultados esperados</b>	Evitar descensos drásticos en las poblaciones de	Disminución de los daños de los	Aumento de las poblaciones de enemigos naturales	Aumento de las diferentes dimensiones de la

	polinizadores en los campos y en las zonas circundantes	cultivos de especies resistentes a plagas	de las plagas y disminución en el daño ocasionado a cultivos	biodiversidad a distintas escalas espaciales y/o temporales
<b>Responsable</b>	Desarrollo Urbano y Medio Ambiente			
<b>Tiempos</b>	Corto plazo	Corto plazo	Corto plazo	Mediano plazo
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Número y cantidad de especies de polinizadores animales en los campos y zonas circundantes	1) Cantidad de plaguicidas usada 2) Poblaciones de plagas identificadas	1) Cantidad de plaguicidas usada 2) Poblaciones de plagas identificadas 3) Poblaciones de enemigos naturales identificadas	1) Índices de Shannon y Simpson 2) Registro de la biodiversidad genética, específica y ecosistémica en tiempo y escala de territorio definidas
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Minimización</b>			
<b>Estrategias</b>	Usar agua residual tratada en las prácticas agrícolas			
<b>Acciones</b>	Uso del agua residual tratada para riego en zonas agrícolas			
<b>Resultados esperados</b>	Reducir el volumen de agua extraída de cuerpos de agua superficiales y acuíferos			
<b>Responsable</b>	SEAPAL - Desarrollo Urbano y Medio Ambiente y Proyectos Estratégicos			
<b>Tiempos</b>	Mediano plazo			
<b>Indicadores de seguimiento</b>	1) Volumen de agua residual tratada utilizada parra prácticas agrícolas 2) Volumen de agua extraída de acuíferos y cuerpos de agua			
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Restauración</b>			
<b>Estrategias</b>	Gestionar de manera eficiente los nutrientes del suelo			
<b>Acciones</b>	Siembra e incorporación de especies de leguminosas en las fincas como abonos verdes para adicionar nitrógeno al suelo	Realizar cálculos de balance de nutrientes en fincas con apoyo de los agricultores	Incorporar biosólidos tratados de las PTAR	
<b>Resultados esperados</b>	Aumento del nitrógeno disponible en el suelo fijado por las especies leguminosas	Inventarios de nutrientes por finca que ayuden a la toma de decisiones a los agricultores. Reconocimiento de las entradas y salidas de nutrientes de cada agroecosistema.	Mejora en las características físicas del suelo como formación de agregados, captura de nutrientes	
<b>Responsable</b>	Desarrollo Urbano y Medio Ambiente			
<b>Tiempos</b>	Mediano plazo	Mediano plazo	Corto plazo	

<b>Indicadores de seguimiento</b>	Registro de nitrógeno en suelo por temporada	Inventarios de carbono, nitrógeno, fósforo y potasio del agroecosistema	Propiedades físicas y químicas del suelo	
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Restauración</b>			
<b>Estrategias</b>	Gestionar la biodiversidad de los agroecosistemas			
<b>Acciones</b>	Cultivos de cubierta	Policultivos	Rotaciones de cultivos	Sistemas agroforestales
<b>Resultados esperados</b>	Incremento en los estratos de vegetación (diversidad vertical), aumento de la entomofauna (diversidad específica) y activación de la biología del suelo. Favorecer los procesos ecológicos de regulación biótica (regulación de plagas) y ciclado de nutrientes. Regulación de clima. Supresión de malezas, conservación del suelo y agua, control de enfermedades, producción de alimento de consumo humano o para ganado, captura de nutrientes, aumento del carbono en el suelo, aumento de la infiltración	Regulación biótica de plagas, enfermedades y/o malezas. Una configuración estructural compleja promueve la diversidad funcional.	Aumento de la diversidad del sistema en el tiempo debido a la sucesión de diferentes cultivos en secuencia recurrente. Promoción de diversidad de organismos del suelo y organismos controladores de plagas y/o enfermedades, además de proveer oportunidades para polinizadores. Reducción de la erosión del suelo. Aumento de la materia orgánica en suelo y captura de carbono, mejoramiento de la estructura y fertilidad del suelo, reducción de la erosión.	Uso eficiente del espacio vegetal, microclima moderado, protección contra la erosión hídrica y eólica, posibilidad de más fijación de nitrógeno y carbono, recuperación de suelos degradados, reducción de impacto por plagas y enfermedades, mantener y recuperara la estructura y fertilidad del suelo.
<b>Responsable</b>	Desarrollo Urbano y Medio Ambiente			
<b>Tiempos</b>	Largo plazo	Largo plazo	Largo plazo	Largo plazo
<b>Indicadores de seguimiento</b>	1) Registro del uso de insecticidas y herbicidas 2)	Razón Equivalente de la Tierra (Land Equivalent Ratio o	1) Registro del uso de insecticidas y herbicidas 2)	1) Registro del uso de insecticidas y herbicidas 2)

	Registro de uso de agua para riego 3) Propiedades físicas y químicas del suelo 4) Testimonio de agricultores sobre la aparición de plagas 5) Presencia de enemigos naturales de plagas	LER) o el Rendimiento Relativo Total (Relative Yield Total o RYT) (Flores & Sarandón, 2014)	Registro de uso de agua para riego 3) Propiedades físicas y químicas del suelo 4) Testimonio de agricultores sobre la aparición de plagas 5) Presencia de enemigos naturales de plagas	Registro de uso de agua para riego 3) Propiedades físicas y químicas del suelo 4) Testimonio de agricultores sobre la aparición de plagas 5) Presencia de enemigos naturales de plagas
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Compensación</b>			
<b>Estrategias</b>	Compensar económicamente por la implementación de nuevas prácticas		Promocionar e incentivar a productos agrícolas orgánicos	
<b>Acciones</b>	Implementar un sistema de pagos por servicios ambientales		Acuerdos con representantes de la industria restaurantera del Administración Municipal	
<b>Resultados esperados</b>	Crear un mercado de servicios ambientales previamente no reconocidos		Un aumento en la demanda de productos agrícolas orgánicos que promueva una adopción gradual de prácticas agrológicas que los produzcan	
<b>Responsable</b>	Dirección de Proyectos Estratégicos - Desarrollo Urbano y Medio Ambiente			
<b>Tiempos</b>	Mediano plazo		Mediano plazo	
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Programa de Gestión Rural, Agrícola y Pecuario		1) Productores de cultivos orgánicos en el Administración Municipal 2) Valor de la producción de cultivos orgánicos 3) Cantidad de cultivos orgánicos producidos	

Tabla 56. Estrategias de mitigación e indicadores de seguimiento del componente: Agua residual.

<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Prevención</b>			
<b>Estrategias</b>	Implementar las obras de infraestructura para la conducción y tratamiento de agua residual mencionadas en el PMDU	Considerar el incremento de la generación de agua residual debido al crecimiento del área urbana	Priorizar los distritos urbanos con mayores requerimientos de infraestructura	Evaluar la emisión de licencias de construcción con base en la capacidad de infraestructura instalada
<b>Acciones</b>	Construcción de proyectos ya planificados	Planificación de la infraestructura a futuro	Priorizar la construcción de infraestructura en los distritos con mayor necesidad	Limitar la construcción de viviendas a la capacidad de carga de la infraestructura
<b>Resultados esperados</b>	Mejor infraestructura para la conducción y tratamiento de agua residual	Planes concretos de construcción de infraestructura	Construcción de infraestructura necesaria en los DU a priorizar	La población se asentará solo en aquellos espacios que tengan los servicios necesarios
<b>Responsable</b>	Administración Municipal	Administración Municipal - SEAPAL	SEAPAL	Administración Municipal - SEAPAL
<b>Tiempos</b>	Mediano plazo	Corto Plazo	Mediano plazo	Mediano plazo
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Porcentaje de proyectos terminados	Integración del incremento de la generación de agua residual en los planes de trabajo	Porcentaje de infraestructura de cobertura de agua potable y drenaje	Porcentaje de la población residente con servicios básicos de agua potable y drenaje
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Prevención</b>			
<b>Estrategias</b>	Implementar un sistema de medición y registro de descargas de aguas residuales	Utilizar un tipo de tratamiento alternativo para la desinfección del agua residual		
<b>Acciones</b>	Generar el registro de descargas en cantidad y calidad del agua residual	Generar un tratamiento de desinfección combinado: ozono-cloro, luz ultravioleta-cloro	Reducir la concentración de cloro residual	Reducción del almacenamiento de cloro gas en la PTAR Norte II
<b>Resultados esperados</b>	Registro completo de descargas, por aportaciones individuales Reducción y nulificación de las descargas ilegales a cuerpos de agua.	Reducción de uso de cloro en el tratamiento Reducción del cloro almacenado en las instalaciones de la PTAR	Modificar las ecuaciones de dosificación de cloro	Reducción del riesgo inherente por el almacenamiento de cloro gas
<b>Responsable</b>	SEAPAL			
<b>Tiempos</b>	Largo plazo	Corto plazo	Corto plazo	Corto plazo

<b>Indicadores de seguimiento</b>	1) Porcentaje de medidores instalados respecto a las residencias, industrias, comercios, hoteles, instituciones etc 2) Balance hídrico respecto a la aportación de agua residual por uso de agua potable y el agua residual tratada en las PTARs.	1) Diferencia del uso de cloro antes y después de la implementación de la medida alternativa 2) Medición de la concentración de compuestos clorados en los cuerpos de agua	1) Concentración de compuestos clorados en los cuerpos de agua 2) Concentración de cloro residual de 0.5 ppm	1) Reducción del uso de cloro gas 2) Reducción de las instalaciones de almacenamiento de cloro gas
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Minimización</b>			
<b>Estrategias</b>	Promover el uso eficiente del agua, por medio del Programa de educación ambiental			
<b>Acciones</b>	Campañas de concientización del uso del agua	Actualizar el programa de educación ambiental	Uso eficiente del agua residual	Uso eficiente del agua pluvial
<b>Resultados esperados</b>	Reducción de la dotación de agua de 250 a 150 litros día <sup>-1</sup> habitante <sup>-1</sup>	Concientización en la población para disminuir su consumo de agua	Reutilización del agua residual tratada en otros sectores	Reducción en la extracción de agua
<b>Responsable</b>	SEAPAL - Administración Municipal - Población - Departamento de Cultura del Agua		Población	SEAPAL - Administración Municipal
<b>Tiempos</b>	Corto plazo	Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo plazo
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Porcentaje de reducción de la dotación de agua	Porcentaje de reducción de la dotación de agua	1) Uso del agua residual en otros sectores 2) Número de concesiones intercambiadas por agua residual tratada 3) Diferencia de la descarga anterior (cuerpos de agua) al nuevo uso	Uso del agua pluvial que sustituye al uso de agua subterránea/superficial
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Minimización</b>			
<b>Estrategias</b>	Implementar obras para la separación de drenajes de agua pluvial y agua residual		Utilizar fuentes alternas de energía para el tratamiento de agua residual	
<b>Acciones</b>	Generar infraestructura de drenaje separada de agua residual y agua pluvial	Generar infraestructura de almacenamiento del agua pluvial, para después ser utilizada	Generar la infraestructura para el aprovechamiento del biogás	Instalación de otras fuentes de energía sostenible
<b>Resultados esperados</b>	Infraestructura de drenajes separados	Infraestructura de almacenamiento y	1) Reducción en los costos de operación de las PTARs 2) Reducción en la aportación de	

	en la totalidad del área urbana+	trasporte del agua pluvial	gases de efecto invernadero por uso de energía no sostenible	
<b>Responsable</b>	SEAPAL			
<b>Tiempos</b>	Largo plazo	Mediano Plazo	Mediano Plazo	Corto plazo
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Porcentaje de área urbana con drenajes separados	1) Volumen de agua pluvial captada 2) Volumen de agua pluvial utilizada para otros fines	1) Adecuación de la PTAR Norte II para el aprovechamiento del biogás 2) Reducción de costos de operación	1) Generación y uso de energía sostenible, por medio del biogás y luz solar 2) Reducción de costos de operación
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Minimización</b>			
<b>Estrategias</b>	Promover la captación y uso del agua pluvial			
<b>Acciones</b>	Utilización del agua pluvial en otros sectores		Potabilización del agua pluvial	
<b>Resultados esperados</b>	Reducción en la extracción del agua en el acuífero  Reducción del agua a tratar en las PTARs		Reducción en la extracción del agua en el acuífero	
<b>Responsable</b>	SEAPAL			
<b>Tiempos</b>	Largo plazo		Largo plazo	
<b>Indicadores de seguimiento</b>	1) Porcentaje de área urbana con drenajes separados 2) Reducción de picos de tratamiento en las PTARs en temporada de lluvias 3) Porcentaje de áreas verdes con riego por agua pluvial 4) Utilización del agua pluvial en otros sectores		Porcentaje de agua pluvial purificada para el consumo humano	
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Restauración</b>			
<b>Estrategias</b>	Implementar proyectos para la remediación y restauración de cauces			
<b>Acciones</b>	Generar un plan de restauración de cauces contaminados por descargas de aguas residuales			
<b>Resultados esperados</b>	Restauración de los cauces a sistemas ecológicos estables			
<b>Responsable</b>	SEAPAL - Administración Municipal - Población			
<b>Tiempos</b>	Corto plazo			
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Porcentaje Cauces restaurados			
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Compensación</b>			
<b>Estrategias</b>	Aprovechamiento del agua residual tratada	Aprovechamiento de metano	Aprovechamiento de biosólidos	
<b>Acciones</b>	Aprovechar el agua residual tratada a los agricultores o empresas industriales como fuente de agua	Aprovechar el metano excedente a las industrias cercanas (ej. aeropuerto) para su utilización como fuente de energía	Aprovechar los biosólidos generados en el tratamiento de agua residuales, como mejoradores de suelo en el campo agrícola	
<b>Resultados esperados</b>	Reducción de los costos de operación de la planta Reducción de la	Reducción de los costos de operación de la planta Reducción de la	Reducción de los costos de operación de la planta Reducción del espacio requerido para confinar los biosólidos	

	extracción de agua subterránea o superficial por parte de los agricultores o las industrias	emisión de gases de efecto invernadero por el uso de energía fósil	
<b>Responsable</b>	SEAPAL - Agricultores - Administración Municipal		
<b>Tiempos</b>	Mediano plazo	Mediano plazo	Corto plazo
<b>Indicadores de seguimiento</b>	1) Reducción en las concesiones de agua superficial y subterránea para el sector agrícola e industrial 2) Ingresos por aprovechamiento de agua residual tratada	Ingresos por aprovechamiento de metano	Ingresos por aprovechamiento de biosólidos

**Tabla 57. Estrategias de mitigación e indicadores de seguimiento del componente: Agua subterránea.**

Tipo de estrategia	Prevención			
<b>Estrategias</b>	Identificar zonas de mayor recarga potencial para su protección	Controlar focos de contaminación (tiraderos clandestinos, rellenos sanitarios, zonas agrícolas)	Generar y mejorar gestión y uso de información de agua subterránea	Desarrollar esquema de certificación y acceso a cuotas bajas
<b>Acciones</b>	Refinar y trabajar en conjunto con municipios vecinos, el análisis de vulnerabilidad, caracterización y delimitación de zonas potenciales de acuífero	Regular los puntos que sean foco de contaminación para el acuífero y cuidar que realicen buenas prácticas, ejemplo los rellenos sanitarios que se construyan adecuadamente	Refinar cartografía de vulnerabilidad, así como utilizar información de calidad de agua para validarla para obtener un mejor entendimiento del sistema hidrogeológico y lograr una mejor gestión	Generar en conjunto con los municipios vecinos, un reglamento, donde se identifiquen esquemas para los usuarios de los pozos de extracción en donde obtengan certificaciones por uso eficiente del agua o cuotas por extraer agua
<b>Resultados esperados</b>	Identificación de zonas potenciales para recarga del acuífero, zonas vulnerables a contaminación y una mejor gestión	Reducir el riesgo de contaminación al acuífero, lograr una gestión adecuada	Generar información de agua subterránea (cartografía, bases de datos, análisis) para entender el entorno hidrogeológico	Desarrollar nuevos reglamentos municipales, en donde se propongan nuevos esquemas para los usuarios que más extraen agua subterránea
<b>Responsable</b>	Administración Municipal de Puerto Vallarta - Administración Municipal de Bahía de Banderas	Administración Municipal	Administración Municipal de Puerto Vallarta - Administración Municipal de Bahía de Banderas	Administración Municipal
<b>Tiempos</b>	Largo plazo	Mediano plazo	Largo plazo	Mediano plazo
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Conocimiento de las zonas de recarga y un mejor manejo del recurso	Zonas de contaminación (rellenos sanitarios, PTRAS, zonas agrícolas) reducidas o nulas, con prácticas que no	Programas de protección de recursos hídricos, en donde exista la información adecuada para su entendimiento	Usuarios utilizando nuevas prácticas, reducción de la extracción de agua subterránea, uso de agua pluvial y residual

		generen un residuo peligroso que pueda contaminar el acuífero		
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Minimización</b>			
<b>Estrategias</b>	Mayor uso de agua residual tratada para evitar extracción de agua subterránea	Programa de aprovechamiento de recursos hídricos	Promover uso de alternativas en usuarios comerciales	
<b>Acciones</b>	Gestionar con SEAPAL el uso de agua residual, en actividades que requieran una mayor extracción de agua, por ejemplo, el riego de áreas verde de hoteles o parques, así como para algunos cultivos, riego de campos de golf	Utilizar la información generada, para que la población y gobierno entienda el funcionamiento de los sistemas hidrogeológico, así como planes de uso de agua pluvial, residual, entre otros para reducir el consumo de agua subterránea	Crear contenido para el público, donde se muestren alternativas para uso de agua	
<b>Resultados esperados</b>	Lograr un nuevo uso del agua residual y disminuir la extracción de agua subterránea para evitar que se sobreexplota el acuífero	Con la información generada (geológica, hidrológica, vulnerabilidad a la contaminación) crear nuevas políticas para una mejor gestión del recurso hídrico, además de crear una alianza con Bahía de Banderas para trabajar en conjunto y cuidar el agua	Encontrar alternativas para uso de agua, como captación y uso del agua pluvial, además del aprovechamiento del agua residual y no sea 100% agua subterránea la que se use	
<b>Responsable</b>	Administración Municipal - SEAPAL	Administración Municipal de Puerto Vallarta - Bahía de Banderas		
<b>Tiempos</b>	Mediano plazo	Mediano plazo	Mediano plazo	
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Disminución de la extracción de agua subterránea	Mejor gestión hídrica en conjunto	Reducción de la extracción de agua subterránea	

		con Bahía de Banderas	
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Restauración</b>		
<b>Estrategias</b>	Recarga gestionada o inducida de acuíferos,		
<b>Acciones</b>	Una vez que se refine la cartografía, análisis de componentes, investigar si es posible realizar recargas al acuífero de agua pluvial tratada		
<b>Resultados esperados</b>	Generar información y encontrar nuevas propuestas para el cuidado del acuífero		
<b>Responsable</b>	Administración Municipal de Puerto Vallarta - Bahía de Banderas		
<b>Tiempos</b>	largo plazo		
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Nuevas tecnologías e información para la recarga y cuidado del acuífero		
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Compensación</b>		
<b>Estrategias</b>	Uso de multa por exceder el consumo de agua, aplicar recursos o acciones		
<b>Acciones</b>	Desarrollar una red de monitoreo de pozos, en donde constantemente se lleven a cabo análisis y bases de datos, y generar un plan o reglamento en donde diga que si el usuario excede el límite de extracción, se pedirá una compensación		
<b>Resultados esperados</b>	Generar conciencia en la población de la extracción de agua subterránea y obtener con multas alguna compensación que ayude al Administración Municipal		
<b>Responsable</b>	Administración Municipal		
<b>Tiempos</b>	Mediano plazo		
<b>Indicadores de seguimiento</b>	1) Disminución de la extracción de agua 2) Ingresos por multas		

**Tabla 58. Estrategias de mitigación e indicadores de seguimiento del componente: Biodiversidad**

Tipo de estrategia	Prevención			
<b>Estrategias</b>	Integración de medidas asociadas a la concentración de especies en nuevos desarrollos	Elaboración de un plan de manejo de arbolado para la ciudad y comunidades rurales	Establecer un programa de educación ambiental para fauna	
<b>Acciones</b>	Hacer llegar la información de concentración de especies a desarrolladores para el diseño de medidas de mitigación específicas	Diseñar con información de la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente, organizaciones civiles y demás entes involucrados un plan de manejo de arbolado local que permita conservar la mayor cantidad de especies nativas en la ciudad, remplace poco a poco las exóticas y contemple los servicios ambientales que requiere la fauna	Realizar los talleres con centros educativos, colectivos ambientales, sociedad y demás instancias para integrar una base de datos de todas las especies de fauna registradas en la ciudad.	Integrar colectivamente las acciones y capacidades que requeriría la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente para fortalecer las acciones que ya llevan a cabo en el rescate de fauna local
<b>Resultados esperados</b>	Menores impactos ambientales a las especies de flora y fauna locales por la instalación de nuevas edificaciones	Una política clara de arborización por parte del Administración Municipal para cualquier construcción nueva que permita conservar la flora y fauna local dentro de la ciudad.	Un listado validado por todos los especialistas que trabajan en el territorio de los diferentes grupos de fauna y sus especies.	Enlistar las necesidades para el fortalecimiento de la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente para poder operar el programa de educación ambiental.
<b>Responsable</b>	Administración Municipal	Administración Municipal - Promoventes de proyectos privados	Administración Municipal	
<b>Tiempos</b>	Corto plazo	Mediano plazo	Corto plazo	Corto plazo
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Proyectos nuevos con medidas de mitigación específicas por concentración de especies respecto a	Publicación de plan de manejo de arbolado	1) Publicación del programa de educación ambiental 2) Recursos asignados cada año para su seguimiento 3) Cumplimiento de objetivos establecidos en el programa de educación ambiental	

	la totalidad de proyectos nuevos		
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Prevención</b>		
<b>Estrategias</b>	Fortalecer la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente		
<b>Acciones</b>	Realizar un análisis de todos los programas y acciones en materia ambiental que requieren seguimiento en relación con la cantidad de personal, presupuesto y herramientas con los que cuenta la dirección		
<b>Resultados esperados</b>	Claridad en la cantidad de espacios necesarios para dar cumplimiento a todos los compromisos establecidos Claridad en los recursos necesarios para abordar el cumplimiento de acciones		
<b>Responsable</b>	Administración Municipal		
<b>Tiempos</b>	Corto plazo		
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Espacios de personal, herramientas, recursos materiales y presupuestos para el fortalecimiento de la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente.		
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Minimización</b>		
<b>Estrategias</b>	Monitoreo constante de los límites marcados en el PMDU y planes parciales	Elaboración de plan de monitoreo de fauna local	
<b>Acciones</b>	Revisión constante por parte de la dirección de inspección y vigilancia de los límites de la traza urbana marcada en los planes parciales	Establecer transectos y puntos de monitoreo dentro de la zona urbana y su periferia para diferentes grupos de fauna	
<b>Resultados esperados</b>	Acotar el crecimiento urbano a la superficie y condiciones establecidas en los planes parciales y el programa municipal de desarrollo	Monitoreo constante de especies dentro de la ciudad 2) Identificación de nuevas especies dentro de la ciudad 3) Crecimiento o disminución de comunidades 4) Generación de indicadores ambientales	
<b>Responsable</b>	Administración Municipal		
<b>Tiempos</b>	Corto plazo	Mediano plazo	
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Registro de inspecciones realizadas en el seguimiento del crecimiento urbano	Seguimiento anual del levantamiento de datos de fauna obtenidos en el Administración Municipal	
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Restauración</b>		
<b>Estrategias</b>	Implementación del plan de manejo de arbolado por promoventes y autoridades		
<b>Acciones</b>	Acciones que arborización que se lleven de acuerdo con el plan de manejo de arbolado municipal		
<b>Resultados esperados</b>	Conservar y ampliar los servicios ambientales de la flora local dentro de la ciudad		
<b>Responsable</b>	Administración Municipal - Constructores - Colegios de arquitectos		
<b>Tiempos</b>	Mediano plazo		
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Medición de la implementación de las medidas y acciones sugeridas dentro del plan de manejo de arbolado		
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Compensación</b>		
<b>Estrategias</b>	Elaboración de tabulador de compensaciones ambientales para proyectos nuevos	Decretar los cauces y áreas verdes de la ciudad como áreas protegidas a nivel municipal	
<b>Acciones</b>	Diseñar de acuerdo a la ubicación de cada proyecto y sus atributos ambientales un tabulador que permita solicitar acciones en materia ambiental a promoventes o pagos compensatorios que sea invertidos en los	Realizar los diagnósticos necesarios para recabar la información que permitan decretar las zonas de cauces y áreas verdes del Administración Municipal como zonas de protección a nivel municipal	

	diferentes programas ambientales del Administración Municipal	
<b>Resultados esperados</b>	Generación de recursos económicos y acciones sobre los programas ambientales que cuenta el Administración Municipal	Aumento en el nivel de protección de flora y fauna asociados a las áreas verdes del Administración Municipal
<b>Responsable</b>	Administración Municipal - Constructores	Administración Municipal
<b>Tiempos</b>	Corto plazo	Corto plazo
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Acciones apoyadas de los programas establecidos por el Administración Municipal	Superficie de espacios verdes y cauces de cuerpos de agua decretados como área protegidas respecto a la superficie total de la mancha urbana.

**Tabla 59. Estrategias de mitigación e indicadores de seguimiento del componente: Calidad paisajística.**

<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Prevención</b>		
<b>Estrategias</b>	Promover la ubicación de proyectos con consideración del paisaje	Elaborar lineamientos de diseño de imagen urbana en zonas de alta fragilidad visual	
<b>Acciones</b>	Escoger los emplazamientos más idóneos para el desarrollo de las actividades, racionalizando la ocupación del suelo	Arquitectura y diseño de elementos singulares atractivos	Análisis del entorno con modelación o proyección digital de como el proyecto pudiera impactar lo menor posible a la zona de integración
<b>Resultados esperados</b>	Cuidado de la uniformidad del paisaje	Atenuación del impacto visual	Establecimiento de una continuidad ecológica con el entorno
<b>Responsable</b>	Administración Municipal	Administración Municipal - Colegios de arquitectura	
<b>Tiempos</b>	Corto plazo	Corto plazo	Corto plazo
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Ubicación de proyectos nuevos en zona urbana, evitando la implementación de infraestructuras en zonas con alta fragilidad visual	Los nuevos proyectos no resaltan sobre el paisaje	Mayor cantidad de proyectos nuevos están diseñados de manera que no se interrumpe la visión característica del paisaje natural
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Prevención</b>		
<b>Estrategias</b>	Promover la continuación del diseño urbano característico de la región	Implementar normas de integración paisajística	
<b>Acciones</b>	Analizar el diseño de los nuevos asentamientos de manera que sea atractivo y de acuerdo con el paisaje natural o característico de la región.	Establecimiento de normas de integración paisajística, y guías para una adecuada ordenación del paisaje	
<b>Resultados esperados</b>	Establecimiento de una continuidad y complementariedad funcional con el diseño urbano característico de la región	Disminución de los impactos negativos sobre el medio, manteniendo la funcionalidad de los ecosistemas. Reconocimiento del valor del paisaje.	
<b>Responsable</b>	Administración Municipal - Colegios de arquitectura	Administración Municipal	
<b>Tiempos</b>	Corto plazo	Mediano plazo	

<b>Indicadores de seguimiento</b>	Los nuevos proyectos están diseñados de manera que no se interrumpe la visión característica de la imagen urbana		Creación de una norma para la integración paisajística. Los nuevos proyectos están diseñados de manera que se cumpla la normatividad del paisaje, asimismo se evita la implementación en zonas con alta fragilidad visual o se llevan a cabo las medidas de atenuación.	
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Minimización</b>			
<b>Estrategias</b>	Implementar medidas de ocultación	Implementar medidas de naturalización	Implementar medidas de fusión	Implementar medidas de mimetización
<b>Acciones</b>	Cubrir por medio de cercos naturales los principales puntos de observación de la actuación	Incluir los elementos más representativos del paisaje en la actuación	Disolver la imagen de la construcción al unirla con la visión del paisaje en el que se integra	Imitación total o parcial de los elementos más representativos del paisaje
<b>Resultados esperados</b>	Atenuación del impacto visual	Armonización, potenciación de los elementos naturales predominantes	Atenuación del impacto visual	Atenuación del impacto visual
<b>Responsable</b>	Administración Municipal			
<b>Tiempos</b>	Corto plazo	Corto plazo	Corto plazo	Corto plazo
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Mayor cantidad de proyectos donde se cubre la visión de las actuaciones desde los principales puntos de observación	Mayor cantidad de proyectos donde se conservan los elementos naturales más representativos del paisaje.	Mayor cantidad de proyectos donde se utiliza un patrón geométrico que unifica la imagen del proyecto con la del paisaje.	Mayor cantidad de proyectos se insertan de manera semejante a las edificaciones preexistentes.
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Restauración</b>			
<b>Estrategias</b>	Retirada de artefactos que degradan el paisaje	Regeneración de zonas degradadas existentes	Apertura de nuevas vistas hacia los recursos escénicos de la zona	Acondicionamiento de miradores o recorridos escénicos u otros de naturaleza similar.
<b>Acciones</b>	Eliminar objetos que degradan el paisaje y bloquean las vistas de mayor valor	Reforestación del paisaje forestal y agrícola	Implementar puntos de observación como miradores y observatorios en actividades recreativas	Mejorar los espacios públicos y recreativos más representativos del Administración Municipal

<b>Resultados esperados</b>	Disminución del deterioro del paisaje	Disminución del deterioro del paisaje	Aumento de recursos escénicos para atraer turismo	Potenciación de la capacidad estética de las instalaciones
<b>Responsable</b>	Administración Municipal			
<b>Tiempos</b>	Mediano plazo	Mediano-Largo plazo	Corto plazo	Largo plazo
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Valoración social sobre la apreciación de la imagen urbana y paisaje natural	Valoración social sobre la apreciación de la imagen urbana y paisaje natural	Valoración social sobre el aumento de recursos escénicos	Valoración social sobre el acondicionamiento de miradores y recorridos escénicos
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Compensación</b>			
<b>Estrategias</b>	Penalizar proyectos que interrumpen la calidad visual del paisaje	Utilizar recursos para mejorar la calidad visual del paisaje en zonas aledañas o en áreas de la ciudad donde la calidad paisajística sea menor	Mejorar accesos y accesibilidad a playas	Promover los lineamientos para uso de playa por parte de hoteles, distanciamiento e infraestructura móvil que se integre al paisaje
<b>Acciones</b>	Penalización de proyectos en zonas de alta fragilidad visual que no tengan estudio de integración paisajística	Rehabilitación, mejoramiento y renovación del mobiliario urbano	Incentivar integración de elementos naturales de la región en corredores urbanos	Integración de elementos naturales (vegetación) en playas. Plan de manejo de espacio público para evitar que los hoteles coloquen infraestructura fuera de los límites de su territorio
<b>Resultados esperados</b>	Disminución de la degradación del territorio en nuevos proyectos	Mejora de los recursos paisajísticos	Mayor accesibilidad para el turismo	Mayor accesibilidad para el turismo
<b>Responsable</b>	Administración Municipal			
<b>Tiempos</b>	Mediano plazo	Corto plazo	Corto plazo	Corto plazo
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Registro de inspección de proyectos en zonas de alta fragilidad visual	Registro de la cantidad de mobiliario urbano sujeto a condiciones de rehabilitación,	Consulta y valoración social sobre el acceso y acondicionamiento de playas	Consulta y valoración social sobre el acceso a playas y mejoramiento del mobiliario urbano

		mejoramiento y renovación		
--	--	---------------------------	--	--

**Tabla 60. Estrategias de mitigación e indicadores de seguimiento del componente: Clima local.**

Tipo de estrategia		Prevención		
<b>Estrategias</b>		Evitar el cambio de uso de suelo en sitios con vegetación forestal		Maximizar la superficie con vegetación en zonas urbanizables
<b>Acciones</b>		Desincentivar los proyectos o actividades que pretendan cambiar el uso de suelo		Planeación del número y superficie de reservas urbanas y áreas verdes
<b>Resultados esperados</b>		Mantener una temperatura confortable en el área urbana		Mantener una temperatura confortable en el área urbana
<b>Responsable</b>		Administración municipal - SEMARNAT		Administración municipal
<b>Tiempos</b>		Corto a largo plazo		Mediano a largo plazo
<b>Indicadores de seguimiento</b>		Se mantiene la superficie actual con cobertura forestal en el territorio municipal		Se registran menores temperaturas en áreas urbanas con mayor superficie de vegetación en comparación con áreas urbanas con menor superficie de vegetación
Tipo de estrategia		Minimización		
<b>Estrategias</b>		Promover la implementación de techos verdes en industrias, establecimientos de comercios y servicios, y desarrollos habitacionales		Promover el uso de ventilación natural o pasiva en el diseño arquitectónico de nuevas edificaciones
<b>Acciones</b>		Integrar requerimientos relativos a su instalación en instrumentos regulatorios	Implementar estímulos fiscales para su instalación	Integrar requerimientos relativos a su instalación en instrumentos regulatorios
<b>Resultados esperados</b>		Mantener una temperatura confortable en el área urbana y reducir el consumo de energía eléctrica proveniente de fuentes fósiles, así como las emisiones asociadas de gases de efecto invernadero		Reducir el consumo de energía eléctrica proveniente de fuentes fósiles y reducir las emisiones asociadas de gases de efecto invernadero
<b>Responsable</b>		Administración municipal - promoventes de desarrollos inmobiliarios		Administración municipal - promoventes de desarrollos inmobiliarios
<b>Tiempos</b>		Corto a largo plazo		Corto a largo plazo
<b>Indicadores de seguimiento</b>		Proporción de edificios con techos verdes contra edificios sin techos verdes		Proporción de edificios diseñados con principios de ventilación natural o pasiva contra edificios tradicionales
Tipo de estrategia		Restauración		

<b>Estrategias</b>	Aumentar la superficie con vegetación en zonas urbanizadas	
<b>Acciones</b>	Priorizar los sitios a intervenir	Desarrollar proyectos para su intervención
<b>Resultados esperados</b>	Mantener una temperatura confortable en el área urbana	
<b>Responsable</b>	Administración municipal	
<b>Tiempos</b>	Corto a largo plazo	
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Se registran menores temperaturas en áreas urbanas con mayor superficie de vegetación en comparación con áreas urbanas con menor superficie de vegetación	
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Compensación</b>	
<b>Estrategias</b>	Incentivar el uso de energía solar para la operación de equipos de aire acondicionado	
<b>Acciones</b>	Integrar requerimientos relativos a su instalación en instrumentos regulatorios	Implementar estímulos fiscales para su instalación
<b>Resultados esperados</b>	Reducir el consumo de energía eléctrica proveniente de fuentes fósiles y reducir las emisiones asociadas de gases de efecto invernadero	
<b>Responsable</b>	Administración municipal - SEMADET	
<b>Tiempos</b>	Corto a largo plazo	
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Proporción de edificios con equipos de aire acondicionado operados con energía solar contra edificios con equipos de aire acondicionado operados con energía eléctrica proveniente de fuentes fósiles	

**Tabla 61. Estrategias de mitigación e indicadores de seguimiento del componente: Esguerrimiento pluviol.**

<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Prevención</b>			
<b>Estrategias</b>	Evitar la modificación de cauces naturales y cuerpos de agua		Incrementar la capacidad de cauces naturales y cuerpos de agua e incrementar sus zonas de amortiguamiento	
<b>Acciones</b>	Prohibir y sancionar actividades de nivelación y/o relleno de cauces naturales y cuerpos de agua	Evitar las obras de rectificación y canalización de cauces naturales	Identificar sitios a intervenir	Desarrollar proyectos para incrementar capacidades y zonas de amortiguamiento
<b>Resultados esperados</b>	Neutralizar el incremento del riesgo y severidad de las inundaciones pluviol		Neutralizar el incremento del riesgo y severidad de las inundaciones pluviol	
<b>Responsable</b>	Administración municipal - CONAGUA			
<b>Tiempos</b>	Corto plazo		Mediano a largo plazo	
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Se mantiene la morfología y capacidad actual de cauces naturales y cuerpos de agua		Porcentaje de incremento de la capacidad de cauces naturales y cuerpos de agua	
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Prevención</b>			
<b>Estrategias</b>	Evitar el cambio de uso de suelo en sitios con vegetación forestal		Maximizar la superficie permeable y/o con vegetación en las zonas urbanizables	
<b>Acciones</b>	Desincentivar los proyectos o actividades que pretendan cambiar el uso de suelo		Planeación del número y superficie de reservas urbanas y áreas verdes	
<b>Resultados esperados</b>	Neutralizar el incremento del volumen y flujo del esguerrimiento pluviol		Neutralizar el incremento del volumen y flujo del esguerrimiento pluviol	
<b>Responsable</b>	Administración municipal - SEMARNAT		Administración municipal	
<b>Tiempos</b>	Corto a largo plazo		Mediano a largo plazo	
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Se mantiene la superficie actual con cobertura forestal en el territorio municipal		1) Número de reservas urbanas y áreas verdes 2) Superficie permeable y/o con vegetación	
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Minimización</b>			
<b>Estrategias</b>	Implementar acequias de bio-retención en áreas contiguas a vialidades			
<b>Acciones</b>	Identificar las vialidades existentes a intervenir	Desarrollar proyectos para intervenir las vialidades identificadas	Diseñar la integración de acequias en vialidades futuras	
<b>Resultados esperados</b>	Neutralizar la aportación de vialidades al volumen de esguerrimiento pluviol			
<b>Responsable</b>	Administración municipal - SIOP - SCT - promoventes de desarrollos inmobiliarios			
<b>Tiempos</b>	Corto a largo plazo			
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Número de vialidades con acequias de bio-retención			
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Minimización</b>			
<b>Estrategias</b>	Implementar zanjas de absorción en áreas contiguas a vialidades			
<b>Acciones</b>	Identificar las vialidades existentes a intervenir	Desarrollar proyectos para intervenir las vialidades identificadas	Diseñar la integración de zanjas en vialidades futuras	

<b>Resultados esperados</b>	Neutralizar la aportación de vialidades al volumen de escurrimiento pluvial			
<b>Responsable</b>	Administración municipal – SIOP – SCT - promoventes de desarrollos inmobiliarios			
<b>Tiempos</b>	Corto a largo plazo			
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Número de vialidades con zanjas de absorción			
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Minimización</b>			
<b>Estrategias</b>	Implementar sistemas de recarga artificial de acuíferos		Implementar cuencas artificiales de sedimentación y retención de escurrimiento pluvial	
<b>Acciones</b>	Identificar los sitios donde sea viable su instalación	Desarrollar proyectos para su implementación	Identificar los sitios donde sea viable su desarrollo	Desarrollar proyectos para su implementación
<b>Resultados esperados</b>	Neutralizar el proceso de impermeabilización del suelo provocado por la urbanización		Neutralizar el incremento del riesgo y severidad de las inundaciones pluviales	
<b>Responsable</b>	Administración municipal - SEAPAL - SGIA - CEA		Administración municipal - SGIA - SIOP	
<b>Tiempos</b>	Corto a largo plazo		Corto a largo plazo	
<b>Indicadores de seguimiento</b>	1) Número de sistemas de recarga artificial de acuíferos implementados 2) Volumen de agua infiltrada		1) Número de cuencas artificiales de sedimentación y retención implementadas 2) Volumen de cuencas artificiales de sedimentación y retención	
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Minimización</b>			
<b>Estrategias</b>	Promover la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia en industrias, establecimientos de comercios y servicios, y desarrollos habitacionales		Promover la implementación de techos verdes en industrias, establecimientos de comercios y servicios, y desarrollos habitacionales	
<b>Acciones</b>	Integrar requerimientos relativos a su instalación en instrumentos regulatorios	Implementar estímulos fiscales para su compra e instalación	Integrar requerimientos relativos a su instalación en instrumentos regulatorios	Implementar estímulos fiscales para su instalación
<b>Resultados esperados</b>	Neutralizar el incremento del volumen y flujo del escurrimiento pluvial		Neutralizar el incremento del volumen y flujo del escurrimiento pluvial	
<b>Responsable</b>	Administración municipal - SGIA - promoventes de desarrollos inmobiliarios		Administración municipal	
<b>Tiempos</b>	Corto a largo plazo		Corto a largo plazo	
<b>Indicadores de seguimiento</b>	1) Número de sistemas de captación de agua de lluvia implementados 2) Volumen de sistemas de captación de agua de lluvia		1) Número de techos verdes implementados 2) Superficie de techos verdes	
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Minimización</b>			
<b>Estrategias</b>	Implementar sistemas de colección de agua pluvial conectados a la red de alcantarillado			
<b>Acciones</b>	Identificar los sitios donde sea viable y relevante su instalación		Desarrollar proyectos para su implementación	
<b>Resultados esperados</b>	Neutralizar el incremento del riesgo y severidad de las inundaciones pluviales			
	Reducir el uso de agua potable para el riego de parques y jardines			
<b>Responsable</b>	Administración municipal - SIOP - SCT			
<b>Tiempos</b>	Corto a largo plazo			

<b>Indicadores de seguimiento</b>	1) Número de sistemas de colección de agua pluvial implementados 2) Volumen de sistemas de colección de agua pluvial			
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Restauración</b>			
<b>Estrategias</b>	Recuperar cauces naturales y cuerpos de agua		Aumentar la superficie permeable y/o con vegetación en las zonas urbanizadas	
<b>Acciones</b>	Priorizar los sitios a recuperar	Desarrollar proyectos para su recuperación	Priorizar los sitios a intervenir	Desarrollar proyectos para su intervención
<b>Resultados esperados</b>	Neutralizar el incremento del riesgo y severidad de las inundaciones pluviales		Neutralizar el incremento del volumen y flujo del escurrimiento pluvial	
<b>Responsable</b>	Administración municipal - CONAGUA		Administración municipal	
<b>Tiempos</b>	Mediano a largo plazo		Corto a largo plazo	
<b>Indicadores de seguimiento</b>	1) Número de cauces naturales y cuerpos de agua recuperados 2) Porcentaje de incremento de la capacidad de cauces naturales y cuerpos de agua		Superficie intervenida	
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Compensación</b>			
<b>Estrategias</b>	Promover los esquemas de pago por servicios ambientales hidrológicos en áreas forestales			
<b>Acciones</b>	Comunicar continuamente la existencia y beneficios de los esquemas			
<b>Resultados esperados</b>	Incrementar el número de participantes/beneficiarios			
<b>Responsable</b>	Administración municipal - CONAFOR			
<b>Tiempos</b>	Corto a largo plazo			
<b>Indicadores de seguimiento</b>	1) Número de recipientes de pago por servicios ambientales hidrológicos 2) Superficie bajo esquemas de pago por servicios ambientales hidrológicos			

**Tabla 62. Estrategias de mitigación e indicadores de seguimiento del componente: Residuos.**

Tipo de estrategia	Prevención			
<b>Estrategias</b>	Fortalecimiento institucional en materia de Gestión Integral de residuos			Prevenir la contaminación por el vertido inadecuado de residuos
<b>Acciones</b>	Actualización del PMPGIR Programa Municipal de Prevención y Gestión Integral de Residuos	Conformación de un equipo o área técnica específica para la GIR del Municipio	Creación de un Reglamento Municipal en Materia de Residuos	Diseño e implementación de programa de monitoreo y limpieza de playas, esteros, ríos y demás elementos naturales relevantes en el municipio
<b>Resultados esperados</b>	Que el municipio cuente con un instrumento de política pública que le permita llevar a cabo una mejora en su sistema de gestión de residuos	Contar con un equipo técnico que pueda llevar a cabo las estrategias en materia de GIR y su seguimiento.	Contar con un reglamento que permita tener certeza jurídica en materia de GIR en el municipio	Prevención de contaminación de playas, esteros, ríos y demás elementos naturales relevantes del municipio.
<b>Responsable</b>	Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente	Presidencia Municipal - Regidores Municipales		
<b>Tiempos</b>	Corto plazo	Corto plazo	Corto plazo	Mediano plazo
<b>Indicadores de seguimiento</b>	Publicación de PMPGIR	Creación de dirección o área específica en materia de GIR dentro del Ayuntamiento	Publicación de Reglamento Municipal en Materia de Residuos	Publicación de programa monitoreo y limpieza
Tipo de estrategia	Minimización			
<b>Estrategias</b>	Reducir la cantidad de residuos depositados en los SDF "El Gavilán" y "San Nicolas"			
<b>Acciones</b>	Diseñar e implementar una estrategia para la reducción de materiales desechables como los plásticos de un solo uso por parte de los sectores económicos estratégicos	Diseño e implementación de campaña de concientización en materia de separación de RSU y RME	Diseño e implementación de sistema de recolección diferenciada de residuos	Diseño e implementación de estrategia de prevención de generación y aprovechamiento de residuos orgánicos
<b>Resultados esperados</b>	Disminución en la generación de residuos, principalmente	Concientizar a la población y generar de manera progresiva hábitos	Contar con un sistema de recolección de residuos	Reducir la generación de residuos orgánicos y maximizar el

	plásticos de un solo uso por parte de sectores estratégicos como el hotelero.	de separación de residuos desde su fuente de generación	diferenciada, donde los usuarios y prestadores de servicio estén alineados	aprovechamiento de los que se generen mediante procesos ambientalmente adecuados
<b>Responsable</b>	Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente	Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente	Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente/Dirección de Servicios Públicos	Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente
<b>Tiempos</b>	Mediano plazo	Mediano plazo	Mediano plazo	Mediano plazo
<b>Indicadores de seguimiento</b>	1) Publicación de estratégica 2) Aceptación de estrategia en hoteles y demás sectores 3) Disminución en la generación de residuos	1) Publicación de campaña 2) Incremento en la separación de residuos desde su fuente de generación	1) Publicación de nuevo sistema de recolección 2) Incremento en la valorización de residuos 3) Disminución en la llegada de residuos reciclables a los rellenos sanitarios	1) Publicación de estrategia 2) Reducción de la generación de residuos orgánicos 3) Creación de infraestructura para el procesamiento y aprovechamiento de residuos orgánicos
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Restauración</b>			
<b>Estrategias</b>	Fortalecimiento de los SDF			
<b>Acciones</b>	Diseño e implementación de medidas o mejoras constructivas y operativas de los SDF		Elaboración de diagnóstico de contaminación en los alrededores de los SDF	
<b>Resultados esperados</b>	Mejorar las condiciones operativas de los rellenos sanitarios y prevenir la contaminación del medio natural inmediato a ellos		Identificar la posible presencia de contaminantes en los alrededores de los rellenos sanitarios	
<b>Responsable</b>	Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente - Dirección de Obras Públicas		Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente	
<b>Tiempos</b>	Corto plazo		Mediano plazo	
<b>Indicadores de seguimiento</b>	1) Creación de manual operativo y/o listado de medidas correctivas 2) Cumplimiento progresivo de cada una de las medidas correctivas definidas		Elaboración de diagnósticos	
<b>Tipo de estrategia</b>	<b>Compensación</b>			
<b>Estrategias</b>	Diseñar e implementar medidas de compensación para generadores de RME y RSU			
<b>Acciones</b>	Elaboración de bases reglamentarias para el diseño e instrumentación del sistema de tarifarias y cobro por los servicios de manejo de residuos prestados por el municipio			
<b>Resultados esperados</b>	Que el municipio cuente con herramientas que permitan garantizar la sostenibilidad financiera de sus sistemas de gestión de residuos			
<b>Responsable</b>	Dirección de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente			
<b>Tiempos</b>	Mediano plazo			
<b>Indicadores de seguimiento</b>	1) Publicación de sistema tarifario 2) Implementación progresiva de sistema tarifario por el manejo de residuos en el municipio			

## 8.2. Evaluación y auditoría

La evaluación y la auditoría periódica de la evaluación ambiental serán críticas para un control y seguimiento puntual de la implementación de las estrategias de mitigación. Asimismo, serán procesos que permitirán cuantificar el avance de su implementación y detectar posibles fallas para su pronta atención y corrección.

Por evaluación se entenderá como el proceso interno mediante el cual se realice un análisis detallado sobre el cumplimiento y la efectividad de las estrategias de mitigación de impactos ambientales potenciales previstos con la implementación del PMDU. Se recomienda que los procesos de evaluación sean llevados a cabo de manera anual como parte de los ejercicios de rendición de cuentas (informes) anuales de la administración municipal a la ciudadanía, que sean coordinados por la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente y que se realicen en conjunto con otras dependencias municipales involucradas en la implementación de las estrategias de mitigación. Los procesos de evaluación deberán resultar en un informe ejecutivo de acceso público en el cual se reporten como mínimo tres métricas: el nombre y número de estrategias cumplidas, el nombre y número de estrategias en proceso de implementación, y el nombre y número de estrategias para las cuales se considera alguna modificación, con sus justificaciones.

