



Universitat Politècnica de València

Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

Doctorado en Ingeniería del Agua y Medioambiental

Tesis Doctoral:

*Metodología para la ordenación de cuencas hidrográficas en
el ámbito biogeográfico árido sudcaliforniano (México)*

Autor:

María Z. Flores López

Directores:

Dr. José Andrés Torrent Bravo

Dr. Leticia López Sardá

Valencia España, Marzo de 2016

*A mis padres,
por su guía y apoyo,
por enseñarme que el camino correcto en la vida no siempre es sencillo,
pero que todo sacrificio al final tendrá su recompensa
a ustedes, con todo mi amor*



El agua y el suelo son recursos naturales imprescindibles para el desarrollo y mantenimiento de los ecosistemas. Las cuencas hidrográficas son unidades de gestión, en las que el objetivo del ordenamiento y manejo de las mismas es evitar la erosión del suelo, controlar la pérdida de vegetación y regular el ciclo hidrológico, protegiendo los recursos naturales y fomentando el desarrollo sostenible.

La presente investigación propone una metodología original de Ordenación de Cuencas Hidrográficas (MOCAS) que recoge adecuadamente la problemática existente en el ámbito árido sudcaliforniano mexicano y que novedosamente integra criterios de ordenación que las metodologías clásicas no tienen en cuenta. Esta metodología proporciona respuestas a los problemas de degradación y desertificación en zonas erosionadas y es extrapolable a zonas biogeográficamente similares a las cuencas de estudio seleccionadas.

En esta Tesis se analizan y comparan metodologías clásicas de Ordenación de Cuencas como la Ordenación según la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE), la Ordenación basada en los criterios de Mintegui Aguirre y López, y la Ordenación de cuencas bajo el modelo N-SPECT. Posteriormente se plantea la propuesta de un sistema de Ordenación de Cuencas hidrográficas en zonas áridas, donde es necesario abarcar no solo la influencia de la hidrología superficial, sino de la hidrología subterránea, así como también la vulnerabilidad en zonas dominadas. Las anteriores metodologías fueron aplicadas a una zona de estudio con características evidentes de aridez, en la región Noroeste del territorio mexicano. Específicamente en seis cuencas hidrográficas con tipología de alta montaña, mixta y de llanura, en Baja California Sur, México.

Finalmente se aplica la metodología de Ordenación propuesta, obteniendo como resultado los usos mayormente adecuados del territorio según zonas y superficies, y los mapas temáticos de actividades planteadas para la Ordenación, de los cuales se han obtenido los valores de superficies de actuación para cada metodología utilizada.

Una vez obtenidos los resultados cuantitativos entre cada una de las metodologías se genera una adaptación de usos comunes del suelo para las actividades resultantes de cada metodología. Con ello se eliminaría la subjetividad inherente de la aplicación de la misma. De los trabajos realizados y comparación entre las metodologías, se han obtenido una serie de conclusiones que aportan futuras líneas de investigación en el ámbito de la Ordenación de Cuencas a fin de establecer un sistema eficaz, integral y sencillo para el estudio y análisis de las cuencas hidrográficas en zonas áridas.

L'aigua i el sòl són recursos naturals imprescindibles per al desenrotllament i manteniment dels ecosistemes. Les conques hidrogràfiques són unitats de gestió, en les que l'objectiu de l'ordenament i maneig de les mateixes és evitar l'erosió del sòl, controlar la pèrdua de vegetació i regular el cicle hidrològic, protegint els recursos naturals i fomentant el desenrotllament sostenible. La present investigació proposa una metodologia original d'Ordenació de Conques Hidrogràfiques (MOCAS) que arreplega adequadament la problemàtica existent en l'àmbit àrid sudcaliforniano mexicà i que novament integra criteris d'Ordenació que les metodologies clàssiques no tenen en compte.

Esta metodologia proporciona respostes als problemes de degradació i desertificació en zones erosionades i és extrapolable a zones biogeogràficament semblants a les conques d'estudi seleccionades. En esta Tesi s'analitzen i comparen metodologies clàssiques d'Ordenació de conques com l'ordenació segons l'Equació Universal de Pèrdues de Sòl (USLE), l'Ordenació basada en els criteris de Mintegui Aguirre i Lopez, i l'Ordenació de Conques davall el model N-SPECT. Posteriorment es planteja la proposta d'un sistema d'Ordenació de Conques hidrogràfiques en zones àrides, on és necessari comprendre no sols la influència de la hidrologia superficial, sinó de la hidrologia subterrània, així com també la vulnerabilitat en zones dominades. Les anteriors metodologies van ser aplicades a una zona d'estudi amb característiques evidents d'aridesa, en la regió Nord-oest del territori mexicà. Específicament en sis conques hidrogràfiques amb tipologia d'alta muntanya, mixta i de plana, en Baixa Califòrnia Sud, Mèxic.

Finalment s'aplica la metodologia d'Ordenació proposada, obtenint com resultat els usos majorment adequats del territori segons zones i superfícies, i els mapes temàtics

d'activitats plantejades per a l'Ordenació, dels quals s'han obtingut els valors de superfícies d'actuació per a cada metodologia utilitzada. Una vegada obtinguts els resultats quantitius entre cada una de les metodologies es genera una adaptació d'usos comuns del sòl per a les activitats resultants de cada metodologia. Amb això s'eliminarà la subjectivitat inherent de l'aplicació de la mateixa. Dels treballs realitzats i comparació entre les metodologies, s'han obtingut una sèrie de conclusions que aporten futures línies d'investigació en l'àmbit de l'Ordenació de Conques a fi d'establir un sistema eficaç, integral i senzill per a l'estudi i anàlisi de les conques hidrogràfiques en zones àrides.

Abstract

Water and soil are essential for the development and maintenance of ecosystem resources. Watersheds are units of management, where the aim of the regulation and management of them is to prevent soil erosion, loss of vegetation control and regulate the hydrological cycle, protecting natural resources and promoting sustainable development.

This research proposes an original methodology of Watershed Management (MOCAS) that adequately reflects the problems in the Mexican arid area of BCS and innovatively integrated management approaches that classical methods do not take into account. This methodology provides answers to the problems of land degradation and desertification in eroded areas and extrapolated to biogeographically like basins selected study areas.

This thesis analyzes and compares classical watershed management methodologies such as sorting according to the Universal Soil Loss Equation (USLE) based management criteria Mintegui Aguirre and Lopez, and watershed management under the N-SPECT model. Subsequently, the proposal for a system of watershed management in arid areas, where it is necessary to cover not only the influence of surface hydrology, but groundwater hydrology, as well as vulnerability dominated areas. These methods were applied to a study area with obvious characteristics of aridity in the Northwest region of Mexico. Specifically in six watersheds typology high mountain and lowland mixed in Baja California Sur, Mexico.

Finally the proposed management methodology is applied, resulting in the mostly appropriate uses of the territory as areas and surfaces, and thematic maps implemented

activities for watershed management, which were obtained values for action surfaces of each methodology.

Once the quantitative results obtained from each of the methodologies adapted from common land use for activities resulting from each method is generated. The inherent subjectivity of the application thereof be eliminated. Of the work done and comparison of methodologies, we have obtained a number of conclusions that provide future research in the field of watershed management to establish an effective, comprehensive and simple system for the study and analysis of watersheds basins in arid areas.

Índice General

<i>Capítulo 1. Introducción</i>	1
1.1 Motivación de la investigación	1
1.2. Objetivos	4
1.3 Contenido y estructura de la Tesis	7
<i>Capítulo 2. Material y métodos</i>	11
2.1 El concepto de cuenca hidrográfica	11
2.2 La Ordenación y Restauración Hidrológico Forestal	15
2.3 Manejo y Planificación de cuencas hidrográficas	21
2.3.1 Ordenación del territorio	22
2.4 Metodologías para el ordenamiento de cuencas	23
2.5 Antecedentes históricos en México	26
2.6 Acciones contra la desertificación en México.....	29
2.7 La modelación hidrológica.....	36
2.7.1 Modelo Nonpoint Source Pollution and Erosion Comparison Tool (N-SPECT) 38	
2.7.1.1 Parametrización de N-SPECT	39
2.7.1.2 Limitaciones del modelo hidrológico	42
2.7.2 Modelo de simulación del flujo de agua subterránea, Modflow.....	42
2.7.2.1 Parametrización de Modflow	44
2.7.2.2. Limitaciones del modelo Modflow	46
<i>Capítulo 3. Caso de estudio</i>	49
3.1 Descripción del medio físico.....	50
3.2 Localización geográfica	56
3.3 Geología y Litología	63
3.4 Edafología y estratigrafía	68
3.4.1 Clasificación de las litofacies según su repercusión en los procesos erosivos	70
3.4.2 Descripción de los suelos	72