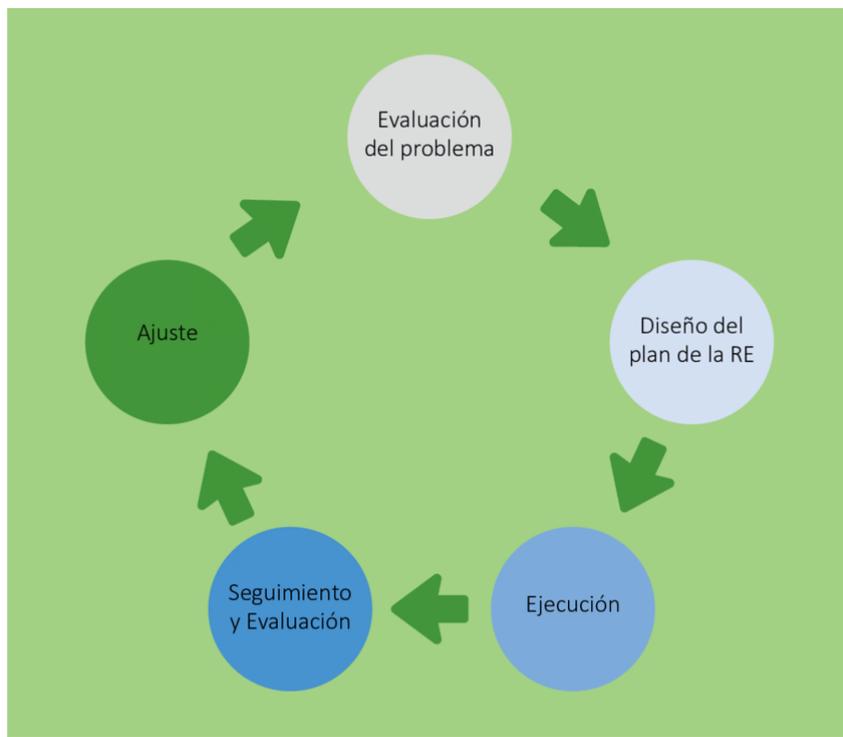
Por auditoría se entenderá como el proceso externo mediante el cual se realice un análisis detallado sobre el cumplimiento y la efectividad de las estrategias de mitigación, así como del desempeño de las dependencias involucradas en su implementación. Lo anterior, con el objetivo de detectar posibles fallas en el proceso de implementación y mejorar la coordinación entre dependencias para asegurar su implementación. Se recomienda que los procesos de auditoría sean llevados a cabo cada 3 años por una dependencia o grupo externo a la administración municipal. Los procesos de auditoría deberán resultar asimismo en un informe ejecutivo de acceso público en el cual se reporten las métricas de los procesos de evaluación mencionadas anteriormente, y que contenga acciones puntuales para lograr un avance efectivo en la implementación de las estrategias.

Cualquier cambio en el PMDU o alguno de los planes parciales de desarrollo urbano deberá analizarse en los procesos de evaluación y auditoría para determinar la necesidad de actualizar diagnósticos, análisis de impactos y/o estrategias de mitigación para los componentes ambientales relevantes.

### 8.3. Gestión adaptativa

Los procesos de definición de alcances y objetivos en temas ambientales, así como del diseño de rutas de trabajo y su implementación, son complejos debido a la variabilidad que presentan con el paso del tiempo y al fuerte efecto de las acciones antropogénicas. La gestión adaptativa permite afinar de manera constante los procesos de implementación con el fin de lograr los mejores resultados posibles.

La gestión adaptativa puede definirse como la práctica de ordenación o gestión que promueve la capacidad de un sistema para aprovechar las oportunidades o para hacer frente a los problemas del medio ambiente (FAO 2009). La gestión adaptativa es un proceso iterativo que permite la toma de decisiones complejas frente a sistemas variables como el medio ambiente. Gráficamente, se puede entender como se muestra en la siguiente Figura 100.



**Figura 100. Diagrama del proceso de gestión adaptativa (modificado de Williams et al., 2007).**

Se recomienda que, durante la implementación de las estrategias de mitigación, así como en los procesos de evaluación y auditoría, se utilice el enfoque de gestión adaptativa. Esto permitirá agilizar la implementación de estrategias de manera constante y mejorar su efectividad. Los procesos de evaluación y auditoría contribuirán de igual forma a este objetivo.

## **8.4. Comunicación y reporte**

Los procesos de actualización de los instrumentos de desarrollo urbano y de su evaluación ambiental son recientes en el contexto local. La comunicación en torno a estos procesos debe ser periódica y efectiva con el fin de lograr un seguimiento puntual y eficiente. Los procesos de seguimiento planteados en esta sección (monitoreo, evaluación y auditoría) deberán ser comunicados a través de informes ejecutivos de lenguaje accesible al público en general y puestos a disposición pública a través de internet. Asimismo, se considera recomendable su comunicación a través de reuniones públicas en las que se informe acerca de los avances y resultados, y se atiendan las posibles observaciones que el público interesado realice.

## 9. Conclusiones y recomendaciones

La evaluación ambiental permitió analizar la visión y objetivos plasmados en el PMDU y los planes parciales de desarrollo que el municipio impulsa como una política de crecimiento urbano más sustentable. La selección de los componentes ambientales relevantes y la conformación de las estrategias de mitigación fue un ejercicio de constante intercambio de información con las autoridades estatales y municipales, acompañadas en ocasiones por las observaciones de los consejos ciudadanos que se tienen en el municipio, lo que permitió enriquecer el diagnóstico y enfocar los esfuerzos.

La realización de este ejercicio en el municipio es nueva y evidenció la necesidad de contar con información actualizada y la importancia de generar una línea base en la evaluación de los instrumentos de planeación urbana para futuros ejercicios. Algo notable es que el PDMU en sí, cuenta con una serie de programas, proyectos y acciones en materia de gestión ambiental, identificados como retos y áreas de oportunidad para el municipio, lo que permitió generar una relación estrecha con los diferentes componentes ambientales y las estrategias de mitigación propuestas.

Cuando los avances fueron presentados ante los consejos y grupos técnicos del municipio, se constató el interés por el ejercicio y la importancia de contar con una evaluación ambiental para identificar los impactos ambientales por la política planteada. A diferencia de las evaluaciones de impacto ambiental convencionales, la evaluación ambiental con enfoque estratégico permitió el desarrollo de un ejercicio colaborativo de análisis enfocado en los principales retos que enfrenta el diseño de ciudad planteado.

Para los componentes ambientales evaluados se generó información y análisis nuevos que proyectar escenarios y estrategias para que el diseño de la ciudad se complemente con diferentes acciones que permitan procurar un cuidado de los servicios ecosistémicos con los que cuenta el municipio. Sin embargo, será en el seguimiento de la implementación de las estrategias donde se marcará la pauta del cumplimiento a en el transcurso del tiempo.

Con los compromisos adquiridos en el PMDU y los propuestos por esta evaluación, sin duda el mayor reto será integrar o ampliar un equipo de trabajo al interior del municipio en la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente para poder impulsar las acciones propuestas. Asimismo, se requerirá del apoyo y compromiso político en todo momento por parte de la administración municipal y de los recursos necesarios para lograr su implementación.

## 9.1. Pronóstico ambiental

El pronóstico ambiental depende en gran medida de la correcta ejecución de las estrategias de mitigación en los plazos establecidos. Asimismo, uno de los mayores retos que enfrentará la implementación del PMDU en un principio es el de realizar los programas que se propusieron como prioritarios para acompañar el crecimiento de la ciudad. Los programas y planes más importantes que deberá de contemplar la administración municipal son siguientes:

1. Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial Municipal
2. Programa de Gestión Integral de Residuos
3. Programa Integral de Manejo de Agua
4. Plan de Gestión de Áreas Verdes Urbanas y Comunidades Rurales
5. Actualización del Atlas de Riesgo Municipal
6. Implementación del Programa Municipal de Cambio Climático

Estos seis puntos y el fortalecimiento de la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente podrían generar un fuerte cambio en el municipio y acompañar de manera inicial el PMDU con una estructura en los temas ambientales más inmediatos.

El ordenamiento ecológico local y la delimitación adecuada de la zona urbana podría generar un sustento técnico ambiental y legal para el resto del municipio. Para ello será necesario generar las unidades de gestión ambiental que obedecen a la realidad y a las políticas de conservación planteadas. Generar este instrumento en un corto plazo arrojará de manera puntual los planes parciales propuestos.

Sin duda la actualización del Programa de Gestión Integral de Residuos podría generar un escenario positivo en muchos aspectos ambientales siempre y cuando su actualización y el planteamiento de las acciones a corto plazo sean implementadas efectivamente por la administración municipal. A manera de ejemplo, si en el instrumento se enfocan a tres años las acciones para realizar la recolección y tratamiento de los residuos orgánicos de la ciudad, se estaría resolviendo más del 50% del problema de gestión de residuos. Esto contrastaría con la implementación de decenas de medidas que, si bien son importantes, repercutirían en menor medida.

La creación del Programa de Gestión Integral de Manejo de Agua fortalecería un escenario a corto plazo con acciones positivas que se podrían ejecutar como es el caso de la instalación de módulos para la obtención de agua potable para consumo humano o las acciones encaminadas al consumo responsable por parte de los ciudadanos y turistas. El municipio cuenta con condiciones de calidad de agua y abundancia que son privilegiadas en un contexto de adaptación al cambio climático por lo que el diseño de acciones encaminadas a la protección de este recurso y los servicios ecosistémicos que brinda permitirá tener un escenario alentador en el crecimiento de la ciudad.

Del mismo modo que el anterior, el Programa de Gestión de Áreas Verdes permitirá al municipio mejorar en muchos temas relativos a la vegetación y arbolado urbano. A manera de ejemplo, de comenzar a establecerse decretos y planes de manejo de áreas naturales protegidas a nivel municipal en torno a los ríos que atraviesan la ciudad, se permitiría generar programas de trabajo y beneficios puntuales. Este

programa podría integrar parte de las acciones en materia de fauna que requiere la ciudad y ayudaría en un futuro a fortalecer la idea de que la ciudad es un ecosistema vivo.

El PMDU y sus planes parciales plantea una planeación de espacios y capacidades por lo que la actualización del Atlas de Riesgo Municipal generaría información desde otro ángulo para fortalecer los instrumentos regulatorios como licencias y permisos que el municipio irá generando con el tiempo. En este escenario la información actualizada y ampliada formaría parte crucial para la toma de decisiones en proyectos particulares.

Por último, la implementación de las acciones del Programa Municipal de Cambio Climático permitiría agrupar acciones y proyectos de forma transversal al interior del municipio que repercutieran en uno de los mayores retos ambientales que enfrenta la ciudad. En este tema en particular el municipio cuenta con un instrumento actualizado y arropado por el estado, GIZ (Sociedad Alemana de Cooperación Internacional) y consultores especializados en la materia que se ha traducido en acciones específicas y puntuales que coinciden con estrategias de mitigación planteadas en el presente reporte. Por lo anterior, en un escenario de implementación efectivo, se podrían generar acciones que beneficien a varios componentes ambientales relevantes.

Algunas de las estrategias planteadas en este reporte pueden integrarse o trabajarse de manera paralela a los seis puntos planteados como prioritarios. Por lo anterior, en un escenario donde los seis puntos planteados y el fortalecimiento de la Dirección de Planeación Urbana y Medio Ambiente sean una realidad, se prevén acciones positivas en los componentes ambientales relevantes a partir de la implementación del PMDU. Caso contrario, en donde se dejen de lado o existan atrasos importantes en su implementación, la sinergia de acciones encaminadas a una ciudad más sustentable se podría ver debilitada.

## 9.2. Recomendaciones para evaluaciones de impacto ambiental

La evaluación ambiental arrojó estrategias de mitigación que permitirán afinar y dirigir algunas de las acciones a los tomadores de decisiones al interior del municipio, no obstante, el municipio sigue teniendo el interés por muchos promoventes de realizar proyectos que son evaluados a través de Evaluación de Impacto Ambiental en los tres órdenes de gobierno que ingresan todos los días.

Dentro del área de medio ambiente del municipio que se encarga de la evaluación de las manifestaciones de impacto ambiental se tiene experiencia para revisar los proyectos, sus impactos y sus medidas de mitigación para emitir opiniones técnicas que fortalezcan los desarrollos, es por ello que toda la información técnica desarrollada para este estudio y las medidas de mitigación propuestas permitirán mejorar y ampliar las observaciones para que apunte desde el municipio acciones encaminadas a una ciudad sostenible.

Algo es importante aclarar es que la mayoría de las estrategias de mitigación plantadas como resultado del trabajo requieren la elaboración de programas y planes por parte del municipio y que no pueden ser aplicadas a todos los proyectos de manera tácita, sin embargo, varias de las estrategias de mitigación propuestas pueden encaminar acciones al nivel del sistema ambiental o área de influencia que cada proyecto delimite.

Una vez desarrollados los cuatro programas sugeridos en el apartado 9.1, la actualización del atlas municipal de riesgo e integradas las acciones del Programa Municipal de Cambio Climático será sencillo comenzar a solicitar aspectos específicos a los proyectos en medidas de mitigación que abonen a los objetivos de los seis puntos principales.

Dentro de la información que se generó como parte de este documento se tienen coberturas que antes no se tenía para el municipio como la vulnerabilidad del acuífero que permitirá valorar proyectos de infraestructura y desarrollos para generar medidas de mitigación por su ubicación, o como es el caso de la información generada en el análisis de paisaje que ayudará tanto promoventes como al municipio para conocer las zonas más vulnerables al paisaje y poder emitir recomendaciones específicas.

Al igual que lo anterior la información generada para el componente ambiental de biodiversidad permitirá conocer si los proyectos caen en las zonas de mayor concentración de especies y de ahí partir para estar atentos a los registros levantados en los trabajos de campo para flora y fauna que ayuden a ampliar los registros al interior del municipio y que generen las medidas necesarias para disminuir los posibles impactos ambientales.

Los proyectos que tienen mayor interés de instalarse en el municipio suelen estar en ecosistemas costeros donde la atribución para la evaluación en materia de impacto ambiental es federal, sin embargo, se pueden hacer dos acciones para hacer que la federación integre la información a sus procesos de evaluación, entregar la información digital para que los equipos técnicos puedan hacer uso de ella y generar opiniones técnicas más enriquecidas cuando la federación solicite opinión al municipio. Lo anterior también se puede hacer con el gobierno estatal.

### **9.3. Recomendaciones de gestión y uso de información**

Al interior de la administración municipal y en instituciones educativas y no gubernamentales, se cuenta con un gran número de especialistas en temas de flora y fauna principalmente que pueden aportar información valiosa y puntos de vista para enriquecer futuras evaluaciones. Si bien se generó información importante como parte de la evaluación ambiental, será a través de los mecanismos de seguimiento sugeridos donde se continúe generando información que permita mejorar el entendimiento de los componentes ambientales relevantes del municipio y de los impactos generados por distintas actividades.

El municipio cuenta con un centro universitario importante que constantemente genera conocimiento local y aporta elementos a la mesa para mejorar futuros análisis ambientales.

## 9.4. Vinculación con Objetivos de Desarrollo Sustentable

Los instrumentos de planeación evaluados tomaron en cuenta objetivos del desarrollo sustentable como parte de sus consideraciones para construir el diseño de ciudad. La evaluación ambiental también integró la visión de las naciones unidas en estos objetivos en los procesos de análisis de cada uno de los componentes ambientales seleccionados.

A continuación, se muestra un análisis de la importancia de dichos objetivos con la evaluación ambiental que se realizó y que deberían de continuar siendo tomados en cuenta en las futuras auditorias o revisiones del instrumento.

Vinculación de las recomendaciones con los Objetivos de Desarrollo Sustentable de la Organización de las Naciones Unidas

ODS 3: Los instrumentos de planeación urbana buscan adaptarse a una realidad económica y social sobre un territorio definido donde confluyen múltiples intereses y en donde las personas buscan tener una vida equilibrada en un ambiente sano. Esto puede ser un verdadero reto en espacios donde las ciudades se encuentra con conflictos ambientales o sociales asociados al crecimiento desmedido de la zona urbana, pero en el caso de este municipio encontramos áreas de oportunidad para construir las políticas públicas en materia ambiental que puedan acompañar la idea de ciudad que se cobije en todo momento por programas, proyectos y acciones que la encaminen a tener una mejor calidad de vida.

Dentro del objetivo encontramos acciones enfocadas en mejorar la salud de la población, disminuir los accidentes y eliminar la exposición a sustancias tóxicas o ambientes contaminados por parte de la población, dicho objetivo toma relevancia en el contexto de la evaluación ambiental estratégica porque algunos de sus componentes ambientales como la vulnerabilidad del acuífero a ser contaminado y el actual manejo de residuos puede mejorar para no ser un problema en el futuro.

ODS 6: Este objetivo es uno de los que tienen mayor vinculación para la adaptación ante el cambio climático ya que tener agua limpia para todos y en la cantidad necesaria para la vida, así como la certeza de que los cuerpos de agua superficiales y subterráneo no se encuentra contaminados no es una tarea fácil para cualquier ciudad.

En un contexto inicial la ciudad goza de abundancia y calidad de agua subterránea al grado de poder entregar agua potable bebibible directamente de red pública, algo verdaderamente increíble en el país, del mismo modo cuenta con la operación de un programa de saneamiento de agua residual que ha logrado con el paso de los años satisfacer las necesidades de tratamiento de agua de la ciudad, no obstante la evaluación de estas dos condiciones permitirá tener un análisis adicional y ampliado a lo que ya maneja el municipio para poder proyectar a la par de su PMDU políticas, planes y programas que no solo conserven la calidad del agua actual si no que la mejoren y que ayuden a proyectar las infraestructuras en material de tratamiento de agua se necesitan.

El municipio se encuentra verdaderamente privilegiado por las condiciones geológicas que le han permitido almacenar cantidad y calidad el agua para el sustento y crecimiento de la ciudad, a pesar de

ello siempre serán vulnerables los acuíferos a ser contaminados y deberá de ser analizado con detenimiento cada infraestructura que pudiera compromete la calidad del agua.

ODS 11: El reto de unir el crecimiento urbano a la par del crecimiento social y el cuidado de elementos ambientales que requiere una ciudad no es una tarea fácil, equilibrar el uso de los recursos naturales y las necesidades de las ciudades es algo complejo que requiere de una visión amplia donde cada acción vaya vinculada con otras más.

Obtener en el mismo territorio los alimentos, el agua y los recursos naturales para proveer a una ciudad es no es cosa fácil, pero el municipio a través de su PMDU aborda el reto buscando tener un aprovechamiento de su valle agrícola y buscando integrar a las comunidades alejadas al crecimiento económico de la ciudad. Por una parte, la ciudad tendrá que proveer de los servicios para su funcionamiento, pero por otra parte deberá de cuidar que los impactos de la generación de esos servicios no comprometan el equilibrio ambiental de su ecosistema, ejemplos como un adecuado manejo de residuos, el cuidado de la abundante fauna local que habita en la ciudad y el cuidado de la calidad del aire son solo algunos de los retos que enfrenta el diseño de una política urbana.

El ejercicio de una evaluación ambiental estratégica sobre el PMDU y los planes parciales es un paso importante para mirar sobre los posibles impactos y necesidades en las que tendrá que trabajar el municipio para hacerse de todos los elementos a su alcance para no despegarse del objetivo de una ciudad y comunidad sostenible.

ODS 13: El objetivo busca obtener de sociedad y gobierno las acciones que puedan encaminar a mejorar los impactos sobre el cambio climático y el desarrollo de capacidades para adaptarse en lo que eso sucede, es por ello por lo que el municipio al tener un programa reciente de acción climática y al llevar a cabo ejercicios como la presente evaluación ambiental a sus políticas y planes abre la posibilidad para profundizar en que elementos deben de ser cuidados y protegidos.

Si bien los programas específicos de acción climática buscan tocar la mayor cantidad de temas y de englobar al mismo tiempo la interacción de la sociedad sobre el medio ambiente lo cierto es que existen componentes ambientales específicos que deben ser estudiados y analizados a profundidad para poder vincular las acciones establecidas en el programa municipal de acción climática.

El estudio de componentes ambientales dentro de la evaluación ambiental y la vinculación con lo ya establecido dentro del programa de acción climática podrán reforzar y ampliar las necesidades de contar con políticas, programas y proyectos que arropen el crecimiento de la ciudad hacia la sostenibilidad.

ODS 15: El municipio cuenta con divisiones marcadas en su territorio como lo es la zona urbana, el valle agrícola, la costa y la zona alta de montaña que hacen que cuente con elementos de diferentes ecosistemas terrestres que hacen una ciudad viva en materia de fauna rodeada de ecosistemas conservados. El objetivo de PMDU de aprovechar los espacios agrícolas sin continuar con el desmonte de su territorio y hacer una ciudad más compacta apuntan a disminuir el impacto sobre los ecosistemas terrestres.

A pesar de lo anterior es en la periferia de las ciudades donde el control sobre la presión de los bosques es más complejo ya que la supervisión es más difícil y las necesidades de la población por hacerse de

recursos naturales más grande, razón por la cual evaluar la importancia ambiental que tienen los ecosistemas terrestres y como una política de aprovechamiento agrícola pudiera incidir en el cuidado del medio ambiente son elementos que pueden ayudar a la gestión del territorio.

## 10. Referencias

- Abbona, E., & Sarandón, S. (2014). *Manejo de nutrientes en los agroecosistemas*. En *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables* (pp. 211-234). Buenos Aires: Editorial de la Universidad de La Plata.
- Ahumada-Cervantes, Brenda; Pelayo-Torres, María Candelaria; Arano-Castañón, Arturo, (2012). *Sustentabilidad ambiental, del concepto a la práctica: Una oportunidad para la implementación de la evaluación ambiental estratégica en México*. *Gestión y política pública*, 21(2), 291-332. Recuperado en 12 de octubre de 2020, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-10792012000200001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792012000200001&lng=es&tlng=es).
- Aguilar, A. Palafox, A. Ortiz, A. Julis, S. (2015). *El turismo y la transformación del paisaje natural*. Redalyc. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/pdf/859/85939868002.pdf> (24 septiembre 2020).
- Aguiló, M. (2007). *Metodología para la valoración de la fragilidad visual del paisaje*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Obtenido de: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/2035/2236> (22 mayo 2020).
- Alshuwaikhat, Habib. (2005). *Strategic environmental assessment can help solve environmental impact assessment failures in developing countries*. *Environmental Impact Assessment Review*. 25. 307-317. 10.1016/j.eiar.2004.09.003.
- Antle, J. M., y Valdivia, R. O. (2006) *Modelling the supply of ecosystem services from agriculture: a minimum-data approach*. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 1-15.
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2015). *Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015*. Obtenido de: [https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1\\_es.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/ares70d1_es.pdf). (22 octubre 2020).
- ATSDR. (2016). *Resúmenes de Salud Pública - Cloro (Chlorine)*. Obtenido de [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs172.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs172.html). (2 octubre 2020).
- Auvinet, G. Méndez, E. Juárez, M. (2019). *Hundimiento regional en el Valle de México*. *Revista: Geotecnia* 252junio-agosto 2019. Obtenido de: <https://www.smig.org.mx/archivos/revista-trimestral-smig/revista-geotecnia-smig-numero-252.pdf> (25 de octubre 2020).
- Ayuntamiento de la Ciudad Real. (s.f.). *Guía de las buenas prácticas ambientales en el uso del agua*. Obtenido de: [http://www.lineaverdecidudadreal.com/documentacion/guias\\_buenas\\_practicas/guia\\_de\\_buenas\\_practicas\\_agua.pdf](http://www.lineaverdecidudadreal.com/documentacion/guias_buenas_practicas/guia_de_buenas_practicas_agua.pdf). (22 octubre 2020).
- Aboites L, Cifuentes E, Jiménez-Cisneros B, Torregrosa ML (2008). *Agenda Nacional del Agua*. Primera edición. Academia Mexicana de Ciencias. 60 pp.
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., & Hackett, G. (1987). *DRASTIC: A Standardized Method for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings*. NWWA/Epa-600/2-87-035, 455.
- Backhaus, A. & Fryd, O. (2012). *Analyzing the first loop design process for large-scale sustainable urban drainage system retrofits in Copenhagen, Denmark*. *Environment & Planning B: Planning & Design*, 39, 820-837.
- Banco Mundial. (2009). *Evaluación Ambiental Estratégica para la formulación de políticas, un instrumento para la buena gobernabilidad*. Obtenido de: <http://documents1.worldbank.org/curated/en/563231468162835294/pdf/446390PUBSPAN1al0Assesment1Spanish.pdf>. (10 octubre 2020).
- Barbosa, A.E., Fernandes, J.N. & David, L.M. (2012). *Key issues for sustainable urban stormwater management*. *Water Research (Oxford)*, 46, 6787-6798.
- Becken S. (2014) *Water equity – Contrasting tourism water use with that of the local community*. Obtenido de: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2212371714000341?token=EBE5D8D08B9577B0F2F6CB295>

- E1FC4856E043697E2B501CD7D5BE0DD4798167233293860C96C90D61A295F7F60B1E0D6 (25 de septiembre de 2020)
- Borobio, M. Castillo, F. García, M. López, J. Louzao, C. Nieto, E. Pérez, A. (2012). *Guía de estudios de impacto e integración paisajística*. Xunta de Galicia. Obtenido de: <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0670146.pdf> (14 septiembre 2020).
- Brown, R. & Clarke, J. (2007). *Transition to water sensitive urban design : the story of Melbourne, Australia /* Rebekah Brown and Jodi Clarke, [Clayton, Vic.] : Facility for Advancing Water Biofiltration, 2007.
- Brownlie, S y Treweek, J. (2018). Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos en la Evaluación de Impactos. Serie de Publicación Especial No. 3. Fargo, EEUU: Asociación Internacional para la Evaluación de Impactos.
- Burns, M. J., Fletcher, T. D., Walsh, C. J., Ladson, A. R. & Hatt, B. E. (2012). *Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform*. Landscape and Urban Planning, 105, 230-240.
- Canal de Isabel II Gestión. (2016). *Guía de buenas prácticas de comunicación para operadores de agua*. Obtenido de: <https://www.canaldeisabelsegunda.es/documents/20143/84800/guia-buenas-practicas.pdf/b3e103a0-a633-d9bd-a333-d00ed067ad84?t=1562583625018>. (22 octubre 2020).
- Carvajal, M., Mota, C., Alcaraz-López, M., & Martínez Ballesta, M. (n.d.). *Investigación sobre la absorción de CO2 para los cultivos más representativos de la región de Murcia*. Murcia: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Cavero, M. (2013). *Métodos de determinación de la vulnerabilidad en acuíferos*. GIDAHATARI. Obtenido de: <https://gidahatari.com/ih-es/metodos-determinacion-vulnerabilidad> (10 octubre 2020)
- CEMDA. (2019). *La Evaluación Ambiental Estratégica: Instrumento necesario para proteger el medio ambiente*. Obtenido de: [https://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2019/10/CEM\\_folleto\\_EAE.pdf](https://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2019/10/CEM_folleto_EAE.pdf). (11 octubre 2020).
- CENAPRED (2004). *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Versión 2004*. Obtenido de: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwitaeyYHtAhUJT6wKHXUFDX4QFjABegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fsrala.org%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F11%2FGuiaBasicaAtlasRiesgos\\_CENAPRED\\_Mexico2004.pdf&usg=AOvVaw3Xx2yl1BM5mn1bsAMSorw8](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwitaeyYHtAhUJT6wKHXUFDX4QFjABegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fsrala.org%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F11%2FGuiaBasicaAtlasRiesgos_CENAPRED_Mexico2004.pdf&usg=AOvVaw3Xx2yl1BM5mn1bsAMSorw8) (12 noviembre 2020)
- CENAPRED (2019). *Inundaciones*. Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Obtenido de: <https://www.cenapred.gob.mx%2Fes%2Fpublicaciones%2Farchivos%2F3-FASCULOINUNDACIONES.PDF&usg=AOvVaw2TZANXzyuF4PGUN7ANVbpa> (12 noviembre 2020).
- Chico Corona, M. H., 2018, *Estudio de caracterización composicional y textural de sedimentos costeros en Puerto Vallarta, Jalisco*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. (UNAM).
- City of Melbourne. (2013). *Stormwater harvesting*. Obtenido de: <http://www.melbourne.vic.gov.au/PARKSANDACTIVITIES/PARKS/Pages/StormwaterHarvesting.aspx> (20 septiembre 2020).
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2020). *Estación climatológica 14081 La Desembocadura*. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. Proyecto de Bases de Datos Climatológicos. Obtenido de: <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Mensuales/jal/00014081.TXT>. (28 octubre 2020).
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2009). *Manual de procedimientos para la delimitación de acuíferos*. Subdirección General Técnica - Gerencia de Aguas Subterráneas.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015a). *Programa Hídrico Estatal 2014-2018 de Jalisco*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 178 pp.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2002). *Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Puerto Vallarta, Estado de Jalisco*. México, D.F., 30 de abril de 2002. 8-20 pp.

- CONAMA (2016). *La Jerarquía de Mitigación como buena práctica en la gestión empresarial de la Biodiversidad*. Obtenido de: <https://www.calidadpascual.com/data/pdf/La-Jerarquia-de-Mitigacion-como-buena-practica-en-la-gestion-empresarial-de-la-BiodiversidadGrupo-de-trabajo-CONAMA.pdf> (31 de octubre 2020)
- Congreso del Estado de Jalisco, 2008. Código Urbano para el Estado de Jalisco.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2006). *Proyecciones de la población de México 2005-2050*. Obtenido de: <http://www.microrregiones.gob.mx/zap/poblacion.aspx?entra=nacion&ent=14&mun=067>. (6 septiembre 2020).
- Cotler, H., Martínez, M., & Etchevers, J. (2016). *Carbono orgánico en suelos agrícolas de México: Investigación y políticas públicas*. Terra Latinoamericana 34, 125-138.
- Cross-Sector Biodiversity Initiative (CSBI). (2005). *A cross-sector guide for implementing the Mitigation Hierarchy*. Obtenido de: <http://www.csbi.org.uk/wp-content/uploads/2017/10/CSBI-Mitigation-Hierarchy-Guide.pdf> (31 octubre 2020).
- Daily, G. (1997). *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems*. Washington DC: Island Press.
- Department of Water WA. (2005). *Stormwater Management Manual for Western Australia*. In: GOVERNMENT OF WESTERN AUSTRALIA (ed.).
- Díaz RE, Bravo LC, Alatorre LC, Sánchez E (2013). *Presión antropogénica sobre el agua subterránea en México: una aproximación geográfica*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía de la UNAM, 82: 93-103.
- Directiva Marco Europea del Agua –DMA- (2000). *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 23 de octubre de 2000, que se establece un marco el ámbito de la política de aguas*. Diario Oficial de las Comunidades Europeas.73 pp.
- DOF. (2016). *Acuerdo por el que se dan a conocer las zonas de disponibilidad que corresponden a las cuencas y acuíferos del país, en términos del último párrafo del artículo 231 de LFD vigente*. Publicado el 25 de julio de 2016. 53 pp.
- Doménech, Javier. (2004). *Ozono frente a cloro*. Obtenido de: <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-ozono-frente-cloro-13061803>. (24 septiembre 2020).
- Eberhardt, Alfred; Dusik, Jiri; Pérez, Felipe; Tarr, Peter, (s. f.), *Evaluación Ambiental Estratégica, Manual de Formación*.
- Ebrahimi, Z., R. Ghavazi, R. (2015). *Assessing groundwater vulnerability to contamination in an arid environment using DRASTIC and GOD models*. Obtenido de: <http://www.bioline.org.br/pdf?st15273>. (22 octubre 2020).
- Ecodes. (s.f.). *Catálogo de buenas prácticas, Recopilación, análisis y evaluación de experiencias en uso eficiente de agua en municipios del ámbito nacional e internacional*. Obtenido de: <https://ecodes.org/documentos-ecodes/category/19-catalogos-agua-ecodes?download=20:catalogo-bp-agua-ecodes>. (22 octubre 2020).
- Ellen Macarthur Foundation. (s.f.) *Concept: What Is a Circular Economy? A Framework for an Economy That Is Restorative and Regenerative by Design*. Obtenido de: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circulareconomy/concept>. (29 septiembre 2020).
- Environment Institute of Australia and New Zealand Inc. (EIANZ). (2016). *Good Practice Scoping in Impact Assessment*. Obtenido de: <https://www.eianz.org/document/item/3302>. (22 octubre 2020).
- Escribano, M. M., Frutos, M., Iglesias, E., Mata, E., I. Torrecilla. (1987). *El Paisaje*. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y el Medio Ambiente. Madrid.
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM). (2005). *Estamos gastando más de lo que poseemos, Capital Natural y Bienestar Humano*. Obtenido de: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.440.aspx.pdf> (15 agosto 2020).
- Fernández, J.M. Francisco, M. (2005). *Indicadores ambientales: biodiversidad y paisaje*. Gobierno Vasco. Obtenido de:

- [https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/indicadores\\_biodiversidad/es\\_doc/adjuntos/2004.pdf](https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/indicadores_biodiversidad/es_doc/adjuntos/2004.pdf) (03 octubre 2020).
- FAO. (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. 2008. *Base referencial mundial del recurso suelo: Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional*. Consultado en: <http://www.fao.org/3/a-a0510s.pdf> (05 octubre 2020)
- FAO. 2020. *Soils | Land & Water*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Consultado en: <http://www.fao.org/land-water/land/httpwwwfaoorgsoils-portal/en/> (05 octubre 2020)
- Faybishenko B, Nicholson TJ, Shestopalov V, Bohuslavsky A, Bublías V -editores- (2015). *Groundwater Vulnerability Chernobyl Nuclear Disaster*. American Geophysical Union – John Wiley & Sons, Inc. Estados Unidos. 137 pp.
- Fletcher, T. D., Walsh, C. J., Bos, D., Nemes, V., Rosrakesh, S., Prosser, T., Hatt, B. & Birch, R. (2011). *Restoration of stormwater retention capacity at the allotment-scale through a novel economic instrument*. *Water Science & Technology*, 64, 502.
- Fletcher, T.D., Walsh, C.J., Bos, D., Nemes, V., Rosrakesh, S., Prosser, T., Hatt, B. & Birch, R. (2011). *Restoration of stormwater retention capacity at the allotment-scale through a novel economic instrument*. *Water Science & Technology*, 64, 502.
- Flores, C., & Sarandón, S. (2014). *Manejo de la biodiversidad en los agroecosistemas*. En *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables* (pp. 342-374). Buenos Aires: Editorial de la Universidad de La Plata.
- Flores, C., & Sarandón, S. (2014). *Desarrollo y evolución de los ecosistemas*. En *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables* (pp. 159-189). Buenos Aires: Editorial de la Universidad de La Plata.
- Foster, S., Hirata R., Gomes D., D'Elia M., Paris M., (2002). *Groundwater Quality protection a guide for water utilities, municipal authorities, and environmental agencies*. The World Bank, Washington D.C.
- Fryd, O., Dam, T. & Jensen, M. B. (2012). *A planning framework for sustainable urban drainage systems*. *Water Policy*, 14, 865-886.
- Fuentes-Pérez, Carlos Alberto. (2015). *Islas de calor urbano en Tampico, México: Impacto del microclima a la calidad del hábitat*. *Nova scientia*, 7(13), 495-515. Obtenido de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-07052015000100024&lng=es&tling=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052015000100024&lng=es&tling=es). (2 de septiembre de 2020)
- Fundingsland-Tetlow, M., Hanusch, M., (2012). *Strategic environmental assessment: the state of the art*. *Impact Assess. Proj. Apprais.* 30, 15–24. <https://doi.org/10.1080/14615517.2012.666400>
- Gálvez-Salinas, José Alfonso. (2013). *Criterios para la planificación y el diseño de corredores fluviales urbanos para la mitigación de la isla de calor (urban heat island)*. Obtenido de: [http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/foro2013/CT%202013/Paneles/1896709766\\_panel.pdf](http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/foro2013/CT%202013/Paneles/1896709766_panel.pdf) (28 octubre 2020)
- Gartland, L. (2008). *Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas*. Earthscan. London, UK.
- GeoEnciclopedia. (2016,). *Onda de Calor*. Información y Características. Obtenido de: <https://www.geoenciclopedia.com/onda-de-calor/> (12 noviembre 2020).
- Giraldo Gómez, E. (2014). *¿Combinar o separar? Una discusión con un siglo de antigüedad y de gran actualidad para los bogotanos*. *Revista De Ingeniería*, 0(11), 21-30. doi:10.16924/riua.v0i11.571
- Gobierno del Estado de Jalisco. (2003). *Puerto Vallarta*. Obtenido de: <https://www.jalisco.gob.mx/es/jalisco/municipios/puerto-vallarta> (16 agosto 2020).
- Gobierno Municipal de Puerto Vallarta. (2010). *Plan Municipal de Desarrollo 2030, producción agrícola*.

- Haydar Mordecai, Simón Tadeo, (2016). *¿Separar o combinar las aguas de drenaje urbano? - el caso de las ciudades con alto porcentaje de auto construcción.* Obtenido de: <http://biblioteca.uniandes.edu.co/acepto201699.php?id=8907.pdf> (16 septiembre 2020).
- Hyman M, Dupont RR (2001). *Groundwater and soil remediation: process design and cost estimating of proven technologies.* Sociedad Americana de Ingeniería Civil (ASCE). Estados Unidos. 559 pp.
- Huss, A. Jiménez, A. Escrivá, M. Sánchez, P. Martín, G. Ruiz, M. Surinyach, G. Cerveró, L. Pardo, R. Miguel, A. Sanmartín, C. Doménech, V. Puertas, A. Monfort, G. (2012). *Guía metodológica, estudio de Paisaje.* Subdirección General de Ordenación, Planificación y Actuaciones Territoriales Estratégicas. Valencia, España. Pp. 111
- Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco (IEG Jalisco), 2018. *Puerto Vallarta: Diagnóstico Municipal.* Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco.
- Instituto Nacional de Ecología (INE), (2000). *La evaluación del impacto ambiental: Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000.* Obtenido de: [http://centro.paot.org.mx/documentos/ine/eva\\_impacto\\_ambiental.pdf](http://centro.paot.org.mx/documentos/ine/eva_impacto_ambiental.pdf) (30 octubre 2020).
- International Association for Impact Assessment (IAIA). (2018). *Fastips No. 18: Scoping.* Fargo, ND, Estados Unidos de América.
- International Association for Impact Assessment (IAIA). (2016). *Fastips No. 13: Ecosystem Services in SEA for Spatial Planning.* Fargo, ND, Estados Unidos de América.
- International Association for Impact Assessment (IAIA). (2013). *Fastips No. 6: La Mitigación en la Evaluación de Impacto* Obtenido de: [https://www.iaia.org/pdf/Fastips\\_6%20Mitigation\\_sp.pdf](https://www.iaia.org/pdf/Fastips_6%20Mitigation_sp.pdf). (1 noviembre 2020)
- International Association for Impact Assessment (IAIA). (2012). *Notas Breves: Evaluación de Impactos.* Asociación Internacional de Evaluación de Impactos. Fargo, ND. Obtenido de: <https://www.iaia.org/fasttips.php>. (10 octubre 2020).
- International Association for Impact Assessment (IAIA). (2010). *La Evaluación de Impactos y el Desarrollo Responsable de la Infraestructura, los Negocios y la Industria.* IAIA11, Puebla, México. Obtenido de: [https://conferences.iaia.org/2011/pdf/First%20Announcement\\_11\\_spa.pdf](https://conferences.iaia.org/2011/pdf/First%20Announcement_11_spa.pdf). (11 octubre 2020).
- International Association for Impact Assessment (IAIA). (2009). *¿Qué es la evaluación de impactos?* Obtenido de: [https://www.iaia.org/pdf/special-publications/What%20is%20IA\\_spa.pdf](https://www.iaia.org/pdf/special-publications/What%20is%20IA_spa.pdf). (10 octubre 2020).
- INEGI. (2008). *Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México.* Dirección de Capacitación. Obtenido de: [https://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/internet/1geografiademexico/manual\\_carac\\_eda\\_fis\\_vs\\_enero\\_2\\_9\\_2008.pdf](https://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/internet/1geografiademexico/manual_carac_eda_fis_vs_enero_2_9_2008.pdf) (10 octubre 2020).
- INEGI, c2012. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). *Guía para la interpretación de cartografía hidrológica: Serie II.*
- Jiliberto Herrera, R., y Bonilla Madriñán, M. (2009). *Guía de evaluación ambiental estratégica.* Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Obtenido de: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3734/1/S2009742\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3734/1/S2009742_es.pdf). (22 octubre 2020).
- Joint Steering Committee for Water Sensitive Cities (JSCWSC) (2009). *Evaluating options for water sensitive urban design - a national guide.* DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, W., HERITAGE AND THE ARTS (ed.). Canberra.
- Klein, A., Vaissière, B., Cane, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2006). *Importance of pollinators in changing landscapes for world crops.* Proceedings of The Royal Society B: Biological Sciences, 303-313.
- Knous, N. Bachaoui, E.M. Boudhar, A. (2016). *Cartography of intrinsic aquifer vulnerability to pollution using GOD method: Case study Beni Amir groundwater, Tadla, Morocco.* JMES. Obtenido de: [https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol8/vol8\\_N3/112-JMES-2129-Knouz.pdf](https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol8/vol8_N3/112-JMES-2129-Knouz.pdf) (24 agosto 2020).

- Lal, R. (2004). *Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security*. Science Special Section: Soils the Final Frontier. Vol. 304, 1623-1627.
- Lapstun, S. (2015). Restauración de Bosques y paisajes. *Unasylva*. Vol. 66. Núm. 245. FAO. Pp. 6.
- Lesser, J.M., Cortés M.A. (1998). *El hundimiento del terreno en la ciudad de México y sus implicaciones en el sistema de drenaje*. Obtenido de: <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/articleCms/download/805/798>. (25 de octubre 2020).
- Ley de Transición Energética. Obtenido de: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>. (12 octubre 2020).
- LAN (1992) Ley de aguas Nacionales y su reglamento. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)
- Li Lou, Shane Romig, (2020). *El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial*. Obtenido de: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank>. (2 octubre 2020).
- Maderey, L.E. (1990). 'Evapotranspiración real' en Hidrogeografía IV.6.6. Atlas Nacional de México. Vol. II Escala 1 4000000. Instituto de Geografía UNAM. México. Obtenido de: [http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/evapr4mgw.xml?\\_httpcache=yes&\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc\\_html.xsl&\\_indent=no](http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/evapr4mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no). (2 octubre 2020).
- Marcos S., B., A.R., M. C., López U., G., López O., C., & Arteaga R., T. (2016). *La biomasa de los sistemas productivos de maíz nativo (Zea mays) como alternativa a la captura de carbono*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 361-367.
- Mancipe Arias LM, Triviño Restrepo MP (2018). *Valoración de lodos de plata de tratamiento de aguas residuales (PTAR) como materia prima para la extracción de lípidos en la obtención de biodiesel*. rev.ion. 2018;31(1):71-79. doi: 10.18273/revion.v31n1-2018012
- Melbourne Water. (2005). *WSUD engineering procedures : stormwater*, Melbourne : CSIRO Publishing, 2005.
- Millennium Ecosystem Assessment (MA). (2005). *Ecosystems and Human Well-Being, Synthesis*. Obtenido de: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>. (16 agosto 2020).
- Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno de Chile. (2016). *Guía de Calidad del Aire y Educación Ambiental*. Obtenido de: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-para-Docentes-Sobre-Calidad-del-Aire-003.pdf>. (15 agosto 2020).
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2012). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO D. Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias*. -- 2da. Ed. / Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico (Ed.); Universidad de los Andes. Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados –CIACUA (consultor). Bogotá, D.C. Colombia, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Newman, P. (2001). *Sustainable urban water systems in rich and poor cities-steps towards a new approach*. Water Science & Technology, 43, 93-99.
- NRDC. (2010). *Rebuilding Chicago's stormwater and wastewater systems for the 21st century: understanding hydrologic conditions in the region technical report, October 2010*. Obtenido de: [https://www.nrdc.org/sites/default/files/wat\\_10102001a.pdf](https://www.nrdc.org/sites/default/files/wat_10102001a.pdf). (22 octubre 2020).
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2004) *Guidelines for drinking water quality*, 3RD ED., OMS, Ginebra.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2014). *El derecho humano al agua y al saneamiento*. Obtenido de: [https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human\\_right\\_to\\_water.shtml](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml) (19 septiembre 2020).
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *Agua y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de: [https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/WM\\_IIIESP.pdf](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/WM_IIIESP.pdf). (22 octubre 2020).
- Ojeda G. (2016). *Recarga Artificial del Acuífero (Managed Aquifer Recharge)*. La Serena, Chile.

- Paleologos, M., & Flores, C. (2014). *Principios para el manejo ecológico de plagas*. En Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables (pp. 260-285). Buenos Aires: Editorial de la Universidad de La Plata.
- Parkinson, J. & Mark, O. (2005). *Urban stormwater management in developing countries / Jonathan Parkinson and Ole Mark*, London: IWA Publishing, 2005.
- Pereira, M. (2019). *Ventilación cruzada, efecto chimenea y otros conceptos de ventilación natural*. [Ventilação cruzada? Efeito chaminé? Entenda alguns conceitos de ventilação natural]. Plataforma Arquitectura. (Trad. Caballero, Pilar). Obtenido de: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/889075/ventilacion-cruzada-efecto-chimenea-y-otros-conceptos-de-ventilacion-natural> (3 noviembre 2020).
- Perrot-Maître, D. (2006). *The Vittel payments for ecosystem services: a "perfect" PES case?* Londres: International Institute for Environment and Development.
- Piscopo, G. (2001). *Groundwater vulnerability map explanatory notes*. NSW Department of Land and Water Conservation.
- Pleno del Ayuntamiento Constitucional. (2020). *Programa Municipal de Cambio Climático de Puerto Vallarta, Jalisco 2020-2030*. Gaceta Municipal de Puerto Vallarta, Jalisco, año 2, número 12. H. Ayuntamiento Constitucional de Puerto Vallarta, Jalisco. Puerto Vallarta, México.
- PMDU, 2020. *Programa Municipal de Desarrollo Urbano 2050 para el municipio de Puerto Vallarta, Jalisco*. 77 pp, 34 pp.
- Power, A. G. (2010). *Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies*. Food security: feeding the world in 2050, 2959-2971.
- Ready. (2020). *Tsunamis: Desastres y emergencias*. Obtenido de: <https://www.ready.gov/es/tsunamis> (18 septiembre 2020).
- Rizo-Decelis LD (2017). Consideraciones sobre la calidad del agua del río Santiago (México) y cartografía de vulnerabilidad a la contaminación de acuíferos de su cuenca, para una adecuada gestión y planificación hidrológica. Tesis Doctoral en Ciencias. Universidad de Málaga, España. 205,206 pp.
- Rodríguez, Diego J.; Serrano, Hector Alexander; Delgado, Anna; Nolasco, Daniel; Saltiel, Gustavo. (2020). *From Waste to Resource: Shifting Paradigms for Smarter Wastewater Interventions in Latin America and the Caribbean*. World Bank, Washington, DC. © World Bank. Obtenido de: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/33436> (3 octubre 2020).
- Rosário-Partidario, Maria do. (2012). *Guía de Mejores Prácticas para la Evaluación Ambiental Estratégica: Orientaciones metodológicas para un pensamiento estratégico en EAE*. Obtenido de: [https://www.iaia.org/pdf/special-publications/Guia\\_Evaluacion\\_Ambiental\\_Estrategica\\_\(01.04.14\).pdf](https://www.iaia.org/pdf/special-publications/Guia_Evaluacion_Ambiental_Estrategica_(01.04.14).pdf). (5 noviembre 2020)
- Ross, C.W., L. Prihodko, J.Y. Anchang, S.S. Kumar, W. Ji, N.P. Hanan. (2018). *Global Hydrologic Soil Groups (HYSOGs250m) for Curve Number-Based Runoff Modeling*. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1566>
- Roy, A., Wenger, S., Fletcher, T., Walsh, C., Ladson, A., Shuster, W., Thurston, H. & Brown, R. (2008). *Impediments and Solutions to Sustainable, Watershed-Scale Urban Stormwater Management: Lessons from Australia and the United States*. Environmental Management, 42, 344-359.
- Ruiz, A. Amador, J.E. (2018). *El consumo de agua de turistas en hoteles comparado con el consumo de agua de residentes en hogares caso: Guanajuato, México*. Revista Turydes: Turismo y Desarrollo, n. 24 (junio / junho 2018). Obtenido de: <https://www.eumed.net/rev/turydes/24/agua-turismo.html> (24 de septiembre 2020)
- Rutz-Lopez, M. y Nuñez-Cornú, F. J., (2004). *Sismotectónica del norte y oeste del bloque de Jalisco usando datos sísmicos regionales*. Centro de Sismología y Vulcanología de Occidente, Universidad de Guadalajara.

- Sánchez-Zafra, Alicia, (2008). *Efectos de los trihalometanos sobre la salud*. Obtenido de: <http://www.elaguapotable.com/Efectos%20de%20los%20THM%20sobre%20la%20salud.pdf> (14 noviembre 2020)
- Santos Pires, Paulo. 2011. *Marco teórico – metodológico de los estudios de paisaje*. Estudios y Perspectivas del Turismo, 20 (3): 522-541.
- San Román Sánchez, F. J., (2008). *Conceptos Fundamentales de Hidrogeología, Clasificación de las formaciones geológicas según su comportamiento hidrogeológico*. Dpto. Geología-Universidad de Salamanca, España. Obtenido de: [http://hidrologia.usal.es/temas/Conceptos\\_Hidrogeol.pdf](http://hidrologia.usal.es/temas/Conceptos_Hidrogeol.pdf) (22 octubre 2020).
- Sarandón, S., Flores, C., Gargoloff, A., & Blandi, M. (2014). *Análisis y evaluación de agroecosistemas: construcción y aplicación de indicadores*. En *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables* (pp. 375-410). Buenos Aires: Editorial de la Universidad de La Plata.
- Schuhmann, P., Skeete, R., Waite, R., Bangwayo-Skeete, P., Casey, J., Oxenford, H. A., & Gill, D. A. (2019). Coastal and marine quality and tourists' stated intention to return to Barbados. *Water*, 11(6), 1265.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *Estadística de Producción Agrícola*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera: Obtenido de: <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php> (23 septiembre 2020).
- Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMARNAT), (2006). *Hacia el desarrollo sustentable, Avances, retos y oportunidades Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental (2001-2006)*. Obtenido de: [http://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/Libro\\_Semarnat\\_FINAL.pdf](http://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/Libro_Semarnat_FINAL.pdf) (30 octubre 2020)
- Secretaría General de Gobierno (s. f.). *Puerto Vallarta. Gobierno del Estado de Jalisco*. Obtenido de: <https://www.jalisco.gob.mx/es/jalisco/municipios/puerto-vallarta> (18 septiembre 2020).
- Sistema Nacional de Información del Agua -SINA- (2015). *Mapa de acuíferos, por región hidrológico-administrativa*. (Consultado el 22/11/2017)
- Servicio de Recursos Agrícolas. (2013). *Los árboles frutales como sumideros de CO2 desempeñan un importante servicio ambiental*. Informaciones Técnicas Número 248.
- Serrano, J. (2018). *Falta gestión para hacer valer el decreto de protección del Centro Histórico de Puerto Vallarta*. Universidad de Guadalajara. En <https://www.udg.mx/es/noticia/falta-gestion-para-hacer-valer-decreto-proteccion-centro-historico-puerto-vallarta> (Consultado: octubre 2020)
- Sharp, R., Wolny, S., Arkema, K., Bernhardt, J., Bierbower, W., Chaumont, N., Denu, D., Fisher, D., Glowinski, K., Griffin, R., Guannel, G., Guerry, A., Johnson, J., Hamel, P., Kennedy, C., Kim, C.K., Lacayo, M., Lonsdorf, E., Mandle, L., Rogers, L., Silver, J., Toft, J., Verutes, G., Vogl, A.L., Wood, S., Wyatt, K. (2020). *INVEST 3.8.8.post7+ug.gc993a4f User's Guide*. The Natural Capital Project. Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.
- Sistema de Servicios de Agua Potable, Drenaje y Alcantarillado (SEAPAL). (2015). *El Agua Potable de Puerto Vallarta, una de las mejores del país*. Obtenido de: <http://www.seapal.gob.mx/el-agua-potable-de-puerto-vallarta-una-de-las-mejores-del-pais/>. (22 octubre 2020).
- Sistema de Servicios de Agua Potable, Drenaje y Alcantarillado (SEAPAL). (2019). *SEAPAL Vallarta trata y sanea el 100% de las aguas residuales*. Obtenido de: <http://www.seapal.gob.mx/seapal-vallarta-trata-y-sanea-el-100-de-las-aguas-residuales/> (7 septiembre 2020).
- Slootweg, R., et al. (2006). *Biodiversity in EIA and SEA*. Comisión para la Evaluación Ambiental de Países Bajos (MER). ISBN-10: 90-421-1811-3
- Stupino, S., Iermanó, M., Gargoloff, N., & Bonicatto, M. (2014). *La biodiversidad en los agroecosistemas*. En *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables* (pp. 131-158). Buenos Aires: Editorial de la Universidad de La Plata.
- Surhone, L.M., Timpledon, M. T. & Marseken, S. F. (2009). *Sustainable landscape architecture : sustainable design, sustainable urban drainage systems, fauna, flora, green roof, green garden, context theory* / Lambert M.

- Surhone, Miriam T. Timpledon, Susan F. Marseken (ed.), [S.I.] : Betascript Pub. ; Mauritius : VDM Publishing House, 2010.
- Swinton, S. M., Lupi, F., Robertson, G. P., & Hamilton, S. K. (2007). *Ecosystem services and agriculture: Cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits*. Ecological Economics, 245-252.
- Swinton, S. M., Lupi, F., Robertson, G. P., & Landis, D. A. (2006). *Ecosystem services from agriculture: Looking beyond the usual suspects*. American Journal of Agricultural Economics, 1160-1166.
- Tejeda González, Juan; Alfaro de la Torre, M.C.; Medellín Milán, Pedro. (2014). *Present status of the implementation of strategic environmental assessment in Mexico*. Journal of Environmental Assessment Policy and Management. 16. 1450021. 10.1142/S1464333214500215.
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB). (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB*. UNEP, Geneva.
- Therivel, R. (2010). *Strategic Environmental Assessment in Action*. Routledge, Florence, United Kingdom.
- Treweek, J., Therivel, R., Thompson, S., Slater, M. (2005). *Principles for the use of strategic environmental assessment as a tool for promoting the conservation and sustainable use of biodiversity*. J. Environ. Assess. Policy Manag. 07, 173–199. <https://doi.org/10.1142/S1464333205002043>
- UDG. (2014). *Atlas de Riesgo por Amenazas Naturales en el Municipio de Puerto Vallarta, Jalisco*. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades, Departamento de Geografía y Ordenamiento Territorial, Centro Universitario de la Costa, Centro de Sismología y volcanología de Occidente.
- USDA-NRCS. 2014. Chapter 9: Hydrologic Soil-Cover Complexes. *NRCS National Engineering Handbook, Part 630: Hydrology*.
- UNEP. (2014). *Eficiencia en el uso del agua y la energía*. Obtenido de: [https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/01\\_2014\\_water\\_energy\\_efficiency\\_spa.pdf](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/01_2014_water_energy_efficiency_spa.pdf). (22 octubre 2020).
- Universidad de Chile. (2006). *Sobre inundaciones y anegamientos*. Revista de Urbanismo. Obtenido de: [https://web.uchile.cl/vignette/revistaurbanismo/CDA/urb\\_simple/0,1310,SCID%253D19144%2526ISID%253D668%2526IDG%253D2%2526ACT%253D0%2526PRT%253D19141,00.html](https://web.uchile.cl/vignette/revistaurbanismo/CDA/urb_simple/0,1310,SCID%253D19144%2526ISID%253D668%2526IDG%253D2%2526ACT%253D0%2526PRT%253D19141,00.html) (18 septiembre 2020).
- Universidad de Guadalajara. (2014). *Atlas de Riesgos por Amenazas Naturales en el Municipio de Puerto Vallarta, Jalisco 2014*. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades. Departamento de Geografía y Ordenación Territorial. Centro Universitario de la Costa. Centro de Sismología y Vulcanología de Occidente.
- United States Environmental Protection Agency –USEPA- (2013). *Introduction to in situ biorremediation of groundwater*. Office of Solid Waste and Emergency Response. Documento número 542-R-13-018. 86 pp.
- Velázquez, Ingeniero R. (7 de octubre de 2020a). *Preguntas concernientes a la dirección de SEAPAL*. (R. Román, Entrevistador) Recuperado el 28 de octubre de 2020.
- Velázquez, Ingeniero R. (27 de octubre de 2020b). *Preguntas respecto al tratamiento de agua y lodos residuales de cada una de las PTARs*. (R. Román, Entrevistador) Recuperado el 28 de octubre de 2020.
- Vidal, C., y Romero, H. (2010). *Efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos Bío-bío y Andalién sobre los riesgos de inundación y anegamiento de la ciudad de Concepción*. Universidad San Sebastián. Obtenido de: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/118084/EfectosAmbientalesde.pdf?sequence=1>. (22 octubre 2020).
- Villanueva-Solis, J., Ranfla, A., Quintanilla-Montoya, A.L. (2012). *Isla de Calor Urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido Extremo*. Obtenido de: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v24n1/art03.pdf> (29 octubre 2020)

- VIQUA. (2015). *La luz UV frente al cloro*. Obtenido de: [https://viqua.com/wp-content/uploads/LIT-520278-R\\_RevA\\_UV-vs-Chlorine\\_SPANISH-LR.pdf](https://viqua.com/wp-content/uploads/LIT-520278-R_RevA_UV-vs-Chlorine_SPANISH-LR.pdf). (20 septiembre 2020).
- Walsh, C.J. 2004. *Urban stormwater and the ecology of streams* / Christopher J. Walsh ... [et al.], Canberra: Cooperative Research Centre for Freshwater Ecology and Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, 2004.
- Wilson, D. C., Rodic, L., Modak, P., Soos, R., Carpintero, A., Velis, K., ... & Simonett, O. (2015). Global waste management outlook. UNEP.
- We Are Water Foundation. (2017). *Turismo y agua, una relación difícil que debe ser modélica*. Obtenido de: [https://www.wearewater.org/es/turismo-y-agua-una-relacion-dificil-que-debe-ser-modelica\\_282641#:~:text=En%20la%20actualidad%2C%20el%20turismo,del%20consumo%20mundial%20de%20agua.&text=En%20zonas%20situadas%20en%20el,seg%C3%BAn%20datos%20de%20la%20OMD](https://www.wearewater.org/es/turismo-y-agua-una-relacion-dificil-que-debe-ser-modelica_282641#:~:text=En%20la%20actualidad%2C%20el%20turismo,del%20consumo%20mundial%20de%20agua.&text=En%20zonas%20situadas%20en%20el,seg%C3%BAn%20datos%20de%20la%20OMD). (24 septiembre 2020).
- WEF (Foro Económico Mundial). (2014). *Towards the Circular Economy: Accelerating the Scale-Up across Global Supply Chains*. *Foro Económico Mundial, Ginebra, preparado en colaboración con la Fundación Ellen MacArthur y McKinsey & Company*. Obtenido de: <http://reports.weforum.org/toward-the-circular-economyaccelerating-the-scale-up-across-global-supply-chains/>. (3 octubre 2020).
- Winz, I., Brierley, G. & Trowsdale, S. 2011. *Dominant perspectives and the shape of urban stormwater futures*. *Urban Water Journal*, 8, 337-349.
- World Bank. (2018). *Wastewater: From Waste to Resource - The Case of San Luis Potosí, Mexico*. *World Bank, Washington, DC*. © World Bank. Obtenido de: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29491> (2 octubre 2020).
- Yarza, T. (1992). *Volcanes de México*. Universidad Autónoma de México, Cuarta edición.
- Zardo, L., Geneletti, D., Pérez-Soba, M., Van Eupen, M. (2017). *Estimating the cooling capacity of green infrastructures to support urban planning*. *Ecosyst. Serv.* 26, 225–235. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.06.016>
- Zhang, W., Ricketts, T. H., Kremen, C., Carney, K., & Swinton, S. M. (2007). *Ecosystem services and dis-services to agriculture*. *Ecological Economics*, 253-260.

## 11. Anexos de la evaluación

La evaluación del PMDU y de los planes parciales de desarrollo urbano fue realizada de manera simultánea. Si bien algunos de los componentes ambientales relevantes, por sus características, fueron analizados en su totalidad a escala municipal, existen otros que fueron analizados a escala de distrito urbano. En esta sección se presentan los análisis específicos realizados para cada distrito urbano. Asimismo, se presentan análisis preliminares en materia de riesgo para cada distrito, los cuales podrían utilizarse en la actualización del Atlas Municipal de Riesgo planteada en el PMDU.

### 11.1. Distrito Urbano 1 – Las Juntas

#### 11.1.1. Contexto

El Distrito Urbano 1 se encuentra ubicado al noroeste de la ciudad. La población proyectada para 2030 es de 37,967 habitantes, de acuerdo con los instrumentos de planeación urbana publicados en la gaceta municipal. Es un distrito urbano que reconocido por la ubicación del aeropuerto de la ciudad y la salida del río Ameca al océano. En este plan parcial existen restricciones por altura para las construcciones. En la Figura 101 se muestran las localidades que comprenden el distrito.

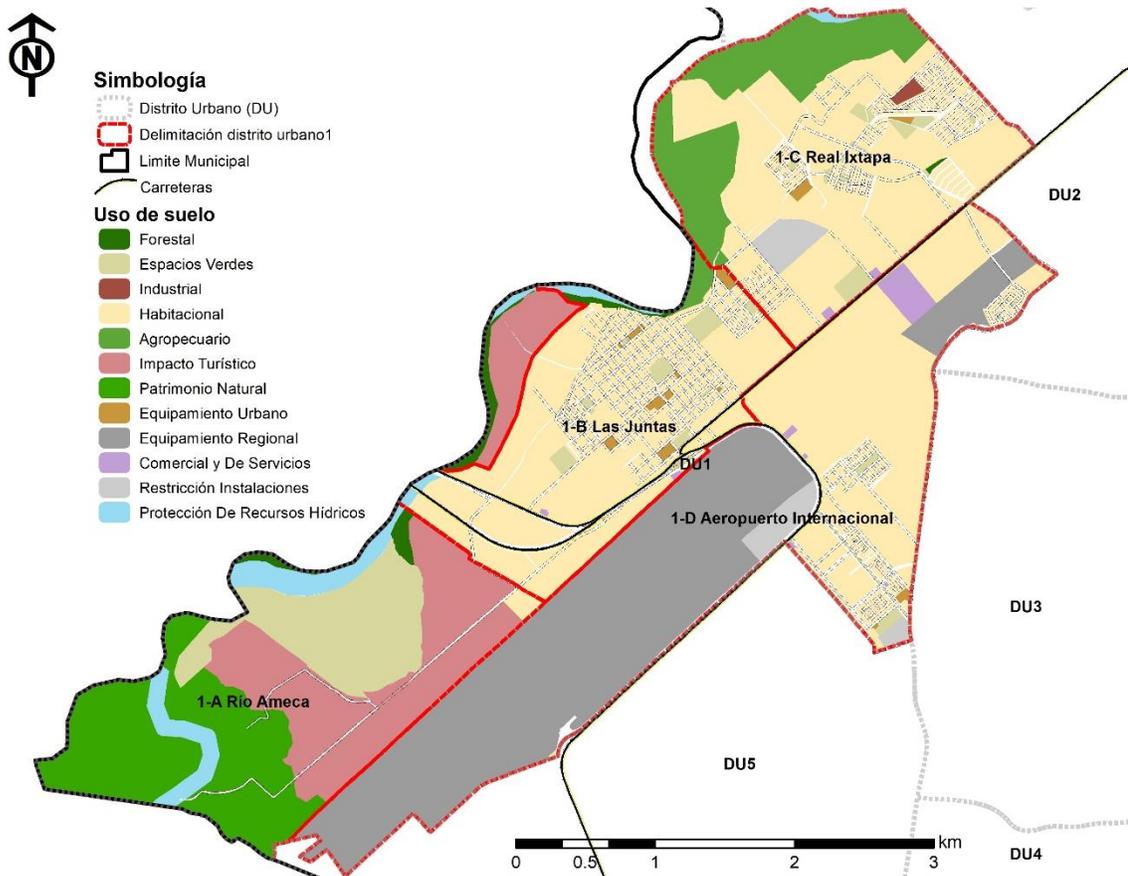


Figura 101. Delimitación del Distrito Urbano 1.

### Riesgos hidrometeorológicos

Por la cercanía del DU1 a la costa y puesto que es la zona más baja de la cuenca, las afectaciones por riesgos hidrometeorológicos son mayores, los riesgos que influyen en este distrito son las inundaciones (costeras, fluviales y pluviales). En las Figuras 102 a 106 se muestra un acercamiento de la presencia de los distintos tipos de riesgos, como son los puntos y zonas de inundaciones por precipitación. Dentro del distrito existen registrados, de acuerdo con el ARPV, 10 puntos de inundación y 4 zonas de inundación. Las inundaciones costeras y por cauces influyen en casi la mitad del distrito debido a la cercanía que tiene con el río Ameca, el cual tiene una gran presencia e influencia sobre el distrito. Como se observa, este es uno de los riesgos que más destaca (Figura 102).

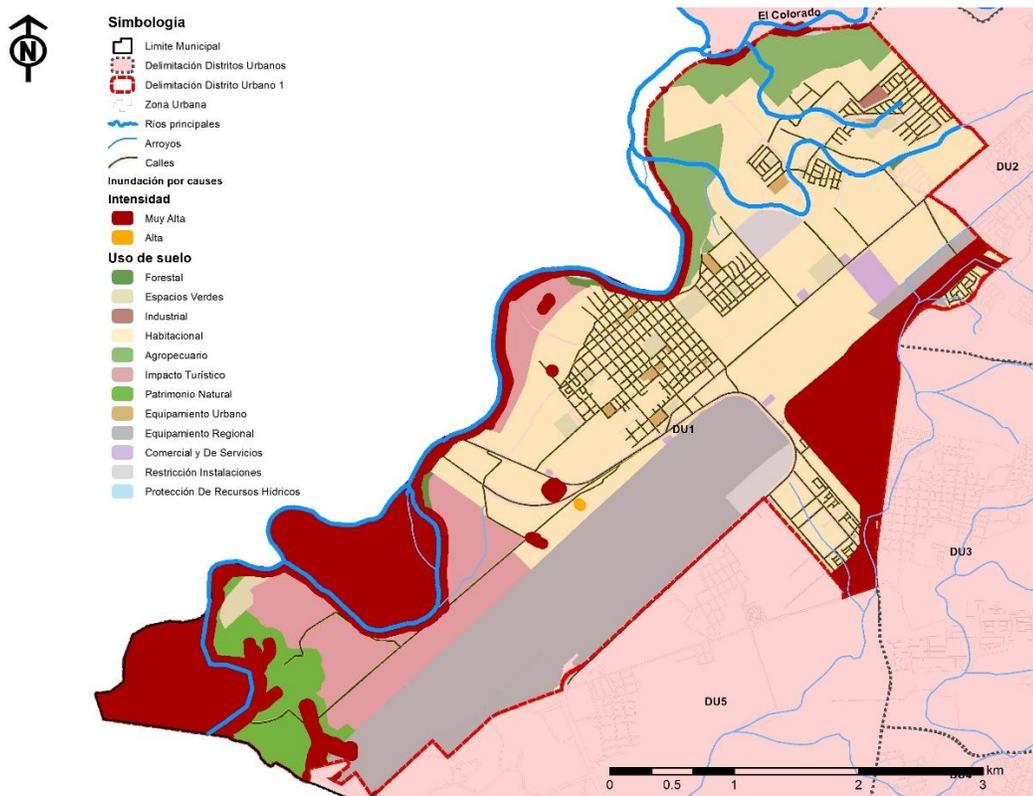


Figura 102. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano 1.

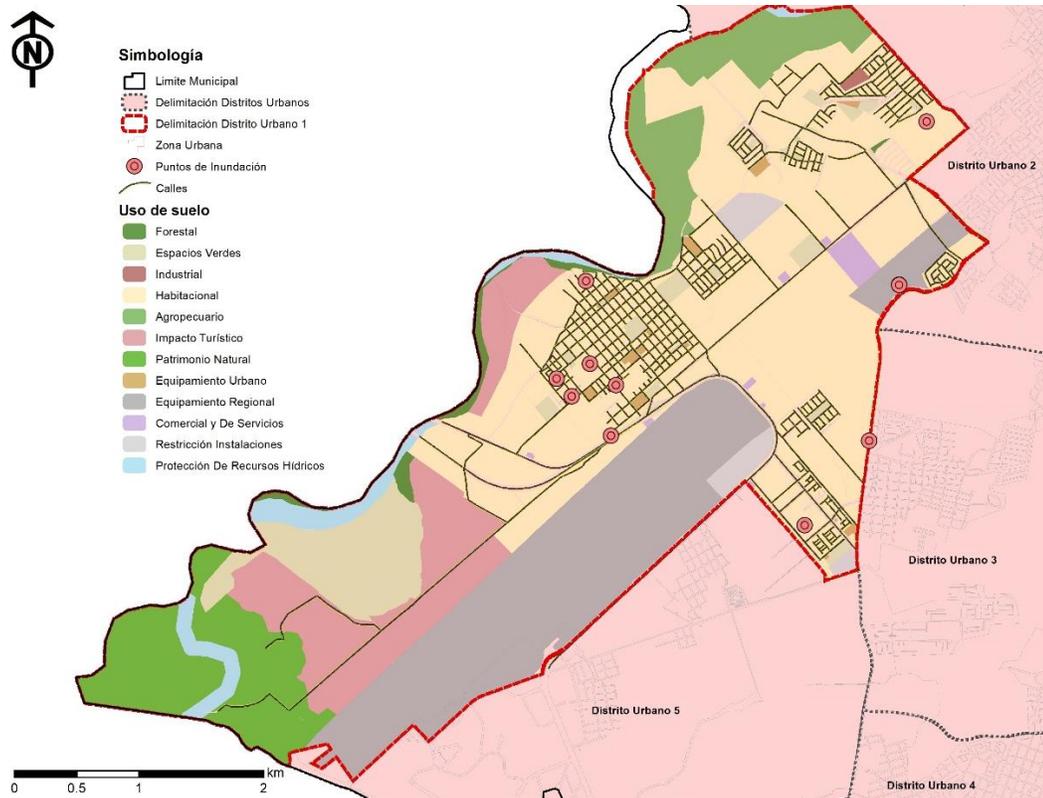


Figura 103. Puntos de inundación registrados en el Distrito Urbano 1.

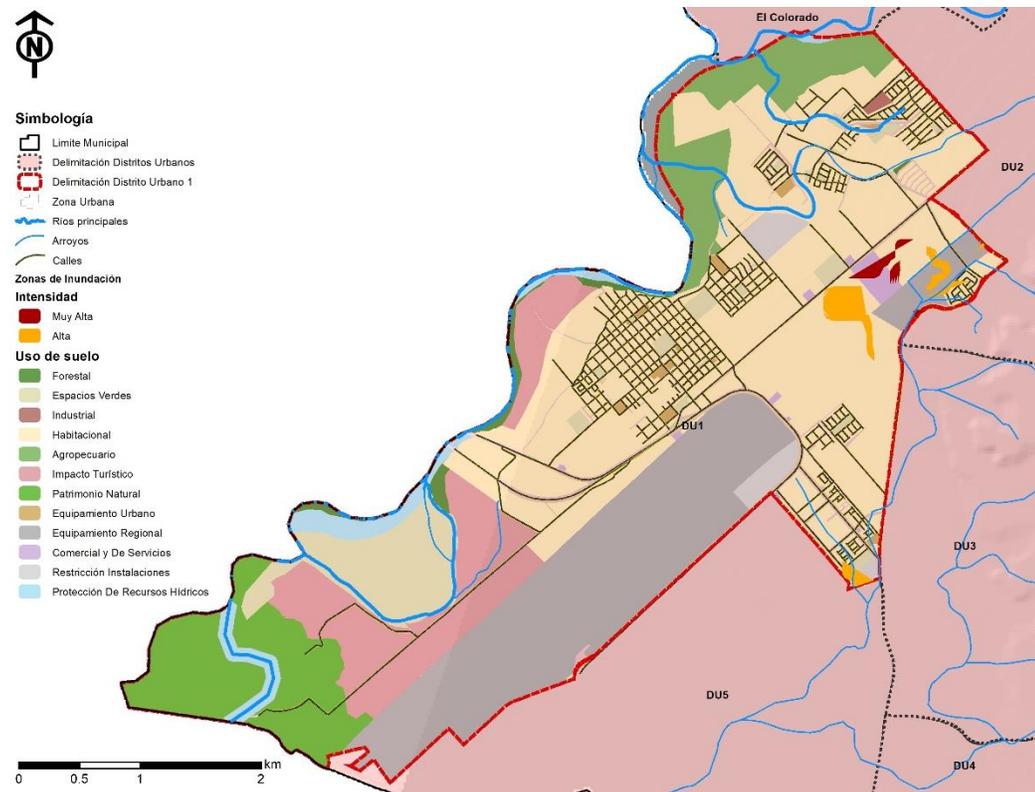
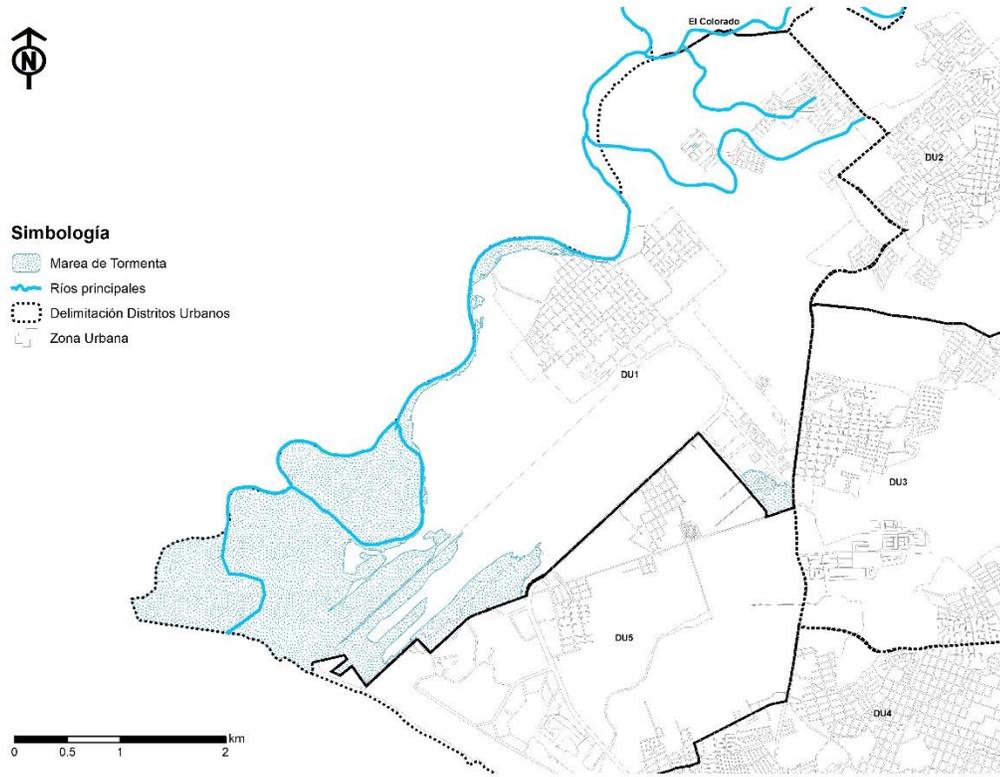


Figura 104. Zonas de inundación en el Distrito Urbano 1.



**Figura 105. Mareas de tormentas en el Distrito Urbano 1.**

### Riesgos geológicos

Como parte de los riesgos geológicos se encuentran las inundaciones por tsunami de diferente categoría (2.5 m, 5 m, 10 m y 20 m). No se cuenta con fallas ni fracturas, así como tampoco deslizamientos debido a que la topografía del lugar es plana. Su altitud es de 0 m.s.n.m., por lo que no existen pendientes que puedan provocar algún deslizamiento de laderas. Como se observa en la Figura 106, el riesgo por tsunami es 100% e influyen las cuatro categorías de tsunami. Si sucediera un tsunami de 20 metros, el distrito sería devastado. Esto puede verse agravado con los años, debido al incremento en el nivel del mar derivado del cambio climático. En los distritos urbanos que colidan con el océano será necesario fortalecer las acciones de prevención y manejo de contingencias.

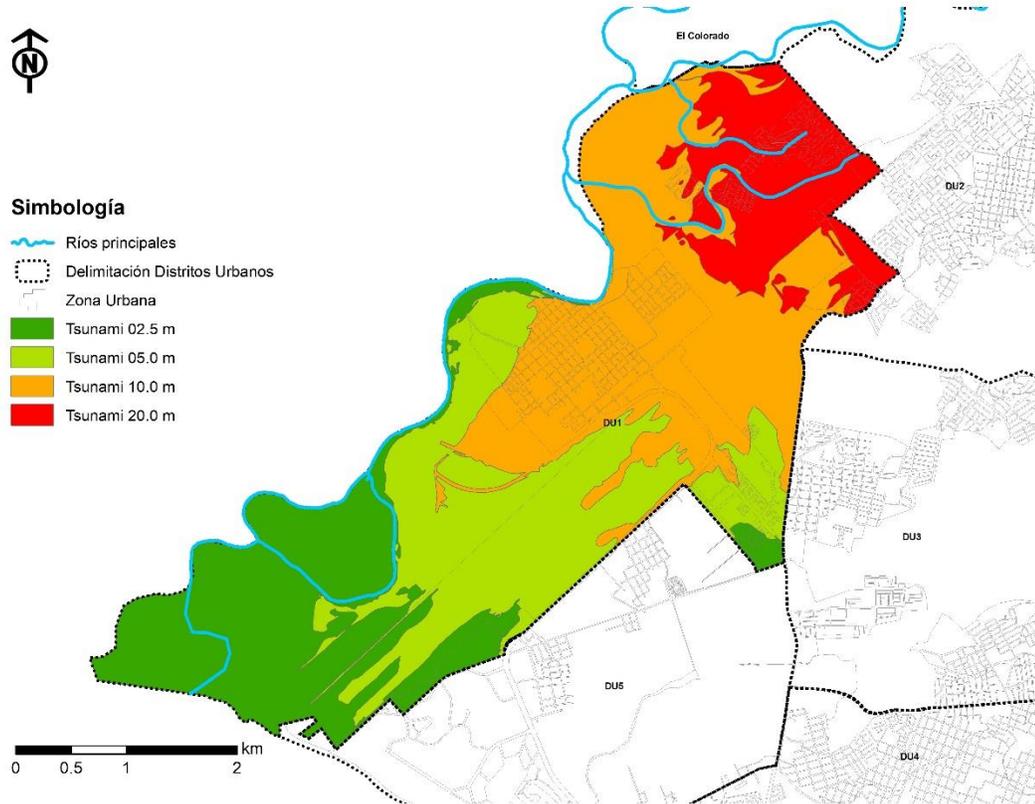


Figura 106. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis en el Distrito Urbano 1.

### 11.1.2. Componentes ambientales relevantes

Los componentes ambientales que por sus características pueden ser evaluados al nivel del distrito urbano son los siguientes:

- **Biodiversidad**
- **Calidad paisajística**
- **Residuos**

### 11.1.3. Análisis de impactos ambientales potenciales

A continuación, se describen los impactos ambientales específicos para el distrito urbano.

#### **Biodiversidad**

Los distritos urbanos que tienen costa tienen entre sus impactos ambientales la iluminación y presencia de personas hacia la anidación de tortugas marinas y presencia de fauna en general. En este sentido se puede dar un impacto ambiental como la desorientación de tortugas por iluminación o la extracción de huevos.

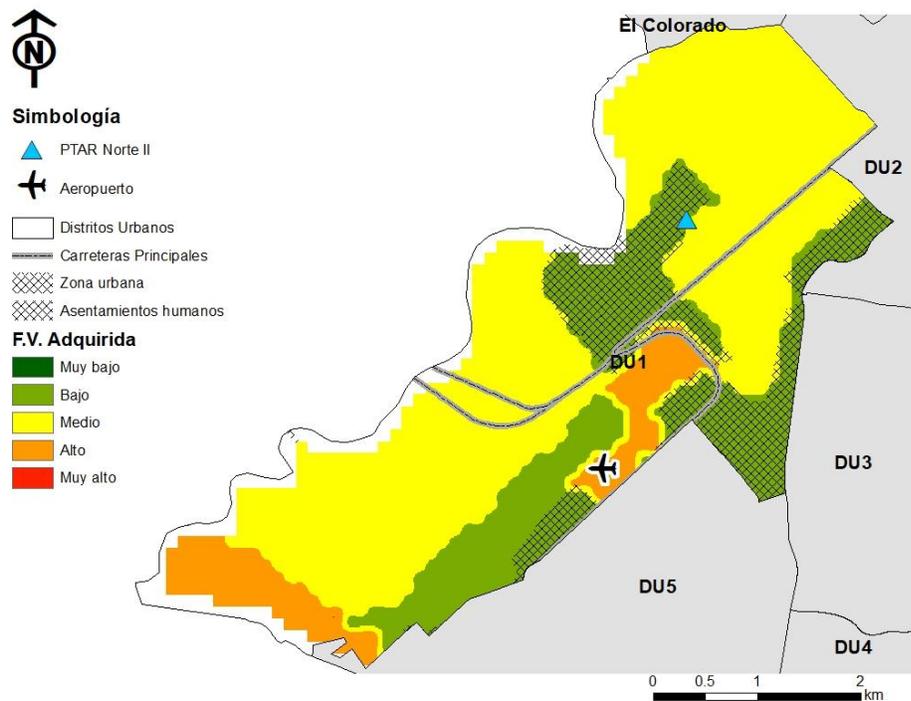
## 1. Desorientación de tortugas para la anidación

Se ha documentado que la iluminación artificial en las playas afecta la anidación de las tortugas marinas y produce la desorientación de los neonatos emergentes, quienes desvían su camino al mar por seguir las señales lumínicas (Raymond 1984, Witherington 2000, Silman et al.)

### Calidad paisajística

En la Figura 107 se observa el mapa de fragilidad visual adquirida del distrito 1, siendo también señalada la ubicación de los lugares donde se tomaron las fotografías durante el trabajo de campo (Ver figura 108).

En el mapa se puede observar que la zona urbana del distrito 1 tiene baja fragilidad visual. El resto del área tiene una fragilidad visual media, con pocos lugares con alta fragilidad visual, como la zona del aeropuerto y el área costera al suroeste del distrito.



**Figura 107. Mapa de fragilidad visual para el Distrito Urbano 1.**

Según el plan parcial, en el distrito 1 se localizan pocas edificaciones con más de 3 niveles de construcción, predominando las edificaciones con uno o dos niveles construidos. Así mismo se tiene lotes desocupados o subutilizados, por lo que la densidad vertical de edificación es baja.



**Figura 108. Zona urbana del Distrito Urbano 1, tomada en octubre 2020.**

En el distrito 1 se muestran tres tipos de impacto: 1) Modificación de los elementos visuales del paisaje, 2) Alteración de los elementos que comprenden el patrimonio natural, 3) Alteración sobre la lógica territorial y la funcionalidad social y económica

### **1. Modificación de los elementos visuales del paisaje**

Las edificaciones, por su forma, geometría y color, alteran las líneas y el color del paisaje natural, ya que resaltan sobre este. Con esto se observa una alteración a los elementos geomorfológicos, vegetales y patrones compositivos.

### **2. Alteración de los elementos que comprenden el patrimonio natural**

El distrito 1 tiene algunas zonas de alta fragilidad visual, por lo que existe un impacto al no haber una valoración sobre los posibles elementos ecológicos importantes para conservar, en especial dentro de la zona costera del distrito.

### **3. Alteración sobre la lógica territorial y la funcionalidad social y económica**

El plan parcial menciona que el distrito 1 tiene edificaciones que superan los tres niveles de construcción predominando aquellas con uno o dos niveles, por lo que la densidad de edificación es baja, este tipo de edificación podría hacer que la mancha urbana se expandiera de forma horizontal, dificultando la accesibilidad y la dotación de los servicios urbanos.

Por otro lado, se han encontrado actividades de uso comercial, en predios con una dinámica de uso de suelo diferente, produciéndose una alteración sobre la lógica territorial.

## **Residuos**

Si bien para el 2010 este distrito solo representaba alrededor del 8% de la población total del municipio con 19,793 habitantes, se tiene proyectado que para el 2030 este número aumente a 37,967, es decir, un incremento del 91.8% durante dicho periodo, siendo este el distrito con la proyección de crecimiento poblacional más alta. Aunado a esto, el DU1 contempla un área urbanizable de 745.4 hectáreas, por lo que es también uno de los distritos con mayor superficie para esta clasificación. A pesar de este incremento, se espera que otros distritos como el DU2, DU4 y DU7 cuenten con más población que este distrito, sin embargo, es el porcentaje de crecimiento poblacional dentro de este, que se considera relevante considerar impactos en materia de gestión de residuos debido a la relación que existe entre el incremento poblacional y el aumento en la generación de residuos total.

En este sentido, se pueden esperar los siguientes impactos: 1) Incremento en la generación de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, 2) Incremento en requerimiento de vehículos recolectores de residuos y otros equipamientos, 3) Incremento en la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del parque vehicular dedicado a la recolección de residuos

### **1. Incremento en la generación de residuos sólidos urbanos y de manejo especial**

Como ya se mencionó anteriormente, el incremento en la generación de residuos sólidos está estrechamente relacionada con el incremento poblacional. El incremento poblacional proyectado de 91.8% y la superficie urbanizable contemplada permite prever que los residuos generados en este distrito presentarán un incremento más que significativo, sobresaliendo del resto de los distritos.

### **2. Incremento en requerimiento de vehículos recolectores de residuos y otros equipamientos**

El incremento en la población y por ende la generación de residuos sólidos implicará la necesidad de ampliar las capacidades de recolección por parte del municipio, principalmente el crecimiento de la flotilla de vehículos recolectores, así como la instalación de contenedores para mantener limpia la vía pública.

### **3. Impacto en la calidad de vida de la población ya existente**

Se puede esperar un incremento en el tráfico relacionado al servicio de recolección de residuos y con él un incremento en la generación de emisiones de CO<sub>2</sub>. De no contar con un sistema de rutas de recolección adecuada e infraestructura vial suficiente, se puede esperar un impacto en el tráfico vehicular del distrito, así como generación de ruido y olores. Es posible que se generen molestias en los habitantes actuales debido al incremento en la presencia de estos vehículos y los impactos que estos conllevan ya mencionados.

#### **11.1.4. Estrategias de mitigación**

A continuación, se describen las estrategias de mitigación específicas para el distrito urbano.

##### **Biodiversidad**

- Integrar a las programas, planes y proyectos en materia de paisaje un estudio de iluminación en la costa y un reglamento de iluminación que disminuya la posibilidad de desorientación de las tortugas marinas.

##### **Calidad paisajística**

- Integrar las medidas del apartado 7.5.2 para la restauración y mejoramiento de la imagen urbana.
- En la zona urbana se recomienda promover el uso de luminarias cuya dirección de luz vaya dirigida hacia abajo y no sobre la horizontal, para disminuir el impacto de la contaminación lumínica.
- Es importante regular las construcciones que se lleven a cabo, tomando en cuenta la estética y la arquitectura de la edificación. Para esto deberán de implementarse estudios de integración paisajística, en especial dentro de las áreas con alta fragilidad visual.
- Se deberá de llevar a cabo estudios de valorización del paisaje natural para promover la conservación de zonas con alto valor ecológico.
- Los estudios para determinar el valor paisajístico también deberán de involucrar la participación pública y establecer una valoración social donde se incluyan las preferencias de la población.
- Establecer programas de paisaje para garantizar el cumplimiento de las medidas de conservación de las áreas de alto valor ecológico.

##### **Residuos**

- Establecer un sistema de recolección que busque la optimización en tiempos y movimientos de manera que el impacto vial sea el menor posible.
- Incorporar un en el sistema de recolección la separación de residuos.
- Implementar campañas de concientización y comunicación en materia de residuos para los nuevos desarrollos. El escenario de crecimiento poblacional en este distrito es muy significativo por lo que se recomienda implementar estas medidas antes de que este alcance las proyecciones esperadas, de manera que su creciente este acompañado de un sistema de recolección adecuado que permita abonar a los objetivos en esta materia.
- Reforzar las capacidades de barrido y limpia de la vía pública en función del crecimiento del área urbanizada.

## 11.2. Distrito Urbano 2 – Ixtapa

### 11.2.1. Contexto

El distrito urbano 2 se encuentra al norte de la zona urbana de la ciudad y el crecimiento de la población proyectada para 2030 es de 40,883 habitantes, de acuerdo con los instrumentos de planeación urbana publicados en la gaceta municipal. Se encuentra en una zona de transición entre la ciudad y el límite de la montaña, además es uno de los distritos con mayor superficie disponible para urbanizar y se proyecta la entrada de la autopista y el inicio del macrolibramiento como rasgos más importantes. En la Figura 109 se muestra la conformación del distrito urbano. Se divide en dos subdistritos: Carretera Las Palmas-Río Mascota e Ixtapa.

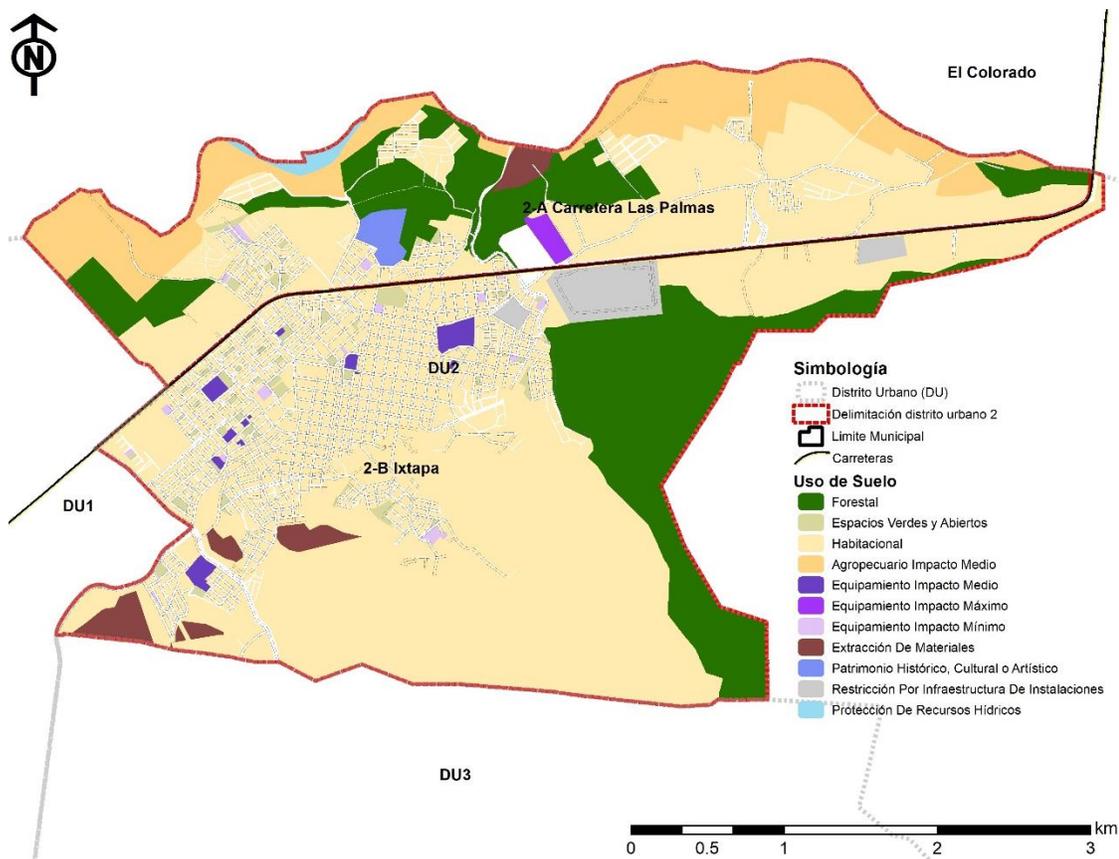
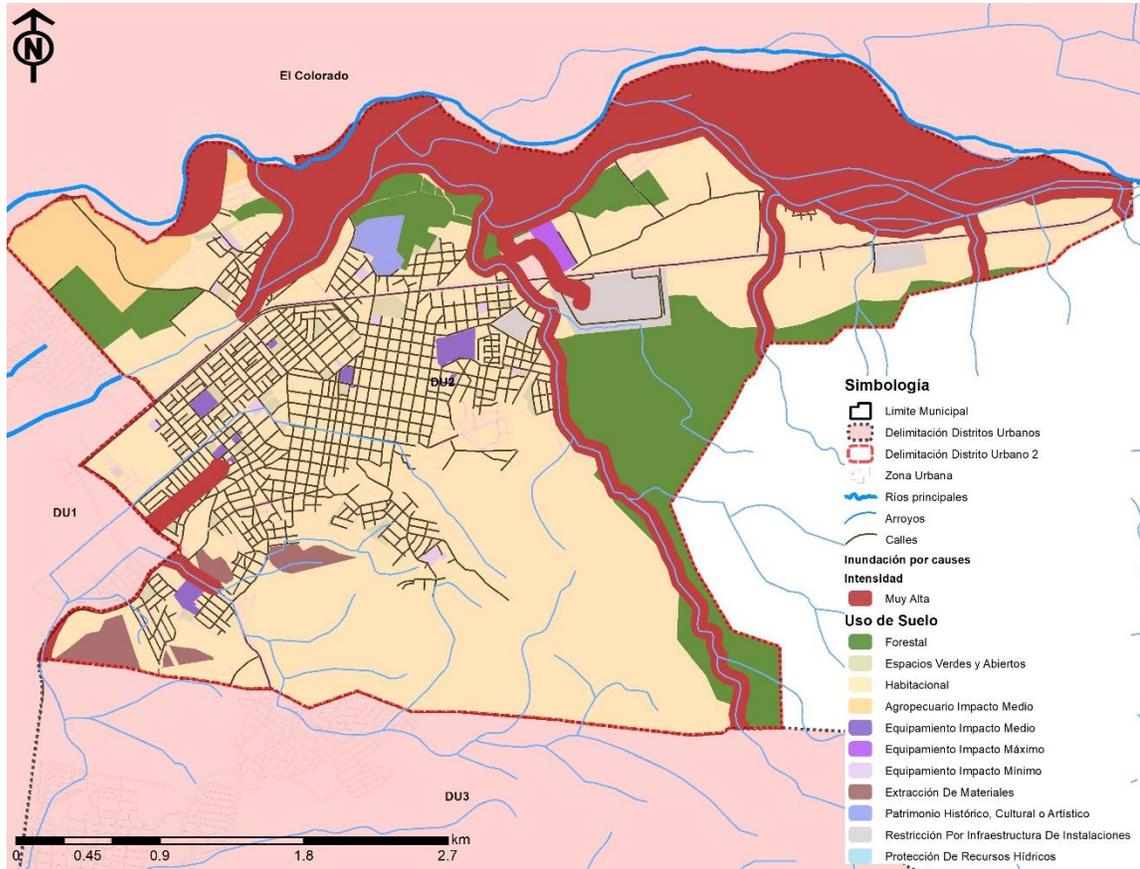


Figura 109. Delimitación del Distrito Urbano 2.

### Riesgos hidrometeorológicos

Los riesgos que influyen en este distrito son las inundaciones (fluviales y pluviales). En las Figuras 110 a 114 se muestra un acercamiento de la presencia de los distintos tipos de riesgos, como son los puntos y zonas de inundaciones por precipitación, dentro del distrito hay registrados de acuerdo al ARPV 21 puntos de inundación y zonas de inundación abarcan el 16% de la superficie total del distrito; las inundaciones costeras no influyen en este distrito puesto que se encuentra alejado de la costa y las inundaciones por

cauces debido a la cercanía que tiene con el río Mascota, abarca un 14% las inundaciones dentro del distrito, este tiene varios arroyos que también influyen en el aumento del agua del río, como se observa este es uno de los riesgos que más destaca (Figura 110).



**Figura 110. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano 2.**

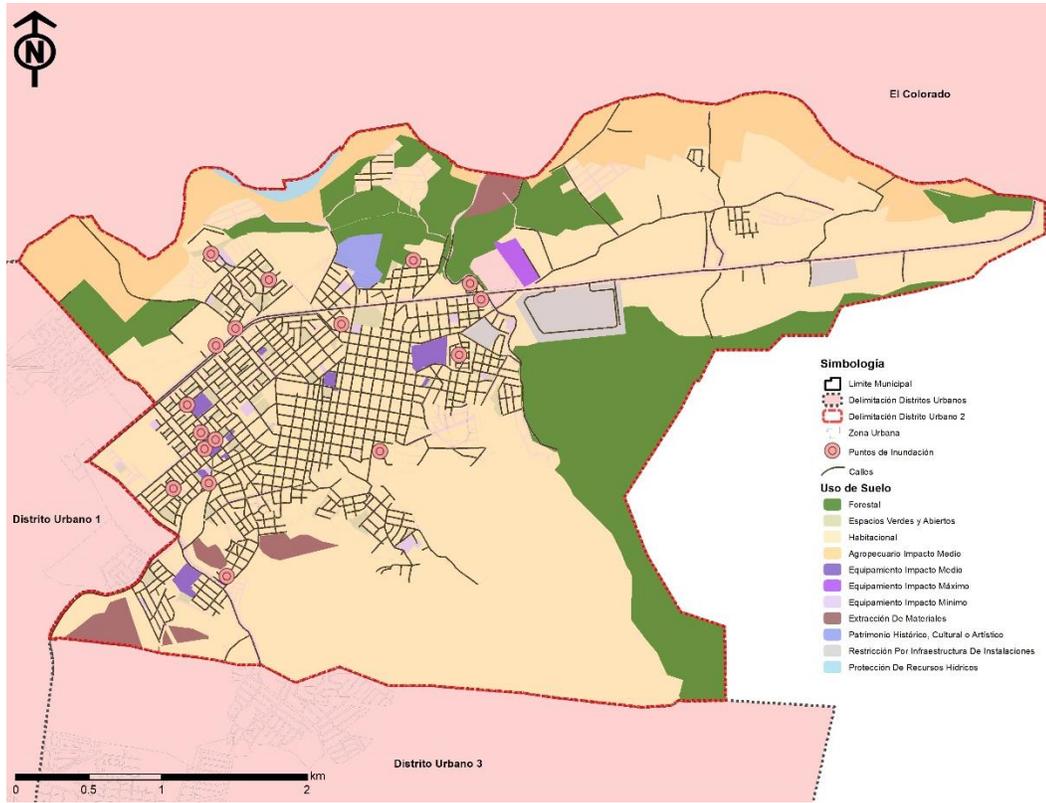


Figura 111. Puntos de inundación registrados en el Distrito Urbano 2.

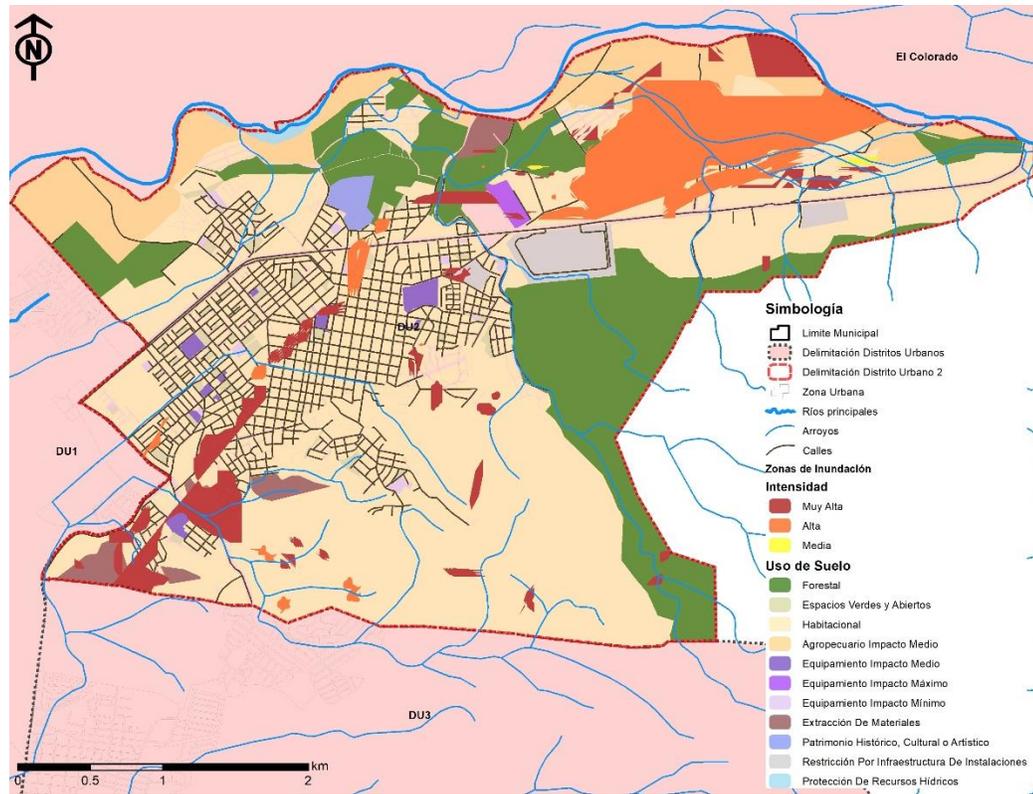


Figura 112. Zonas de inundación en el Distrito Urbano 2.