3.5 Clima.....	76
3.5.1 Elección de observatorios meteorológicos	79
3.5.2 Clasificación climática	82
3.5.2.1 Clasificación climática de Thornthwaite.....	82
3.5.2.2 Índice de Papadakis	83
3.5.2.3 Índice de aridez de Martonne.....	84
3.5.2.4 Índice de agresividad del clima (F. Fournier)	85
3.6 Vegetación y cultivos.....	87
3.6.1 Vegetación actual y distribución de usos del suelo en la zona de estudio	88
3.7 Tenencia de la tierra.....	95
3.8 Características socioeconómicas	97
3.8.1 Demografía y análisis de la población.....	98
3.8.2 El mercado de trabajo.....	102
3.8.3 Análisis de cada uno de los sectores económicos.....	103
3.8.3.1 Sector primario	103
3.8.3.2 Sector secundario.....	106
3.8.3.3 Sector terciario.....	107
3.9 Hidrología	108
3.9.1 Reseña Hidrográfica	108
3.9.2 Parámetros de forma.....	113
3.9.2.1 Coeficiente de Gravelius.....	113
3.9.3 Parámetros de relieve	114
3.9.4 Parámetros relativos a la red hidrográfica.	118
3.9.5 Cálculo de caudales.....	121
3.9.5.1 Aplicación de la fórmula empírica de García Nájera.....	121
3.9.5.2 Aplicación del método de la dirección general de carreteras del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU)	122
3.9.5.3 Cálculo de la intensidad I.....	123
3.9.5.4 Cálculo del coeficiente de uniformidad	124
3.9.5.5 Cálculo del coeficiente de escorrentía	124
3.9.5.6 Precipitación máxima diaria	127

3.9.5.7 Cálculo del caudal punta Q.....	128
3.9.6 Erosión en la zona de estudio y zonas vulnerables.....	130
3.10 Metodologías de Ordenación en el caso de estudio	132
3.10.1 Metodología de Ordenación de la cuenca basada en el modelo USLE de estimación de la erosión	133
3.10.1.1 Métodos de cálculo factores USLE.....	135
3.10.1.2 Factor erosividad de la lluvia (R).....	135
3.10.1.3 El factor erosionabilidad (K)	138
3.10.1.4 El factor longitud-inclinación LS.....	144
3.10.1.5 Factor cubierta vegetal o factor C	146
3.10.1.6 El factor de prácticas de conservación P.....	148
3.10.1.7 Tolerancia de pérdidas de suelo y tasa de erosión según el Modelo USLE	149
3.10.1.8 Mapa de usos futuros en base a la Ordenación de la Cuenca.....	155
3.10.2 Metodología de Ordenación de la cuenca bajo el modelo NSPECT	161
3.10.2.1 Parametrización de N-SPECT	161
3.10.2.2 Cambios en la cobertura de uso del suelo	163
3.10.2.3 Ejecución y resultados de la Ordenación del territorio	164
3.10.3 Modelación del agua subterránea	170
3.10.3.1 El Acuífero de La Paz.....	171
3.10.3.2 Modelación del flujo subterráneo con Modflow	177
3.10.4 Ordenación según criterios Mintegui Aguirre y López	196
3.10.4.1 Clasificación de criterios para Mintegui Aguirre y López	196
<i>Capítulo 4. Resultados al caso de estudio</i>	<i>207</i>
4.1 Propuesta de metodología para la Ordenación de Cuencas hidrográficas en el ámbito Árido Sudcaliforniano (MOCAS).....	208
4.1.1 Estudio de la problemática	209
4.1.2 Establecimiento de los objetivos y selección de actividades.....	211
4.1.3 Elaboración del plan de trabajo.....	212
4.1.4 Identificación, caracterización y priorización de actores	213
4.1.5 Inventario y análisis del medio: cartografía temática	214

4.1.6 Fase de Prospectiva y Zonificación Ambiental	217
4.2 Resumen y comparativa de los resultados obtenidos en las distintas Ordenaciones.	236
<i>Capítulo 5. Discusión</i>	243
5.1 Resultados y discusión	243
5.1.1 Clasificación común de actividades	243
<i>Capítulo 6. Conclusiones</i>	257
6.1 Conclusiones	257
6.1.1. Conclusiones del caso de estudio	257
6.1.2. Conclusiones a las mejoras del caso de estudio	260
6.2 Conclusiones generales	263
6.3 Discusión final	265
6.4 Futuras líneas de investigación	267
<i>Capítulo 7. Referencias</i>	273
Anejos.....	293

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Esquema general del documento</i>	7
<i>Figura 2. Pérdidas de suelo en el territorio mexicano</i>	28
<i>Figura 3. Tipos de degradación existente en México</i>	29
<i>Figura 4. Procesos de degradación del suelo en diferentes</i>	34
<i>Figura 5. Sistema hidrológico conceptual integrado, mostrando parte de una cuenca superficial y un acuífero</i>	37
<i>Figura 6. Modelo del ciclo hidrológico simplificado por N-SPECT</i>	40
<i>Figura 7. Modelo conceptual de N-SPECT</i>	41
<i>Figura 8. Esquema de un acuífero y los elementos conceptuales con los que trabaja Modflow</i>	44
<i>Figura 9. Sección transversal de un acuífero mostrando los parámetros que intervienen en un modelo de simulación</i>	45
<i>Figura 10. Localización de la Península de Baja California en el continente americano</i>	50
<i>Figura 11. Imágenes de satélite, mostrando a la izquierda, el territorio correspondiente a la República Mexicana, y a la derecha, la Península de Baja California, situada en la región noroeste de México</i>	51
<i>Figura 12. Relieve de Baja California Sur</i>	52
<i>Figura 13. Cinturón de desiertos en el planeta</i>	53
<i>Figura 14. Zona de estudio y sus principales formaciones serranas, presas y poblaciones relevantes</i>	54
<i>Figura 15. Ubicación de las seis cuencas de estudio en el estado de Baja California Sur</i> ..	56
<i>Figura 16. Localización de las cuencas de estudio</i>	58
<i>Figura 17. Vista de satélite de las seis cuencas de estudio</i>	59
<i>Figura 18. Vista de la ciudad de La Paz, capital de Baja California Sur y el Mogote</i>	60
<i>Figura 19. Arroyo típico en la cuenca El Cajoncito</i>	61
<i>Figura 20. Zona de alta montaña en la cuenca de La Paz, Sierra El Novillo</i>	62
<i>Figura 21. Vista de satélite de la Presa La Buena Mujer</i>	62
<i>Figura 22. Litología en la Cuenca El Cajoncito</i>	65
<i>Figura 23. Litología en la Cuenca La Huerta</i>	65
<i>Figura 24. Litología en la Cuenca La Palma</i>	66

<i>Figura 25. Litología en la Cuenca El Carrizal.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 26. Litología en la Cuenca Victoria.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 27. Litología en la cuenca El Novillo</i>	<i>67</i>
<i>Figura 28. Tipos de suelo en la cuenca El Cajoncito</i>	<i>72</i>
<i>Figura 29. Tipos de suelo en la cuenca La Huerta.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 30. Tipos de suelo en la cuenca La Palma.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 31. Tipos de suelo en la cuenca El Carrizal</i>	<i>74</i>
<i>Figura 32. Tipos de suelo en la cuenca Victoria</i>	<i>74</i>
<i>Figura 33. Tipos de suelo en la cuenca El Novillo</i>	<i>75</i>
<i>Figura 34. Localización de los vientos de verano e invierno, y el movimiento de la zona de baja presión de marzo a julio, y batimetría del Golfo de California.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 35. Zonas de formación de ciclones con afección a la República Mexicana.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 36. Imagen de satélite del huracán Odile</i>	<i>78</i>
<i>Figura 37. Ubicación de los observatorios meteorológicos en la zona de estudio</i>	<i>81</i>
<i>Figura 38. Distribución de usos de suelo en la cuenca El Cajoncito</i>	<i>91</i>
<i>Figura 39. Distribución de usos de suelo en la cuenca La Huerta.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 40. Distribución de usos de suelo en la cuenca La Palma.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 41. Distribución de usos de suelo en la cuenca El Carrizal</i>	<i>92</i>
<i>Figura 42. Distribución de usos de suelo en la cuenca Victoria</i>	<i>93</i>
<i>Figura 43. Distribución de usos de suelo en la cuenca El Novillo</i>	<i>93</i>
<i>Figura 44. Panorámica de la zona urbana de la ciudad de La Paz, rodeada por la Ensenada de La Paz</i>	<i>95</i>
<i>Figura 45. Municipios de Baja California Sur</i>	<i>99</i>
<i>Figura 46. Distribución de la superficie agrícola en el municipio de La Paz.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 47. Regiones hidrológicas de la Península de Baja California</i>	<i>108</i>
<i>Figura 48. Foto de la Presa La Buena Mujer.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 49. Mapa de pendientes en la cuenca El Cajoncito</i>	<i>110</i>
<i>Figura 50. Mapa de pendientes en la cuenca La Huerta.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 51. Mapa de pendientes en la cuenca La Palma.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 52. Mapa de pendientes en la cuenca El Carrizal</i>	<i>112</i>
<i>Figura 53. Mapa de pendientes en la cuenca Victoria</i>	<i>112</i>
<i>Figura 54. Mapa de pendientes en la cuenca El Novillo.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 55. Modelo MED de la Cuenca El Cajoncito</i>	<i>115</i>
<i>Figura 56. Modelo MED de la Cuenca La Huerta</i>	<i>115</i>
<i>Figura 57. Modelo MED de la Cuenca La Palma.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 58. Modelo MED de la Cuenca El Carrizal.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 59. Modelo MED de la Cuenca Victoria.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 60. Modelo MED de la Cuenca El Novillo</i>	<i>117</i>
<i>Figura 61. Red de drenaje en la cuenca El Cajoncito.....</i>	<i>118</i>
<i>Figura 62. Red de drenaje en la cuenca La Huerta.....</i>	<i>118</i>

<i>Figura 63. Red de drenaje en la cuenca La Palma.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 64. Red de drenaje en la cuenca El Carrizal</i>	<i>119</i>
<i>Figura 65. Red de drenaje en la cuenca Victoria</i>	<i>120</i>
<i>Figura 66. Red de drenaje en la cuenca El Novillo</i>	<i>120</i>
<i>Figura 67. Mapa de Isoyetas de intensidad de lluvia en Baja California Sur</i>	<i>123</i>
<i>Figura 68. Nomograma del factor K</i>	<i>139</i>
<i>Figura 69. Distribución del factor K en la cuenca El Cajoncito</i>	<i>141</i>
<i>Figura 70. Distribución del factor K en la cuenca La Huerta.....</i>	<i>142</i>
<i>Figura 71. Distribución del factor K en la cuenca La Palma.....</i>	<i>142</i>
<i>Figura 72. Distribución del factor K en la cuenca El Carrizal</i>	<i>143</i>
<i>Figura 73. Distribución del factor K en la cuenca Victoria</i>	<i>143</i>
<i>Figura 74. Distribución del factor K en la cuenca El Novillo</i>	<i>144</i>
<i>Figura 75. Pérdidas de suelo en la cuenca El Cajoncito</i>	<i>152</i>
<i>Figura 76. Pérdidas de suelo en la cuenca La Huerta</i>	<i>152</i>
<i>Figura 77. Pérdidas de suelo en la cuenca La Palma</i>	<i>153</i>
<i>Figura 78. Pérdidas de suelo en la cuenca El Carrizal.....</i>	<i>153</i>
<i>Figura 79. Pérdidas de suelo en la cuenca Victoria.....</i>	<i>154</i>
<i>Figura 80. Pérdidas de suelo en la cuenca El Novillo</i>	<i>154</i>
<i>Figura 81. Ordenación bajo criterio USLE de Cuenca El Cajoncito.....</i>	<i>158</i>
<i>Figura 82. Ordenación bajo criterio USLE de Cuenca La Huerta</i>	<i>159</i>
<i>Figura 83. Ordenación bajo criterio USLE de Cuenca La Palma</i>	<i>159</i>
<i>Figura 84. Ordenación bajo criterio USLE de Cuenca El Carrizal</i>	<i>160</i>
<i>Figura 85. Ordenación bajo criterio USLE de Cuenca Victoria.....</i>	<i>160</i>
<i>Figura 86. Ordenación bajo criterio USLE de Cuenca El Novillo.....</i>	<i>161</i>
<i>Figura 87. Zona de cultivo en la Cuenca El Carrizal.....</i>	<i>163</i>
<i>Figura 88. Ventana de trabajo del modelo de Ordenación NSPECT.....</i>	<i>164</i>
<i>Figura 89. Ventana referente a la cobertura de Usos de Suelo.....</i>	<i>165</i>
<i>Figura 90. Datos de suelos utilizados en NSPECT</i>	<i>166</i>
<i>Figura 91. Escenario de Proyección de Usos del Suelo Futuro de la zona de estudio según el modelo NSPECT para cuenca El Cajoncito</i>	<i>167</i>
<i>Figura 92. Escenario de Proyección de Usos del Suelo Futuro de la zona de estudio según el modelo NSPECT para cuenca La Huerta</i>	<i>168</i>
<i>Figura 93. Escenario de Proyección de Usos del Suelo Futuro de la zona de estudio según el modelo NSPECT para cuenca La Palma.....</i>	<i>168</i>
<i>Figura 94. Escenario de Proyección de Usos del Suelo Futuro de la zona de estudio según el modelo NSPECT para cuenca El Carrizal</i>	<i>169</i>
<i>Figura 95. Escenario de Proyección de Usos del Suelo Futuro de la zona de estudio según el modelo NSPECT para cuenca Victoria</i>	<i>169</i>
<i>Figura 96. Escenario de Proyección de Usos del Suelo Futuro de la zona de estudio según el modelo NSPECT para cuenca El Novillo</i>	<i>170</i>

<i>Figura 97. Localización del acuífero de La Paz.....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 98. Distribución porcentual usos acuífero La Paz</i>	<i>173</i>
<i>Figura 99. Vulnerabilidad en zonas dominadas para la zona de estudio.....</i>	<i>177</i>
<i>Figura 100. Relación de profundidad del nivel estático Vs profundidad del pozo</i>	<i>179</i>
<i>Figura 101. Nivel piezométrico del acuífero de La Paz</i>	<i>180</i>
<i>Figura 102. Profundidad al nivel estático para el año 2000.....</i>	<i>182</i>
<i>Figura 103. Geometría del Valle de La Paz.....</i>	<i>183</i>
<i>Figura 104. Zonas con mayor descarga por bombeos de aguas</i>	<i>184</i>
<i>Figura 105. Modelo de representación de intrusión salina en acuífero La Paz.....</i>	<i>185</i>
<i>Figura 106. Modelo conceptual subterráneo en parte de la zona de estudio</i>	<i>186</i>
<i>Figura 107. Distribución de las áreas de recarga potenciales para la zona de estudio en el interior del acuífero La Paz.....</i>	<i>189</i>
<i>Figura 108. Utilización de un gavión en la parte alta de la cuenca de La Palma</i>	<i>190</i>
<i>Figura 109. Ordenación bajo criterios Mintegui Aguirre y López para la cuenca El Cajoncito</i>	<i>201</i>
<i>Figura 110. Ordenación bajo criterios Mintegui Aguirre y López para la cuenca La Huerta</i>	<i>201</i>
<i>Figura 111. Ordenación bajo criterios Mintegui Aguirre y López para la cuenca La Palma</i>	<i>202</i>
<i>Figura 112. Ordenación bajo criterios Mintegui Aguirre y López para la cuenca El Carrizal</i>	<i>202</i>
<i>Figura 113. Ordenación bajo criterios Mintegui Aguirre y López para la cuenca Victoria.....</i>	<i>203</i>
<i>Figura 114. Ordenación bajo criterios Mintegui Aguirre y López para la cuenca El Novillo</i>	<i>203</i>
<i>Figura 115. Esquema de influencia de la aptitud e impacto</i>	<i>208</i>
<i>Figura 116. Simulación de la huella urbana en la ciudad de La Paz, año 1986, 2010 y 2030</i>	<i>212</i>
<i>Figura 117. Esquema de trabajo en la metodología MOCAS</i>	<i>219</i>
<i>Figura 118. Ordenación final de la propuesta de metodología de Ordenación de cuencas para el árido sudcaliforniano (MOCAS) en cuenca El Cajoncito</i>	<i>229</i>
<i>Figura 119. Ordenación final de la propuesta de metodología de Ordenación de cuencas para el árido sudcaliforniano (MOCAS) en cuenca La Huerta.....</i>	<i>230</i>
<i>Figura 120. Ordenación final de la propuesta de metodología de Ordenación de cuencas para el árido sudcaliforniano (MOCAS) en cuenca La Palma.....</i>	<i>231</i>
<i>Figura 121. Ordenación final de la propuesta de metodología de Ordenación de cuencas para el árido sudcaliforniano (MOCAS) en cuenca El Carrizal</i>	<i>232</i>
<i>Figura 122. Ordenación final de la propuesta de metodología de Ordenación de cuencas para el árido sudcaliforniano (MOCAS) en cuenca Victoria</i>	<i>233</i>
<i>Figura 123. Ordenación final de la propuesta de metodología de Ordenación de cuencas para el árido sudcaliforniano (MOCAS) en cuenca El Novillo</i>	<i>234</i>

<i>Figura 124. Comparación entre las metodologías adaptadas.....</i>	<i>246</i>
<i>Figura 125. Tabla ANOVA y presentación de resultados.....</i>	<i>246</i>
<i>Figura 126. Gráfico de rangos para Mintegui Aguirre y López Adaptado y Usle Adaptado</i>	<i>247</i>
<i>Figura 127. Gráfico del modelo ajustado 1.....</i>	<i>248</i>
<i>Figura 128. Gráfico del modelo ajustado 2.....</i>	<i>249</i>
<i>Figura 129. Modelo lineal 1.....</i>	<i>250</i>
<i>Figura 130. Modelo lineal 2.....</i>	<i>251</i>
<i>Figura 131. Modelo lineal 3.....</i>	<i>252</i>
<i>Figura 132. Ubicación de los puntos de muestreo de suelo para la zona de estudio</i>	<i>324</i>
<i>Figura 133. Ubicación de pozos en acuífero de estudio.....</i>	<i>330</i>

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Elementos de control de acuerdo a la posición en la cuenca</i>	13
<i>Tabla 2. Factores a considerar en la Ordenación Agro-hidrológica de una cuenca hidrográfica</i>	19
<i>Tabla 3. Porcentaje del área nacional mexicana afectada por erosión</i>	31
<i>Tabla 4. Grupos hidrológicos de suelo</i>	41
<i>Tabla 5. Superficie y tipología de las cuencas de estudio</i>	55
<i>Tabla 6. Clasificación litológica según nivel de erosión</i>	70
<i>Tabla 7. Observatorios meteorológicos cercanos a la zona de estudio</i>	79
<i>Tabla 8. Clasificación de climas según sistema Thornthwaite</i>	82
<i>Tabla 9. Índice de aridez</i>	84
<i>Tabla 10. Clasificación de Martonne para el índice de aridez</i>	85
<i>Tabla 11. Clasificación bajo el Índice de Fournier Modificado</i>	86
<i>Tabla 12. Clasificación del IFM para las estaciones climatológicas relacionadas a la zona de estudio</i>	86
<i>Tabla 13. Usos de suelo en la zona de estudio</i>	90
<i>Tabla 14. Lotes y superficies de origen ejidal, comunal o de propiedad federal regularizados, por regularizar y superficie promedio por lote en el municipio de La Paz, 1998-2003</i>	97
<i>Tabla 15. Núcleos poblacionales importantes en el municipio de La Paz</i>	98
<i>Tabla 16. Distribución porcentual de la población en Baja California Sur</i>	99
<i>Tabla 17. Proyecciones de crecimiento de población 2000-2030</i>	101
<i>Tabla 18. Población económicamente activa por rama de actividad</i>	103
<i>Tabla 19. Coeficiente de Gravelius para cada cuenca de estudio</i>	114
<i>Tabla 20. Caudales calculados para cada cuenca de estudio</i>	122
<i>Tabla 21. Cálculo del coeficiente de escorrentía</i>	124
<i>Tabla 22. Umbral de escorrentía dependiendo el tipo de terreno</i>	126
<i>Tabla 23. Clasificación de suelos a efectos del umbral de escorrentía</i>	126
<i>Tabla 24. Cálculo de caudales para distintos periodos de retorno en cada cuenca</i>	128
<i>Tabla 25. Distribución del Factor R para las estaciones climatológicas de la zona de estudio</i>	137