### Riesgos geológicos

Dentro de los riesgos geológicos, influye las inundaciones por tsunamis de diferente categoría (10 m y 20 m), la influencia del tsunami de 10 m es casi nula, a diferencia del de 20 m, este abarca aproximadamente el 29% de la superficie del distrito (Figura 113); otro de los riesgos es la presencia de fallas y fracturas, como se puede observar en la Figura 114, una fractura atraviesa el distrito. Dentro del distrito no se encontró algún registro de riesgo por deslizamientos.

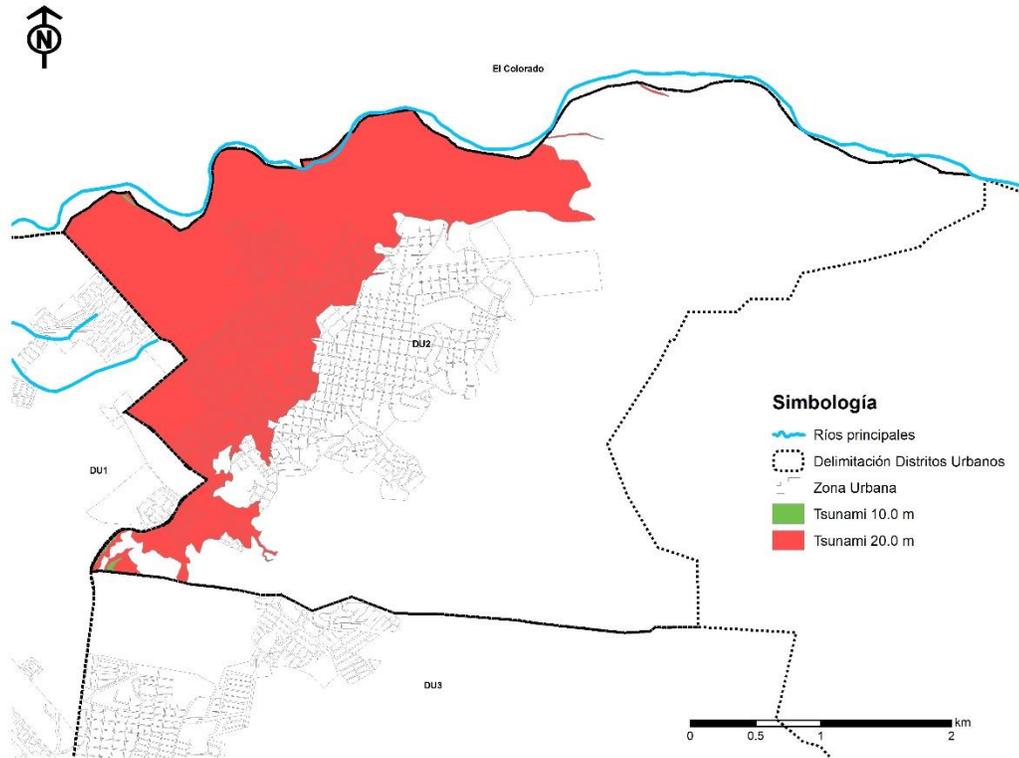


Figura 113. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis en el Distrito Urbano 2.

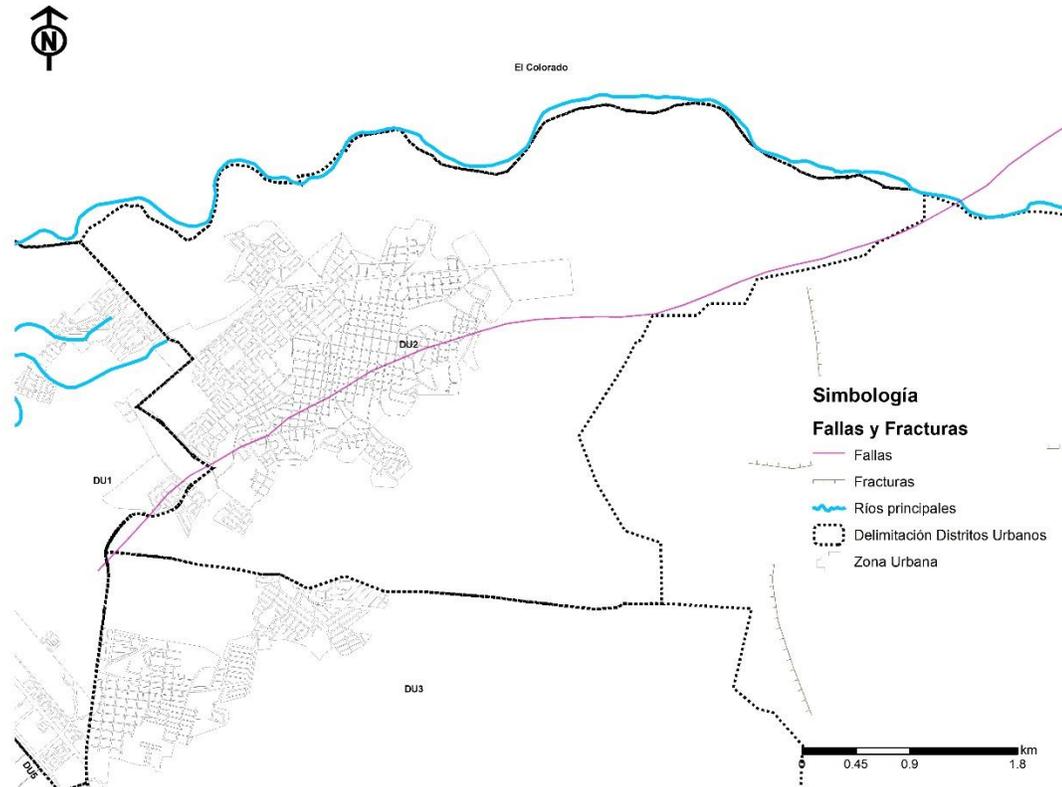


Figura 114. Presencia de fallas y fracturas dentro en el Distrito Urbano 2.

### 11.2.2. Componentes ambientales relevantes

Los componentes ambientales que por sus características pueden ser evaluados al nivel del distrito urbano son los siguientes:

- **Biodiversidad**
- **Calidad paisajística**

Cabe señalar que el componente ambiental de agua residual es relevante para el DU2, sin embargo, por las características del componente, donde la cobertura de agua residual y su tratamiento se interconecta de forma directa con los otros distritos, las estrategias de mitigación y seguimiento aplicables son descritas en el análisis del PMDU.

### 11.2.3. Análisis de impactos ambientales potenciales

A continuación, se describen los impactos ambientales específicos para el distrito urbano.

#### **Biodiversidad**

El distrito urbano se encuentra en una zona de transición de la ciudad a la vegetación conservada de la montaña, cuenta con uno de los espacios más grandes por urbanizar y tendrá los impactos ambientales

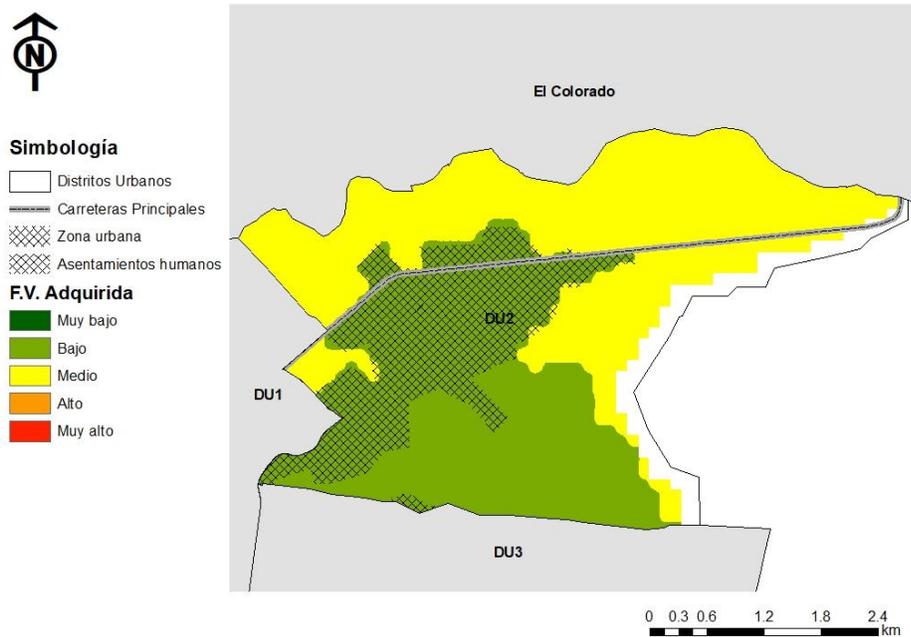
del macrolibramiento y el libramiento del municipio por lo que se esperan impactos ambientales a monitorear.

**1. Disminución en el nicho ecológico de fauna.**

En la implementación de desarrollos habitacionales y la construcción de las vías de comunicación se extenderá la frontera de la ciudad y por ende los efectos de borde y barrera para la fauna. Son espacios con alto potencial para ser desarrollados y con la incursión de las vías de comunicación se esperan que sea aprovechados en un mediano plazo.

**Calidad paisajística**

En la Figura 115 se observa el mapa de fragilidad visual adquirida del distrito 2. En la zona urbana se tiene una fragilidad visual baja, mientras que en el resto del distrito se tiene una fragilidad visual media.



**Figura 115. Mapa de fragilidad visual para el Distrito Urbano 2.**

En el distrito 2 se muestra dos tipos de impacto: 1) Alteración sobre la lógica territorial y la funcionalidad social y económica, 2) Modificación de los elementos visuales del paisaje.

**1. Alteración sobre la lógica territorial y la funcionalidad social y económica**

El plan parcial menciona que el distrito 2 tiene edificaciones con uno o dos niveles construidos, por lo que la densidad de edificación es baja, este tipo de edificación podría hacer que la mancha urbana se expandiera de forma horizontal, dificultando la accesibilidad y la dotación de los servicios urbanos e infraestructura a aquellas personas que se encontraran en zonas marginadas.

Por otro lado, se han encontrado actividades de uso comercial, en predios con una dinámica de uso de suelo diferente, produciéndose una alteración sobre la lógica territorial.

## **2. Modificación de los elementos visuales del paisaje**

Los edificios, por su forma, geometría y color, alteran las líneas y el color del paisaje natural, ya que resaltan sobre este. Con esto se observa una alteración a los elementos geomorfológicos, vegetales y patrones compositivos.

### **11.2.4. Estrategias de mitigación**

A continuación, se describen las estrategias de mitigación específicas para el distrito urbano.

#### **Biodiversidad**

Las estrategias de mitigación propuestas en el componente podrían ayudar de forma significativa a disminuir el impacto ambiental por el crecimiento, sin embargo, para este impacto ambiental se pueden ser más enfático por parte del municipio.

- Agregar señalamientos y condiciones a las licencias de construcción que se soliciten al municipio donde se soliciten medidas específicas como programas de rescate y reubicación de fauna, programas de monitoreo de fauna y la ubicación de pasos de fauna que permitan el libre tránsito a las especies locales. Con la información generada dentro del documento se podrían solicitar medidas específicas al menos para los grupos de herpetofauna y mamíferos.

#### **Calidad paisajística**

El municipio considera realizar una modificación sobre la dinámica de usos de suelo para incentivar la diversificación de las actividades.

##### *Estrategias generales:*

- Se deberá realizar una nueva ordenación del territorio en función de los usos y destinos del suelo para impedir construcciones en zonas irregulares y evitar una alteración sobre la lógica territorial y funcionalidad social y económica.
- Integrar las medidas del apartado 7.5.2 para la restauración y mejoramiento de la imagen urbana.
- Promover el uso de luminarias cuya dirección de luz vaya dirigida hacia abajo y no sobre la horizontal, para disminuir el impacto de la contaminación lumínica.
- Regular las construcciones que se lleven a cabo, tomando en cuenta la estética y la arquitectura de la edificación. Para esto deberán de implementarse estudios de integración paisajística

### 11.3. Distrito Urbano 3 – Las Mojoneras

#### 11.3.1. Contexto

El distrito urbano colinda al norte con el distrito urbano 2, al sur con el distrito urbano 4 y al oeste con el distrito urbano 5, además de colindar al oeste con la transición de la montaña, un campo de golf y la ubicación del sitio de disposición final de residuos de la construcción. El crecimiento de la población proyectada para 2030 es de 34,812 habitantes, de acuerdo con los instrumentos de planeación urbana publicados en la gaceta municipal. Comprende las colonias Volcanes, Campo de Golf y Las Mojoneras (Figura 116).

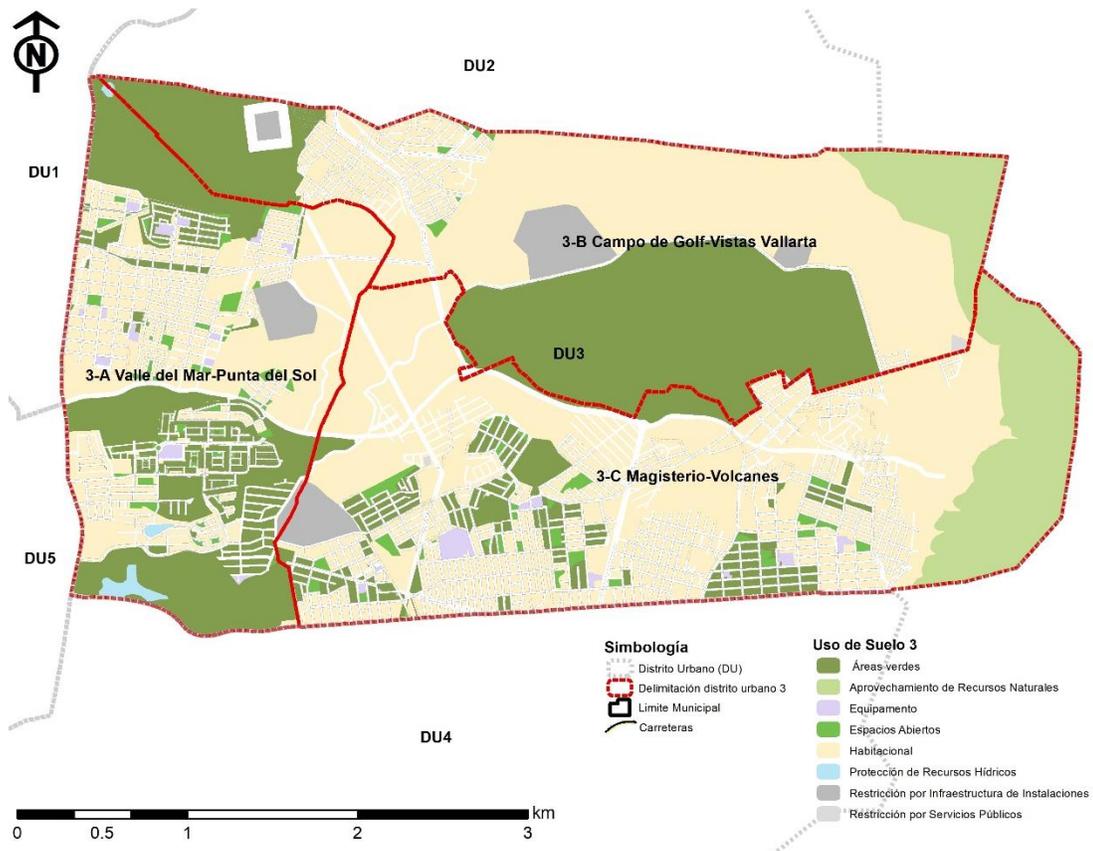
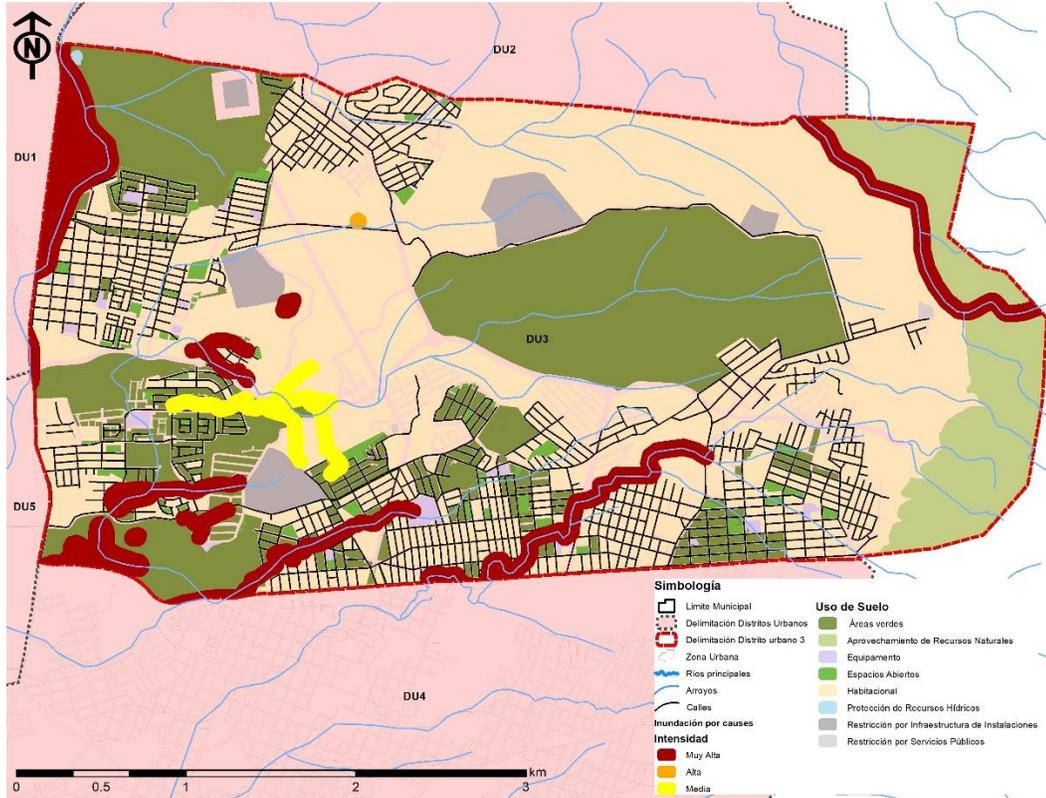


Figura 116. Delimitación del Distrito Urbano 3.

#### Riesgos hidrometeorológicos

Los riesgos que influyen en este distrito son las inundaciones (fluviales y pluviales). En las Figuras 117 a 122 se muestra un acercamiento de la presencia de los distintos tipos de riesgos, como son los puntos y zonas de inundaciones por precipitación, dentro del distrito hay registrados de acuerdo al ARPV 22 puntos de inundación y zonas de inundación abarcan el 11% de la superficie total del distrito; las inundaciones costeras influyen solo en la zona suroeste del distrito y las inundaciones por cauces abarcan el 16% de la

superficie del distrito, este tiene varios arroyos que influyen, como se observa este es uno de los riesgos que más destaca (Figura 117).



**Figura 117. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano 3.**

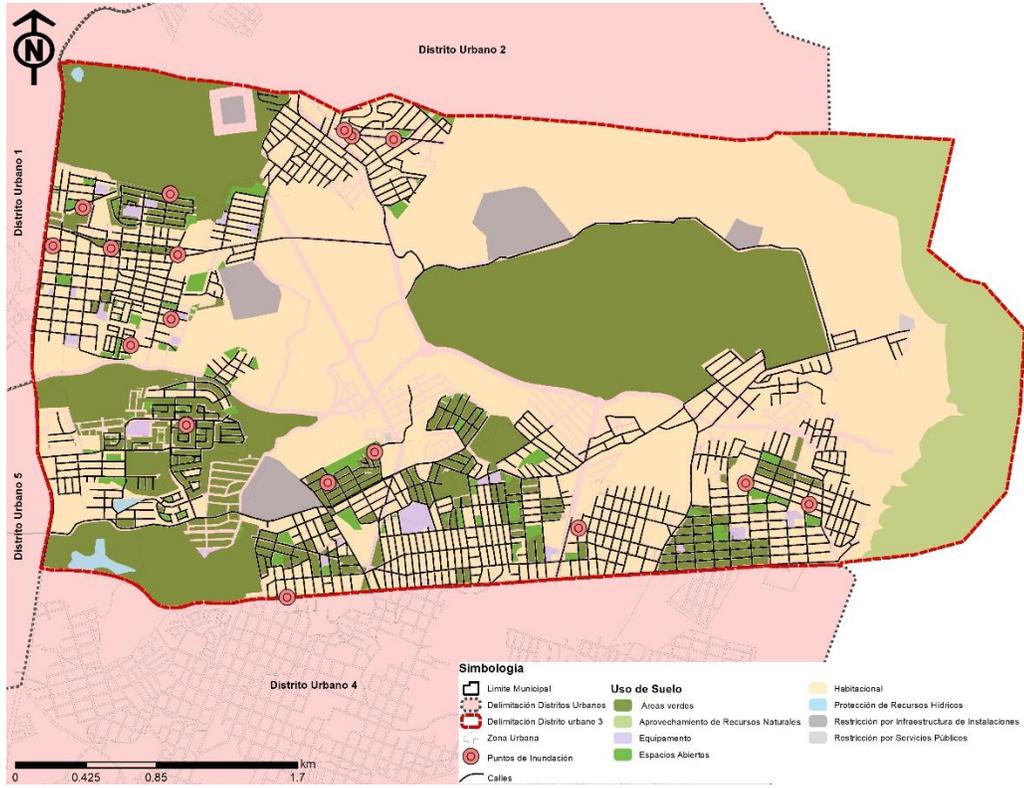


Figura 118. Puntos de inundación registrados en el Distrito Urbano 3.

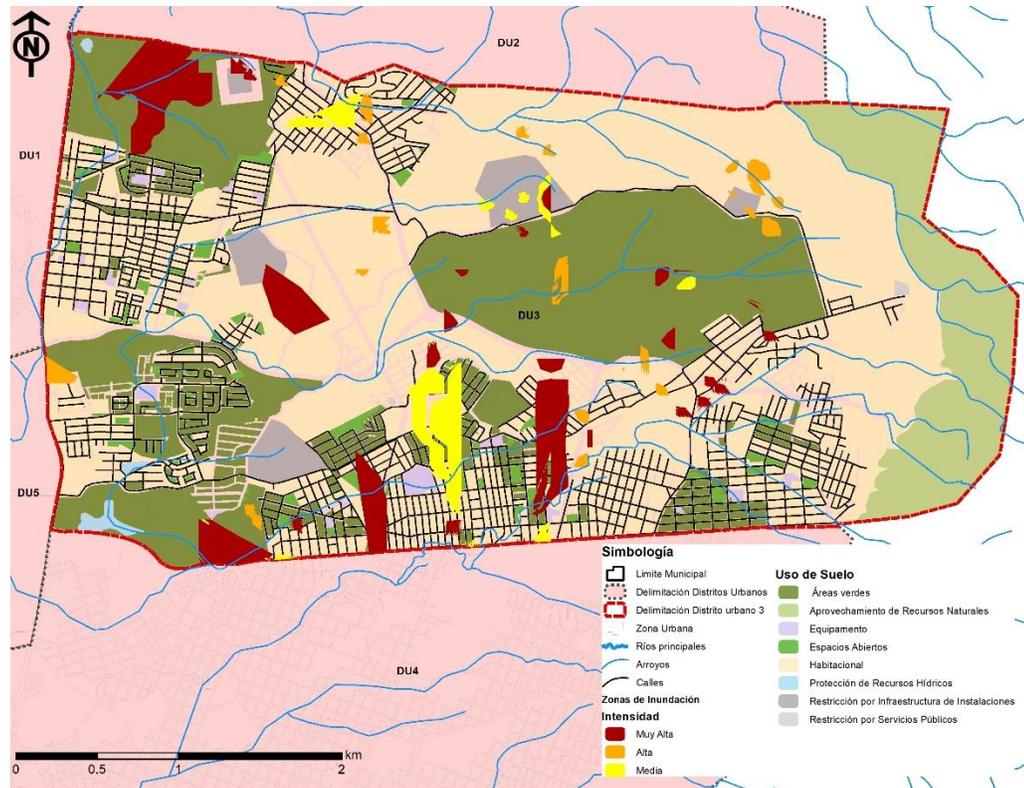
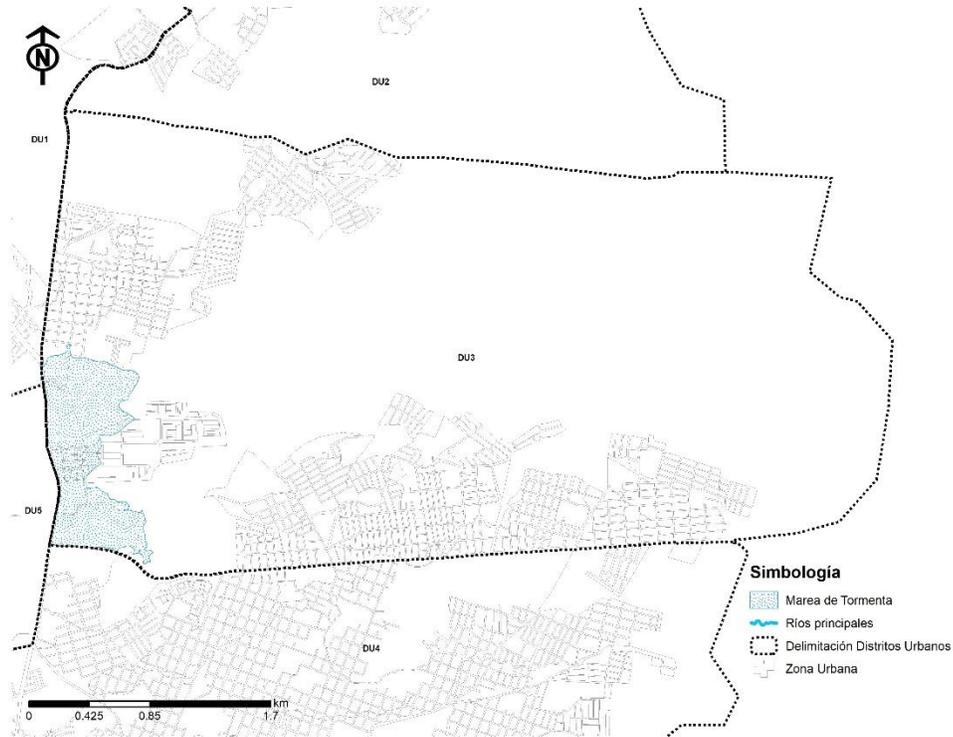


Figura 119. Zonas de inundación en el Distrito Urbano 3.



**Figura 120. Mareas de tormentas en el Distrito Urbano 3.**

### Riesgos geológicos

Dentro de los riesgos geológicos, influye las inundaciones por tsunami de diferente categoría (2.5 m, 5 m, 10 m y 20 m), la afectación a la superficie del distrito ante este riesgo es alrededor del 21%, el tsunami de 2.5 tendría una influencia sobre la superficie de 4%, tsunami de 5 m de 7%, tsunami de 10 m de 14% y el tsunami de 20 m afectaría el 21% (Figura 121). Dentro del distrito se encontró de acuerdo con el ARPV una zona de deslizamiento (Figura 122). No existe presencia de fallas y fracturas dentro del distrito urbano.

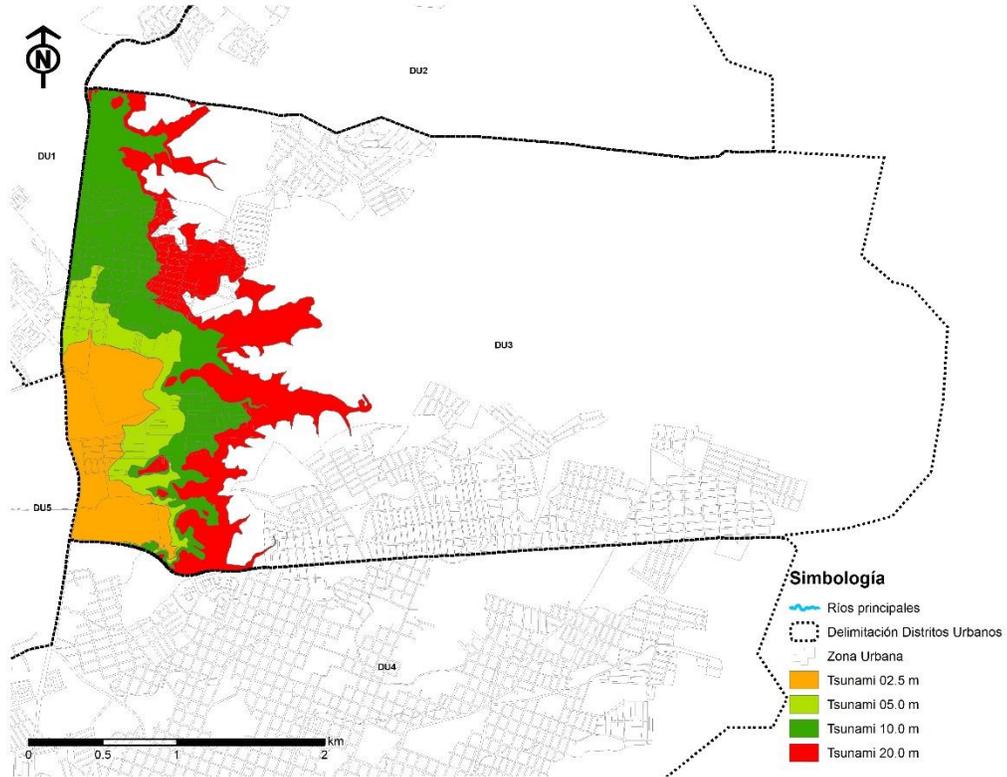


Figura 121. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis en el Distrito Urbano 3.

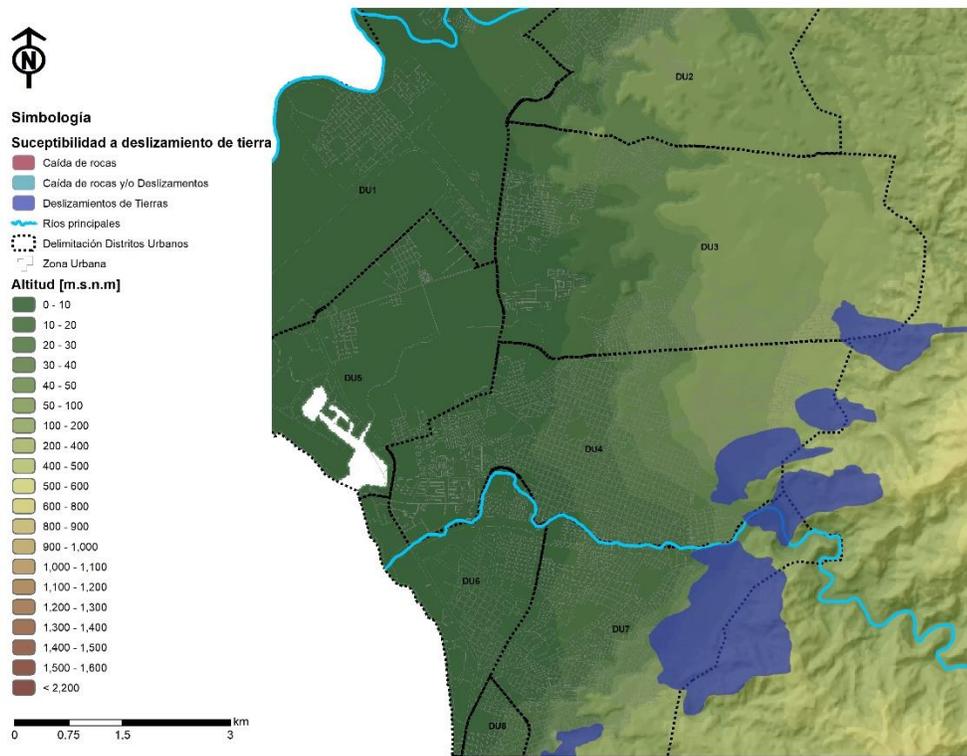


Figura 122. Riesgo de deslizamiento de laderas en el Distrito Urbano 3.

### 11.3.2. Componentes ambientales relevantes

Los componentes ambientales que por sus características pueden ser evaluados al nivel del distrito urbano son los siguientes:

- **Biodiversidad**
- **Calidad paisajística**

### 11.3.3. Análisis de impactos ambientales potenciales

A continuación, se describen los impactos ambientales específicos para el distrito urbano.

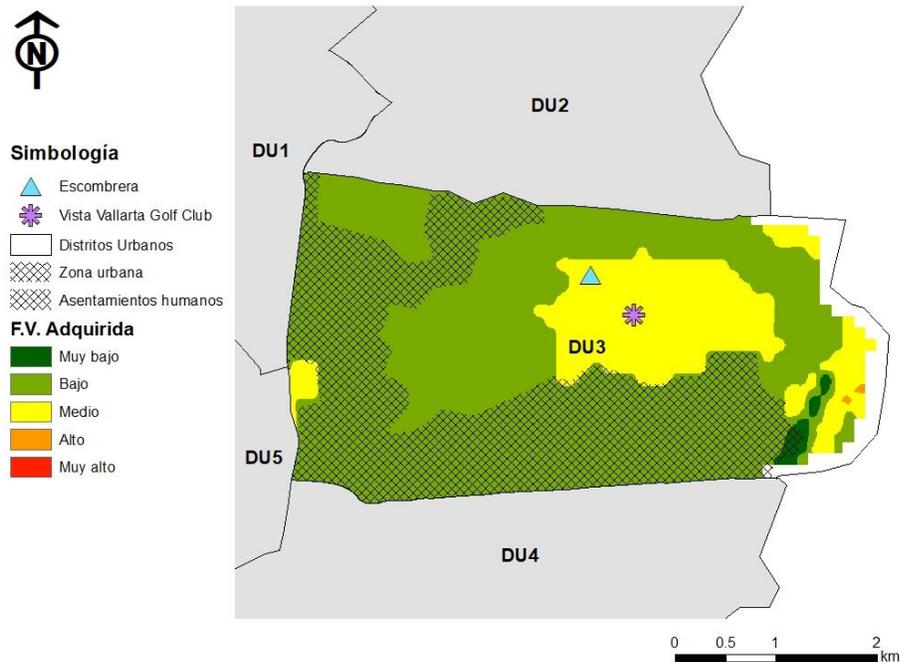
#### **Biodiversidad**

Al igual que el distrito 2 el impacto ambiental de la ampliación futura de la ciudad y el paso de vías de comunicación el efecto borde y barrera será un impacto ambiental que tendrá que cuidarse con el crecimiento de la ciudad.

#### **Calidad paisajística**

En la Figura 123 se observa el mapa de fragilidad visual adquirida del distrito 3, siendo también señalada la ubicación de los lugares donde se tomaron las fotografías durante el trabajo de campo (Ver figura 124).

En el mapa se puede observar que el distrito 3 tiene en su mayoría fragilidad visual baja, sobre todo en las áreas urbanas, también tiene fragilidad media en la zona este del municipio y pequeñas áreas con fragilidad visual alta, sin embargo, estas últimas zonas se consideran no urbanizables.



**Figura 123. Mapa de fragilidad visual para el Distrito Urbano 3.**

En la Figura 124 se pueden ver imágenes sobre una escombrera que se encuentra ubicada al norte del distrito 3. La vegetación natural de la zona demuestra que este distrito contiene varios recursos paisajísticos sin explotar.



**Figura 124. Fotografías del Distrito Urbano 3 tomadas en octubre 2020.**

En el distrito 3 se muestran un impacto: 1) Modificación de los elementos visuales del paisaje

**1. Modificación de los elementos visuales del paisaje**

En la zona urbana, los edificios, por su forma, geometría y color, alteran las líneas y el color del paisaje natural, ya que resaltan sobre este. De igual forma, en la zona de la escombrera se observa una alteración a los elementos geomorfológicos, vegetales y patrones compositivos.

### **11.3.4. Estrategias de mitigación**

A continuación, se describen las estrategias de mitigación específicas para el distrito urbano.

#### **Biodiversidad**

La estrategia de mitigación para el componente de biodiversidad de este distrito urbano es igual a la del distrito urbano 2.

#### **Calidad paisajística**

En el plan parcial se consideran acciones de mejoramiento de la imagen urbana, así mismo se implementarán normas de control de densidad de la edificación y urbanización con el objetivo de mejorar la imagen urbana existente.

#### *Estrategias generales:*

- Integrar las medidas del apartado 7.5.2 para la restauración y mejoramiento de la imagen urbana.
- En la zona urbana se recomienda promover el uso de luminarias cuya dirección de luz vaya dirigida hacia abajo y no sobre la horizontal, para disminuir el impacto de la contaminación lumínica.
- Es importante regular las construcciones que se lleven a cabo, tomando en cuenta la estética y la arquitectura de la edificación. Para esto deberán de implementarse estudios de integración paisajística.

## 11.4. Distrito Urbano 4 – El Pitillal

### 11.4.1. Contexto

El distrito urbano 4 es uno de los más centros de la ciudad y es uno de los más antiguos en materia de crecimiento urbano, se encuentra prácticamente urbanizado en su totalidad y será uno de los espacios que con el tiempo vaya evolucionando a un espacio con mayor densidad de población. El crecimiento estimado para este distrito para 2030 es de 134,874 habitantes, de acuerdo con los instrumentos de planeación urbana publicados en la gaceta municipal. Comprende las colonias de Montessori-La Floresta, El Pitillal y Villa de Guadalupe (Figura 125).

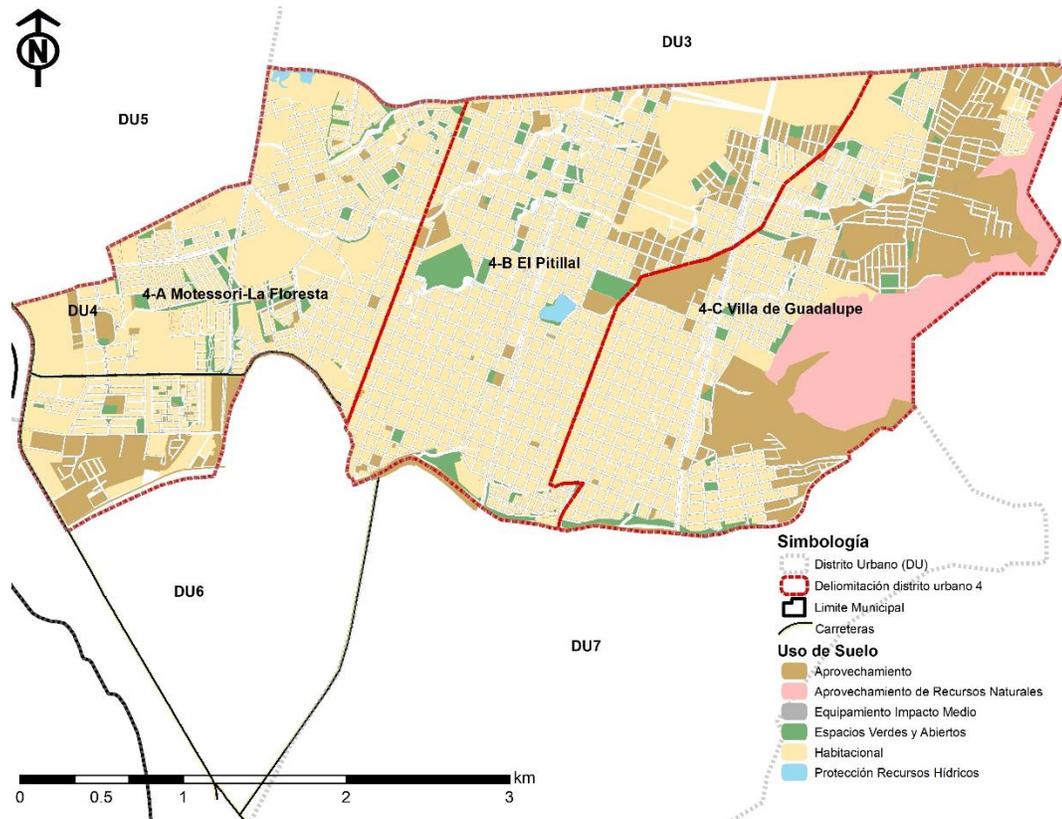
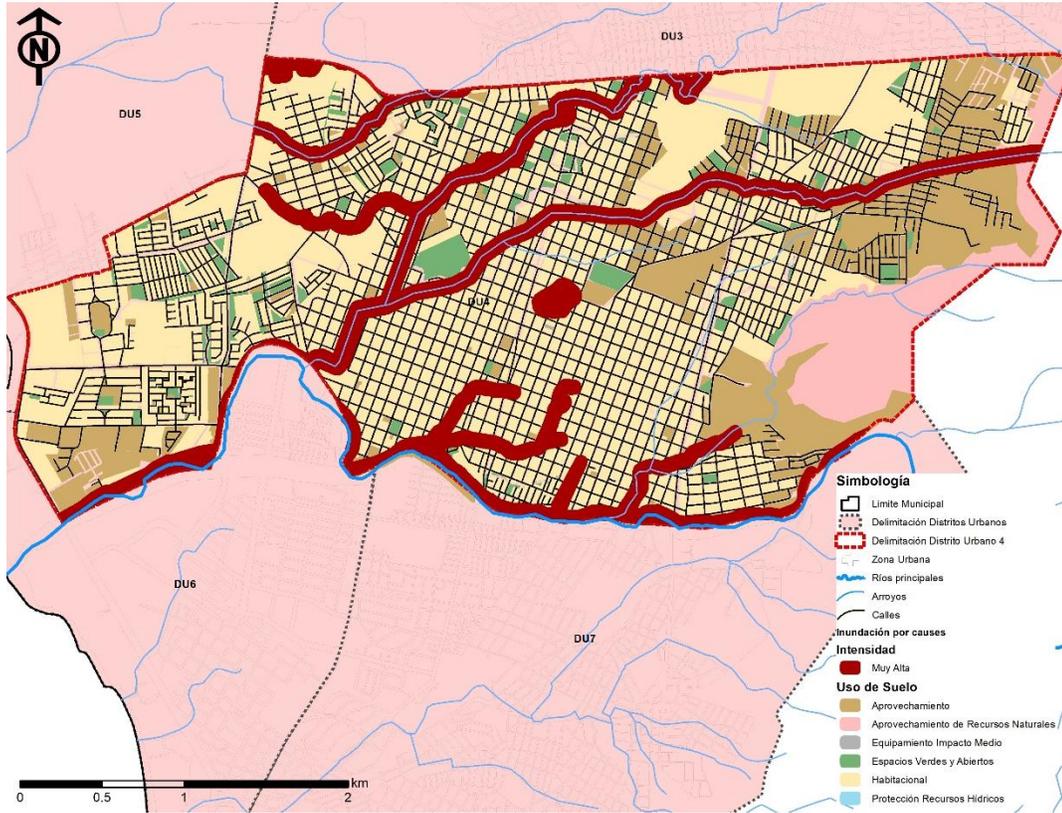


Figura 125. Delimitación del Distrito Urbano 4.

### Riesgos hidrometeorológicos

Los riesgos que influyen en este distrito son las inundaciones (costera, fluviales y pluviales). En la Figuras 126 se puede ver la influencia de las inundaciones por cauces, uno de los límites del municipio es el Río Pitillal, además hay varios arroyos dentro del distrito, el porcentaje de afectación de la superficie total es de 2%. En la figura 127 y 128 se muestra un acercamiento a los puntos de inundación, de acuerdo con el ARPV existen 102 puntos de inundación y las zonas de inundación por precipitación, influyendo en el 11% del área del distrito. Por último, en la Figura 129 se puede observar la influencia de las mareas en la zona

suroeste del distrito, esta es la zona más cercana al distrito 5, el cual tiene un riesgo de inundación costera del 100%.



**Figura 126. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano 4.**

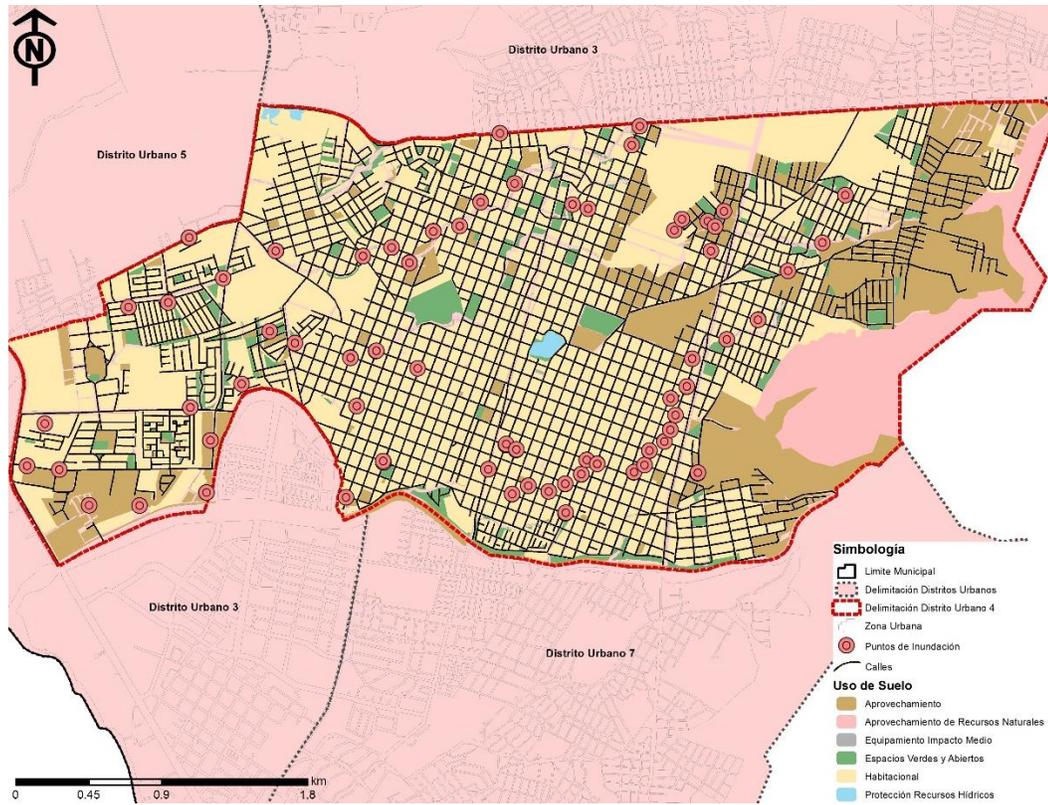


Figura 127. Puntos de inundación registrados en el Distrito Urbano 4.

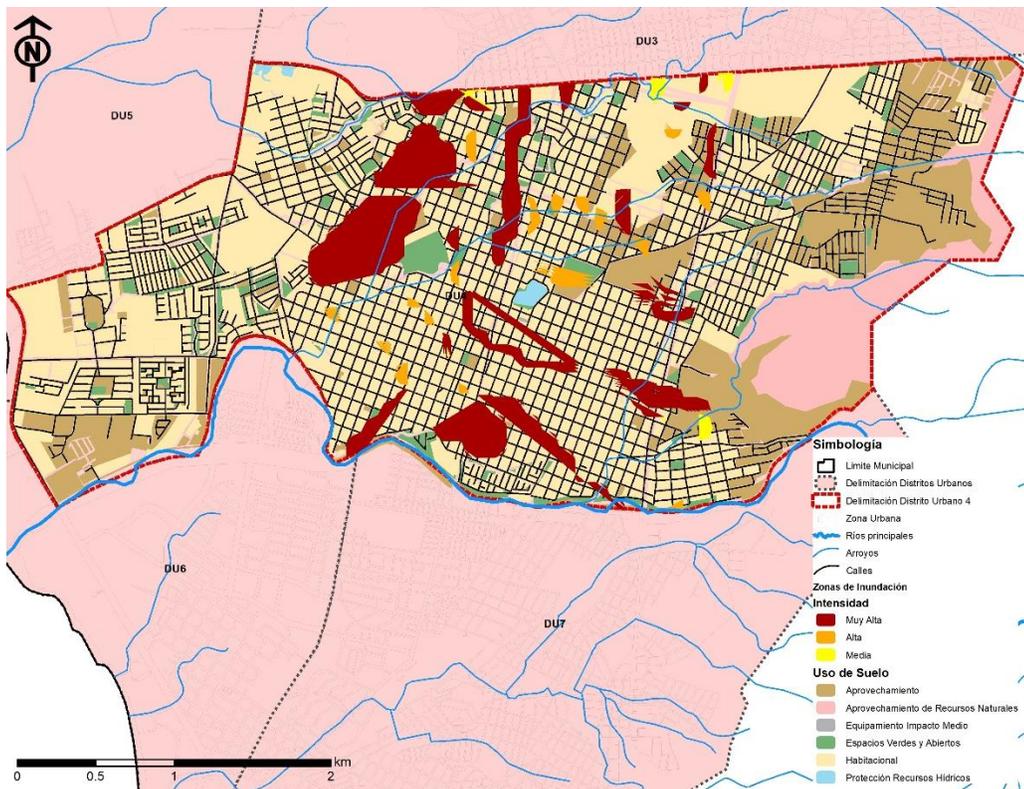
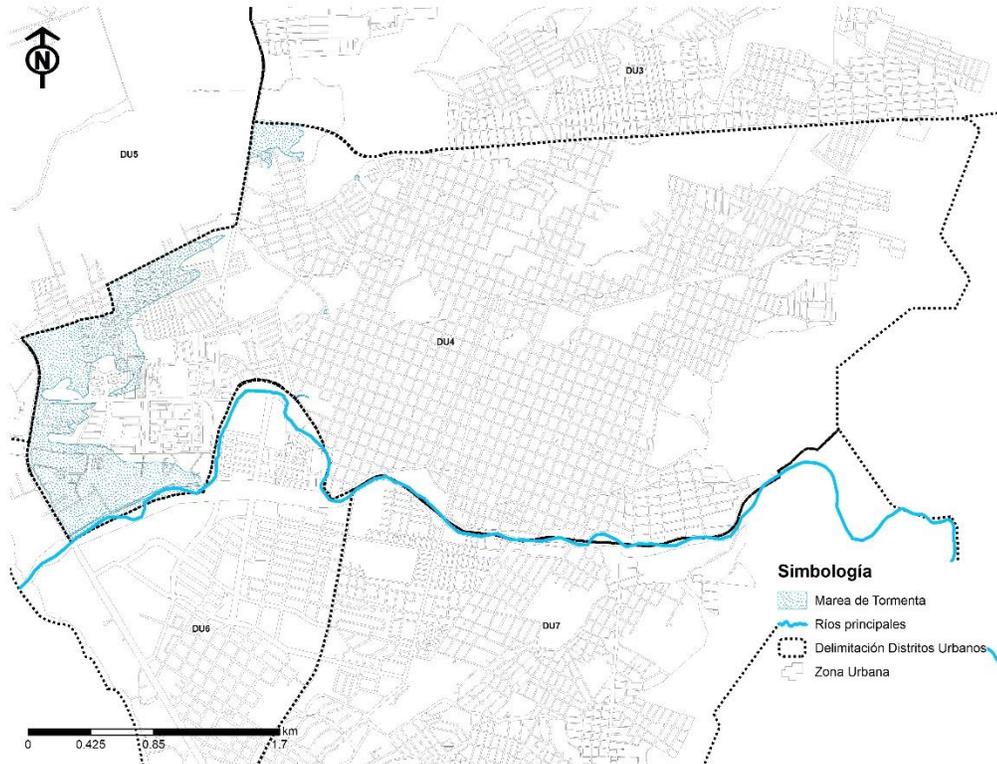


Figura 128. Zonas de inundación en el Distrito Urbano 4.