<i>Tabla 26. Código de estructura del suelo</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 27. Código de permeabilidad del perfil del suelo.....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 28. Coeficiente “m” en la formula LS.....</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 29. Valores NDVI para la Clasificación del NDVI de la época seca del año 2008 ..</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 30. Factores asignados de C para vegetación de clima árido por el USGS</i>	<i>148</i>
<i>Tabla 31. Factores C calculados para la zona de estudio.....</i>	<i>148</i>
<i>Tabla 32. Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 33. Superficie de pérdidas de suelo en las cuencas de estudio.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 34. Ordenación de usos del suelo según el modelo USLE.....</i>	<i>155</i>
<i>Tabla 35. Superficies de los usos de suelo asignados según el modelo USLE a las cuencas de estudio.....</i>	<i>157</i>
<i>Tabla 36. Ordenación del territorio en base al modelo NSPECT para cada cuenca.....</i>	<i>167</i>
<i>Tabla 37. Coordenadas de los vértices del acuífero de La Paz.....</i>	<i>172</i>
<i>Tabla 38. Criterios para la Ordenación agrohidrológica de una cuenca alimentadora.....</i>	<i>197</i>
<i>Tabla 39. Superficies definitivas de los usos asignados según la Ordenación agrohidrológica con criterios de Mintegui Aguirre y López para las cuencas estudiadas</i>	<i>200</i>
<i>Tabla 40. Matriz de aptitud de las actividades propuestas</i>	<i>220</i>
<i>Tabla 41. Matriz de impacto del medio para realizar actividades propuestas.....</i>	<i>224</i>
<i>Tabla 42. Superficies de adecuación para las actividades propuestas según MOCAS</i>	<i>227</i>
<i>Tabla 43. Resumen de superficies de adecuación para las actividades propuestas según distintas Metodologías de Ordenación</i>	<i>239</i>
<i>Tabla 44. Equivalencias entre los usos de las tres metodologías de Ordenación estudiadas y los usos de la clasificación común propuesta.....</i>	<i>244</i>
<i>Tabla 45. Superficies representadas por los nuevos usos para la zona de estudio</i>	<i>245</i>
<i>Tabla 46. Superficies coincidentes de las cuatro metodologías, expresadas en km² y en %, en cada actividad.....</i>	<i>253</i>
<i>Tabla 47. Datos de suelo para el cálculo del factor K en los 115 puntos de muestreo</i>	<i>317</i>
<i>Tabla 48. Pozos en el acuífero La Paz</i>	<i>325</i>



Anotaciones:

**El signo separador decimal utilizado
en esta Tesis fue el punto.*

**Fotografías al inicio de cada capítulo
cortesía de Miguel Ángel de la Cueva.*

Capítulo 1. Introducción



Capítulo 1. Introducción

En el siguiente apartado se presenta la motivación por la cual surgió la inquietud de elaboración de esta Tesis, describiendo de forma somera los objetivos propuestos así como los distintos apartados que forman el documento.

1.1 Motivación de la investigación

Una de las primeras preocupaciones al iniciar un debate sobre las metodologías de Ordenación de Cuencas es definir de manera clara los conceptos fundamentales que están relacionados con la materia. Es relevante distinguir la existencia de al menos dos formas de enfrentar el estudio de la Ordenación de Cuencas hidrográficas en cualquier zona de estudio existente en el globo terráqueo. El primer enfoque está asociado a la comprensión de ella como un fenómeno individual y colectivo que se manifiesta naturalmente en la realidad, por lo que existe una simulación de ello como objeto de estudio de una ciencia o disciplina. El segundo enfoque se orienta a concebir la planificación como una disciplina propiamente establecida, es decir un campo de estudio, en el que puede utilizarse el método científico.

La actividad de planificación es un fenómeno de antigua data, cuyo origen podría encontrarse en el período en que las primeras comunidades nómades se transformaron en sedentarias, alrededor de 10 000 años A.C. (Dennis, 2012). La ocurrencia periódica de ciertos fenómenos naturales, tales como los períodos de siembra y cosecha asociados a lluvias, migraciones de animales, subidas de cauces de ríos, cosechas y otros factores, requería un esfuerzo de establecer patrones de comportamiento de las variables que

afectaban la vida en comunidad, encontrando regularidades que podían configurarse como formas previsibles de entender el futuro y, por tanto, anticiparse a este, en un ámbito de mayor complejidad que la mera recolección de datos. Estas primeras expresiones del fenómeno estaban estrechamente relacionadas con el uso del territorio y buscaban controlar la naturaleza en virtud de la necesidad de supervivencia de la comunidad (Wellock, 2007). En ese marco surgieron expresiones de formas de ordenamiento territorial reflejadas, por ejemplo, en asuntos como la localización de las aldeas, el acceso al agua, el uso alternativo del suelo para vivienda, agricultura, pastoreo y disposición de los residuos, entre otros.

El establecimiento de centros poblacionales se constituyó como uno de los medios más efectivos para ejercer el poder sobre un territorio determinado (Nixon, 2013). Esto se tradujo en que la planificación aplicada a fines militares, como la conquista y el uso del territorio, fue la expresión más importante de esta actividad en civilizaciones como la antigua Grecia, de donde proviene incluso el concepto de estrategia, que tiene su origen en el griego “strategos” y se entiende como “el arte de conducir las tropas a la victoria”. La acepción del concepto de Ordenación entrega elementos para señalar que la principal orientación a la cual hace referencia está considerada desde una visión sistémica y global, tomando en cuenta el producto del proceso, y por tanto, el resultado de la planificación (Hewitt, 2012).

Desde el punto de vista metodológico, es importante tener en cuenta que el proceso de Ordenación se interrelaciona estrechamente y modifica la estructura e interrelaciones presentes a nivel regional o local (el objeto de estudio de intervención). Es posible asumir que la Ordenación no es neutra con el objeto, ya que lo modifica antes, durante y después del proceso, generando una dinámica. Este fenómeno tiene mayor nitidez al analizar diversas metodologías en aplicación, respecto de los resultados del proceso de Ordenación (Ward, 2015).

Aunado a lo anterior, en el contexto de las actividades ocurrentes en la mayoría de países en el continente americano de habla hispana, incluyendo México, la planificación es una actividad y un proceso cuyas herramientas actúan por lo general de manera indirecta sobre el objetivo de intervención, lo que genera un conjunto de condiciones tales como que:

- Los efectos solo pueden ser observados en un tiempo posterior a las intervenciones.

- Existen influencias externas y fuera de la capacidad directa de control, que pueden afectar a las estrategias explícitas, impulsando o limitando el cumplimiento de los objetivos definidos.
- Se generan externalidades en las estrategias planificadas capaces de afectar otros objetivos, pudiendo ser complementarias e incluso contradictorias.
- En economías mixtas, las estrategias tienden a ser generalmente instrumentos de intervención indirecta, en los que la relación de causa y efecto está mediada por factores y condicionantes que no son de competencia de la autoridad, y en consecuencia se actúa sobre intereses y demandas de un conjunto de actores (públicos y privados) mediante la generación de incentivos o desincentivos.

Las metodologías de planificación usadas deben considerar estas condiciones y adoptar medidas para minimizar estos factores restrictivos de la eficacia del proceso de Ordenación (Pearce, 2007).

En la teoría general del esquema metodológico de la planificación regional se describen postulados básicos, expresados en racionalidades técnicas conformadas por las relaciones de tres elementos: realidad, teoría y objetivos (Starrs, 2010). Un análisis vigente para entender la racionalidad técnica a nivel metodológico postula el estudio de los siguientes componentes:

- La relación entre los objetivos, la estrategia y su base teórica.
- La factibilidad de su ejecución.
- La capacidad de orientar y coordinar la acción.

Existe la posibilidad de que en ciertas circunstancias, un espacio físico manifieste una “dinámica territorial”, dado que el territorio se construye a partir de la actividad que se realiza en el espacio por los agentes que operan en diversas escalas (Rao, 2015). Algunos autores amplían esta visión y señalan que la planificación territorial tiene una finalidad de corrección de los desequilibrios que se producen por la acción del ser humano y que se expresan en desigualdades en las condiciones económicas, sociales, ambientales y/o culturales de habitantes de diferentes regiones (Carle, 2009). En la práctica, la Ordenación de cuencas hidrográficas y territorial, se asocia a materias tales como: la relación urbano–rural;

la planificación de la gestión de riesgos, y aspectos físicos de la planificación, como la infraestructura y localización de las actividades, zonificaciones, entre otros.