**Figura 129. Mareas de tormentas en el Distrito Urbano 4.**

### Riesgos geológicos

Dentro de los riesgos geológicos, existen las inundaciones por tsunami de diferente categoría (2.5 m, 5 m, 10 m y 20 m), presencia de fallas y fracturas no hay dentro del distrito y deslizamientos se encontró que existen 3 zonas de posibles deslizamientos, de acuerdo con el ARPV (Figura 131). Como se puede observar en la figura 130 el riesgo por tsunami es del 40%, influyen las cuatro categorías de tsunami.

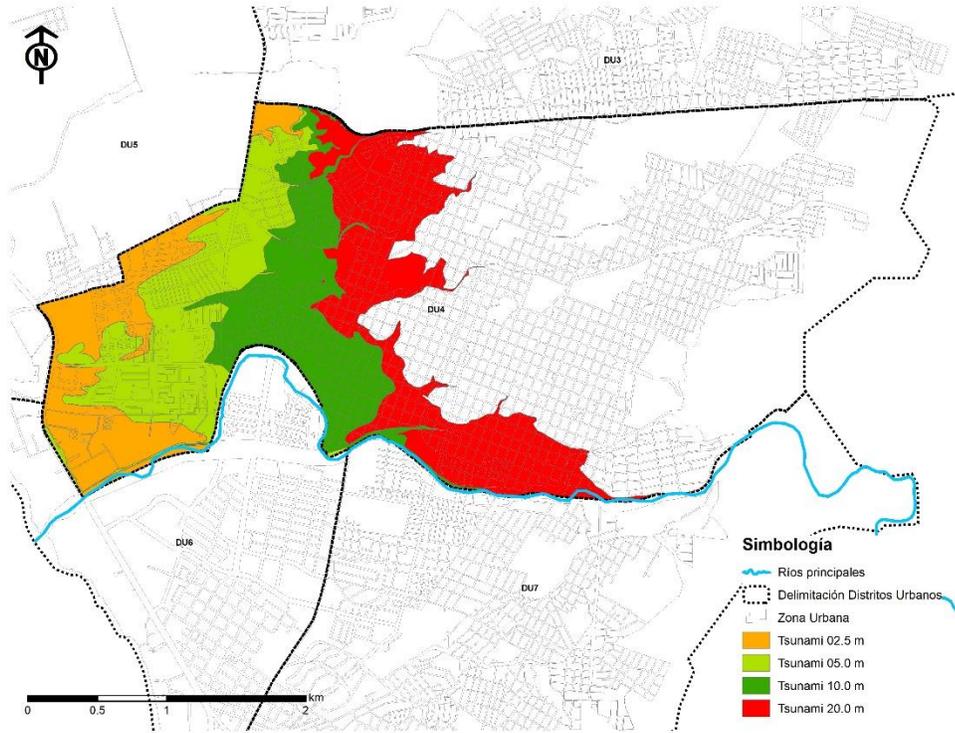


Figura 130. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis en el Distrito Urbano 4.

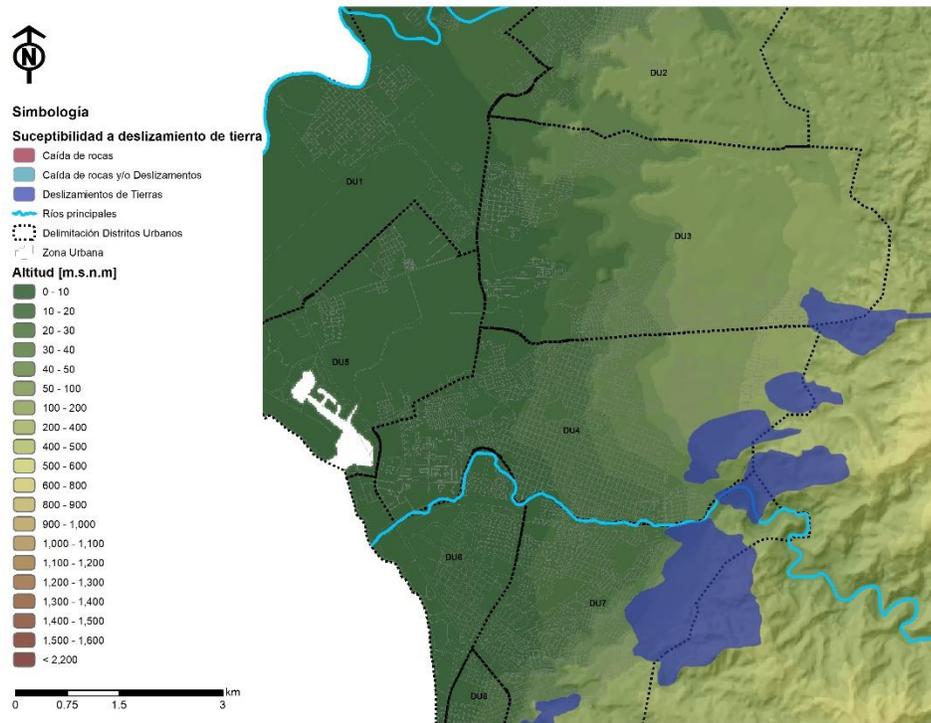


Figura 131. Riesgo de deslizamiento de laderas en el Distrito Urbano 4.

### 11.4.2. Componentes ambientales relevantes

Los componentes ambientales que por sus características pueden ser evaluados al nivel del distrito urbano son los siguientes:

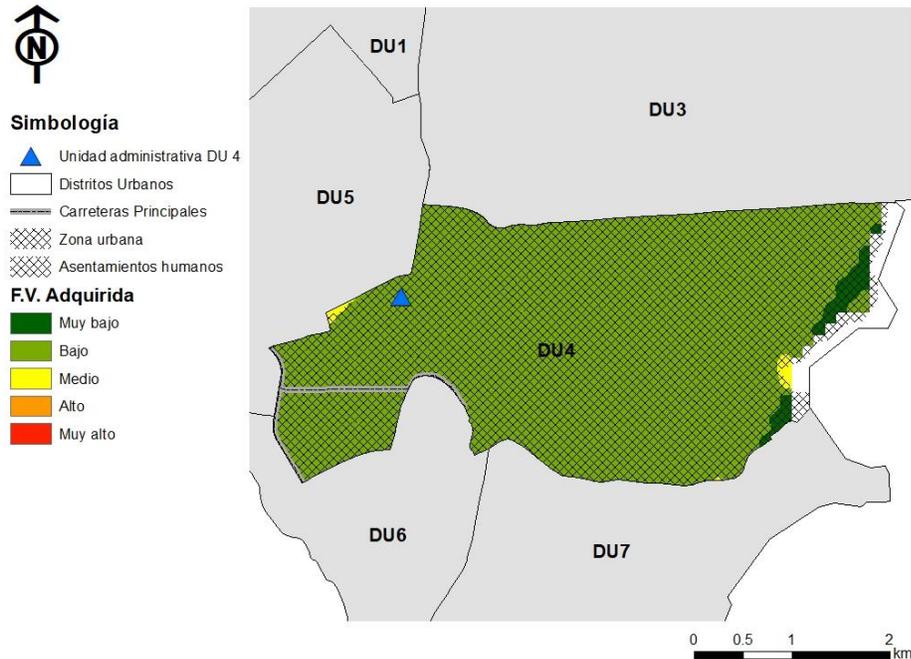
- **Calidad paisajística**
- **Residuos**

### 11.4.3. Análisis de impactos ambientales potenciales

A continuación, se describen los impactos ambientales específicos para el distrito urbano.

#### Calidad paisajística

En la Figura 132 se observa el mapa de fragilidad visual adquirida del distrito 4. El distrito, al tener un área completamente urbana, tiene una fragilidad visual baja.



**Figura 132. Mapa de fragilidad visual para el Distrito Urbano 4.**

A diferencia de los otros distritos, en el distrito 4 se muestra solo un tipo de impacto, pues el área está mayormente compuesta por zona urbana y casi no hay elementos naturales en el paisaje.

#### 1) Modificación de los elementos visuales del paisaje.

Los edificios, por su forma, geometría y color, alteran las líneas y el color del paisaje natural, ya que resaltan sobre este. Con esto se observa una alteración a los elementos geomorfológicos, vegetales y patrones compositivos.

## **Residuos**

En 2010 este distrito contaba con una población de 83,822 habitantes, siendo el más poblado de todo el municipio. Se tiene proyectado que para 2030 esta población alcanzará los 134,874, es decir un incremento del 60.9% durante este periodo. Esto quiere decir que no solamente es el distrito más poblado, sino que también es uno de los que tienen una proyección de crecimiento poblacional más elevado. Esto a pesar de que no es de los distritos con mayor superficie con clasificación de "Urbanizable".

Los impactos identificados son: 1) Incremento en la generación de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, 2) Incremento en el tráfico vehicular relacionado a la recolección de residuos sólidos

### **1. Incremento en la generación de residuos sólidos urbanos y de manejo**

Este distrito es el que mayor cantidad de residuos aporta a la generación total del municipio y se espera que esto continúe así durante la siguiente década. Al menos un 30% de la generación total de residuos del municipio provendrá de este distrito

### **2. Incremento en el tráfico vehicular relacionado a la recolección de residuos sólidos**

Con un incremento en la población y generación de residuos, será necesario emplear una mayor cantidad de vehículos recolectores para satisfacer la necesidad de los habitantes en este distrito. Este incremento implicará un impacto en el tráfico vehicular lo cual implicaría un incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub>, así como un de olores y ruido.

## **11.4.4. Estrategias de mitigación**

A continuación, se describen las estrategias de mitigación específicas para el distrito urbano.

### **Calidad paisajística**

- Integrar las medidas del apartado 7.5.2 para la restauración y mejoramiento de la imagen urbana.
- Promover el uso de luminarias cuya dirección de luz vaya dirigida hacia abajo y no sobre la horizontal, para disminuir el impacto de la contaminación lumínica.
- Regular las construcciones que se lleven a cabo, tomando en cuenta la estética y la arquitectura de la edificación. Para esto deberán de implementarse estudios de integración paisajística.

### **Residuos**

- Valorar la implementación un sistema tarifario con enfoque a incentivar la reducción en la generación. Esta estrategia se plantea para el resto de los distritos, sin embargo, en caso de implementarse de manera gradual, este distrito debe ser uno de los primeros que incorporen este sistema.
- Implementar una campaña de concientización en materia de separación de RSU y RME
- Rediseñar el sistema de recolección incorporando nuevas o distintas rutas e incorporando esquemas de separación

- Procurar el mantenimiento y buenas condiciones del parque vehicular usado para la recolección de residuos a fin de reducir las emisiones de estos.

## 11.5. Distrito Urbano 5 – Marina Vallarta

### 11.5.1. Contexto

El distrito urbano cinco es sin lugar a duda el distrito más representativo en materia ambiental para la población del municipio por tener el área natural protegida Estero el Saldo, además de tener la Marina donde arriban los cruceros con turistas al municipio. El crecimiento estimado para este distrito para 2030 es de 12,377 habitantes, de acuerdo con los instrumentos de planeación urbana publicados en la gaceta municipal. Es un distrito con vocación preferentemente de servicios y turístico. Se ubica al centro de la zona urbana del municipio. Se divide en dos subdistritos, 5A y 5B, los cuales comprende el Fraccionamiento Marina Vallarta y la zona de API (Figura 133).



Figura 133. Delimitación del Distrito Urbano 5.

### Riesgos hidrometeorológicos

Los riesgos que influyen en este distrito son las inundaciones (costera, fluviales y pluviales). En la Figura 134 se puede ver la influencia de las inundaciones por cauces, en el municipio hay un arroyo, el porcentaje de afectación de la superficie total es de 1%. En la figura 135 y 136 se muestra un acercamiento a los puntos de inundación, de acuerdo con el ARPV existen 9 puntos de inundación y las zonas de inundación por precipitación, influyendo en el 2% del área del distrito. Por último, en la figura 137 se puede observar la influencia de las mareas de tormenta en casi el 100% del distrito, esto es debido a su cercanía al océano y a el pequeño estero que tiene.

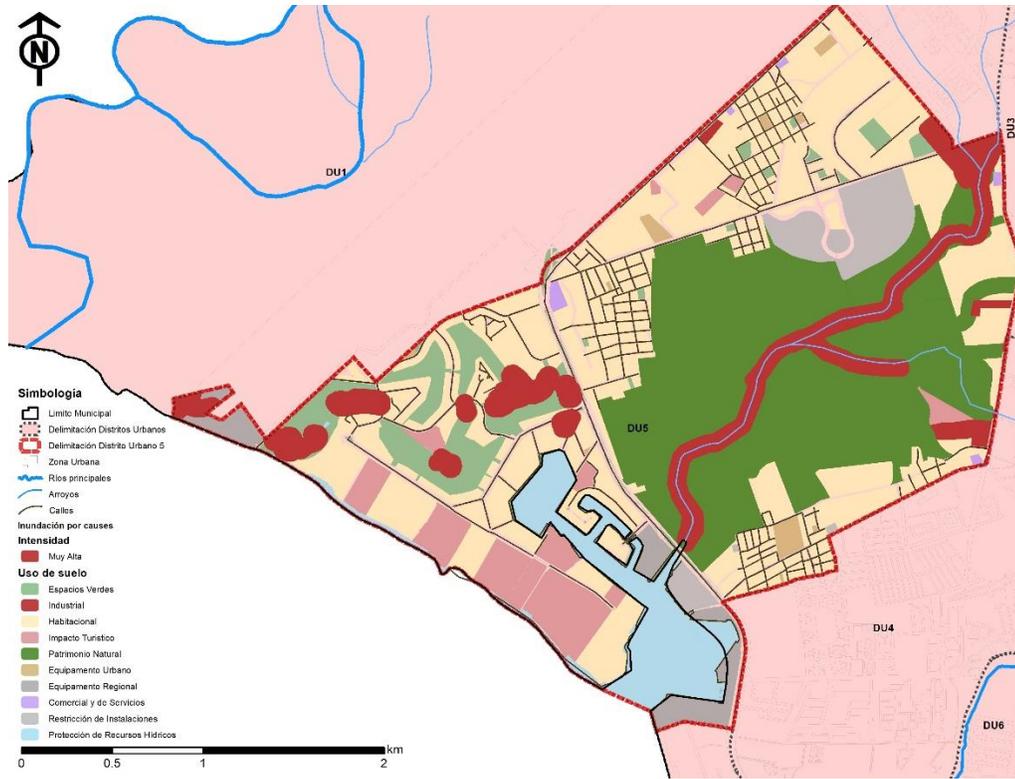


Figura 134. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano 5.

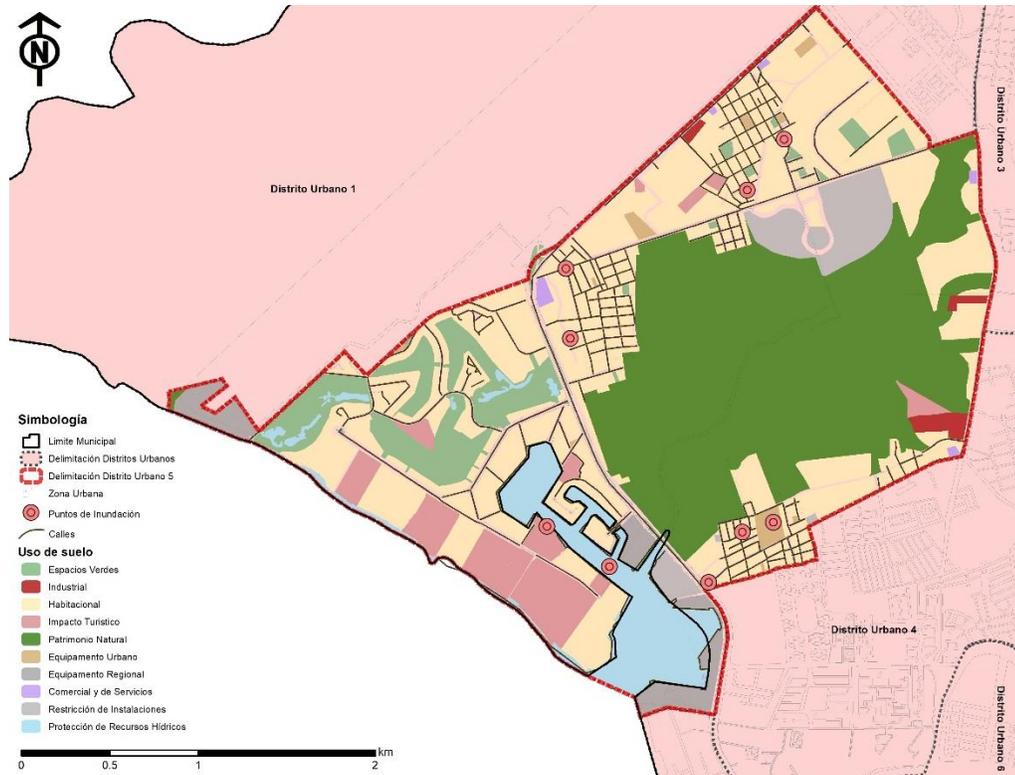


Figura 135. Puntos de inundación registrados en el Distrito Urbano 5.

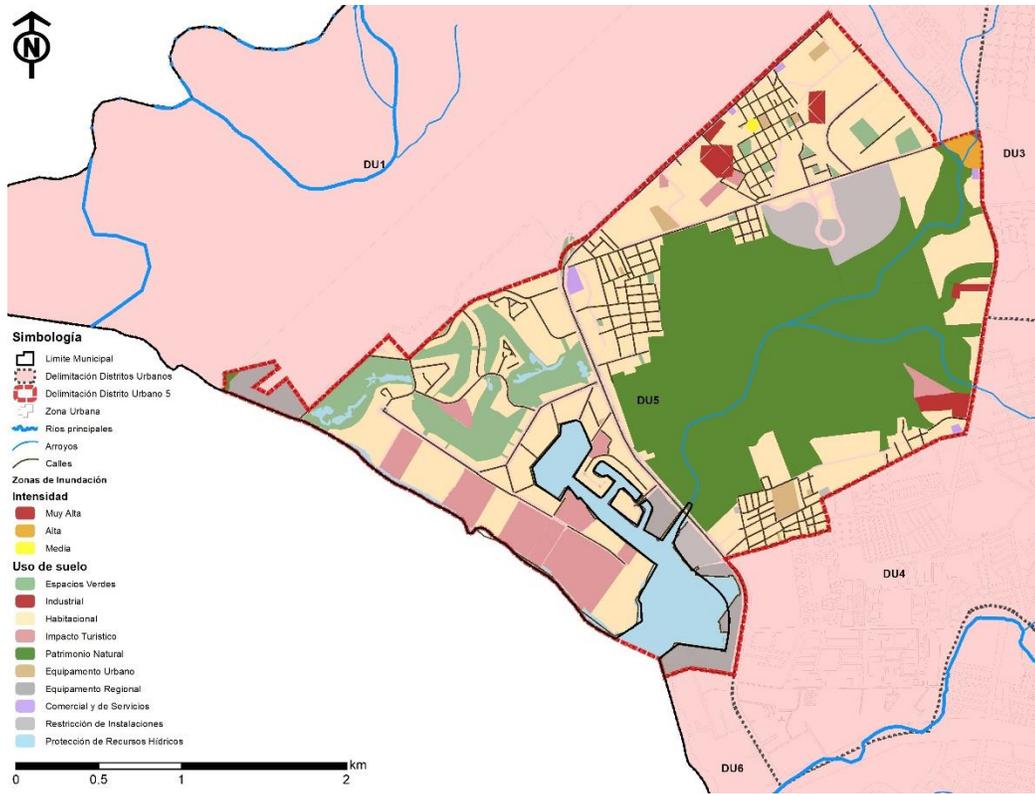


Figura 136. Zonas de inundación en el Distrito Urbano 5.

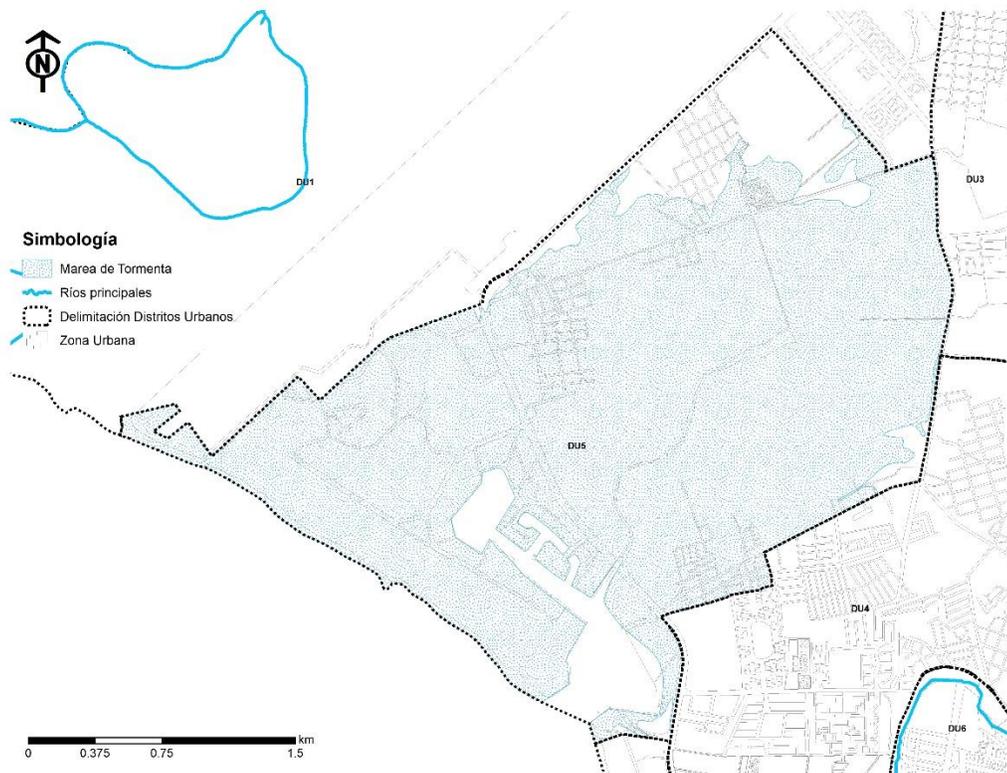


Figura 137. Mareas de tormentas en el Distrito Urbano 5.

## Riesgos geológicos

Dentro de los riesgos geológicos, existen las inundaciones por tsunami de diferente categoría (2.5 m, 5 m, 10 m y 20 m), presencia de fallas y fracturas y deslizamientos. El distrito 5 presenta riesgos por las cuatro categorías de tsunami, teniendo una influencia en el 100% de la superficie, esto es por la cercanía al océano (Figura 138). Debido a que la topografía del lugar es plana, su altitud más baja es de 0 m.s.n.m., no hay pendientes que puedan provocar algún deslizamiento de laderas, por lo que no hay riesgos por deslizamientos registrados en este distrito. No hay presencia de fallas y fracturas.

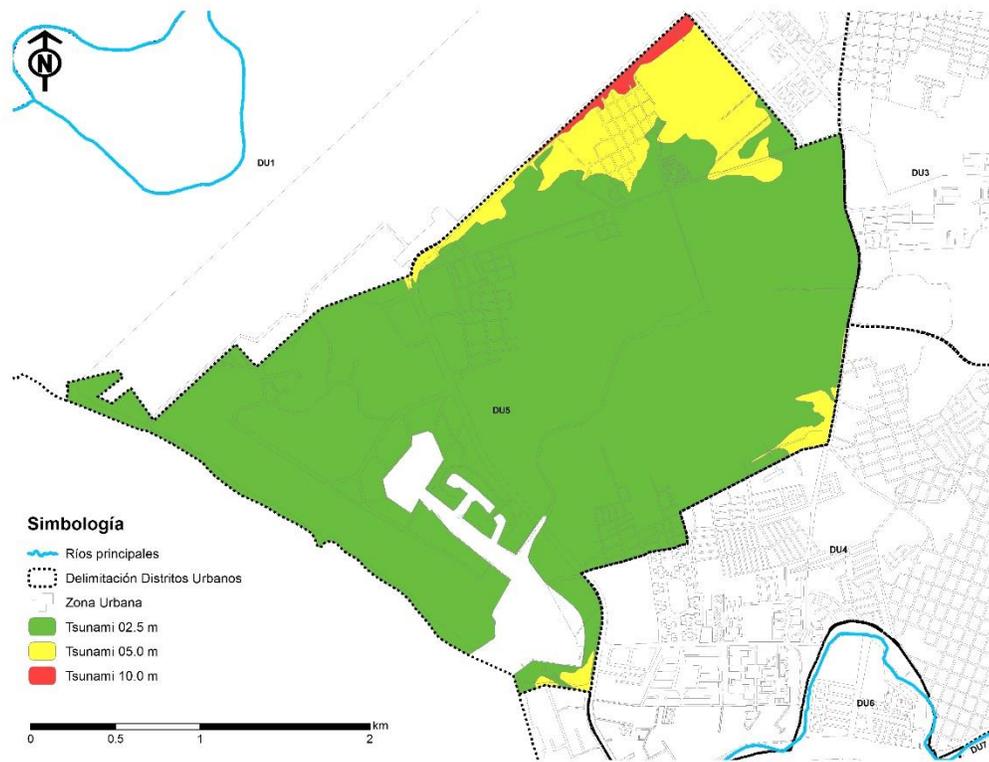


Figura 138. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis en el Distrito Urbano 5.

### 11.5.2. Componentes ambientales relevantes

Los componentes ambientales que por sus características pueden ser evaluados al nivel del distrito urbano son los siguientes:

- **Calidad paisajística**
- **Biodiversidad**

### **11.5.3. Análisis de impactos ambientales potenciales**

A continuación, se describen los impactos ambientales específicos para el distrito urbano.

#### **Biodiversidad**

En este distrito urbano se encuentra el Estero el Salado que es un elemento en materia de biodiversidad muy importante para la ciudad y rasgo que identifican los habitantes. Son pocos los lugares en el país que tienen un área con estas características al interior de sus ciudades. Existe dos impactos ambientales que se pueden ver asociados a esta zona.

#### **1. Aumento en la presencia de personas alrededor**

El aumento en la presencia de personas en el distrito urbano puede traer como consecuencia el aumento en la generación de residuos que pueden llegar a dar al estero por poner un ejemplo, también pueden incrementarse acciones como el vandalismo o afectación a infraestructura del área. Si bien el estero se encuentra delimitado hay que recordar que es un área relativamente extensa al interior de la ciudad en la que puede ser complejo su supervisión.

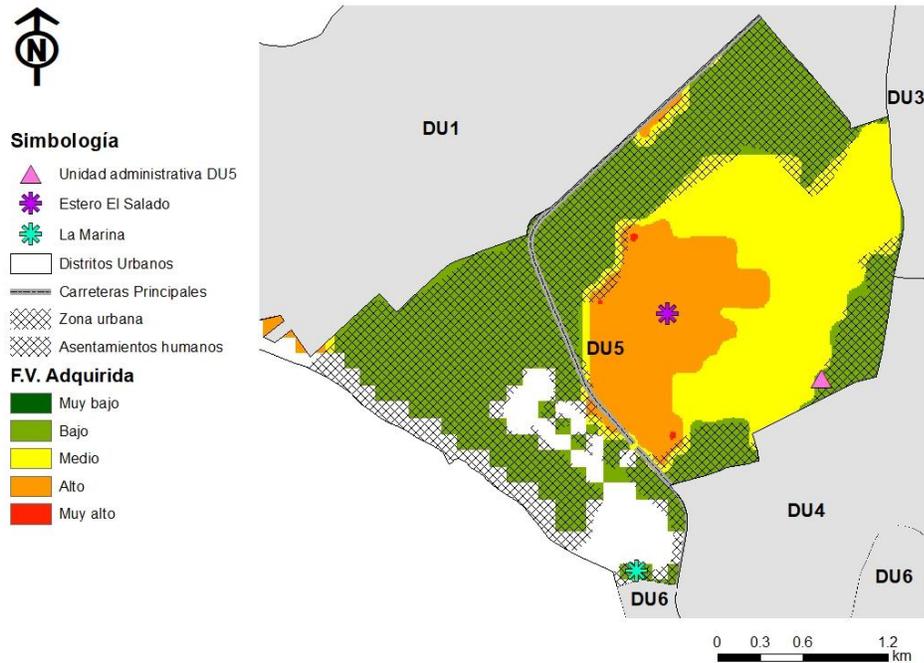
#### **2. Aumento en luminosidad y ruido**

El reciclamiento de espacios para construir vivienda o desarrollos puede traer con los años un aumento en la cantidad de ruido y luminosidad que puede llegar a afectar al algunas de las especies que se encuentra dentro del estero.

#### **Calidad paisajística**

En la Figura 139 se observa el mapa de fragilidad visual adquirida del distrito 5, siendo también señalada la ubicación de los lugares donde se tomaron las fotografías durante el trabajo de campo (ver Figura 140).

El área que comprende la zona urbana tiene baja fragilidad visual, mientras que el área natural protegida del Estero el Salado tiene una fragilidad alta.



**Figura 139. Mapa de fragilidad visual para el Distrito Urbano 5.**

En las siguientes imágenes se puede observar el distrito 5, en donde se encuentra el área natural protegida, Estero el Salado. Según el mapa, la fragilidad visual en esta zona es alta y no muy alta, debido a que el ordenamiento territorial estatal lo delimita como uso de suelo urbano y no como área natural protegida. Sin embargo, por ser un área natural protegida no puede haber ningún tipo de construcción en esa zona.

En el distrito 8 se muestran dos tipos de impacto: 1) Modificación de los elementos visuales del paisaje, 2) Modificación de la funcionalidad geosistémica

### **1. Modificación de los elementos visuales del paisaje**

En el distrito 5 se puede ver una alteración de la integridad morfológica del terreno y de la integridad de la vegetación natural. En la Figura 140, se puede ver que la imagen urbana no cuenta con las técnicas de naturalización, minimización y fusión, por lo que se crea una imagen disruptiva entre el área natural y la urbana.

### **2. Modificación de la funcionalidad geosistémica**

La pérdida de biodiversidad y geodiversidad está relacionada con la pérdida tanto indirecta como directa de la calidad paisajística. El distrito 5 alberga el área natural protegida El estero el Salado, el cual tiene gran diversidad de especies de fauna y flora. En este caso, por la cercanía de la zona urbana, se genera una desconexión y fragmentación de hábitats por el efecto de borde y barrera que produce el ruido y la contaminación lumínica de la ciudad.

La contaminación lumínica también puede ocasionar un impacto sobre el paisaje nocturno, ya que disminuye la capacidad de ver las estrellas.



**Figura 140. Fotografías de la unidad administrativa tomadas en octubre 2020.**

#### **11.5.4. Estrategias de mitigación**

A continuación, se describen las estrategias de mitigación específicas para el distrito urbano.

##### **Biodiversidad**

Las estrategias de mitigación para este componente se encuentran englobadas dentro de las medidas sugeridas para el documento en el componente de biodiversidad particularmente y en el componente de paisaje, ya que entre los dos pueden sumar acciones que vayan abonando al cuidado del Estero.

### **Calidad paisajística**

El plan parcial del distrito 5 considera acciones de conservación para infraestructuras clasificadas como patrimonio cultural del municipio. Así mismo se tienen fragmentadas las áreas de valor urbano ambiental las cuales se transformarán de predios rústicos a áreas urbanizadas, mejorando la imagen urbana y cuidando que las áreas de protección no formen parte de esta transformación.

#### *Estrategias generales:*

- Se deberá de llevar a cabo estudios de valorización del paisaje natural para promover la conservación de zonas con alto valor ecológico.
- Los estudios para determinar el valor paisajístico también deberán de involucrar la participación pública y establecer una valoración social donde se incluyan las preferencias de la población.
- Establecer programas de paisaje para garantizar el cumplimiento de las medidas de conservación de las áreas de alto valor ecológico.
- Promover el uso de luminarias cuya dirección de luz vaya dirigida hacia abajo y no sobre la horizontal, para disminuir el impacto de la contaminación lumínica.

## 11.6. Distrito Urbano 6 – Fluvial Vallarta

### 11.6.1. Contexto

El crecimiento estimado para este distrito para 2030 es de 15,232 habitantes, de acuerdo con los instrumentos de planeación urbana publicados en la gaceta municipal. Es uno de los distritos urbanos con mayor actividad hotelera y de servicios. Comprende las colonias Díaz Ordaz Olímpica, Versalles, La Bobadilla, Prados de la Higuera, Zona Hotelera Norte y Zona Hotelera Las Glorias, así como los fraccionamientos Fluvial Vallarta, Vallarta Villas, Foviste 100, Villas Río, Primavera y Jardines de la Higuera (Figura 141).

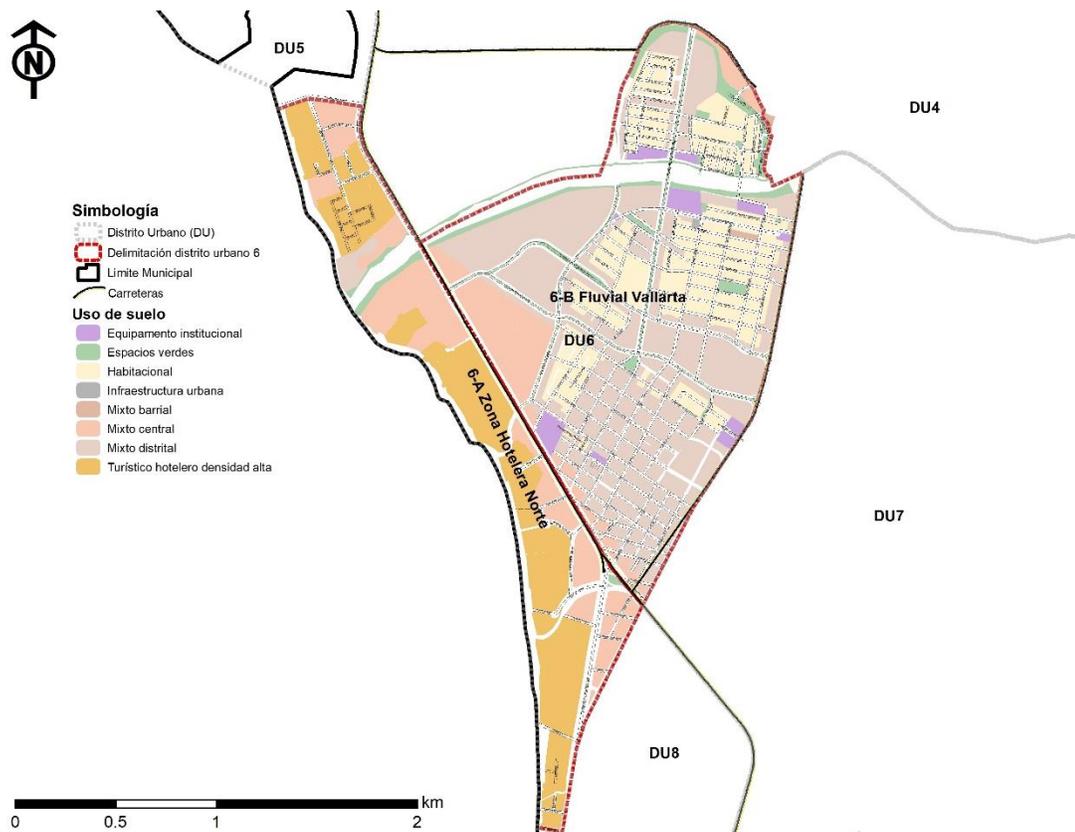


Figura 141. Delimitación del Distrito Urbano 6.

### Riesgos hidrometeorológicos

Los riesgos que influyen en este distrito son las inundaciones (costera, fluviales y pluviales). En la Figura 142 se puede ver la influencia de las inundaciones por cauces, atraviesa el municipio el Río Pitillal y existen algunos arroyos, el porcentaje de afectación de la superficie total es de 7%. En la Figura 143 y 144 se muestra un acercamiento a los puntos de inundación, de acuerdo con el ARPV existen 14 puntos de inundación y las zonas de inundación por precipitación, influyendo en el 7% del área del distrito. Por último, en la figura 145 se puede observar la influencia de las mareas de tormenta en la mitad del distrito.

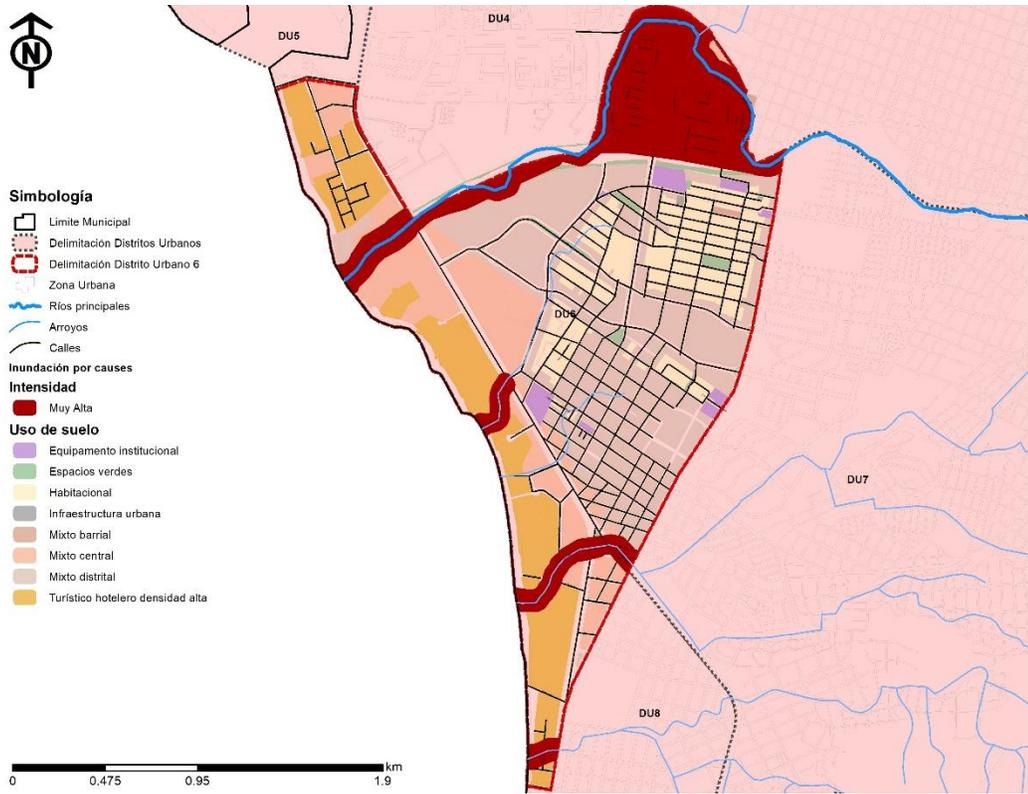


Figura 142. Riesgos por inundación de cauces Distrito 6.

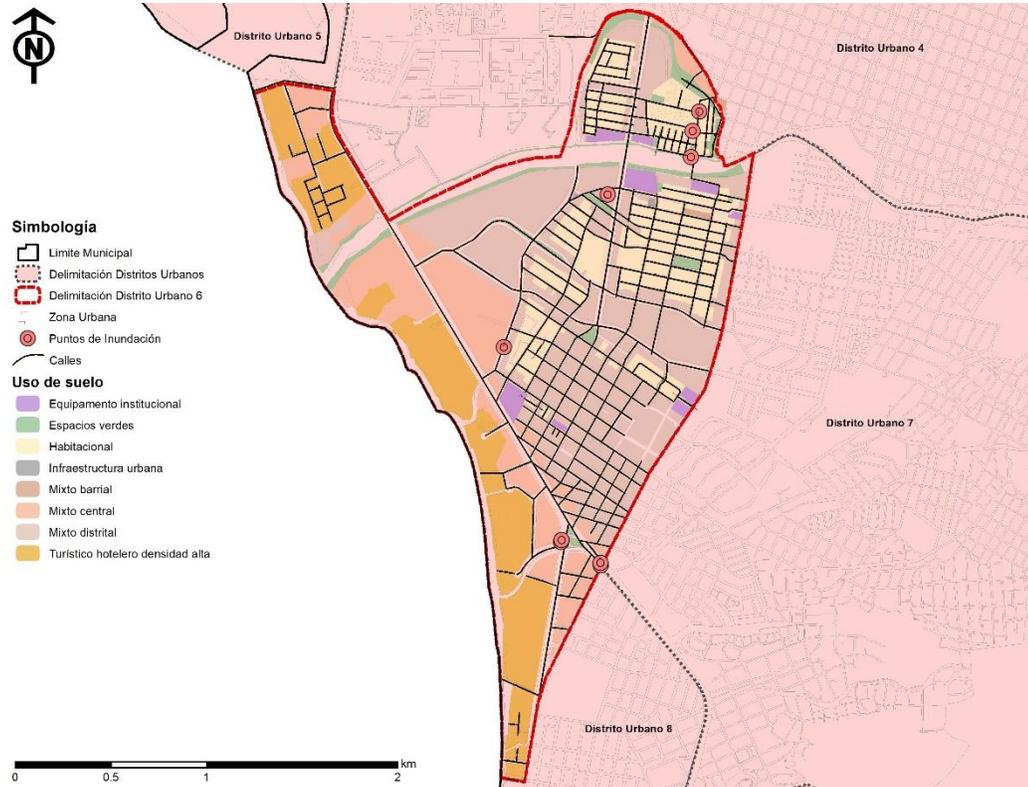


Figura 143. Puntos de inundación registrados Distrito 6.

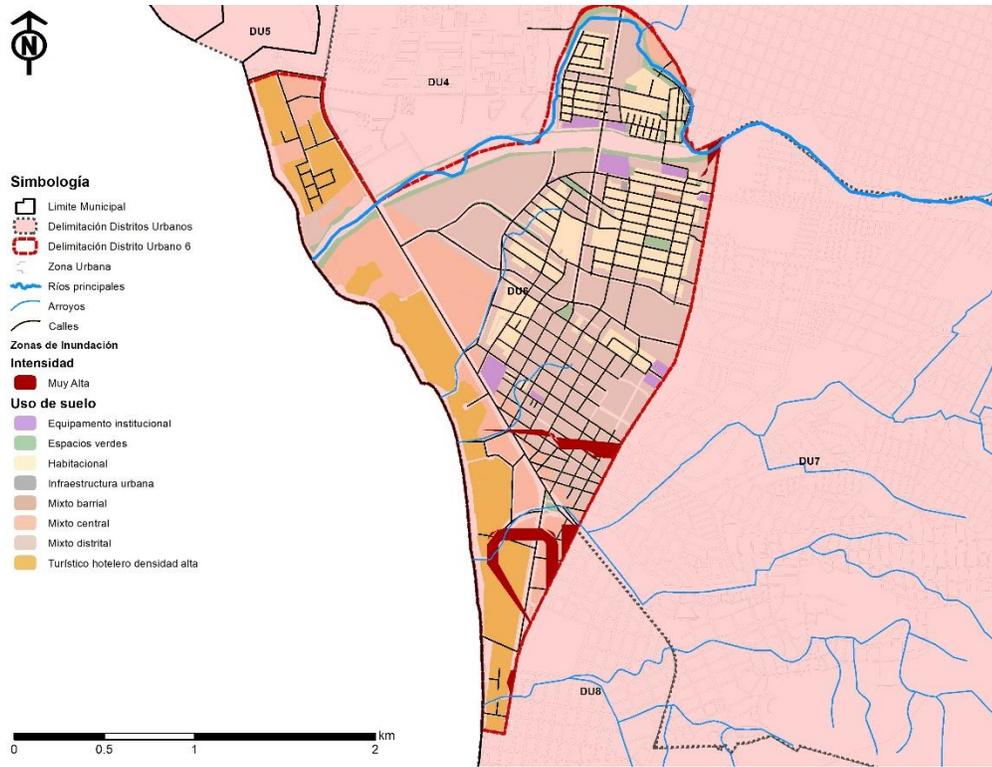


Figura 144. Zonas de inundación Distrito 6.

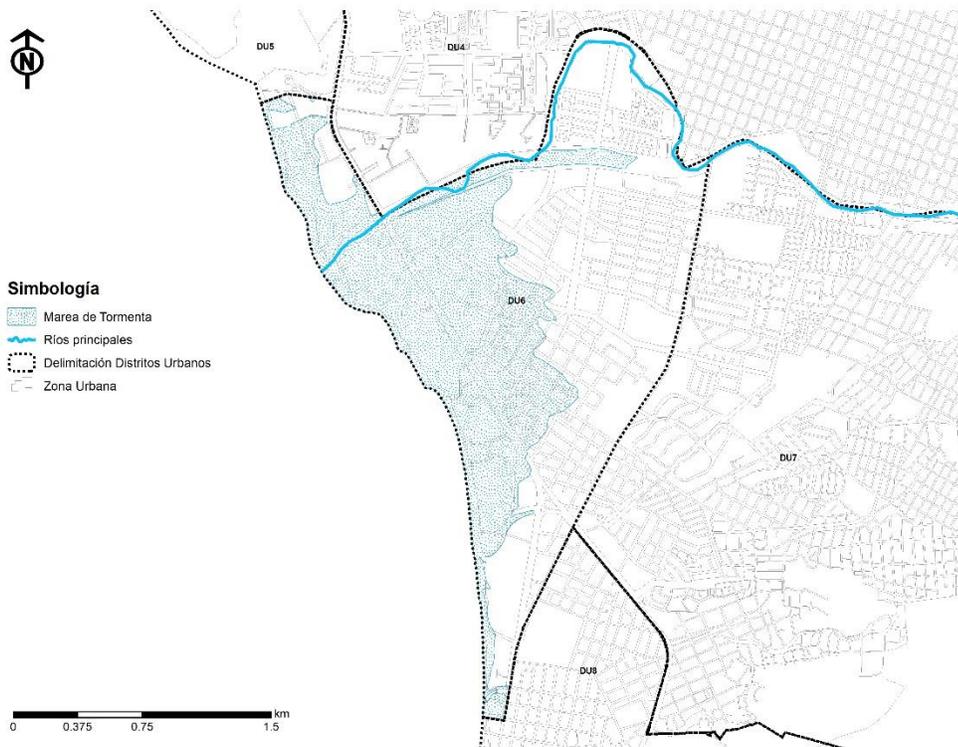


Figura 145. Mareas de tormentas Distrito 6.

## Riesgos geológicos

Dentro de los riesgos geológicos, existen las inundaciones por tsunamis de diferente categoría (2.5 m, 5 m, 10 m y 20 m), de los cuales solo influyen los tsunamis de categoría de 2.5m, 5m y 10 m influyendo en el 100% de la superficie del distrito, esto ocurre debido a la cercanía que tiene con el océano y el distrito se encuentra en una de las zonas más bajas de la cuenca. El distrito no tiene riesgos de deslizamientos, ni presencia de fallas y fracturas.

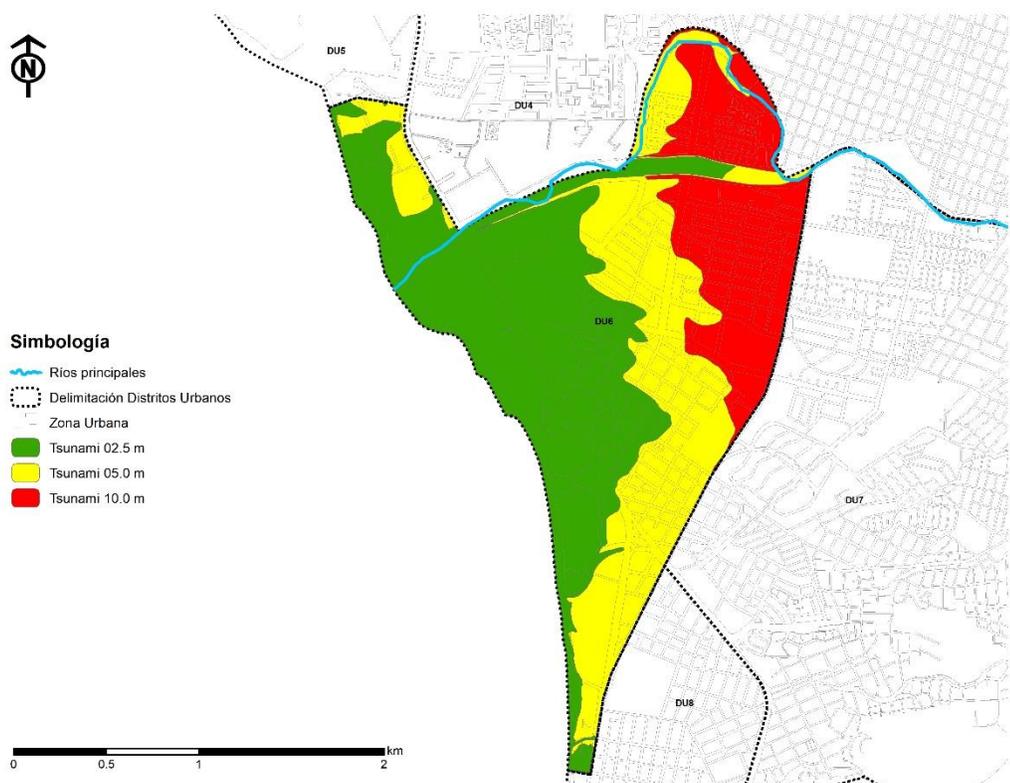


Figura 146. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis Distrito 6.

### 11.6.2. Componentes ambientales relevantes

El componente ambiental que por sus características puede ser evaluado al nivel del distrito urbano es el siguientes:

- **Componente calidad paisajística**

Cabe señalar que el componente de agua residual es relevante para el DU6, sin embargo, por las características del componente, donde la cobertura de agua residual y su tratamiento se interconecta de forma directa con los otros distritos, las estrategias de mitigación y seguimiento aplicables son descritas en el análisis del PMDU.

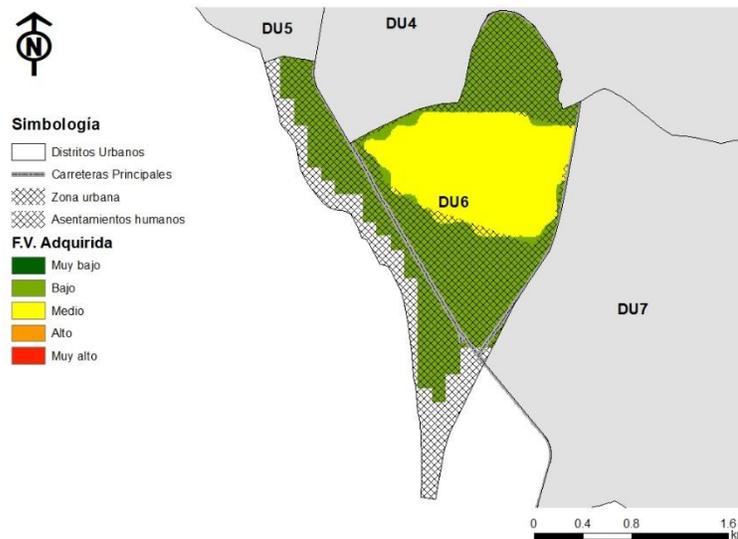
### 11.6.3. Análisis de impactos ambientales potenciales

A continuación, se describen los impactos ambientales específicos para el distrito urbano.

#### Componente calidad paisajística

En la Figura 147 se observa el mapa de fragilidad visual adquirida del distrito 6. El distrito, al tener gran parte de su área urbana, tiene una fragilidad de media a baja.

El entorno urbano ha sido determinado por los elementos naturales y las características del suelo, por lo que se obtiene una organización urbana ortogonal. Las edificaciones se encuentran en promedio con un máximo de tres niveles construidos, mientras que cerca del litoral se ubican construcciones de más de seis niveles.



**Figura 147. Mapa de fragilidad visual para el Distrito Urbano 6.**

En el distrito 6 se muestran dos tipos de impacto: 1) Modificación de los elementos visuales del paisaje, 2) Alteración de los elementos que comprenden el patrimonio natural.

#### 1. Modificación de los elementos visuales del paisaje

Los edificios, por su forma, geometría y color, alteran las líneas y el color del paisaje natural, ya que resaltan sobre este. Con esto se observa una alteración a los elementos geomorfológicos, vegetales y patrones compositivos, en especial dentro de las zonas del área costera.

#### 2. Alteración de los elementos que comprenden el patrimonio natural

El área costera del municipio presenta un impacto por los asentamientos humanos y construcción de hoteles con más de seis niveles.

#### **11.6.4. Estrategias de mitigación**

A continuación, se describen las estrategias de mitigación específicas para el distrito urbano.

##### **Calidad paisajística**

El plan parcial contempla un mecanismo para la gestión de áreas de valor urbano ambiental (AVUA), estas son áreas que por sus características urbanas, naturales o ambientales son de alto valor para la conservación de la biodiversidad, el desarrollo de los ecosistemas o desarrollo sostenible del ser humano.

- Integrar las medidas del apartado 7.5.2 para la restauración y mejoramiento de la imagen urbana.
- Llevar a cabo un plan de protección del área costera, así como un programa para mejorar la accesibilidad a playas

## 11.7. Distrito Urbano 7 – Aralias

### 11.7.1. Contexto

El crecimiento estimado para este distrito para 2030 es de 68,824 habitantes, de acuerdo con los instrumentos de planeación urbana publicados en la gaceta municipal. Comprende el área Independencia y López Mateos (Figura 148). El distrito urbano es de los que tiene mayor actividad comercial y colinda en el este con la montaña cubierta de vegetación forestal. Hacia el norte limita con un río y con el distrito urbano 4, hacia el este con el 6 y hacia el sur con el 8.

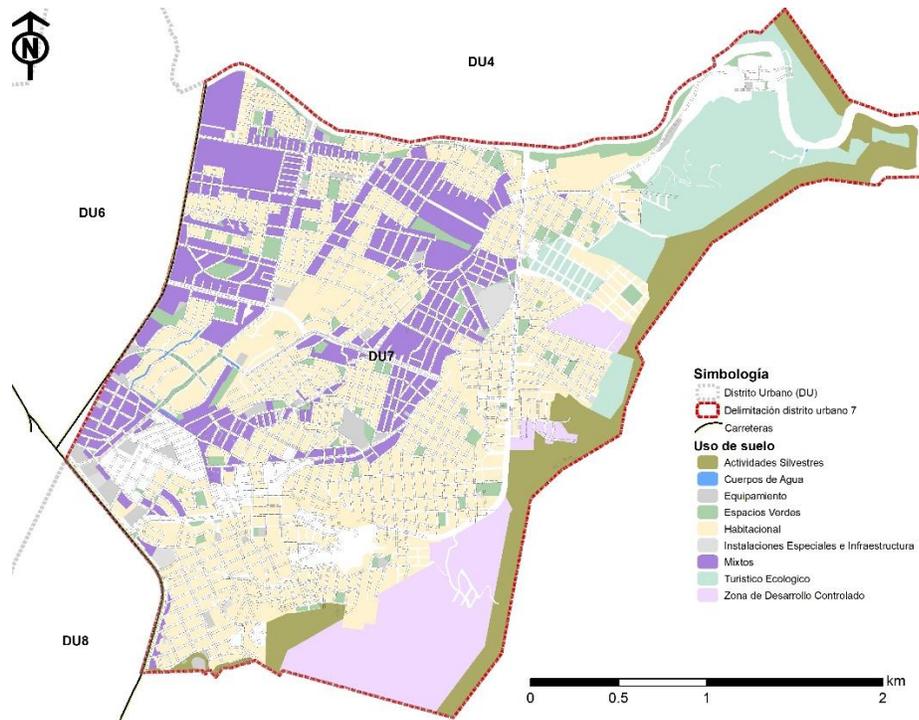


Figura 148. Delimitación del Distrito Urbano 7.

### Riesgos hidrometeorológicos

Los riesgos que influyen en este distrito son las inundaciones (fluviales y pluviales). En la Figura 149 se puede ver la influencia de las inundaciones por cauces, el límite entre el distrito 7 y 4 es el Río Pitillal y existen varios arroyos, el porcentaje de afectación de la superficie total es de 11%. En la figura 150 y 151 se muestra un acercamiento a los puntos de inundación, de acuerdo con el ARPV existen 11 puntos de inundación y las zonas de inundación por precipitación, influyendo en el 8% del área del distrito. No existe influencia por riesgo de inundación costera.

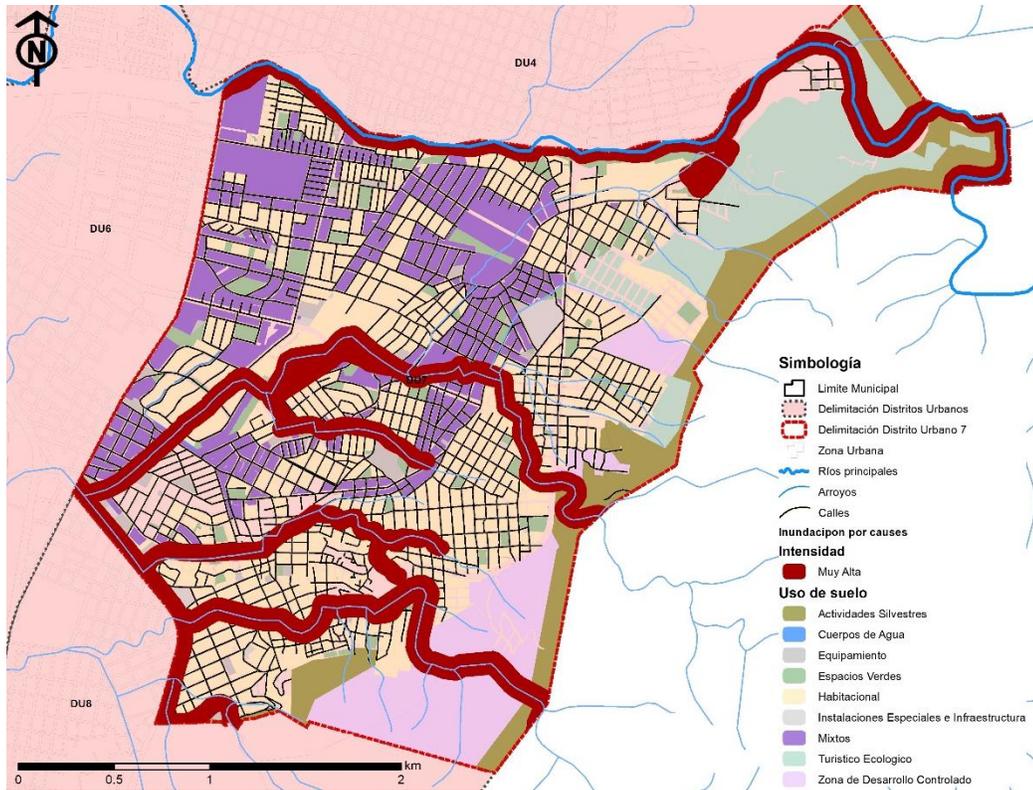


Figura 149. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano 7.

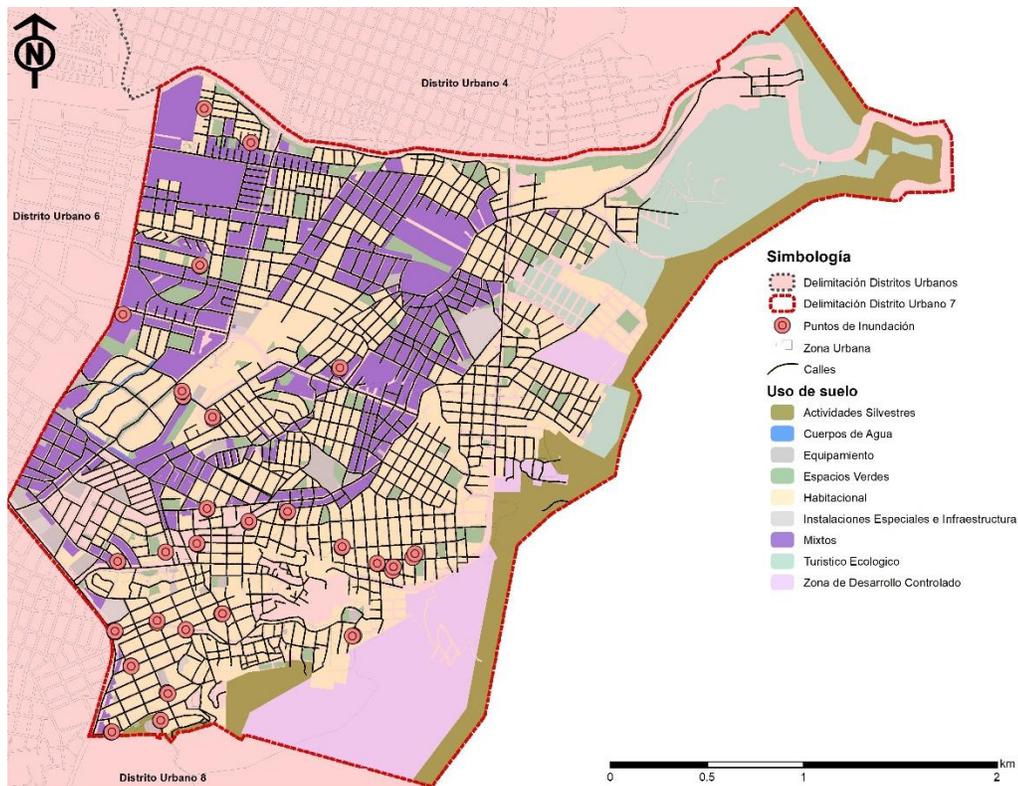
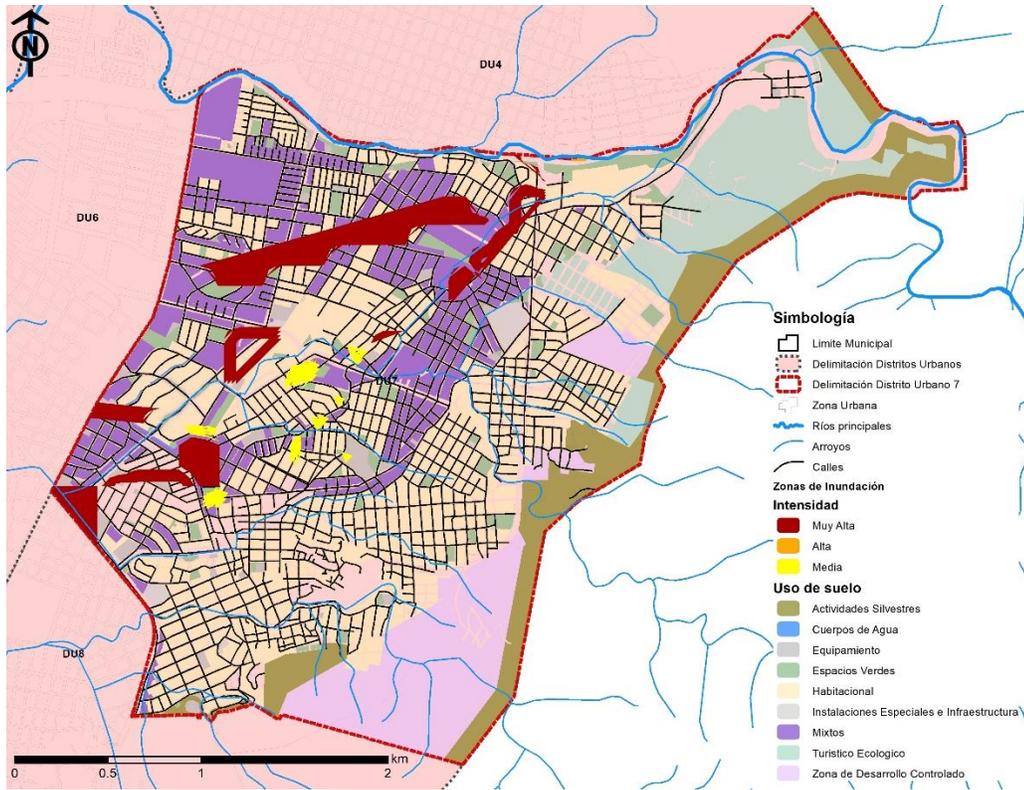


Figura 150. Puntos de inundación registrados en el Distrito Urbano 7.



**Figura 151. Zonas de inundación en el Distrito Urbano 7.**

### Riesgos geológicos

Dentro de los riesgos geológicos, existen las inundaciones por tsunamis de diferente categoría (2.5 m, 5 m, 10 m y 20 m), presencia de fallas y fracturas y deslizamientos. En la Figura 152 se puede apreciar la influencia tsunamis de 5 m, 10 m y 20 m, teniendo una influencia en la superficie del distrito del 38%. En la Figura 153 se puede observar la presencia de 2 fracturas dentro del distrito y en la Figura 153 se observan tres zonas de riesgo por deslizamientos, dos de ellas se presentan entre el distrito 8 y 7, y la otra entre el distrito 7 y 4.

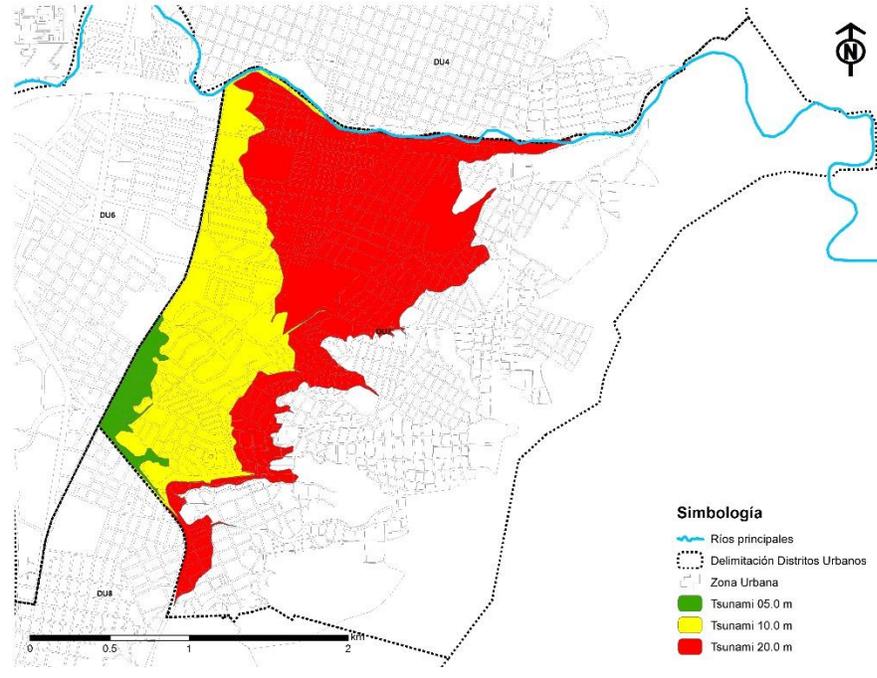


Figura 152. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis Distrito 7.

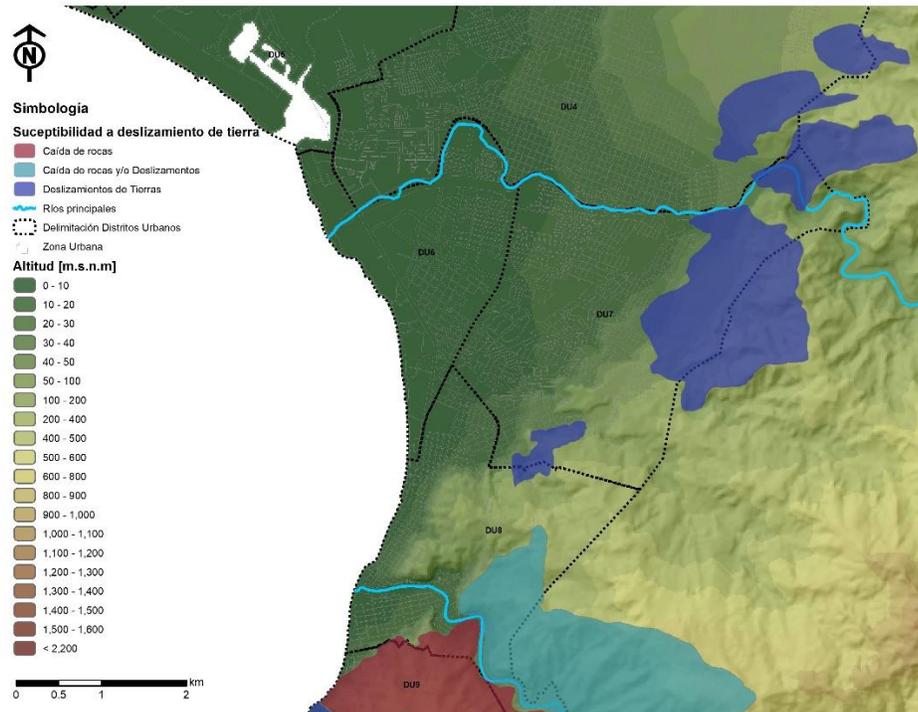


Figura 153. Riesgo de deslizamiento de laderas en el Distrito Urbano 7.

### 11.7.2. Componentes ambientales relevantes

El componente ambiental que por sus características puede ser evaluado al nivel del distrito urbano es el siguiente:

- **Calidad paisajística**

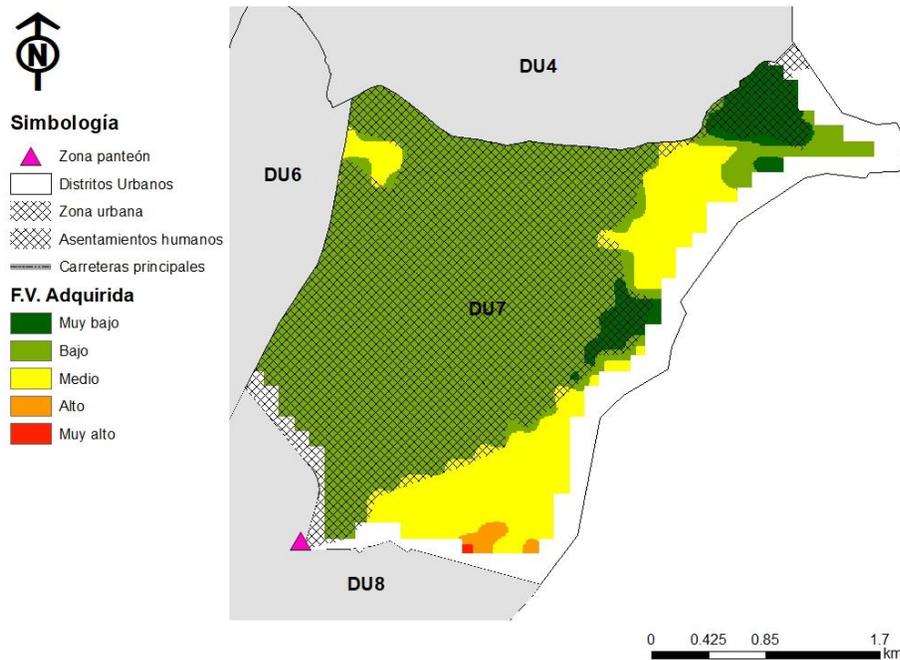
Cabe señalar que el componente de agua residual es relevante para el DU7, sin embargo, por las características del componente, donde la cobertura de agua residual y su tratamiento se interconecta de forma directa con los otros distritos, las estrategias de mitigación y seguimiento aplicables son descritas en el análisis del PMDU.

### 11.7.3. Análisis de impactos ambientales potenciales

A continuación, se describen los impactos ambientales específicos para el distrito urbano.

#### Calidad paisajística

En la Figura 154 se observa el mapa de fragilidad visual adquirida del distrito 7. La zona urbana predomina como uso de suelo, por lo que la fragilidad visual del distrito es mayormente baja o muy baja, solo pocas zonas al sur del distrito presentan alta fragilidad visual.



**Figura 154. Mapa de fragilidad visual para el Distrito Urbano 7.**

En el distrito 7 se muestran dos tipos de impacto: 1) Alteración sobre la lógica territorial y la funcionalidad social y económica, 2) Modificación de los elementos visuales del paisaje

## **1. Alteración sobre la lógica territorial y la funcionalidad social y económica**

El plan parcial menciona que el distrito 7 tiene edificaciones que superan los tres niveles de construcción predominando aquellas con tres y cinco niveles, por lo que la densidad de edificación es baja, este tipo de edificación podría hacer que la mancha urbana se expandiera de forma horizontal, dificultando la accesibilidad y la dotación de los servicios urbanos e infraestructura a aquellas personas que se encontraran en zonas marginadas.

Por otro lado, se han encontrado actividades de uso comercial, en predios con una dinámica de uso de suelo diferente, produciéndose una alteración sobre la lógica territorial.

## **2. Modificación de los elementos visuales del paisaje**

Los edificios, por su forma, geometría y color, alteran las líneas y el color del paisaje natural, ya que resaltan sobre este. Con esto se observa una alteración a los elementos geomorfológicos, vegetales y patrones compositivos.

### **11.7.4. Estrategias de mitigación**

A continuación, se describen las estrategias de mitigación específicas para el distrito urbano.

#### **Calidad paisajística**

Según el plan parcial, las condiciones actuales de la morfología urbana del distrito permiten identificar una gran área de oportunidad para modificar la dinámica de edificación para aprovechar la utilización del suelo, controlando la expansión de la mancha urbana y facilitando la transición hacia un modelo de ciudad compacta.

Así mismo, el municipio considera realizar una modificación sobre la dinámica de usos de suelo para incentivar la diversificación de las actividades.

#### *Estrategia general:*

- Integrar las medidas del apartado 7.5.2 para la restauración y mejoramiento de la imagen urbana.
- Promover el uso de luminarias cuya dirección de luz vaya dirigida hacia abajo y no sobre la horizontal, para disminuir el impacto de la contaminación lumínica.
- Es importante regular las construcciones que se lleven a cabo, tomando en cuenta la estética y la arquitectura de la edificación. Para esto deberán de implementarse estudios de integración paisajística

## 11.8. Distrito Urbano 8 – Centro

### 11.8.1. Contexto

El crecimiento estimado para este distrito para 2030 es de 35,399 habitantes, de acuerdo con los instrumentos de planeación urbana publicados en la gaceta municipal. Comprende las colonias de Centro Urbano-Los Muertos, Olímpica-Buenos Aires y Fideicomiso PV-Paso Ancho (Figura 155).

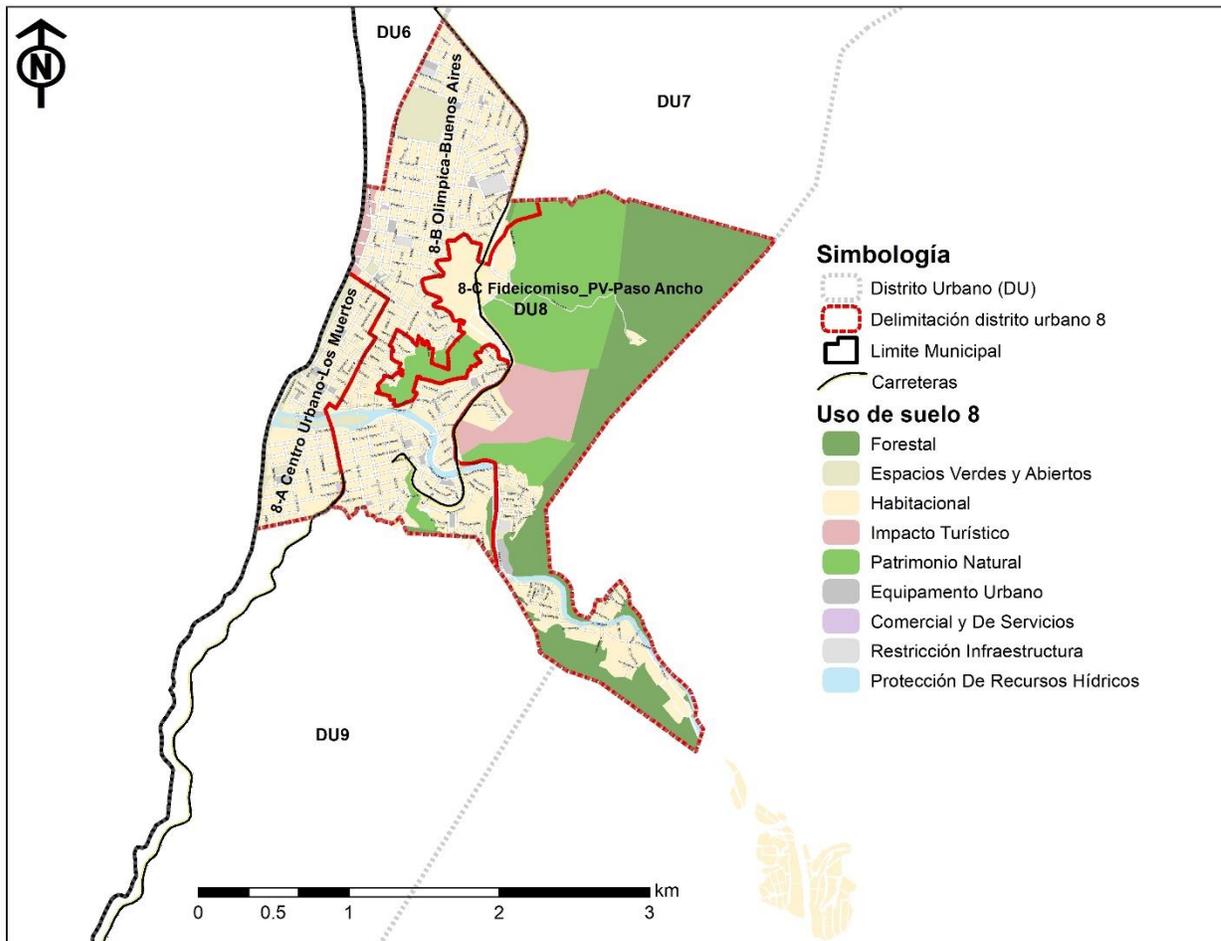


Figura 155. Delimitación del Distrito Urbano 8.

### Riesgos hidrometeorológicos

Los riesgos que influyen en este distrito son las inundaciones (costera, fluviales y pluviales). En la Figura 156 se puede ver la influencia de las inundaciones por cauces, atraviesa el municipio el Río Cuale y existen varios arroyos, el porcentaje de afectación de la superficie total es de 11%. En la Figura 157 y 158 se muestra un acercamiento a los puntos de inundación, de acuerdo con el ARPV existen 12 puntos de inundación y las zonas de inundación por precipitación, influyendo en el 8% del área del distrito. Por

último, en la Figura 159 se puede observar la influencia de las mareas de tormenta en la línea de costa del distrito.

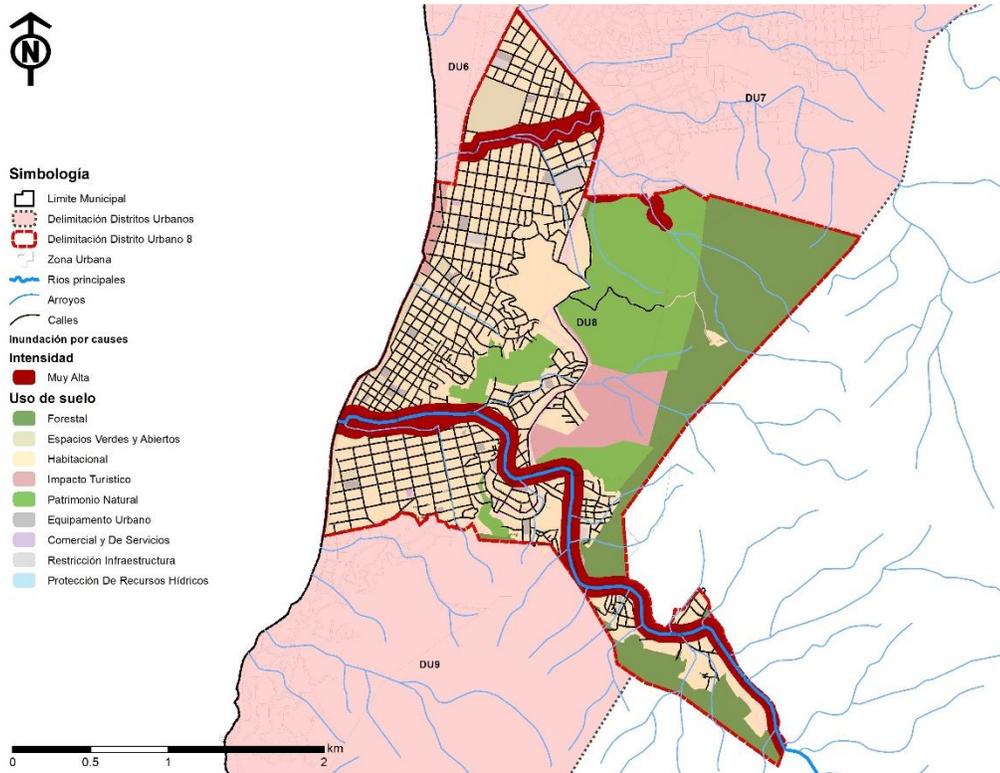


Figura 156. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano 8.

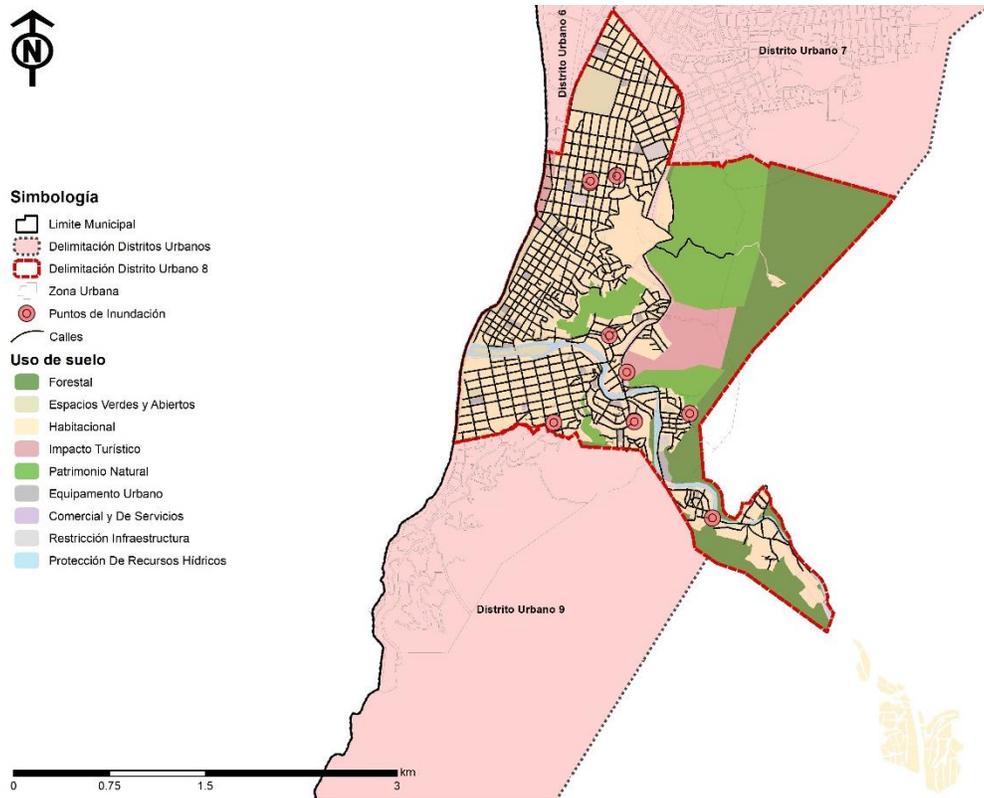
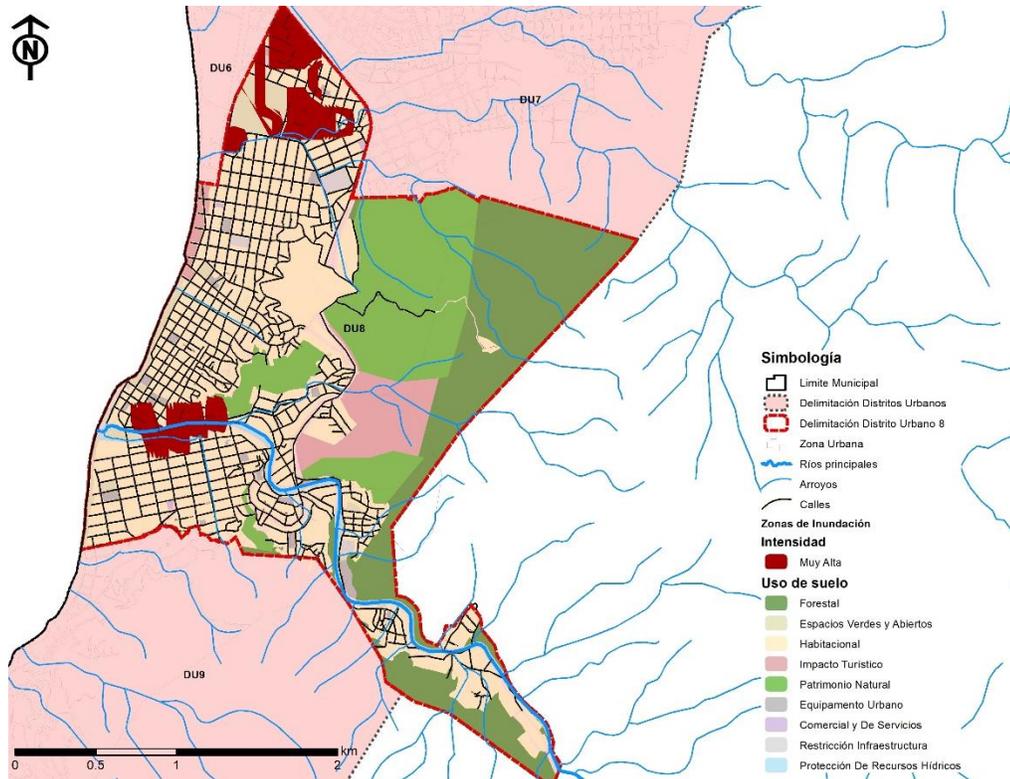
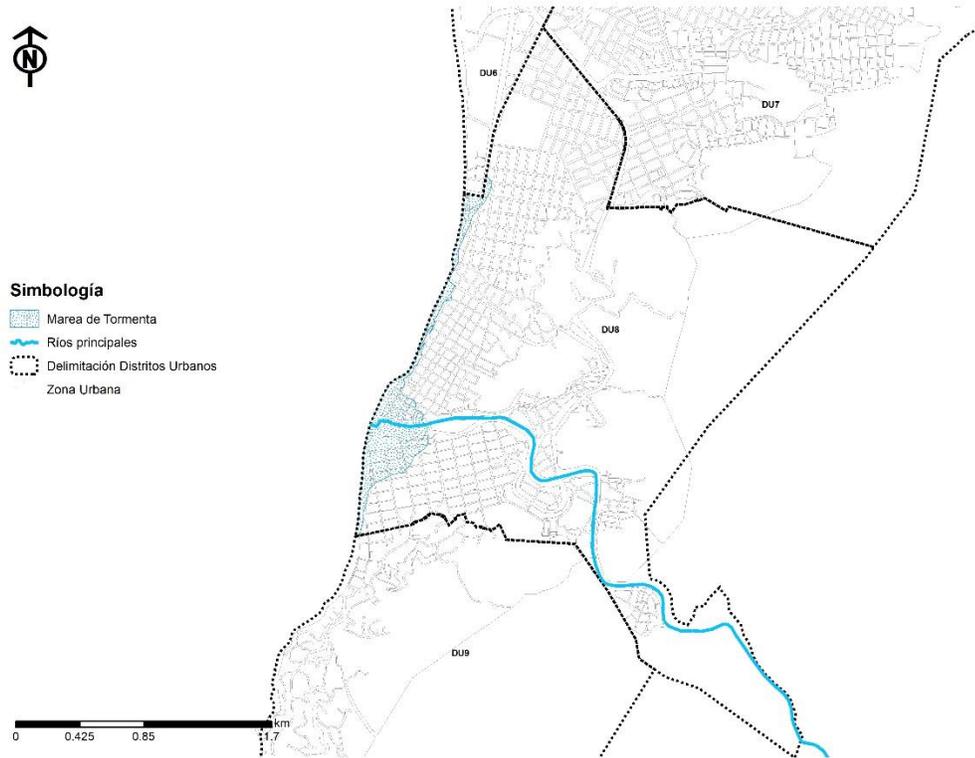


Figura 157. Puntos de inundación registrados en el Distrito Urbano 8.



**Figura 158. Zonas de inundación en el Distrito Urbano 8.**



**Figura 159. Mareas de tormentas en el Distrito Urbano 8.**

### Riesgos geológicos

Dentro de los riesgos geológicos, existen las inundaciones por tsunami de diferente categoría (2.5 m, 5 m, 10 m y 20 m), presencia de fallas y fracturas y deslizamientos. En la Figura 160 se puede apreciar la influencia de tsunamis de diferente magnitud, los cuales influyen en el 31% de la superficie total del distrito. En la Figura 161 se puede observar la presencia de 2 fracturas dentro del distrito y en la Figura 162 se observan tres zonas de riesgo por deslizamientos, dos de ellas se presentan entre el distrito 9 y 8, y la otra entre el distrito 8 y 7.

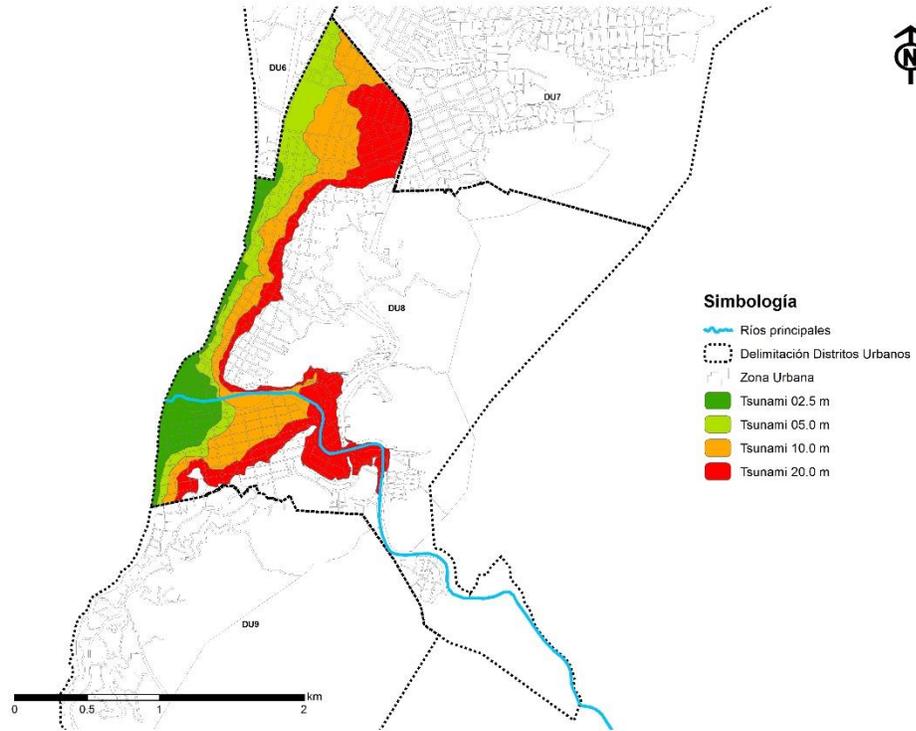


Figura 160. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis en el Distrito Urbano 8.

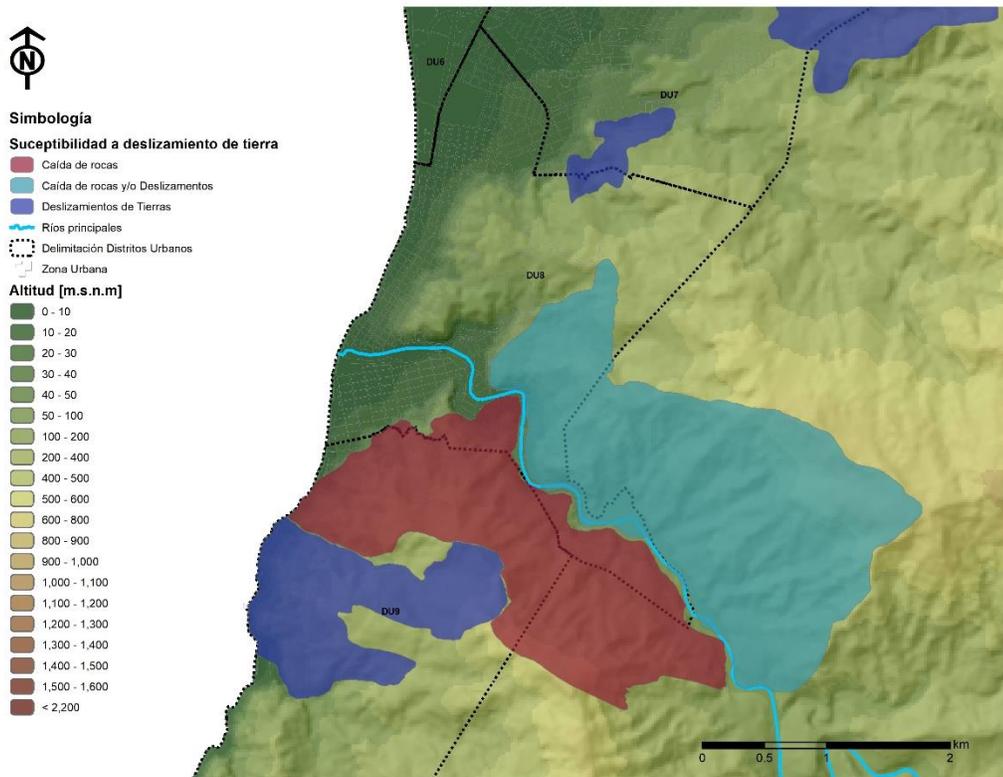


Figura 161. Riesgo de deslizamiento de laderas en el Distrito Urbano 8.

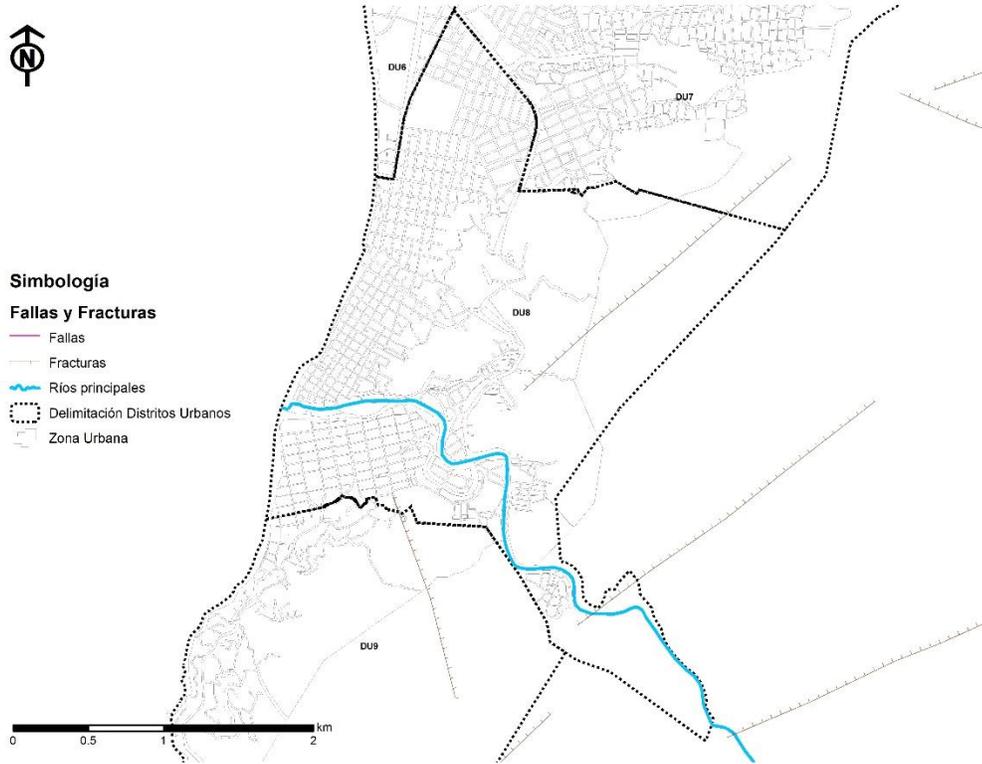


Figura 162. Presencia de fallas y fracturas en el Distrito Urbano 8.

### 11.8.2. Componentes ambientales relevantes

El componente ambiental que por sus características puede ser evaluado al nivel del distrito urbano es el siguiente:

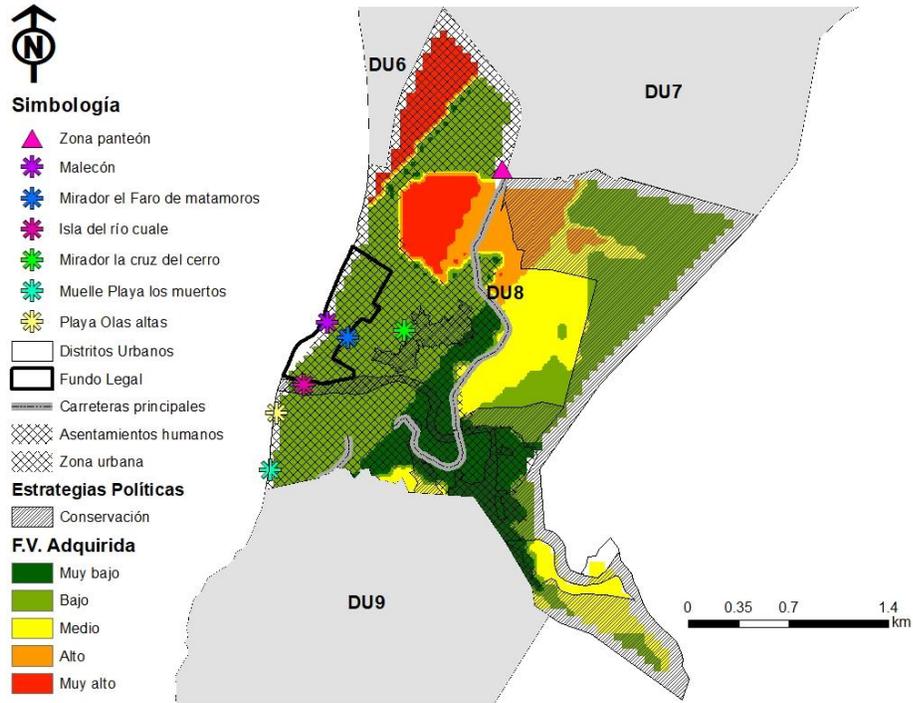
- **Calidad paisajística**

### 11.8.3. Análisis de impactos ambientales potenciales

A continuación, se describen los impactos ambientales específicos para el distrito urbano.