Es por ello que en los últimos años, producto de la investigación y avance de la tecnología, se han desarrollado diversas mejoras técnicas en las metodologías clásicas de Ordenación de Cuencas (Barnett, 2012). Muchas de estas técnicas son elaboradas en el ámbito hidrológico forestal; en departamentos universitarios donde se crean prototipos gracias a los cuales se redactan cantidad de artículos científicos de investigación, pero que en pocas ocasiones son llevados a la práctica en el campo, muchas veces por falta de presupuesto o desvinculación de las propuestas con la esfera política-empresarial, que al final del día muchas veces es la encargada de aprobar este tipo de actuaciones (Sedlak, 2015). Una vez que sean confirmadas estas prácticas, será necesario mantenerlas y ponerlas en práctica durante un período de tiempo suficientemente largo como para detectar fuentes de fallos ajenas a las variables intrínsecas del prototipo.

Precisamente ésta es la motivación final de la presente Tesis, la propuesta de una nueva metodología de Ordenación de Cuencas (MOCAS) en un territorio con características climatológicas extremas, en cuanto a aridez se refiere y con ello, su aplicación en una zona de estudio en la cual hasta la actualidad, no ha sido llevada a cabo ningún tipo de Ordenación, en donde la información hidrológica es escasa y la caracterización cartográfica de la región es muy limitada. La Ordenación propuesta marcaría las pautas a seguir en territorios con características similares a la zona de estudio. Su ejecución en el futuro, tendría como objetivo analizar la bondad del sistema y proponer mejoras al mismo.

1.2. Objetivos

La presente investigación tiene dos objetivos primordiales, el primero consiste en el análisis de diversas metodologías de Ordenación en seis cuencas de estudio, situadas en la región sur de Baja California Sur (BCS), en la Península de Baja California, México. Para ello no sólo se centrará el estudio de los sistemas en sí, sino que se abordará toda la problemática climatológica e hidrológica de la zona de estudio, realizando una

caracterización detallada del medio. Así pues este primer objetivo principal, puede subdivirse en objetivos particulares tales como:

- [1] Realizar un inventario cartográfico e hidrológico de la zona de estudio, inexistente hasta la fecha en la escala manejada.
- [2] Analizar metodologías clásicas de Ordenación de cuencas, y calcular pérdidas de suelo y usos futuros para la zona de estudio, tales como USLE, Mintegui Aguirre y López. También se analizará una novedosa metodología de Ordenación de Cuencas, a través del modelo NSPECT, lanzado por la NOAA, la Agencia de Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos.

Una vez alcanzados estos objetivos particulares, que son necesarios para la culminación de la siguiente etapa, se abordará el segundo y máximo objetivo principal de esta Tesis, que no es otro que la propuesta de una nueva metodología de Ordenación de Cuencas con criterios para zonas áridas del ámbito sudcaliforniano (MOCAS). Este segundo objetivo principal, también se puede subdividir en objetivos particulares:

- [1] Elaborar una propuesta para la regulación de los usos del suelo y la localización funcional de las actividades e infraestructuras, de forma que garanticen el aprovechamiento de las potencialidades y se mitiguen los conflictos e impactos de la desertificación en el territorio.
- [2] Considerar los aspectos de hidrología subterránea, tales como el balance del acuífero y disponibilidad del recurso hídrico. También se incorporará el control de la erosión de la zona de estudio. Se tomará en cuenta la vulnerabilidad en zonas dominadas y el efecto de los embalses.
- [3] Determinar la asignación de usos de las tierras bajo los principios de equidad, sostenibilidad y competitividad y proponer las actividades a realizar, según su impacto y aptitud en el medio físico.
- [4] Establecer un avance metodológico en la Ordenación de cuencas, con una posible extrapolación del método hacia otras cuencas hidrográficas en el entorno árido de Baja California Sur.

[5] Aportar conclusiones para las futuras aplicaciones de las metodologías de Ordenación de Cuencas.

Con ello finalmente se obtendrán unos usos futuros del suelo, con los cuales, posteriormente se realizaría una adaptación de actividades entre todas las metodologías de Ordenación de Cuencas aplicadas, para identificar similitudes entre las mismas, y posibles limitaciones o fallos al momento de su ejecución.

1.3 Contenido y estructura de la Tesis

El presente documento en algunas secciones difiere de la estructura habitual de las Tesis Doctorales, debido a que, por su propia naturaleza, se ha considerado más conveniente adaptar otro tipo de estructura. A modo esquemático ésta es la estructura elegida:

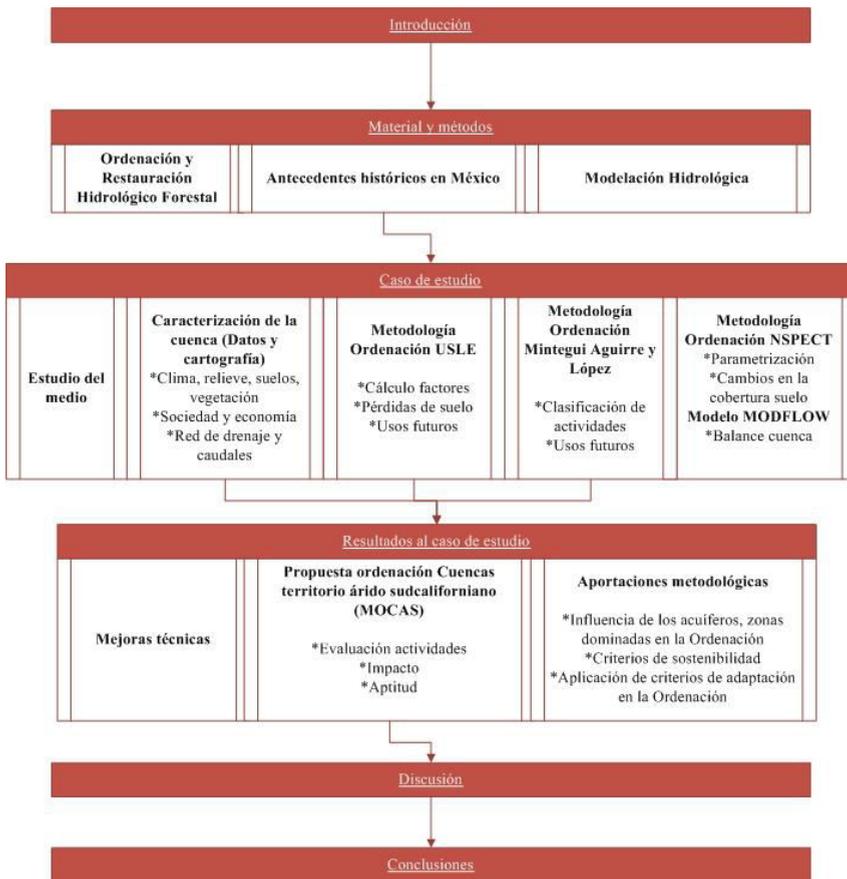


Figura 1. Esquema general del documento

Fuente: Elaboración propia

Este primer capítulo denominado **Introducción**, sirve para explicar la motivación del tema de estudio de la Tesis, y presenta los objetivos que se pretenden alcanzar y la estructuración de la misma.

El segundo capítulo, denominado *Material y métodos*, sirve de base para explicar los tres conceptos fundamentales sobre los que se asienta el presente estudio, esto es: la Ordenación y Restauración Hidrológico-Forestal, los antecedentes históricos en México referidos a la degradación de suelos, y la modelación hidrológica como herramienta matemática-computacional para el estudio de fenómenos hidrológicos complejos.

En el tercer capítulo de la Tesis, denominado *Caso de estudio*, se presenta el caso de estudio en el que se basa este trabajo. Para ello, primero se realiza la descripción del medio en las seis cuencas de estudio seleccionadas, para lo cual se realiza una pequeña reseña histórica, una descripción del medio físico y una descripción del medio socioeconómico. Una vez analizada la zona de estudio, se pasa a describir la metodología de Ordenación USLE; para posteriormente analizar el sistema allí. También se detalla el modelo de Ordenación NSPECT y sus posibles vertientes y limitaciones y el modelo Mintegui Aguirre y López. Finalmente se presenta el análisis del modelo MODFLOW y sus ecuaciones del flujo subterráneo. Una vez descrito todo el caso de estudio, se presentan los resultados obtenidos del mismo.

En el cuarto capítulo, llamado *Resultados al caso de estudio*, se realiza una serie de mejoras técnicas a las metodologías clásicas, y se establece una propuesta de Ordenación de cuencas en zonas áridas en el ámbito sudcaliforniano.

En el quinto capítulo, llamado *Discusión*, se discute acerca de la influencia que el sistema ha tenido en la zona. También se realiza una adaptación de actividades comunes en los usos futuros del suelo, para tener una visión estadística mayormente objetiva de los resultados alcanzados

En el sexto capítulo, denominado *Conclusiones*, se enumeran las conclusiones obtenidas tanto del análisis del caso de estudio, como del análisis de las mejoras propuestas. Luego, se presentan las conclusiones generales obtenidas del presente trabajo y se realiza una discusión final a partir de las conclusiones alcanzadas. Finalmente, se propone una serie de futuras líneas de investigación a realizar en este campo de estudio y se adjunta un anejo con los datos climatológicos, de suelos y piezometría durante el periodo de estudio, así como una galería fotográfica de la zona.

Capítulo 2. Material y métodos



Capítulo 2. Material y métodos

En el presente capítulo se abordarán los aspectos claves que se interrelacionan en la Tesis a la hora de implementar una Ordenación de Cuencas hidrográficas. Así también se establecerá una definición de lo que ha sido la historia de la Ordenación de Cuencas en un país como México y cuáles han sido las consecuencias y aprovechamiento de estas actividades.