#### **Calidad paisajística**

En la Figura 163 se observa el mapa de fragilidad visual adquirida del distrito 8, siendo también señalada la ubicación de los lugares donde se tomaron las fotografías durante el trabajo de campo (Ver figura 164).



**Figura 163. Mapa fragilidad visual para el Distrito Urbano 8.**

Según el plan parcial, en el distrito urbano 8 se observan edificaciones que superan los tres niveles de construcción en la zona oeste en la proximidad con el límite del litoral, se identifican también edificaciones que superan los 6 niveles de edificación en la zona suroeste donde actualmente se presenta un mayor aprovechamiento de la utilización del suelo a través de edificios con mayor densidad vertical, promoviendo el control de la expansión del continuo urbano, paralelo al constante desarrollo económico y urbano que se presenta en el Distrito.

El distrito urbano 8 alberga el fundo legal reconocido oficialmente como patrimonio cultural, debido al valor histórico y cultural que representan algunas de las edificaciones que son consideradas como parte de la identidad de la ciudad, las edificaciones que se localizan en el fundo legal forman parte de los atributos de la imagen urbana del distrito urbano 8 y contribuyen a su reconocimiento como uno de los puntos de mayor importancia para el desarrollo urbano y económico del municipio.



**Figura 164. Imagen del centro histórico de Puerto Vallarta. Fuente: Pueblos México (2020).**

Según el plan parcial, las condiciones actuales de la morfología urbana del distrito urbano 8 permiten identificar una gran área de oportunidad para modificar la dinámica de edificación y aprovechar la utilización del suelo, controlando la expansión de la mancha urbana y facilitando la transición hacia un modelo de ciudad compacta.

En la Figura 165 se puede observar la parte norte del distrito 8, en donde se admiran dos tipos de paisaje, natural y urbano. Con base en los mapas de fragilidad visual y la importancia de la zona, el paisaje natural que se observa en las fotos es de alta fragilidad visual. Continuar la construcción en esta zona hacia las zonas de bosque, implicaría una alteración del paisaje más perceptible.



**Figura 165. Fotografías de la zona norte del Distrito Urbano 8 tomadas en octubre 2020.**

En el distrito 8 se muestran dos tipos de impacto: 1) Modificación de los elementos visuales del paisaje, 2) Modificación del patrimonio histórico y cultural.

### **1. Modificación de los elementos visuales del paisaje**

En el distrito 8 se puede ver una alteración de la integridad morfológica del terreno y de la integridad de la vegetación natural. En la Figura 165, se puede observar que la imagen urbana no cuenta con las técnicas de naturalización, minimización y fusión, por lo que se crea una imagen disruptiva entre el área natural y la urbana.

### **2. Modificación del patrimonio histórico y cultural.**

El Fundo Legal, Patrimonio Cultural del estado de Jalisco, ha presentado problemas por la falta de regulación de instrumentos de desarrollo urbano, por lo que se han alterado varios rasgos característicos

del centro histórico. Los particulares y comerciantes han cambiado la forma, volúmenes y colores de las fachadas. La transformación ha sido paulatina y va cambiando en función de las necesidades turísticas (Serrano, 2018) Así mismo, se han desarrollado complejos habitacionales que sobrepasan la cantidad de pisos permitidos por la zona; por lo que la zona se encuentra vulnerable al no tener una adecuada gestión para evitar los impactos al patrimonio histórico cultural.

#### **11.8.4. Estrategias de mitigación**

A continuación, se describen las estrategias de mitigación específicas para el distrito urbano.

##### **Componente calidad paisajística**

El plan parcial ya considera las medidas de preservar y proteger el patrimonio construido, configurar una red de áreas verdes y espacios públicos libres y mejorar la imagen urbana del distrito.

##### *Estrategias generales:*

- Llevar a cabo la implementación de instrumentos normativos específicos para la gestión del patrimonio cultural del distrito, siendo estos un plan de manejo, un programa de movilidad y un programa de gestión de suelo del Fondo Legal.
- Se deberá de llevar a cabo estudios de valorización del paisaje natural para promover la conservación de zonas con alto valor ecológico.
- Los estudios para determinar el valor paisajístico también deberán de involucrar la participación pública y establecer una valoración social donde se incluyan las preferencias de la población.
- Establecer programas de paisaje para garantizar el cumplimiento de las medidas de conservación de las áreas de alto valor ecológico.

## 11.9. Distrito Urbano 9 – Conchas Chinas

### 11.9.1. Contexto

El crecimiento estimado para este distrito para 2030 es de 1,583 habitantes, de acuerdo con los instrumentos de planeación urbana publicados en la gaceta municipal. Cuenta con dos subdistritos: A o Amapas Conchas Chinas, que comprende las colonias Amapas, Amapas Sur, Real de Conchas Chinas, Conchas Chinas, Vista Banderas y el Hotel Dreams; y B que comprende la Zona Hotelera Sur, Coto San Xoaquín y el poblado tradicional de El Nogalito, así como áreas pertenecientes al Ejido Puerto Vallarta y al Gobierno del Estado de Jalisco (Figura 166).

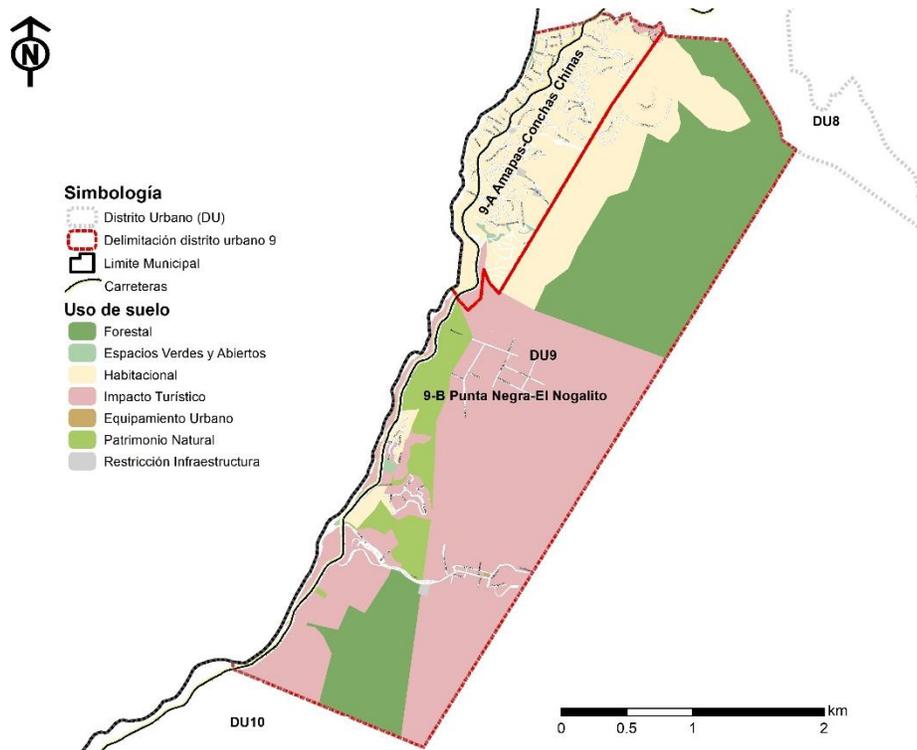


Figura 166. Delimitación del Distrito Urbano 9.

### Riesgos hidrometeorológicos

Los riesgos que influyen en este distrito son las inundaciones (fluviales y pluviales). En la Figura 167 se puede ver la influencia de las inundaciones por cauces, dentro del municipio existen varios arroyos, el porcentaje de afectación de la superficie total es de 2%. En la figura 168 se muestra un acercamiento a los puntos de inundación, de acuerdo con el ARPV existen 3 puntos de inundación.

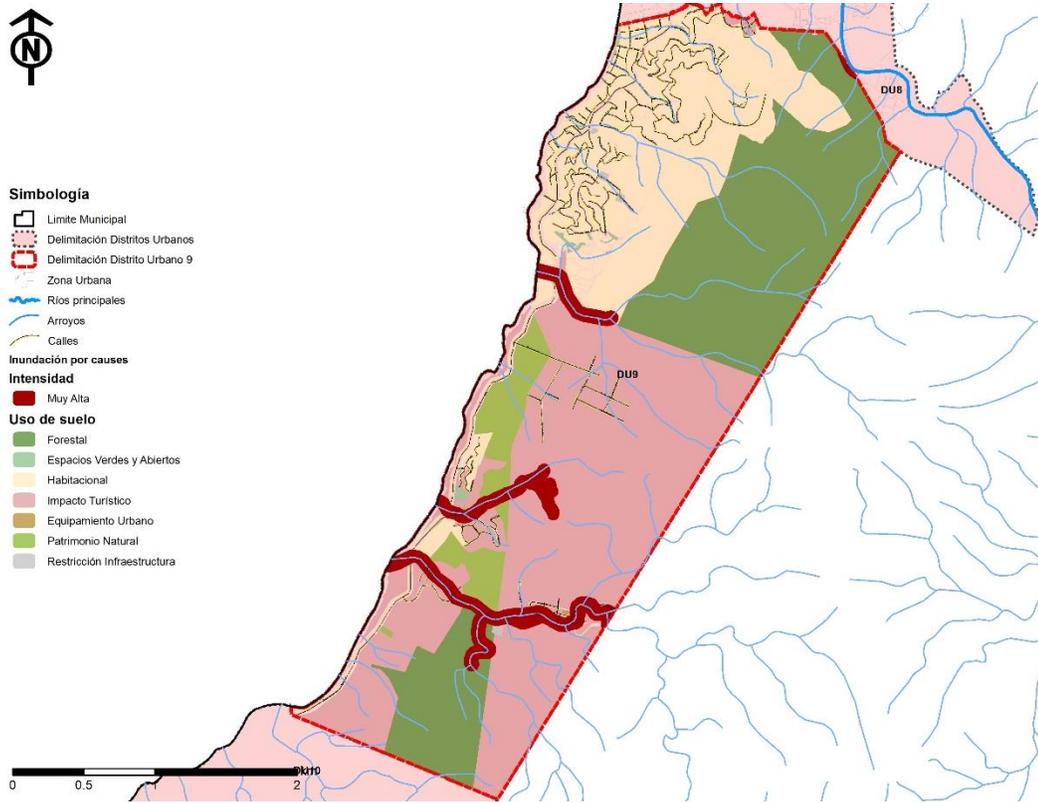


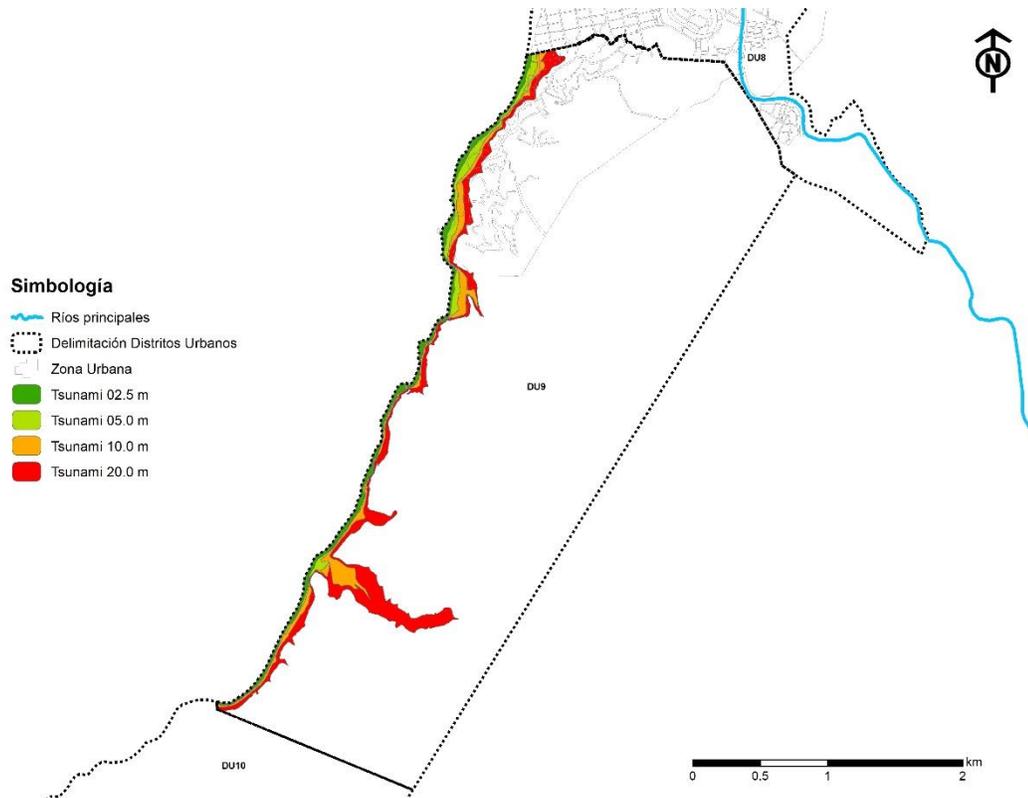
Figura 167. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano 9.



Figura 168. Puntos de inundación registrados en el Distrito Urbano 9.

## Riesgos geológicos

Dentro de los riesgos geológicos, existen las inundaciones por tsunamis de diferente categoría (2.5 m, 5 m, 10 m y 20 m), las cuales se pueden observar en la Figura 169, influye un 7% a la superficie del distrito. En la Figura 170 se muestra la presencia de fallas y fracturas, las cuales son 4 y en la Figura 171 se muestran las zonas de posibles deslizamientos, 3 zonas de riesgo, dos de ellas se encuentran entre el distrito 9 y 10 y la otra en el distrito 9 y 8.



**Figura 169. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis en el Distrito Urbano 9.**

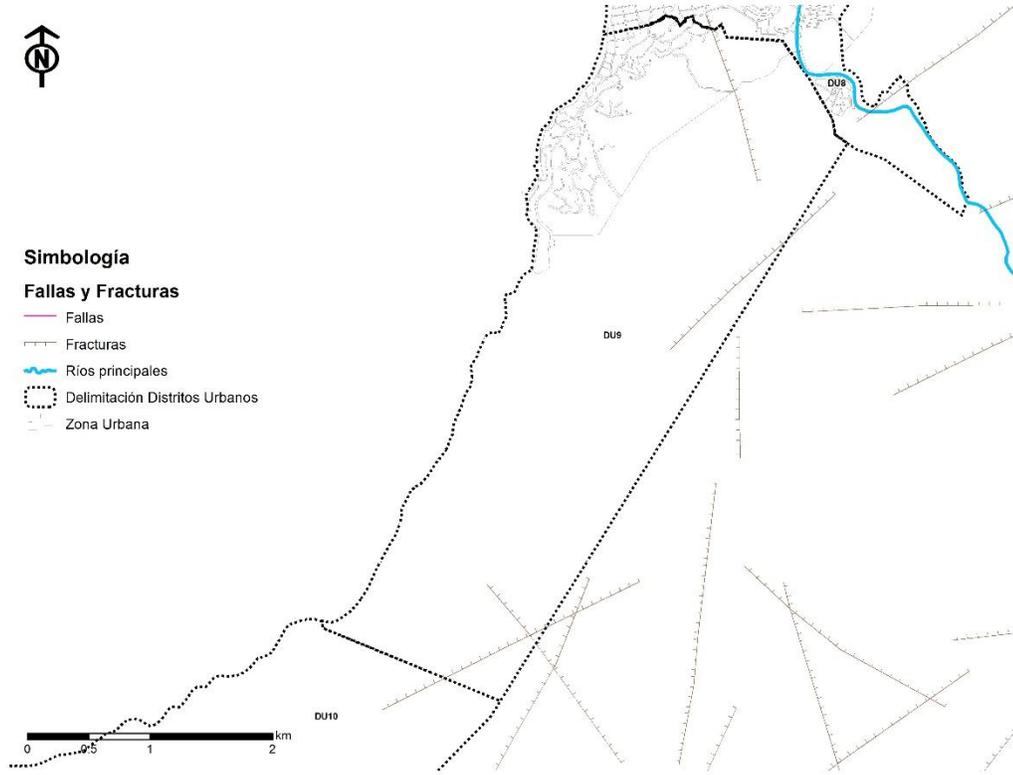


Figura 170. Presencia de fallas y fracturas en el Distrito Urbano 9.

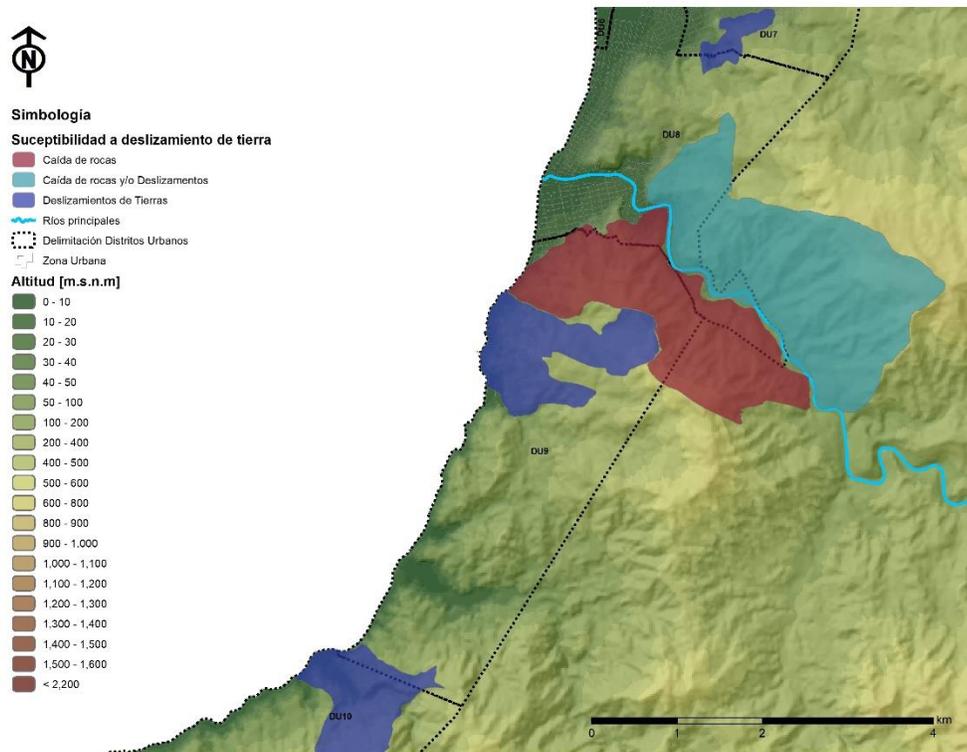


Figura 171. Deslizamientos en el Distrito Urbano 9.

### 11.9.2. Componentes ambientales relevantes

Los componentes ambientales que por sus características pueden ser evaluados al nivel del distrito urbano son los siguientes:

- **Calidad paisajística**
- **Residuos**

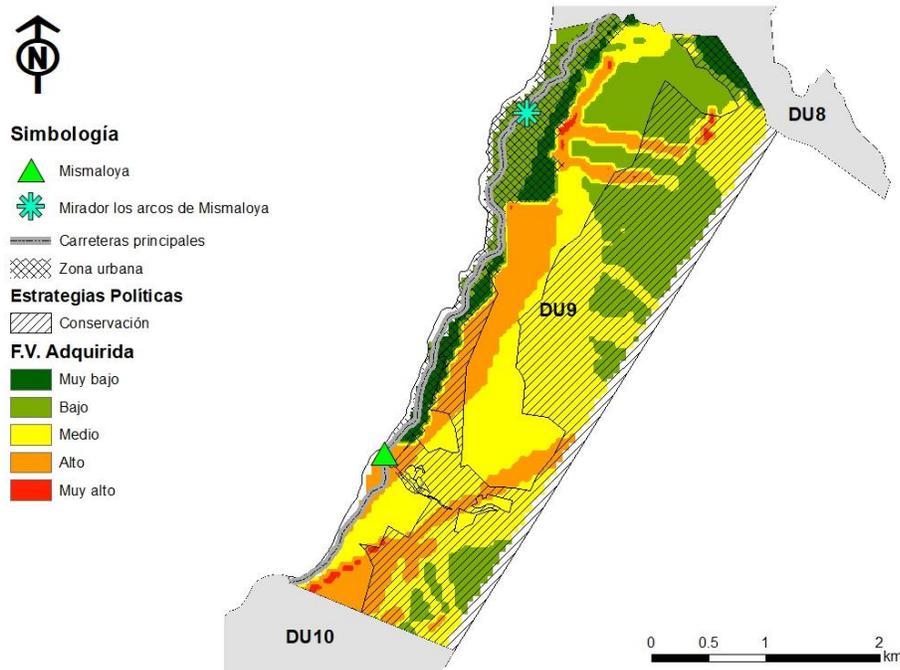
Cabe señalar que el componente de agua residual es relevante para el DU9, sin embargo, por las características del componente, donde la cobertura de agua residual y su tratamiento se interconecta de forma directa con los otros distritos, las estrategias de mitigación y seguimiento aplicables son descritas en el análisis del PMDU.

### 11.9.3. Análisis de impactos ambientales potenciales

A continuación, se describen los impactos ambientales específicos para el distrito urbano.

#### Calidad paisajística

En la Figura 172 se observa el mapa de fragilidad visual adquirida del distrito 9, siendo también señalada la ubicación de los lugares donde se tomaron las fotografías durante el trabajo de campo (ver Figura 173).

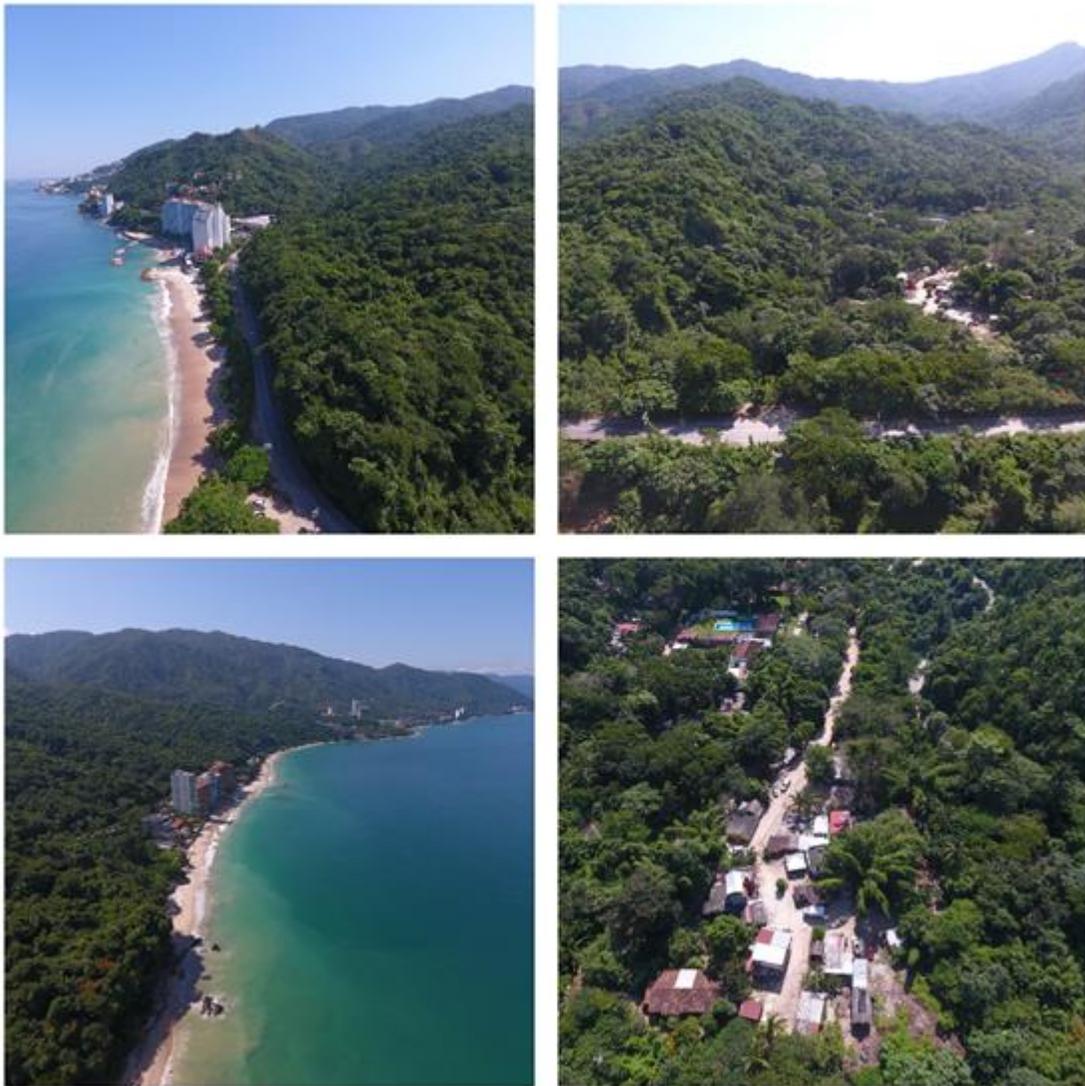


**Figura 172. Mapa de fragilidad visual para el Distrito Urbano 9.**

En el mapa se puede ver que, al noroeste del distrito, en el área costera, se encuentra la zona urbana según la clasificación de los usos de suelo del INEGI. En toda esta área se tiene una clasificación de muy

baja a baja fragilidad visual pues es una zona impactada. Por otro lado, en las áreas costeras que están más al sur y el tipo de uso de suelo no es urbano, se tiene una fragilidad visual de media a muy alta. Esto mismo pasa con las áreas del norte del distrito que tienen una cubierta y un paisaje mejor valorado.

En la Figura 173 se pueden ver las imágenes del distrito que fueron tomadas en la playa Mismaloya. El cuadro superior izquierdo, muestra el comienzo de la zona urbana con algunos edificios y demás infraestructura habitacional. El cuadro inferior izquierdo muestra la parte sur del distrito, en donde también se ven algunos desarrollos hoteleros. Por otro lado, los cuadros superior e inferior derecho muestran algunas construcciones que, por el tamaño y altura, se alcanzan a esconder dentro de la vegetación del lugar.



**Figura 173. Fotografías de la Playa Mismaloya en el Distrito Urbano 9, tomadas en octubre 2020.**

En el distrito 9 se muestran tres tipos de impacto: 1) Modificación de los elementos visuales del paisaje, 2) Modificación de la funcionalidad geosistémica, 3) Alteración de los elementos que comprenden el patrimonio natural.

### **1. Modificación de los elementos visuales del paisaje**

Los edificios, por su forma, geometría y color, alteran las líneas y el color del paisaje natural, ya que resaltan sobre este. Con esto se observa una alteración a los elementos geomorfológicos, vegetales y patrones compositivos, en especial dentro de las zonas del área costera.

### **2. Modificación de la funcionalidad geosistémica**

La pérdida de biodiversidad y geodiversidad está relacionada con la pérdida tanto indirecta como directa de la calidad paisajística. El distrito 9, por la cantidad de área natural y biodiversidad que tiene, es más propenso a generar una desconexión y fragmentación de hábitats con la construcción de carreteras o asentamientos humanos; por lo que existe una alteración a la funcionalidad geosistémica, en especial dentro de la zona costera, ya que es donde hay más infraestructura urbana y existe un choque entre la población y la fauna. En el componente de biodiversidad esto se ha mencionado como un impacto negativo, pues la falta de respeto y conocimiento de la población afecta al desarrollo de la fauna local.

### **3. Alteración de los elementos que comprenden el patrimonio natural**

El distrito 9 contiene en su territorio importantes áreas naturales por su proximidad a la montaña y la zona de litoral. Sin embargo, parte del área costera del municipio se encuentra impactada por la construcción de hoteles, así mismo, la falta de instrumentos de valorización de paisaje ha causado que esas zonas se encuentren vulnerables ante la implementación de nuevas construcciones que puedan degradar el paisaje natural.

## **Residuos**

El DU9 y DU10 son los más alejados al relleno sanitario “El Gavilán”, además de ser los distritos con menor población de todo el municipio, representado menos del 2% del total de esta. Además de eso, no se tiene proyectado un crecimiento poblacional relevante ni de urbanización en sus territorios. Debido a estas condiciones particulares en estos distritos, es posible la generación de tiraderos clandestinos en caso de no satisfacerse las necesidades de recolección y de no llevarse a cabo labores de inspección y vigilancia.

### **11.9.4. Estrategias de mitigación**

A continuación, se describen las estrategias de mitigación específicas para el distrito urbano.

#### **Calidad paisajística**

El plan parcial del distrito 9 toma en cuenta las acciones de mejoramiento para la renovación de la imagen urbana. Así mismo contempla la conservación de las edificaciones y sectores urbanos que por sus atributos históricos son considerados de valor patrimonial, así como de las áreas naturales con valor ambiental. Sin embargo, falta hacer mención en el plan parcial sobre los mecanismos para la gestión de áreas de valor urbano ambiental (AVUA).

*Estrategias generales:*

- Es importante regular las construcciones que se lleven a cabo, tomando en cuenta la estética y la arquitectura de la edificación. Para esto deberán de implementarse estudios de integración paisajística en áreas donde la fragilidad visual es alta o muy alta, como la zona de litoral del sur del distrito.
- Llevar a cabo un plan de protección del área costera para evitar o disminuir la propagación de construcciones hoteleras o asentamientos humanos en zonas de muy alta y alta fragilidad visual
- Se deberá de llevar a cabo estudios de valorización del paisaje natural para promover la conservación de zonas con alto valor ecológico.
- Los estudios para determinar el valor paisajístico también deberán de involucrar la participación pública y establecer una valoración social donde se incluyan las preferencias de la población.
- Establecer programas de paisaje para garantizar el cumplimiento de las medidas de conservación de las áreas de alto valor ecológico.

**Residuos**

- Establecer estrategias valorización de residuos orgánicos dentro de estos distritos con el fin de disminuir la cantidad a transportar a la estación de transferencia. Con ello se puede esperar una disminución en los costos asociados para el municipio.
- Reforzar la inspección y vigilancia con el fin de prevenir la aparición de tiraderos clandestinos.

## 11.10. Distrito Urbano 10 – Mismaloya

### 11.10.1. Contexto

El crecimiento estimado para este distrito para 2030 es de 2,291 habitantes, de acuerdo con los instrumentos de planeación urbana publicados en la gaceta municipal. Se extiende desde el río Boca de Tomatlán y comprende el ejido de Mismaloya y una fracción del centro de población (Figura 174).

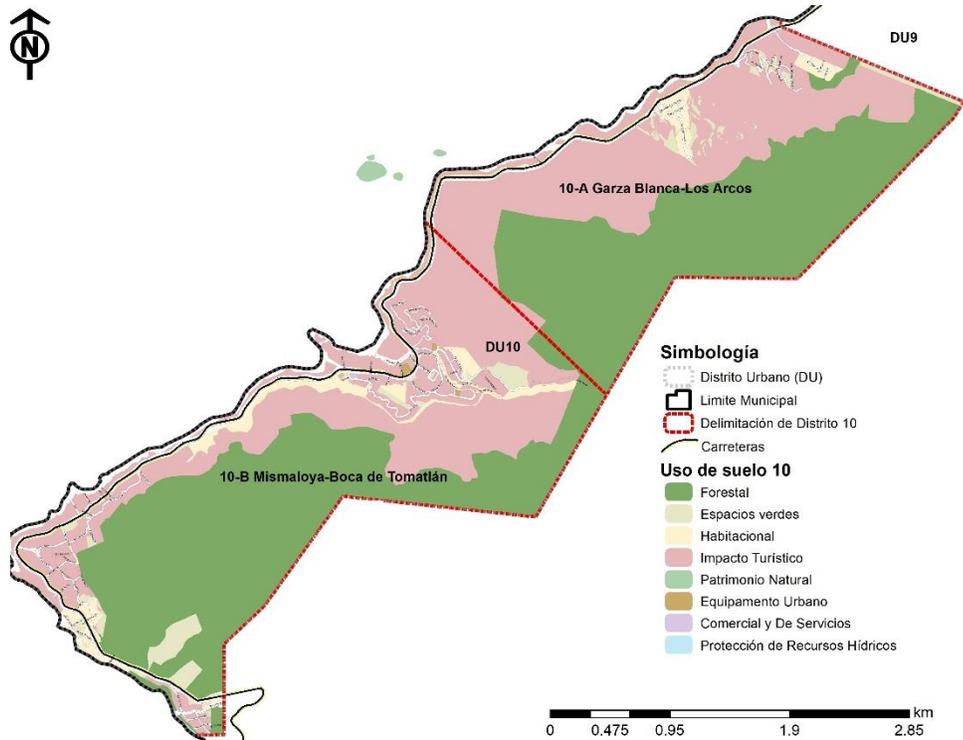


Figura 174. Delimitación del Distrito Urbano 10.

### Riesgos hidrometeorológicos

Los riesgos que influyen en este distrito son las inundaciones (fluviales y pluviales). En la Figura 175 se puede ver la influencia de las inundaciones por cauces, dentro del municipio existen varios arroyos, el porcentaje de afectación de la superficie total es de 2%. En la Figura 176 se muestra un acercamiento a los puntos de inundación, de acuerdo con el ARPV existen solo un punto de inundación dentro de la zona y está ubicado cerca de un arroyo que presenta riesgo de inundación por cauces.

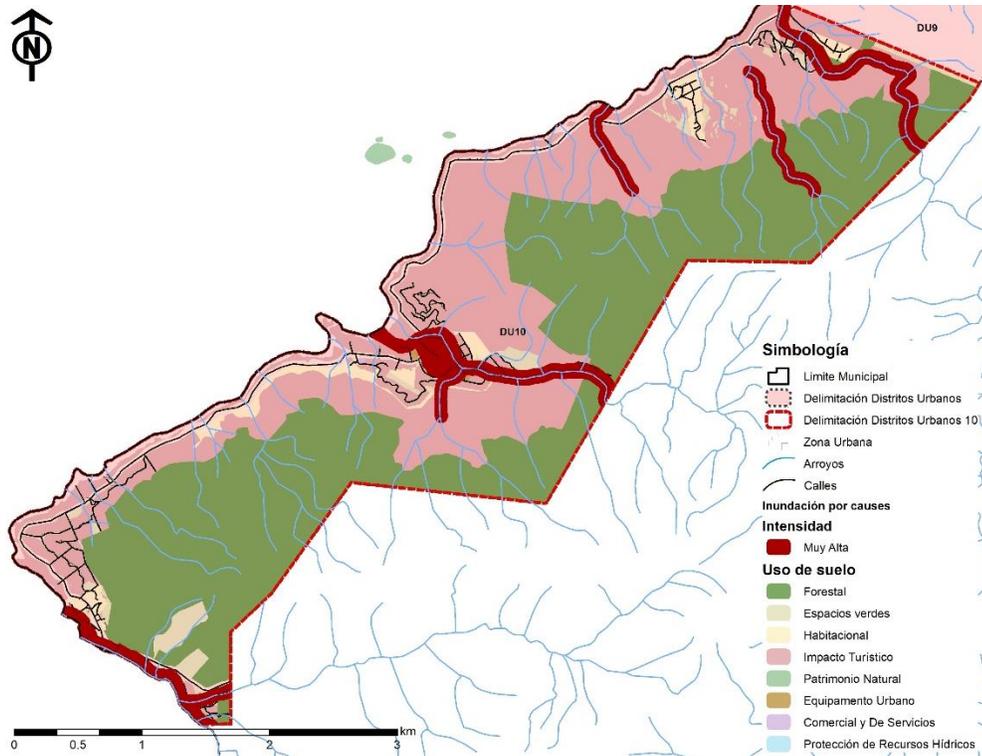


Figura 175. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano 10.

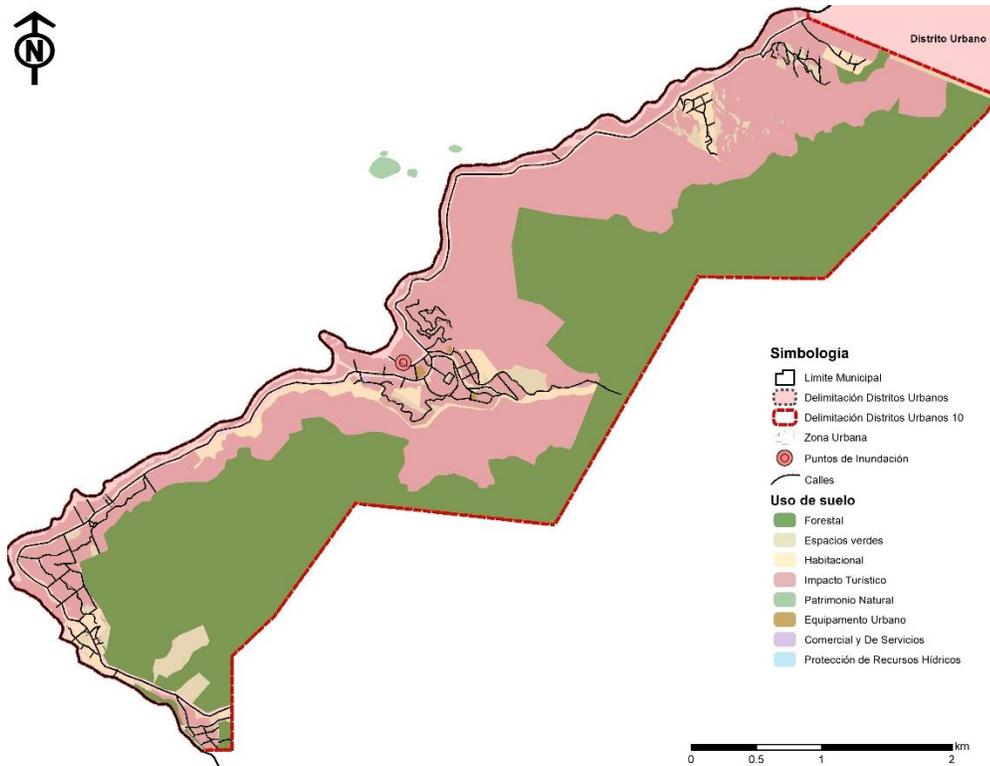


Figura 176. Puntos de inundación registrados en el Distrito Urbano 10.

### Riesgos geológicos

Dentro de los riesgos geológicos, existen las inundaciones por tsunamis de diferente categoría (2.5 m, 5 m, 10 m y 20 m), presencia de fallas y fracturas y deslizamientos. En la Figura 177 se puede apreciar la influencia de tsunamis de diferente magnitud los cuales abarcan el 8% de la superficie total del distrito. En la figura 178 se puede observar la presencia de 3 fracturas dentro del distrito y en la figura 179 se observan tres zonas de deslizamientos.

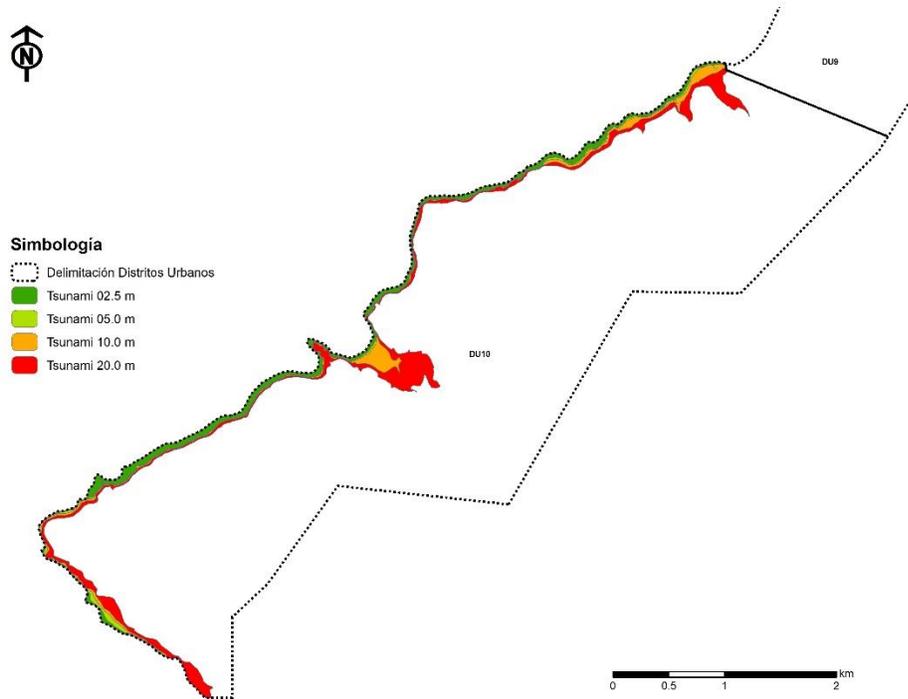


Figura 177. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis en el Distrito Urbano 10.

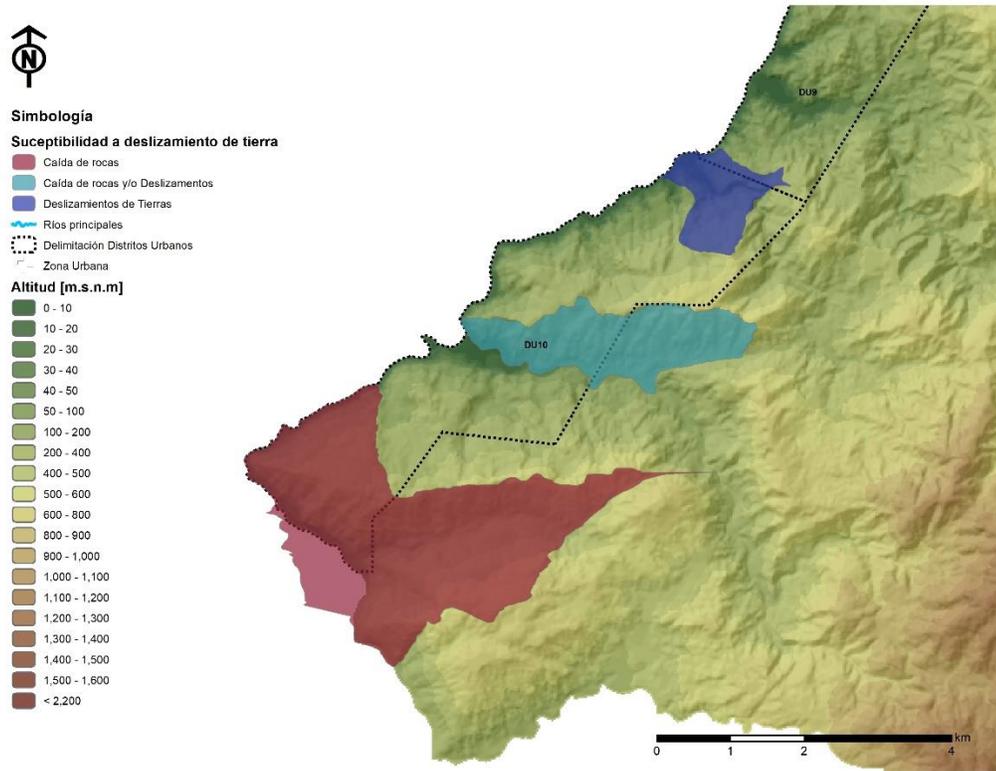


Figura 178. Deslizamientos en el Distrito Urbano 10.

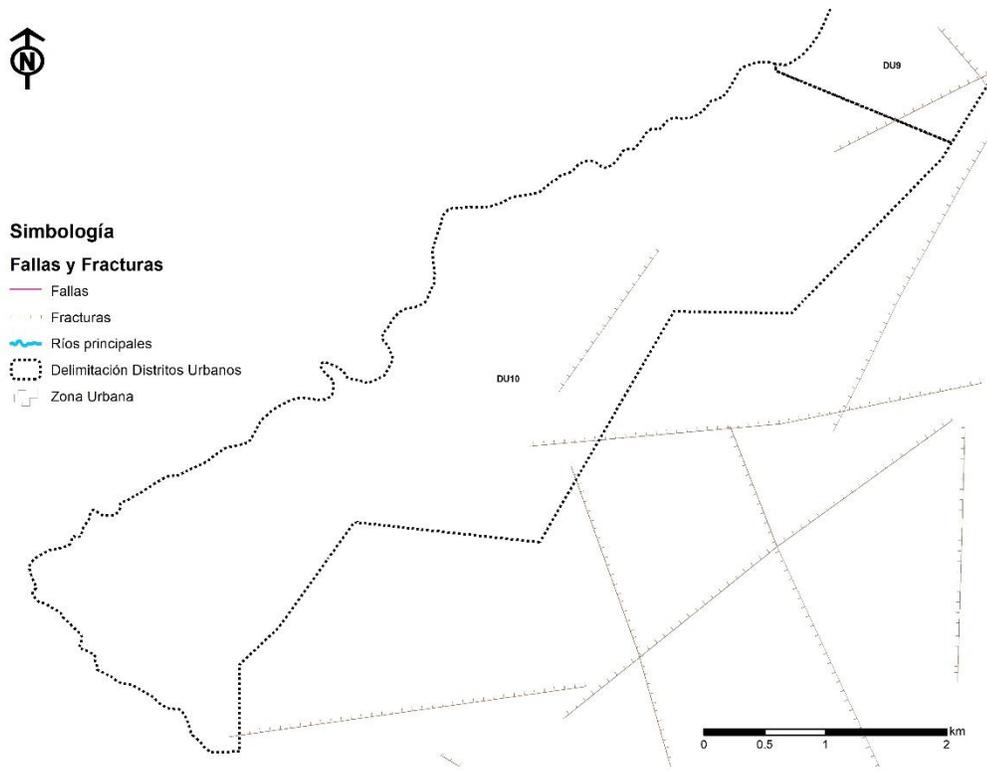


Figura 179. Presencia de fallas y fracturas en el Distrito Urbano 10.

### **11.10.2. Componentes ambientales relevantes**

Los componentes ambientales que por sus características pueden ser evaluados al nivel del distrito urbano son los siguientes:

- **Calidad paisajística**

Cabe señalar que el componente de agua residual es relevante para el DU10, sin embargo, por las características del componente, donde la cobertura de agua residual y su tratamiento se interconecta de forma directa con los otros distritos, las estrategias de mitigación y seguimiento aplicables son descritas en el análisis del PMDU.

### **11.10.3. Análisis de impactos ambientales potenciales**

A continuación, se describen los impactos ambientales específicos para el distrito urbano.

#### **Calidad paisajística**

En la figura 180 se observa el mapa de fragilidad visual adquirida del distrito 10, siendo también señalada la ubicación de los lugares donde se tomaron las fotografías durante el trabajo de campo (Ver figura 181 y 182).

Según la clasificación, este distrito contiene paisajes con alto y muy alto valor paisajístico cerca del área costera, los cuales no se ubican dentro de la estrategia política de conservación del PMDU. En el área costera se presenta la mayor cantidad de desarrollos habitacionales y asentamientos humanos del distrito, lo cual se observa en la Figura 181.