También se expondrán las bases de la Ordenación Agrohidrológica y la Restauración Hidrológico-Forestal, teniendo en cuenta la cuenca hidrográfica como un medio constituyente de actuación, planificación y gestión.

Finalmente, se abordarán los diferentes sistemas de modelación hidrológica que bien pueden ser incluidos y considerados en la propuesta de Ordenación de Cuencas hidrográficas. También se identificarán las posibles ventajas y limitaciones que cada sistema posee.

2.1 El concepto de cuenca hidrográfica

Los recursos naturales, agua, suelo y vegetación, integran sistémicamente el componente fundamental de un sistema medio-ambiental, el cual debe estar sujeto a una planificación basada en el desarrollo sostenible de un entorno natural, que sea conveniente tanto para la población actual como para las generaciones futuras (Guevara, 1997). Todo ello obliga a considerar el desarrollo de técnicas, procesos, y metodologías encaminadas a evaluar la conveniencia de las diferentes actividades, que en un principio la sociedad reclama

como necesarias, pero que deben realizarse en un contexto de coherencia con la conservación del medio ambiente, sin que ello suponga de algún modo renunciar a los objetivos planteados en un principio (CEOTMA, 1982).

La acción del hombre a lo largo de su historia sobre el planeta lo ha convertido en uno de los principales factores de cambio de los sistemas medio-ambientales. A través de sus actividades ha influenciado en menor o mayor grado el funcionamiento de los mismos, ya sea introduciendo nuevos componentes o modificando los ya existentes (Huang y Kadir, 2008). Todo ello ha transformado el curso u evolución original de los mencionados sistemas, permitiendo al hombre beneficiarse directa o indirectamente de dichas alteraciones al ambiente, incluso a costa de la aparición de efectos negativos, que probablemente con anterioridad no habían sido considerados para su estudio (Booth y Byrne, 2011).

La delimitación de una cuenca hidrográfica por su divisoria de aguas o parteaguas establece un sistema de drenaje (con un río, arroyo y sus afluentes), por el cual la precipitación se concentra en un punto de desembocadura del cauce, contemplando elementos físicos (topográficos) y biológicos. Está se conforma por diferentes unidades ecológicas, las cuales se definen por sus características naturales y unidades socio-políticas (municipios, regiones). A partir de un concepto integrador, la cuenca hidrográfica se define como un sistema de relaciones sociales y económicas, cuya base territorial y ambiental, es una red de drenaje superficial que fluye hacia una misma zona de desembocadura que el territorio comprende (Yudelson, 2010).

Según la Real Academia Española (RAE) significan:

- Hidrología (del latín, *hidro*-(agua) y *-logía* (ciencia), ciencia del agua): Disciplina de las ciencias naturales que trata de las aguas.
- Ordenación (del latín, *ordinatio*): Colocación de las cosas en el lugar que les corresponde.
- Agrología (del latín, *agro*-(campo) y *-logía* (ciencia), ciencia del campo): Parte de la agronomía que estudia el suelo en sus relaciones con la vegetación.
- Agroforestal (del latín, *agro*-(campo) y *-forestales* (relativo a los bosques)): Perteneciente o relativo a las plantaciones agrícolas y forestales.

Cuando se conocen las características de una cuenca hidrográfica, Bernex (2006) clasifica las diversas funciones:

- Hidrológica: captar agua por las diferentes fuentes de precipitación, formando una red de drenaje (arroyos, ríos, manantiales) con escorrentía y posible arrastre de sedimentos.
- Ecológica: proveer de hábitat para la flora y fauna constituyendo los elementos biológicos del ecosistema y manteniendo interacciones entre las características físicas y biológicas de la región.
- Ambiental: regular la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos, conservar la biodiversidad, constituir sumideros de CO₂, mantener la integridad y la diversidad de los suelos.
- Socioeconómica: suministrar recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que den sustento a la población y proveer de un espacio para el desarrollo social y cultural de la comunidad.

A partir de la observación de las características particulares y funcionamiento de la cuenca hidrográfica se puede definir que existe una dinámica hidrológica general cuyos factores de control se diferencian según la distribución geoespacial o posición de la misma (Tabla 1). Es decir, existen determinados elementos de control que generan un mayor impacto en la dinámica hidrológica dependiendo cual sea su posición en la cuenca.

Tabla 1. Elementos de control de acuerdo a la posición en la cuenca

Posición en la cuenca	Factores de control
CABECERA (Alta montaña)	SUELOS: textura, profundidad, permeabilidad
	CLIMA: precipitación, temperatura, viento
	LITOLOGÍA: carácter de las rocas subyacentes
	TOPOGRAFÍA: relación ladera pendiente
	RELIEVE: desnivel, relación divisoria - lechos

Posición en la cuenca	Factores de control
	COBERTURA: fisonomía y densidad vegetal
	USO DEL SUELO: carácter e intensidad
AREA MEDIA (Mixta)	SUELOS: carácter y constitución
	RELIEVE: relación divisoria - lechos
	COBERTURA: fisonomía y densidad vegetal
	TOPOGRAFIA: relación ladera pendiente
DESEMBOCADURA (Planicie)	RELACIÓN DIVISORIAS: Valles, relación estacional crecidas – estiaje
	SUELOS: carácter y constitución
	COBERTURA: fisonomía y densidad vegetal

Fuente: Elaboración propia

Los planes de manejo de la tierra y los recursos hídricos deberán estar integrados para asegurar que reflejen objetivos comunes y acordados para la Ordenación de una Cuenca hidrográfica. De preferencia, los objetivos de manejo relativos al recurso hídrico de una cuenca hidrográfica deben estar sólidamente conectados con los planes de trabajo y operativos de los organismos pertinentes encargados del manejo del agua y el suelo, a fin de asegurar que se consigan plenamente los objetivos de una Ordenación (Heathcote, 2009). El propósito debe ser armonizar las estrategias sobre los recursos hídricos con las relativas al uso de la tierra, de manera que se puedan aplicar conjuntamente para contribuir a la conservación del territorio y que brinden una gama completa de beneficios y servicios a las personas (incluido el abastecimiento de agua).

A nivel de cuenca hidrográfica, algunos desafíos cotidianos se refieren a cuestiones operacionales a nivel local como, las asignaciones de agua y las prácticas de uso de las

tierras. Es preciso que la planificación y el manejo tengan flexibilidad, con mecanismos de aplicación que permitan que los organismos sectoriales responsables respondan a las prioridades de la cuenca hidrográfica en la localidad, guardando al mismo tiempo la coherencia con los marcos nacionales de las políticas y la planificación (Alexie, 2003).

Asimismo es importante garantizar que las conexiones entre los niveles nacionales y de cuenca hidrográfica puedan funcionar en ambos sentidos. En algunos casos, se precisa contar con políticas, legislación, reglamentación e instituciones a nivel nacional para que las iniciativas de manejo de las cuencas hidrográficas comiencen a funcionar y continúen hasta el nivel de la cuenca. En otros casos, los planes y decisiones formulados a nivel de la cuenca pueden necesitar respuestas en el plano normativo o reglamentario para apoyar la aplicación.

Los distintos usuarios de las tierras y el agua, así como las comunidades, pueden ser reacios a participar en la ejecución de los planes de manejo si no han participado previamente en la elaboración de esos planes y tenían intereses en el establecimiento de sus objetivos (Barlow, 2014). A nivel sectorial, la insuficiente comunicación entre los distintos organismos e instituciones responsables, combinada con procesos burocráticos deficientes en relación con la cooperación intersectorial, puede dar lugar a políticas sectoriales en conflicto a nivel de la cuenca hidrográfica y a nivel nacional, creando una vez más obstáculos a los planes.

2.2 La Ordenación y Restauración Hidrológico Forestal

En tiempos pasados faltaba en general una conciencia de la naturaleza intersectorial de los problemas del agua y la necesidad de un nuevo paradigma de desarrollo en pro de la integración de los aspectos técnicos, económicos, ambientales, sociales y jurídicos del manejo de los recursos hídricos. Esa conciencia ha mejorado notablemente en los últimos tiempos, en parte debido a las labores intensivas de comunicación e instrucción efectuadas en los sectores del agua y el medio ambiente en el plano mundial, nacional y local. Sin embargo, sigue siendo arduo trabajar por encima de las líneas divisorias sectoriales, ya sea en el plano internacional en una cuenca hidrográfica compartida, en el plano nacional entre los sectores de política pertinentes o en el plano de la cuenca hidrográfica entre los grupos

sectoriales locales de interesados directos, como es el caso de la presente investigación de estudio (Brooks, 2013).

La Ordenación Agrohidrológica surge gracias al Dr. D Filiberto López Cadenas de Llano y surge como una técnica española encaminada al uso correcto de sus recursos naturales constituyentes, así como a la corrección de las situaciones degradadas, derivadas del uso inadecuado de los mismos por actividades anteriores, normalmente no planificadas, que provocaron la desestabilización del conjunto del sistema, precisamente por no considerar la conexión existente entre los distintos elementos que la integran.