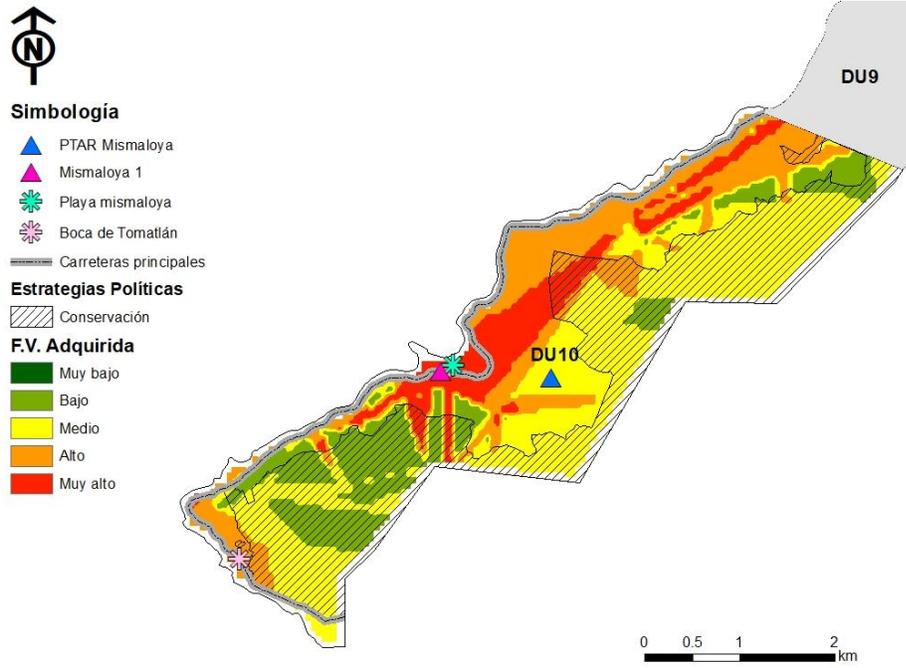
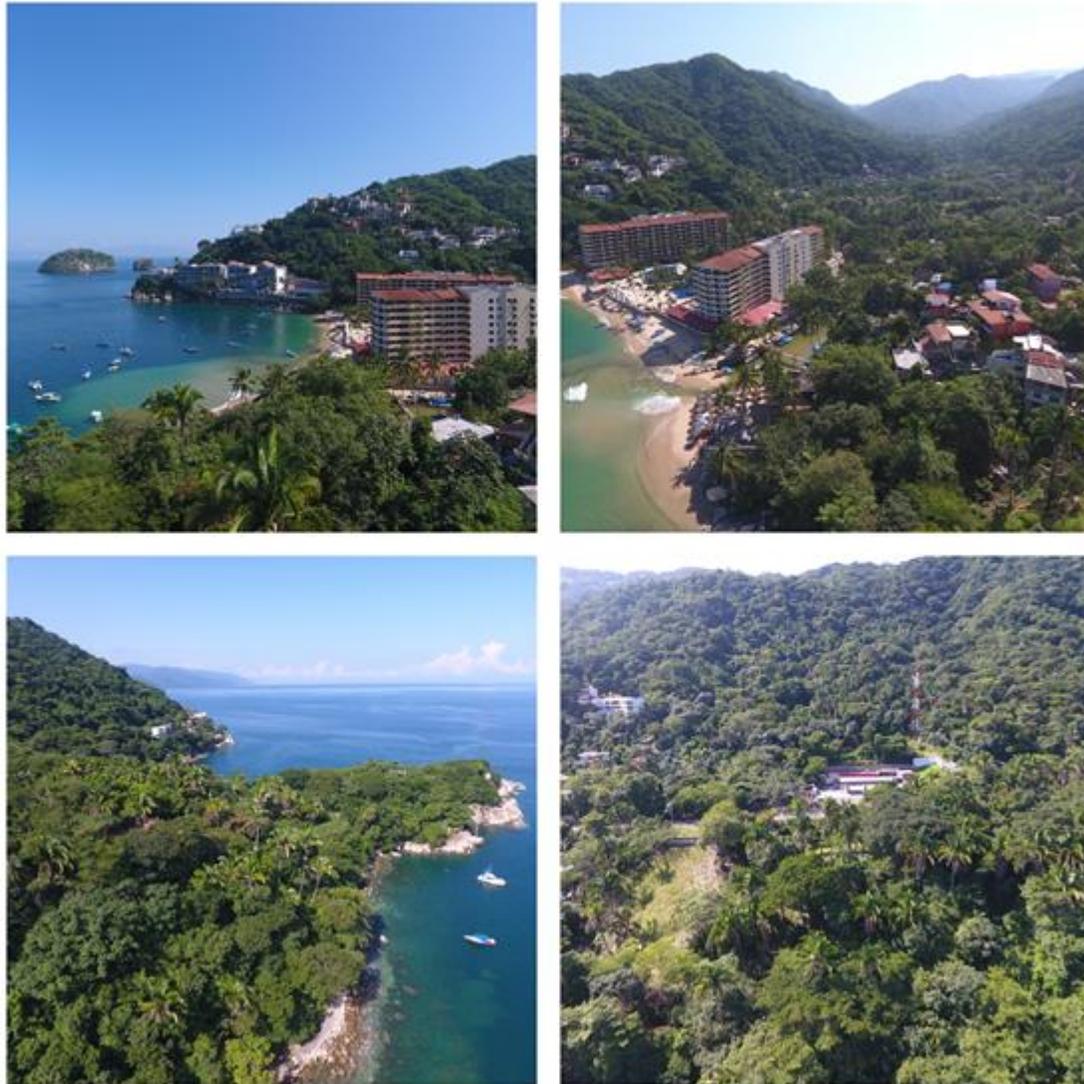


Figura 180. Mapa de fragilidad visual para el Distrito Urbano 10.



**Figura 181. Fotografías sobre la Playa Mismaloya en el Distrito Urbano 10, tomadas en octubre 2020.**

En el cuadro inferior izquierdo de la Figura 181, se puede observar que parte de la zona sigue sin presentar edificaciones, hecho que hace que en estos lugares con muy alta fragilidad visual sea importante conservar el área natural.

Por otro lado, en los cuadros de la Figura 182, se observa el tipo de infraestructura y construcciones que existen actualmente entre los 50 y 60 m.s.n.m., en áreas más entradas hacia la montaña del distrito.



**Figura 182. Fotografías sobre la PTAR de Mismaloya en el Distrito Urbano 10, tomadas en octubre 2020.**

En el distrito 10 se muestran cuatro tipos de impacto: 1) Modificación de los elementos visuales del paisaje, 2) Modificación de la funcionalidad geosistémica, 3) Alteración sobre la lógica territorial y la funcionalidad social y económica 4) Alteración de los elementos que comprenden el patrimonio natural.

### **1. Modificación de los elementos visuales del paisaje**

En el plan parcial se menciona que varias zonas del distrito presentan grandes manchones de deforestación, como es el caso del área costera, La Boca de Tomatlán y La Joya de Mismaloya; siendo clasificadas estas zonas como alta y muy alta fragilidad visual. La tala de árboles en esas áreas representa un deterioro visual mayor y una alteración hacia la integridad de la vegetación.

Por otro lado, los edificios existentes no cuentan con técnicas de mimetización o naturalización, por lo que las líneas y geometría de las construcciones resaltan y opacan los elementos naturales del paisaje, como la vegetación subcaducifolia y la montaña.

## **2. Modificación de la funcionalidad geosistémica**

La pérdida de biodiversidad y geodiversidad está relacionada con la pérdida tanto indirecta como directa de la calidad paisajística. El distrito 10, por la cantidad de área natural y biodiversidad que tiene, es más propenso a generar una desconexión y fragmentación de hábitats con la construcción de carreteras o asentamientos humanos; por lo que existe una alteración a la funcionalidad geosistémica, en especial dentro de la zona costera, ya que es donde hay más infraestructura urbana y hay un choque entre la población y la fauna. En el componente de biodiversidad esto se ha mencionado como un impacto negativo, pues la falta de respeto y conocimiento de la población afecta al desarrollo de la fauna local.

## **3. Alteración sobre la lógica territorial y la funcionalidad social y económica**

En el plan parcial se menciona que en el distrito existen algunos asentamientos irregulares con un nivel bajo de servicios en los poblados de Mismaloya y Boca de Tomatlán. Esto implica una modificación de la lógica territorial y fallas en la funcionalidad social y ecológica, ya que son establecimientos marginados que generan una desconexión con el resto del área urbana.

## **4. Alteración de los elementos que comprenden el patrimonio natural**

El distrito cuenta con elementos de alto valor estético, debido a las singularidades físicas y biológicas de la naturaleza, como los Arcos de Mismaloya o la zona alta de la montaña. Sin embargo, estas zonas todavía no cuentan con los instrumentos necesarios para su protección por lo que se encuentran vulnerables ante la construcción de obras irregulares.

### **11.10.4. Estrategias de mitigación**

A continuación, se describen las estrategias de mitigación específicas para el distrito urbano.

#### **Calidad paisajística**

El distrito 10 cuenta con los Arcos de Mismaloya, una zona que representa un área turística de gran relevancia para el municipio por su paisaje natural, por lo que es importante su valorización para convertirla en un área de conservación. El plan parcial ya cuenta con la intención de hacer de los Arcos de Mismaloya, un área natural protegida, sin embargo, todavía no cuenta con los instrumentos y lineamientos para decretarlo.

El plan parcial también busca conservar las zonas de la montaña con altura mayor a los 50 m.s.n.m., así como de decretar las zonas con cota mayor a los 150 m.s.n.m. como áreas naturales (parque ecológico) para que los servicios ecosistémicos sean preservados y se desarrollen actividades de recreación, como la observación de especies, ciclismo, campamentos o santuarios.

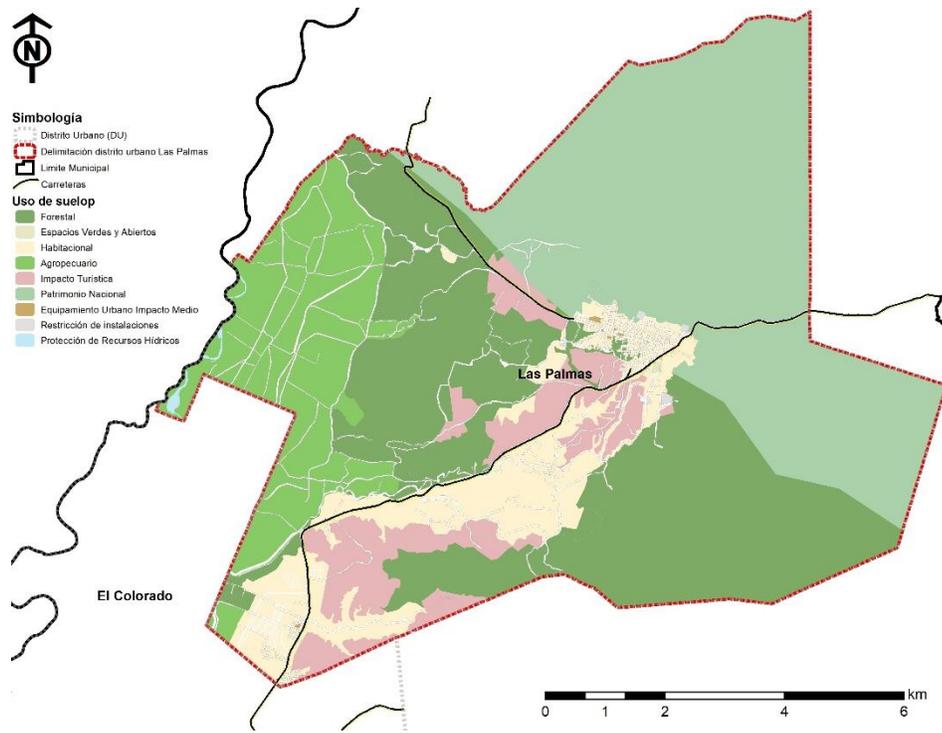
*Estrategias generales:*

- Para los planes parciales de urbanización de Comunidad Residencial Sierra del Mar, Garza Blanca, así como para los dictámenes de trazos, usos y destinos turísticos, deberán de contemplarse las técnicas de mitigación mencionadas en la sección 7.5.2.
- Se deberá de llevar a cabo estudios de valorización del paisaje natural para promover la conservación de los Arcos de Mismaloya y demás zonas con alto valor ecológico.
- Se deberá realizar una nueva ordenación del territorio en función de los usos y destinos del suelo para impedir construcciones en zonas irregulares y evitar una alteración sobre la lógica territorial y funcionalidad social y económica.
- Implementar y fortalecer mecanismos para prohibir la tala de árboles en las áreas naturales, así como destinar lugares estratégicos para hacerlo.
- Gestionar planes de aprovechamiento forestal para destinar los usos de suelo en donde sí podrán efectuarse o prohibirse las talas. Así mismo se deberá de especificar el tipo de clara para evitar el completo desmantelamiento de árboles en las zonas donde se llevará a cabo el aprovechamiento forestal.
- Implementar un plan de reforestación en zonas de alto valor ecológico.

## 11.11. Distrito Urbano Las Palmas

### 11.11.1. Contexto

El crecimiento estimado para este distrito para 2030 es de 4,905 habitantes, de acuerdo con los instrumentos de planeación urbana publicados en la gaceta municipal. El marco de referencia geográfico se define en función de las relaciones urbanas del territorio tanto con la cabecera municipal y las poblaciones aledañas, como con aspectos físicos y naturales, tales como el río San Sebastián. El distrito está delimitado por el polígono del ejido Las Palmas (Figura 183).



**Figura 183. Delimitación del Distrito Urbano Las Palmas.**

### Riesgos hidrometeorológicos

Los riesgos que influyen en este distrito son las inundaciones (fluviales y pluviales). En la Figura 184 se muestra un acercamiento de zonas de inundación por precipitación, las cuales abarcan un porcentaje del 5% de la superficie total y en la Figura 185 se puede ver la influencia de las inundaciones por cauces, el porcentaje de afectación de la superficie total es de 3%, dentro del distrito existen varios arroyos, pero algo importante es que en este distrito existe un mayor número de áreas que no están urbanizadas, por lo que las inundaciones no causan gran afectación a la zona urbana.

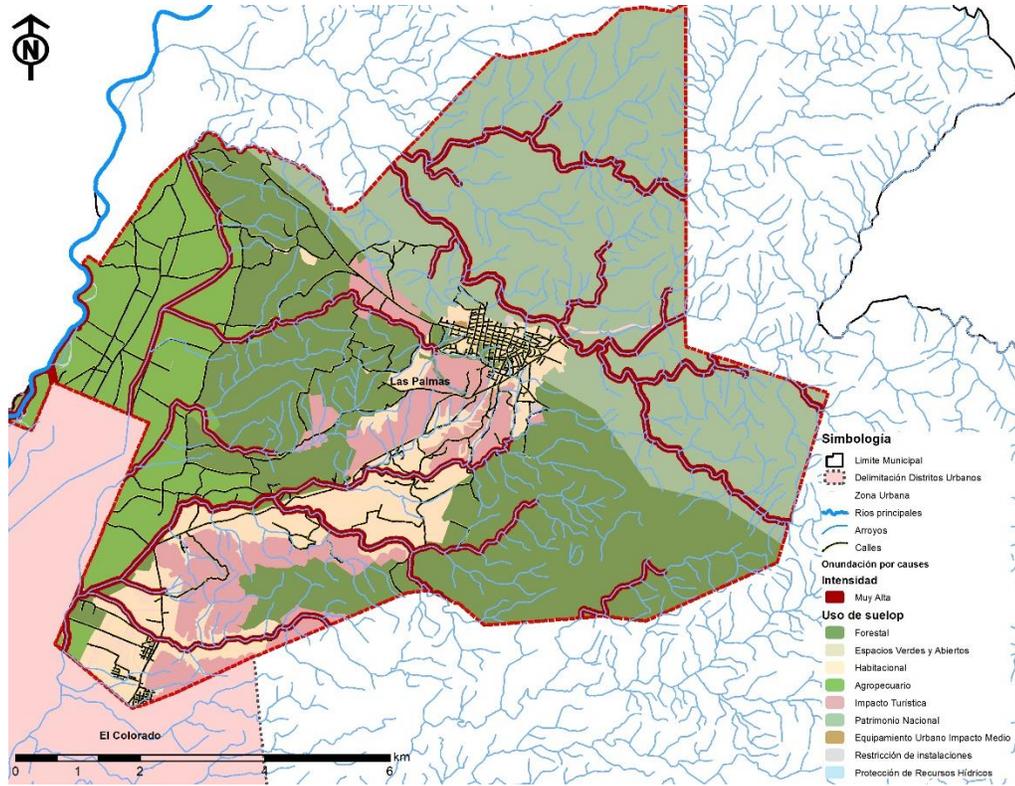


Figura 184. Riesgos por inundación de cauces en el Distrito Urbano Las Palmas.

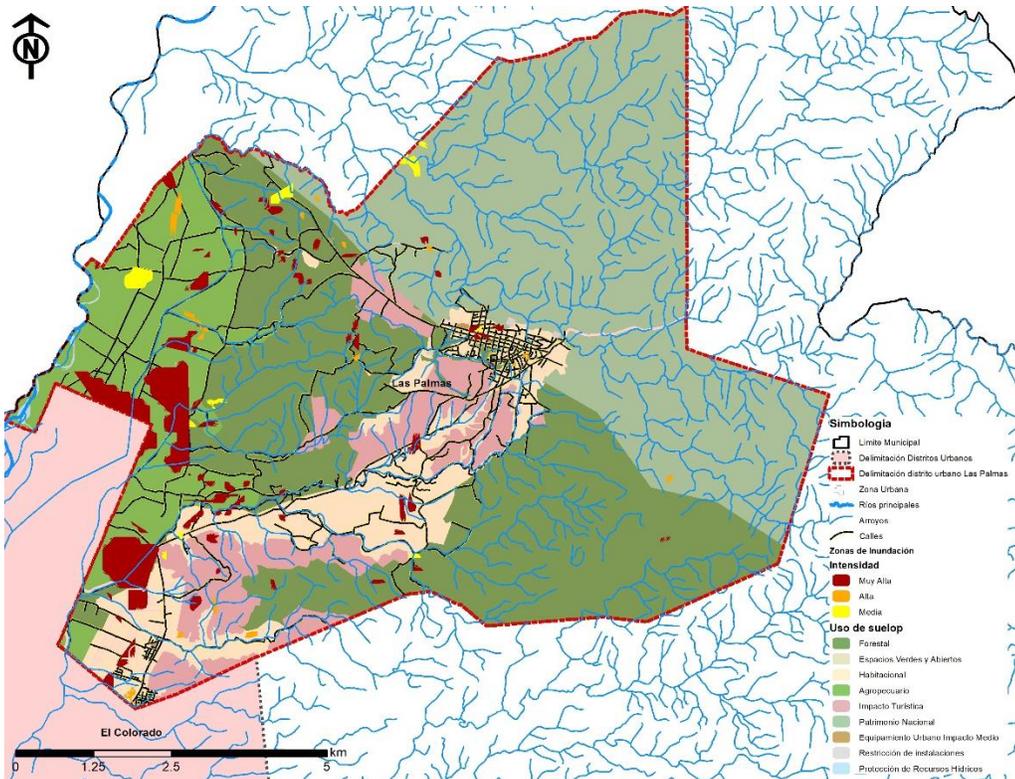


Figura 185. Zonas de inundación en el Distrito Urbano Las Palmas.

## Riesgos geológicos

Dentro de los riesgos geológicos, existen las inundaciones por tsunamis de diferente categoría (2.5 m, 5 m, 10 m y 20 m) los cuales no tienen influencia en este distrito, al igual que los riesgos por deslizamiento de laderas. Como se puede ver en la Figura 186 solo hay presencia de fallas y fracturas, alrededor de 6 fracturas están dentro del distrito urbano.

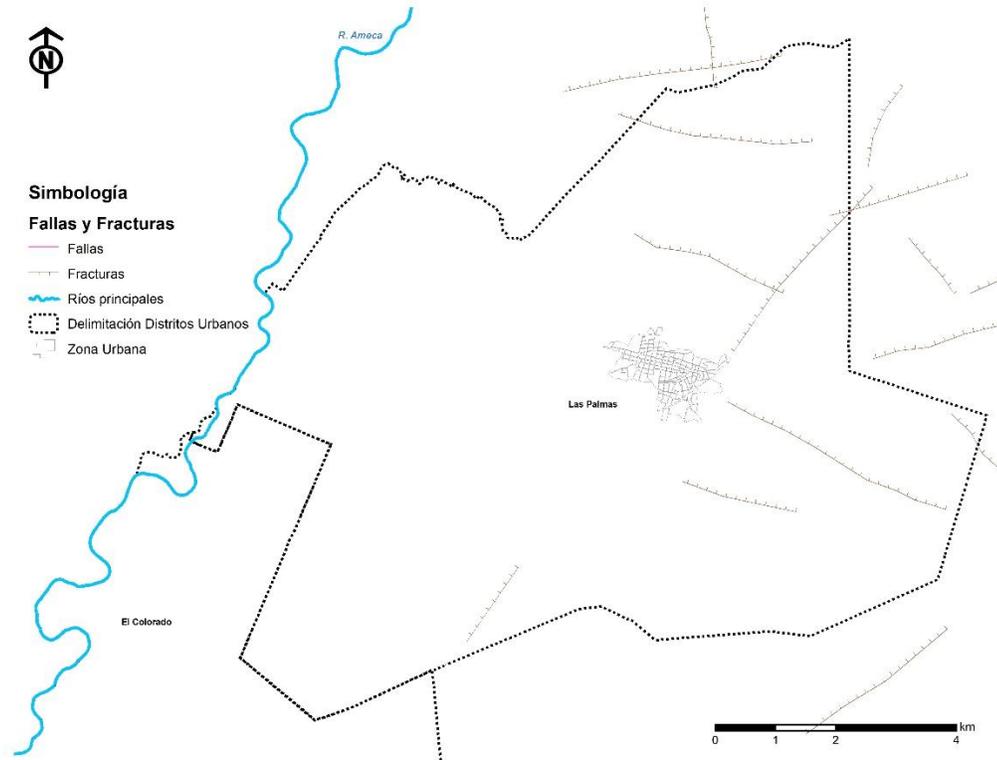


Figura 186. Presencia de fallas y fracturas en el Distrito Urbano Las Palmas.

### 11.11.2. Componentes ambientales relevantes

Los componentes ambientales que por sus características pueden ser evaluados al nivel del distrito urbano son los siguientes:

- Agricultura
- Calidad paisajística

### 11.11.3. Análisis de impactos ambientales potenciales

A continuación, se describen los impactos ambientales específicos para el distrito urbano.

#### Agricultura

El plan parcial del distrito reconoce zonas sin urbanizar y su potencial para diversificar actividades productivas. Se establece una estrategia general de conservación para el 93.25% del territorio del distrito y esto abarca las áreas agrícolas las cuales también se reconocen como no urbanizables; esta clasificación permite el cambio en las relaciones de propiedad y tenencia del suelo, pero no en su uso.

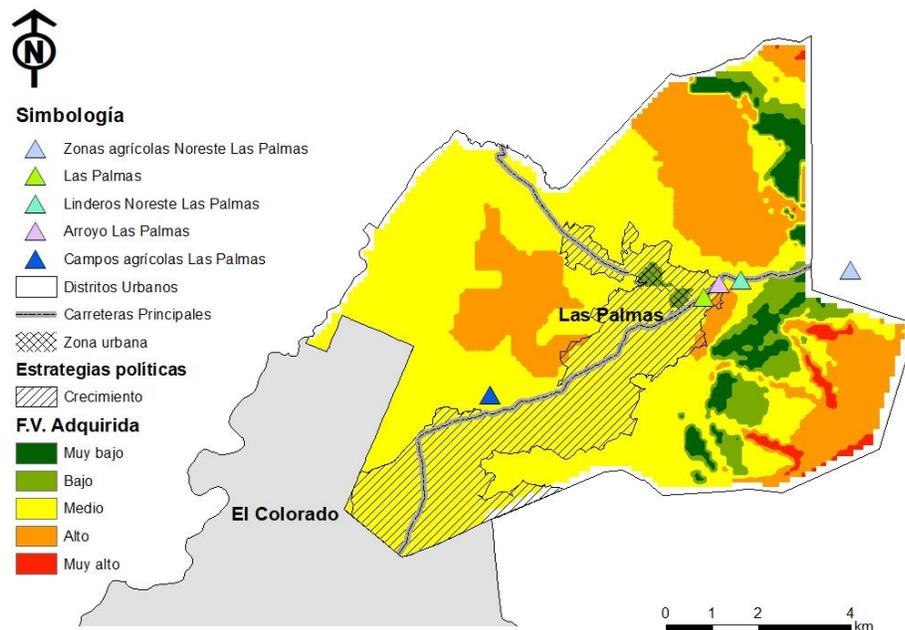
El posible impacto detectado tiene que ver con la Matriz de Compatibilidad, la cual establece que ciertos usos de suelo son permitidos en suelo de uso agropecuario, como Industria Bajo.

#### Calidad paisajística

En la Figura 187 se observa el mapa de fragilidad visual adquirida del distrito urbano Las Palmas, siendo también señalada la ubicación de los lugares donde se tomaron las fotografías durante el trabajo de campo (Ver figura 188).

En el mapa se observa que el distrito urbano Las Palmas contiene áreas de alta fragilidad visual, pudiendo significar que algunos recursos paisajísticos sean merecedores de políticas de protección.

En el plan parcial se menciona que las edificaciones de la zona urbana del distrito superan los tres niveles de construcción en la parte noreste y suroeste.



**Figura 187. Mapa de fragilidad visual Distrito Urbano Las Palmas.**

Gran parte del territorio tiene uso de suelo agrícola, como se observa en la Figura 188.



**Figura 188. Campos agrícolas en el Distrito Urbano Las Palmas. Fotografías tomadas en octubre 2020.**

En la Figura 189 se observa la parte noreste del distrito, donde se encuentra el paisaje valorado con alta fragilidad visual. En el cuadro inferior izquierdo se puede ver al fondo la mancha urbana, destacando por las líneas y formas rectas y colores blancos.



**Figura 189. Linderos noreste Distrito Urbano Las Palmas. Fotografías tomadas en octubre 2020.**

En el distrito urbano Las Palmas se observan 2 tipos de impacto: 1) Modificación de los elementos visuales del paisaje, 2) Alteración de los elementos que comprenden el patrimonio natural.

### **1. Modificación de los elementos visuales del paisaje**

Los edificios, por su forma, geometría y color, alteran las líneas y el color del paisaje natural, ya que resaltan sobre este. Con esto se observa una alteración a los elementos geomorfológicos, vegetales y patrones compositivos.

### **2. Alteración de los elementos que comprenden el patrimonio natural**

El distrito cuenta con varias zonas de alta fragilidad visual, la falta de valoración ecológica de estos lugares puede dar a lugar una alteración sobre estos elementos en caso de disponer de más zonas agrícolas o existir construcciones para el desarrollo habitacional.

#### **11.11.4. Estrategias de mitigación**

A continuación, se describen las estrategias de mitigación específicas para el distrito urbano.

##### **Agricultura**

Se considera importante establecer los lineamientos claros para la aplicación de la estrategia de conservación de las áreas agrícolas que sean congruentes con la Matriz de Compatibilidad, sin dejar lugar a ambigüedad. Esto además debido a que la clasificación del área como no urbanizable no permite el cambio de los usos y destinos de predios o fincas.

Se recomienda la elaboración de un plan de gestión agrícola municipal para el reconocimiento de las zonas agrícolas prioritarias del municipio y el establecimiento de acciones de gestión del sector tendientes a asegurar su sostenibilidad mientras incrementa su producción.

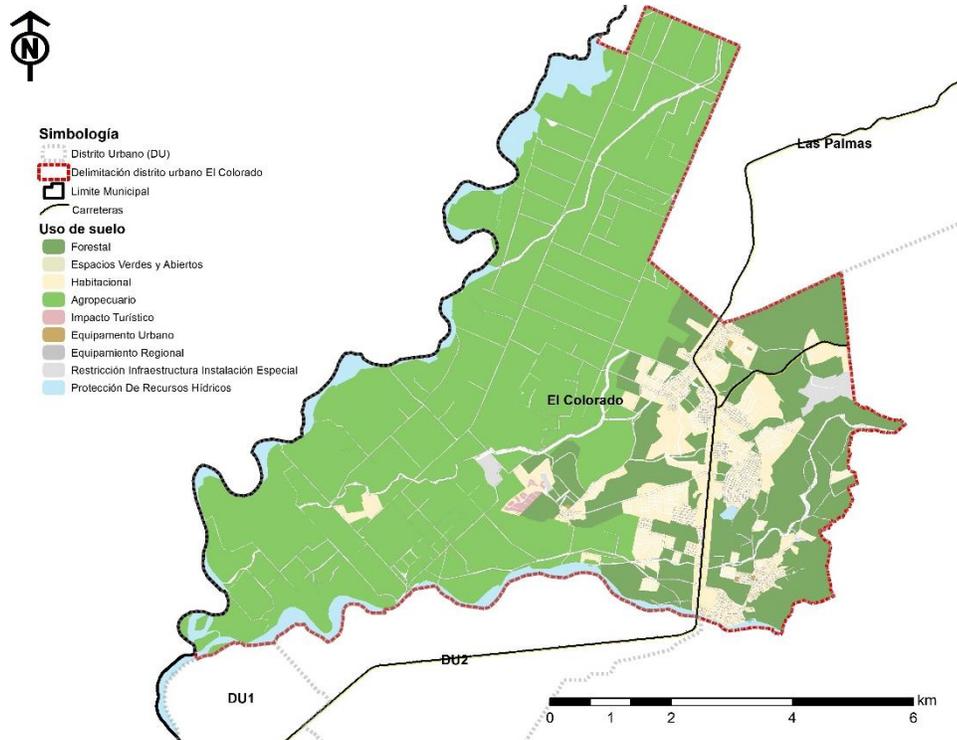
##### **Calidad paisajística**

- Es importante regular las construcciones que se lleven a cabo, tomando en cuenta la estética y la arquitectura de la edificación. Para esto deberán de implementarse estudios de integración paisajística, sobre todo en áreas de alta fragilidad visual.
- Se deberá de llevar a cabo estudios de valorización del paisaje natural para promover la conservación de zonas con alto valor ecológico.
- Los estudios para determinar el valor paisajístico también deberán de involucrar la participación pública y establecer una valoración social donde se incluyan las preferencias de la población.
- Establecer programas de paisaje para garantizar el cumplimiento de las medidas de conservación de las áreas de alto valor ecológico.

## 11.12. Distrito Urbano El Colorado

### 11.12.1. Contexto

El crecimiento estimado para este distrito para 2030 es de 4,562 habitantes, de acuerdo con los instrumentos de planeación urbana publicados en la gaceta municipal. En este distrito la principal actividad es la agrícola, es uno de los distritos con menor crecimiento urbano. El plan parcial de este distrito se encuentra en desarrollo por parte del municipio de Puerto Vallarta (Figura 190).



**Figura 190. Delimitación del Distrito Urbano El Colorado.**

### Riesgos hidrometeorológicos

Los riesgos que influyen en este distrito son las inundaciones (fluviales y pluviales). En la Figura 191 se muestra un acercamiento de zonas de inundación por precipitación, las cuales abarcan un porcentaje del 10% de la superficie total, en la Figura 192 se aprecian 4 puntos de inundación, de acuerdo con el ARPV y en la Figura 193 se puede ver la influencia de las inundaciones por cauces, el porcentaje de afectación de la superficie total es de 4%, el distrito colina con el Río Ameca y el Río Mascota, también existen varios arroyos. Como se mencionó anteriormente dentro del distrito existen varias áreas agrícolas, por lo que las afectaciones por inundaciones no afectan a la zona urbana.

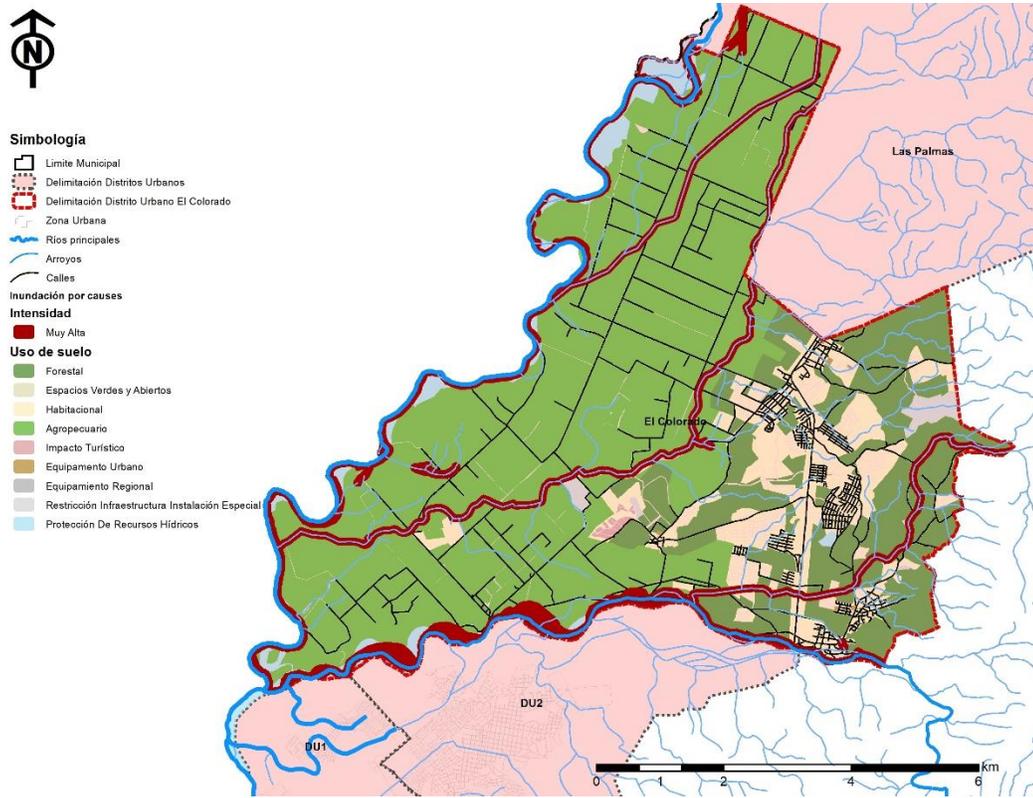


Figura 191. Riesgos por inundación de cauces Distrito Urbano El Colorado.

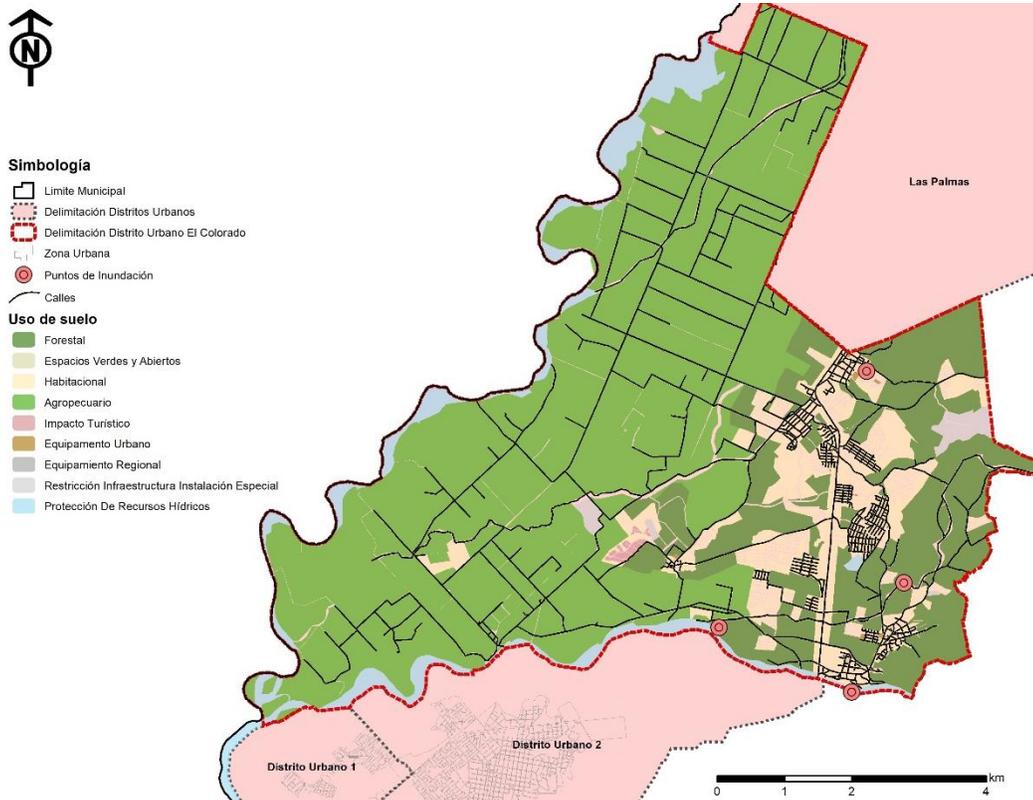


Figura 192. Puntos de inundación registrados Distrito Urbano El Colorado.

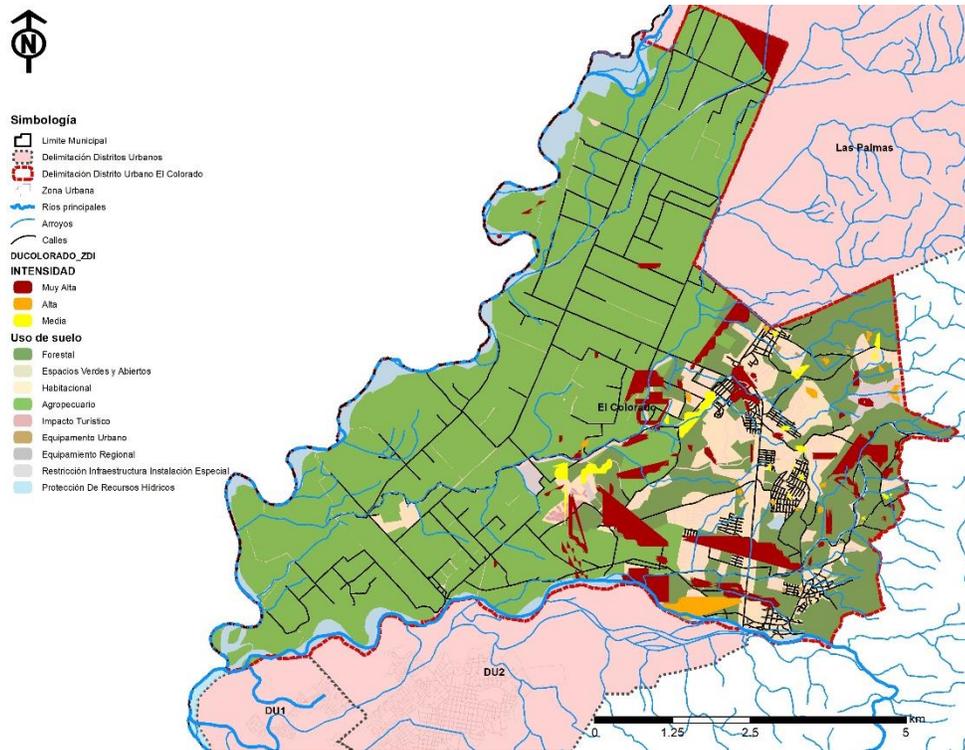


Figura 193. Zonas de inundación registradas en el Distrito Urbano El Colorado.

### Riesgos geológicos

Dentro de los riesgos geológicos, existen las inundaciones por tsunamis de diferente categoría (2.5 m, 5 m, 10 m y 20 m) los cuales solo influyen los tsunamis de categoría de 10 m influyendo en solo el 2% de la superficie del distrito y de 20 m teniendo una influencia en 41% del distrito. El distrito no tiene riesgos de deslizamientos. En la figura 194 se puede observar la presencia de fallas y fracturas, solo existe una fractura que atraviesa el distrito.

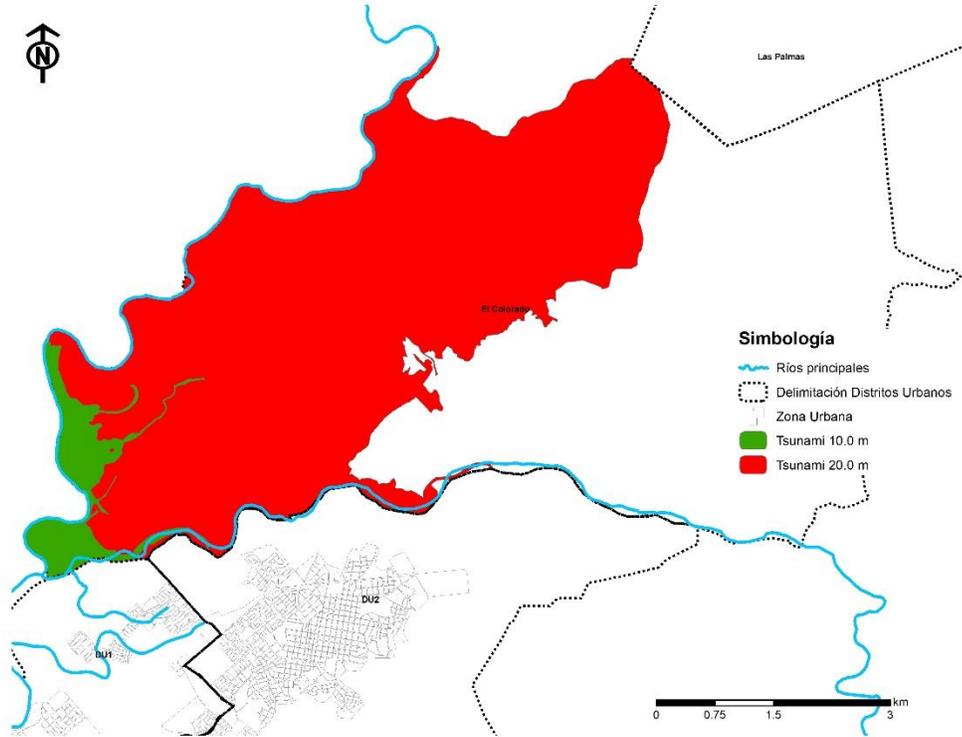


Figura 194. Zonas de inundación por riesgos de tsunamis en el Distrito Urbano El Colorado.

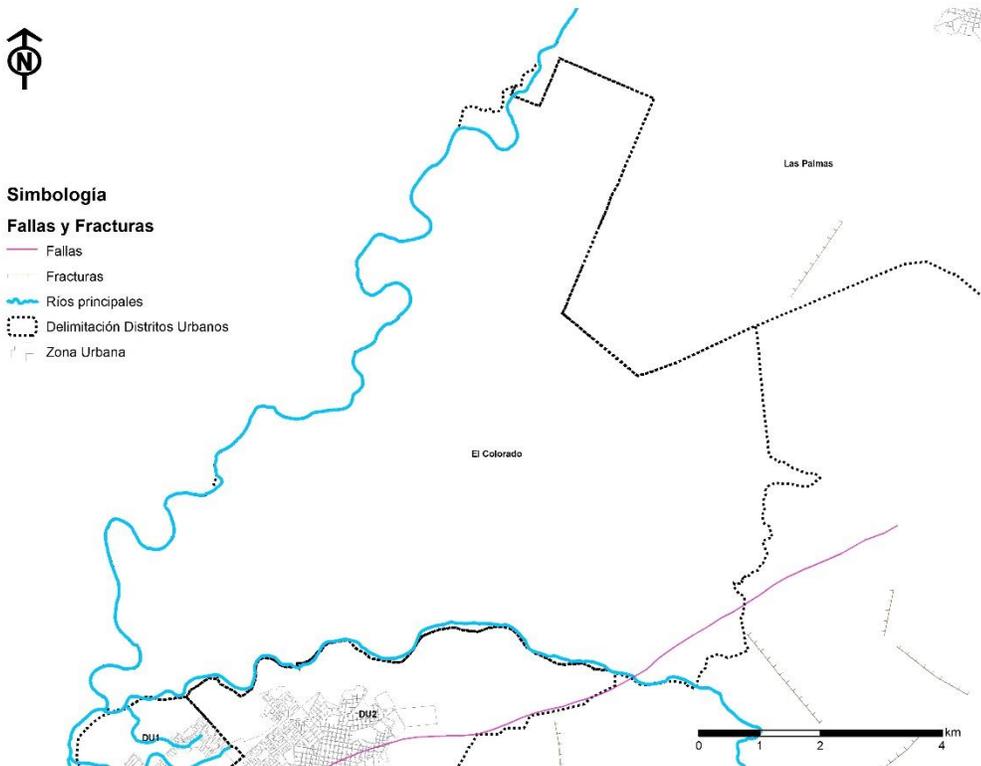


Figura 195. Presencia de fallas y fracturas en el Distrito Urbano El Colorado.

### **11.12.2. Componentes ambientales relevantes**

Los componentes ambientales que por sus características pueden ser evaluados al nivel del distrito urbano son los siguientes:

- **Agricultura**
- **Calidad paisajística**
- **Residuos**

### **11.12.3. Análisis de impactos ambientales potenciales**

A continuación, se describen los impactos ambientales específicos para el distrito urbano.

#### **Agricultura**

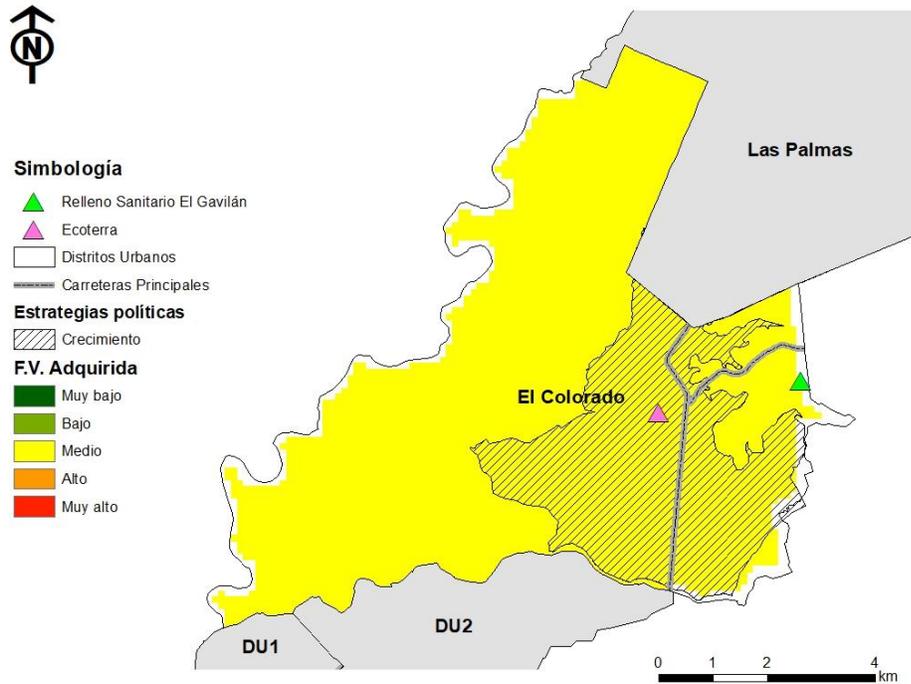
Al igual que en el plan parcial del distrito Las Palmas, aquí también se reconocen zonas sin urbanizar y su potencial para diversificar actividades productivas. Según la clasificación de áreas, gran parte de la zona actualmente agrícola se clasifica como área urbanizable. Para este tipo de áreas se pueden implementar acciones urbanísticas de mejoramiento que corresponden a acciones “de renovación urbana, donde se implementará una transformación o mejoramiento de las áreas, mediante la ejecución de obras materiales para el saneamiento y reposición de sus elementos de dominio público, pudiendo implicar un cambio en las relaciones de propiedad y tenencia del suelo, así como la modificación de usos y destinos de predios y fincas.”

El primer impacto posible tiene que ver con esta política, que puede propiciar un cambio progresivo del uso de suelo en las zonas agrícolas del distrito.

#### **Calidad paisajística**

En la Figura 196 se observa el mapa de fragilidad visual adquirida del distrito urbano El Colorado, siendo también señalada la ubicación de los lugares donde se tomaron las fotografías durante el trabajo de campo (ver Figura 197).

El uso de suelo de este distrito es mayormente apto para el uso agrícola, aunque como estrategia política se tiene pensado crecer la mancha urbana en el área este del municipio. Actualmente, en el área de crecimiento se observan edificaciones de tres niveles de construcción y pocas construcciones de más de 6 niveles.



**Figura 196. Mapa de fragilidad visual para el Distrito urbano El Colorado.**

En la Figura 197 se observan las fotografías tomadas durante el trabajo de campo sobre el distrito urbano El Colorado. En los dos cuadros inferiores se puede ver el desarrollo habitacional de Ecoterra. En el cuadro superior izquierdo se puede ver la vegetación natural y al fondo los campos agrícolas. Por último, en el cuadro superior derecho se observan algunas infraestructuras entre la vegetación natural de la zona.



**Figura 197. Fotografías del Distrito Urbano El Colorado tomadas en octubre 2020.**

En el distrito urbano El Colorado se observan 2 tipos de impacto: 1) Modificación de los elementos visuales del paisaje, 2) Alteración de los elementos que comprenden el patrimonio natural.

### **1. Modificación de los elementos visuales del paisaje**

Los edificios, por su forma, geometría y color, alteran las líneas y el color del paisaje natural, ya que resaltan sobre este. Con esto se observa una alteración a los elementos geomorfológicos, vegetales y patrones compositivos.

### **2. Alteración de los elementos que comprenden el patrimonio natural**

Aunque el distrito tenga un uso de suelo agrícola, hay zonas que mantienen la vegetación natural de la zona, por lo que la falta de valoración ecológica de estos lugares puede dar a lugar una alteración sobre

estos elementos en caso de disponer de más zonas agrícolas o existir construcciones para el desarrollo habitacional.

### **Residuos**

Dentro de este distrito se encuentra ubicado el relleno sanitario “El Gavilán”, por lo que los impactos relacionados a una inadecuada operación en el tendrán una mayor repercusión dentro de este distrito. La migración de contaminantes como los lixiviados pueden representar un riesgo de contaminación del suelo aguas abajo, por su arrastre a través de escorrentías de temporal, así como riesgos para la salud de aquellas personas que pudieran estar en contacto con dichos contaminantes.

#### **11.12.4. Estrategias de mitigación**

A continuación, se describen las estrategias de mitigación específicas para el distrito urbano.

### **Agricultura**

El cambio de uso de la zona agrícola puede mitigarse con los lineamientos establecidos en la Matriz de Compatibilidad, pero las condiciones para los cambios de uso de suelo y los tipos de uso permitidos deben ser claros y no dejar lugar a ambigüedad. Por ejemplo, los lineamientos para los usos de suelo del Plan Parcial descritos hacen al suelo agropecuario no urbanizable, mientras que en la clasificación de áreas las zonas agrícolas se reconocen como urbanizadas.

Igualmente, al distrito Las Palmas, se recomienda la elaboración de un plan de gestión agrícola municipal para el reconocimiento de las zonas agrícolas prioritarias del municipio y el establecimiento de acciones de gestión del sector tendientes a asegurar su sostenibilidad mientras incrementa su producción.

### **Calidad paisajística**

- Es importante regular las construcciones que se lleven a cabo, tomando en cuenta la estética y la arquitectura de la edificación. Para esto deberán de implementarse estudios de integración paisajística.
- Se deberá de llevar a cabo estudios de valorización del paisaje natural para promover la conservación de zonas con alto valor ecológico.
- Los estudios para determinar el valor paisajístico también deberán de involucrar la participación pública y establecer una valoración social donde se incluyan las preferencias de la población.
- Establecer programas de paisaje para garantizar el cumplimiento de las medidas de conservación de las áreas de alto valor ecológico.

### **Residuos**

Se deberá de llevar a cabo las acciones contempladas en la estrategia de mitigación relacionada al fortalecimiento de los SDF.

- Diseñar e implementar medidas o mejoras operativas en el SDF
- Elaborar un diagnóstico de contaminación en los alrededores del SDF

- Incorporar en el manual operativo del SDF el monitoreo constante de contaminantes fuera del predio