Se trata de conseguir un desarrollo integral y satisfactorio en el funcionamiento global de la cuenca hidrográfica, que abarque desde los aspectos meramente técnicos, hasta los relativos a la mejora de la calidad de vida de sus moradores; pues no hay que olvidar que lo habitual es que las cuencas estén pobladas desde antaño, y se necesita de esa población rural para acometer muchos de los trabajos y obras de restauración hidrológico forestal, así como contar de su convencimiento para llevar a cabo la mayoría de las labores de conservación de suelos (Mintegui y López, 1990). La Ordenación Agrohidrológica (OAH) de cuencas hidrográficas es el paso previo a los clásicos proyectos de restauración hidrológico-forestal. En ella se realiza una Ordenación del territorio en el sistema cuenca.

La Restauración Hidrológico Forestal (en adelante RHF) constituye la herramienta técnica con la que la ingeniería forestal española cuenta para la conservación del recurso agua y suelo. Con ello ya empezaba a percibirse una concienciación importante sobre la necesidad de restaurar y conservar los montes arbolados, que se tradujeron en nuevas disposiciones legales como la creación del Servicio Hidrológico Forestal en el año 1901 y la Ley de Conservación de Montes y Repoblación Forestal en el año 1908. El origen de la RHF es centroeuropeo, pero se comenzó a aplicar en España a partir del siglo XIX. Los restauradores españoles de aquellos años, ubicaban los proyectos de RHF después de realizar una “memoria de reconocimiento de la cuenca” que identificaba las cuencas prioritarias de actuación. Estos proyectos de restauración se sometían a un frecuente proceso de revisiones que permitían calificar los resultados de las actuaciones ejecutadas, y en algunos casos, proponer otras nuevas. Desafortunadamente, estas fases de planeación y revisión cayeron en

desuso a finales de los años XX, dejando quizás incompleto, un esquema de trabajo en fases, que para su época podía considerarse como muy avanzado.

La RHF se concreta a un conjunto de acciones mecánicas y biológicas, como son las actuaciones de restauración de la vegetación, prácticas de conservación de suelos y las hidrotecnias de corrección en la red de drenaje, que son distribuidas armónicamente entre la cuenca y sus cauces. Estas actividades conducen a mitigar las consecuencias negativas de la dinámica torrencial y sus manifestaciones (erosión, transporte y sedimentación) con el fin de reducir sus efectos catastróficos: pérdidas de productividad, destrucción de bienes, sedimentación de embalses, desertificación e, incluso pérdidas de vidas humanas.

Su esquema de aplicación es la cuenca hidrográfica, concebida como un marco interdisciplinario, que es sintetizado matemáticamente por el ciclo hidrológico y definido geográficamente por la cuenca vertiente, en la que cualquier acción o transformación afecta el sistema (López, 1994). Como corolario, las técnicas de restauración han considerado tomar la cuenca hidrográfica, como unidad territorial de actuación (López, 1994) de planificación (FAO, 1992) y de gestión (López, 1994).

Para la segunda mitad del siglo XX, la visión de conjunto de la cuenca hidrográfica retoma fuerza, no solo como escenario de integración de las actuaciones de la RHF, sino con un carácter global que incluye también, las actividades productivas, culturales y vitales de los hombres en ella. Con los trabajos de (Colman, 1953) se produce el concepto de “manejo de cuencas” (*watershed management*), visión que aporta un enfoque sistémico de la cuenca como escenario de las actividades que en ella ocurren y de sus interrelaciones con el espacio físico (Hufschmidt, 1986).

Con la posterioridad surge la “ordenación de cuencas hidrográficas” como una expresión europea del concepto americano de “manejo de cuencas”. Y de igual forma que sucedió en América, para Europa (principalmente en España y Francia) se desarrolló un gran campo de estudio en materia de gestión integral de cuencas, promoviendo la creación de escuela en esta área.

Ya en las últimas décadas, se ha puesto énfasis en el nuevo paradigma de sostenibilidad, que urgentemente debe expresarse en todas las manifestaciones humanas, y

consecuentemente en la ingeniería, por su gran capacidad de transformación del medio físico. En la Cumbre de la Tierra, en Río de Janeiro (Unced, 1992) se consagró la necesidad de garantizar el uso de los recursos en el tiempo y en el espacio, o dicho en otras palabras, los seres humanos van a constituir el centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sostenible, por lo que tienen derecho a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza.

En consecuencia para el contexto actual, la Ordenación de las Cuencas hidrográficas, debe dar respuesta a los diferentes escenarios de actuación desarrollados por la población, de una forma sistémica, global y sostenible (Gómez y Barredo, 2006). En ciertas ocasiones, estos escenarios serán derivados del uso inadecuado de los recursos naturales y de actividades no planificadas, que provocarán la desestabilización del sistema, precisamente por no considerar previamente la conexión existente entre los distintos elementos que interaccionan permanentemente en una cuenca hidrográfica (Mintegui y Robredo, 2008).

Es con el fenómeno de la desertificación que se supone un avance en el enfoque de las políticas y acciones mundiales sobre la erosión (principal agente causante de la desertificación), y que pasa formalmente a formar parte de una estrategia de ordenación más global de las relaciones del hombre con la biósfera (Tejera, 2001). De esta manera en España, se fue desarrollando y aplicando técnicas de Ordenación Agro-Hidrológica y Restauración Hidrológico Forestal.

La *Ordenación Agro-hidrológica* y la *Restauración Hidrológico-Forestal* son actuaciones técnicas, pero profundamente culturales y pensadas para la población; siendo su propósito final compaginar sus necesidades con las capacidades y limitaciones naturales del medio donde se asientan, para asegurar el presente y futuro de los recursos naturales. Ambas técnicas se definen a continuación (Mintegui y Robredo, 2008).

La *Ordenación Agro-hidrológica* se centra en el estudio del estado físico de la cuenca vertiente y en el análisis de su previsible comportamiento ante los eventos torrenciales, tanto ordinarios como extraordinarios, con el propósito de conocer cómo es realmente la cuenca y cómo se comporta; así como para prever su evolución y detectar sus carencias, a fin de proponer las medidas pertinentes para tratar de subsanarlas.

La *Restauración Hidrológico-Forestal* implica llevar a cabo en la cuenca vertiente las medidas adoptadas en la *Ordenación Agro-Hidrológica*, para protegerla de los daños que pudiera causarle el geo-dinamismo torrencial provocado por los eventos torrenciales o la fusión repentina del manto de nieve, así como para asegurar su buen funcionamiento hidrológico y la correcta conservación de sus suelos en los periodos que transcurren entre eventos torrenciales.

Normalmente en la confección de la Ordenación Agro-Hidrológica, se tienen en cuenta los modelos hidrológicos, de conservación de suelos y de utilización del territorio (Van *et al.*, 2000). Además debe fundamentarse al menos en los factores que se presentan en la tabla 2, para que a partir de ellos se establezca una clasificación de las actuaciones que se llevan a cabo en cada una de las distintas zonas de la cuenca objeto de restauración.

Tabla 2. Factores a considerar en la Ordenación Agro-hidrológica de una cuenca hidrográfica

Altitudes según las zonas de la cuenca	Áreas dominantes (cabeceras). Áreas dominadas (valles).
Cubierta vegetal	Estado actual de la vegetación. Procedencia. Vocación (forestal, agrícola, otros usos).
Morfología de la cuenca	Pendientes (dependiendo de las zonas de la cuenca). Orientación (solana; umbría).
Geología	Áreas con erosiones superficiales. Áreas con erosiones de fondo.
Edafología	Tipos de suelo en las diferentes zonas de la cuenca.

Altitudes según las zonas de la cuenca	Áreas dominantes (cabeceras). Áreas dominadas (valles).
Modelos de protección del suelo	Índices de protección del suelo por la vegetación. Aplicación de ecuaciones paramétricas (tipo USLE o RUSLE).
Índices fito-sociológicos	Índices bio-climáticos. Índices de potencialidad de una estación.
Actuaciones en el territorio	En la cuenca vertiente (alternativas posibles y selección de la opción de proyecto). En los cauces (alternativas posibles y selección de la opción de proyecto).
Clasificación del área de proyecto	Zonas con actuaciones. Zonas de recomendaciones.

Fuente: Mintegui et al., 2006

Los objetivos de la Restauración Hidrológico Forestal de una cuenca con carácter torrencial están centrados en el uso racional de los recursos que dispone, fundamentalmente suelo y agua, y son:

- La retención del suelo mediante el control de la erosión, tratando al mismo tiempo de aprovechar este recurso.
- La regulación de las avenidas y del transporte de materiales, provocado por las mismas, así como la sedimentación de éstos últimos en las áreas dominadas.
- La provisión hídrica.

Así mismo, éstos objetivos se pueden dividir en dos grandes grupos:

1. La resolución de los problemas generados por los eventos torrenciales acaecidos en la cuenca.

2. La utilización agrícola y forestal de la cuenca aprovechando racionalmente sus recursos hídricos, potenciando la agricultura en los lugares idóneos y concretando las potencialidades vegetativas en las diferentes zonas de misma; de modo que la vegetación permanente no se imponga sólo como protección integral de la cuenca sino que se instale ajustada a la realidad física del territorio y su clima, en función del comportamiento del ciclo del agua en la zona.

Como consecuencia de éstos objetivos, se tiene la planificación dinámica de las cuencas hidrográficas.

2.3 Manejo y Planificación de cuencas hidrográficas

La cuenca hidrográfica, además de ser unidad hidrológica, es también unidad físico-biológica y en ocasiones, unidad socio-económica para la Ordenación y planificación de los recursos naturales (Brutsaert, 2005).

La gestión de recursos naturales se realiza en esta unidad de planificación por diversas razones, ya que en ella se verifica la presencia física del agua, la vida del hombre está vinculada a ella, existen interrelaciones e interdependencias entre factores físicos y productivos de la cuenca considerándola como un sistema dinámico (Kinoshita, 2011).

La Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en 1992, define la planificación de cuencas hidrográficas como la Ordenación de los recursos naturales y la restauración de ecosistemas degradados, en función del mejoramiento del bienestar y de la calidad de vida de la comunidad.

La planificación física ha desarrollado y aplicado modelos y metodologías de trabajo basados en la capacidad del territorio como soporte y escenario vivo, y no mero decorado inerte, incorporando desde el principio, las decisiones adoptadas en función de esas capacidades convenientemente valoradas (Ramos, 1979). Se obtienen así las mejores

respuestas sistemáticamente y en origen, por método, a las situaciones ambientales vinculadas al territorio sobre el que se actúa, que pueda plantearse.

Los estudios de erosión permiten tomar acciones concretas y ordenadas con criterios de jerarquización a nivel parcelario y conjuntamente con el productor, seleccionar de un gran grupo de alternativas, aquellas estrategias de conservación del suelo y agua, que auxilian en el incremento del rendimiento de los cultivos y en la obtención de una producción sostenida del campo (Hornberger, 1998).

Por otra parte, los métodos de planificación física, cuentan actualmente con potentes herramientas para el tratamiento de la información georreferenciada vinculada al territorio. Las mismas, son compatibles en su aplicación a las técnicas desarrolladas por las áreas de la ingeniería.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten incorporar métodos procedentes de la planificación física a las áreas de la ingeniería que tratan sobre la hidrología forestal y la misma Ordenación de las cuencas hidrográficas (Vilchis *et al.*, 2011).

2.3.1 Ordenación del territorio

Existen múltiples definiciones sobre la Ordenación territorial, la Carta Europea de Ordenación del Territorio de 1983 la definió como:

“La expresión espacial de la política económica, social, cultural y ecológica de toda sociedad, con multitud de objetivos, entre ellos el desarrollo socioeconómico y equilibrado de las regiones, la mejora de la calidad de vida, la gestión responsable de los recursos naturales, la protección del medio ambiente, y por último, la utilización racional del territorio”.

Puede considerarse a la Ordenación como la culminación del proceso de planificación, pues supone asignar las actividades humanas vinculándolas al territorio. Según Gómez (1978), se realiza una Ordenación territorial cuando se toma en cuenta el territorio en la definición de la estrategia de desarrollo y cuando se vinculan a él las actividades que configuran dicha estrategia.

De esta manera, la Ordenación como método planificado de acción previene los problemas que generan la ocupación y uso desordenado del territorio, los desequilibrios territoriales y las externalidades negativas que los acompañan (López y Villareal, 2011). Para esto, la Ordenación territorial utiliza dos tipos de instrumentos:

- La normativa, orientada a mantener lo positivo de la situación actual y prevenir los problemas futuros.
- La programación de actuaciones, dirigida al aprovechamiento de las oportunidades y a corregir los problemas presentes.

Aunque la desertificación muestre sus efectos más evidentes en el ámbito de los países menos desarrollados, la Cuenca Mediterránea -área de transición entre las zonas desérticas y las zonas templadas- presenta unas características específicas derivadas, tanto de sus condiciones climáticas y físicas, como de la intensa presión de las actividades humanas a lo largo de la historia, y más en la actualidad, donde una serie de actividades -agricultura, turismo, industria, urbanización- compiten por el uso del suelo, alterando un medio caracterizado por su fragilidad y elevado valor ecológico.

Como reflejo de la continuidad de las iniciativas en la materia, durante 1993, La Junta de Andalucía, España, fue pionera en la formulación de esta idea en documentos político-administrativos para la Ordenación de Cuencas en ámbitos áridos y semiáridos. Inicialmente planteando la necesidad de abordar de manera simultánea, iniciativas de ámbito local, regional y global (Junta de Andalucía, 1993). La prioridad que requiere la actuación contra la desertificación no solo se deriva de la necesidad de hacer frente a impactos actuales, sino además, por el hecho de que los efectos ambientales, económicos y sociales de la desertificación se incrementarán notablemente en el futuro. Es por ello que las políticas contra la desertificación se dirigen, también, a prevenir las consecuencias a largo plazo.

2.4 Metodologías para el ordenamiento de cuencas

La Ordenación de Cuencas hidrográficas condiciona los usos del suelo en una cuenca a la conservación del suelo, el agua y el equilibrio del ciclo hidrológico.

Una de las herramientas que más ha contribuido en el campo de la planificación es el empleo de los modelos matemáticos. “*Todo modelo, según Mosterin (1984), aspira a elaborar una teoría del sistema, es decir, un conjunto de enunciados, ecuaciones, fórmulas, esquemas, etc., que permitan describir adecuadamente el funcionamiento presente del sistema, así como explicar lo ocurrido en el pasado y predecir lo que pasará en dicho sistema en el futuro*”.

Por otro lado, la elección final de un determinado modelo depende de su utilidad y alcance, lo que a su vez viene condicionado a:

- Los parámetros y coeficientes que utilice.
- La amplitud que pretende abarcar.
- El rigor que exige o es posible exigir en las mediciones de los parámetros que en él intervienen.
- Las disponibilidades de medida con las que se cuentan.
- Los coeficientes de ajuste obtenidos de la experiencia.

Es frecuente que los modelos no consigan aportar la solución óptima, debiendo contentarse con una que resulte satisfactoria.

La única herramienta posible para integrar las contribuciones de todas las disciplinas presentes en el problema y para incorporar datos y estudios procedentes de distintos sectores, es el desarrollo y utilización de modelos matemáticos, en los cuales, el algoritmo utilizado crea el puente necesario para unir a los distintos especialistas y para llegar a la resolución del problema (López, 1994).

El uso de modelos, cada día más complejos, se ha hecho posible gracias al desarrollo experimentado por los ordenadores, que ha permitido el tratamiento matemático, rápido y seguro de la multitud de datos que conlleva la problemática que se está considerando, y por otra parte, a las grandes innovaciones en el análisis de sistemas que permiten la utilización de modelos para integrar diversas disciplinas (Díaz y Troyo, 1997).

Por su parte, los modelos cartográficos han adquirido gran importancia en el área del manejo de los recursos naturales, ya que existe una gran disponibilidad de información cartográfica digital, la cual puede ser manipulada y analizada mediante la realización de combinaciones oportunas de dicha información disponible en diversos formatos (CEOTMA, 1982). Los modelos que expresan relaciones espaciales y que se emplean en la práctica deberán ser sencillos y fáciles en su manejo, velando por la utilidad en su aplicación.

La metodología clásica para la asignación de usos del suelo, es decir, para la Ordenación de la cuenca, más aplicada en España, se origina a partir de un mapa de erosión del suelo (Rojo, 1995). El procedimiento de cartografía de la erosión más empleado, está inspirado en la generalización de los factores de erosión de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE). El uso de este modelo de la ecuación universal con objetivos de planificación, se basa en la comparación de la cifra de pérdida de suelo que proporciona el mapa con una cifra de pérdidas admisibles fijada de antemano. En aquellas áreas en las que las pérdidas de suelo son superiores a las admisibles, el uso del suelo es considerado incompatible con su conservación y por tanto, se proponen medidas y prácticas de conservación de suelos o acciones que proporcionasen una mejora de la cubierta vegetal protectora frente a la erosión (Desmet y Govers, 1996).

A pesar de las simplificaciones que se asumen en cualquier ejercicio de cartografía de la erosión, el procedimiento de Ordenación es válido para establecer un mapa en el que las áreas afectadas se pueden agrupar en distintas categorías de intensidad de erosión (Cook, 1936). En la mayoría de los proyectos de restauración hidrológico-forestal el mapa de erosión es considerado como una valiosa herramienta para asignar prioridades de actuación y definir estrategias de planificación en la restauración y gestión.

Las relaciones agua y suelo revisten una gran importancia en materia de riego, drenaje, hidrología y otras ciencias relacionadas con los recursos hídricos y el medio ambiente. Consecuentemente, para suelos en buen estado y protegidos, se almacena agua mediante la infiltración, y ésta a su vez promueve la fertilidad del suelo para la producción de alimentos, vegetales y cualquier tipo de materia prima (Robredo y Mintegui, 1994).

Entre los factores que condicionan el fenómeno erosivo, se encuentran los agentes climáticos, representados en precipitaciones con características particulares de intensidad, duración y frecuencia; agentes edáficos, respondiendo al tipo de suelo; el relieve (pendiente) y la vegetación que protege al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, contribuye a disminuir la escorrentía superficial, decrecer caudales punta y cuyas raíces protegen al suelo de no disgregarse (Booth y Byrne, 2011). Consecuentemente, suelos desprotegidos encuentran en el agua uno de los agentes erosivos más enérgicos, produciendo un fenómeno conocido como erosión hídrica. Este proceso comienza con el arrastre de sus componentes más finos y ricos en nutrientes y culmina en el estado de desertificación, con su desaparición y transporte a las zonas bajas donde se deposita (Doyle, 2010).

La erosión es uno de los principales mecanismos de la desertificación a nivel nacional y regional. La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (UNCED, 1992) define formalmente la desertificación como "la degradación de tierras en zonas áridas, semiáridas y secas sub-húmedas resultante de diversos factores, entre ellos las variaciones climáticas y actividades humanas." Esta definición es en la actualidad utilizada como base de la Convención de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNUCLD).

En México ocurren numerosos eventos naturales que condicionan o favorecen los procesos de degradación de los suelos. Sin embargo, el verdadero problema radica en la actividad humana, que sobreexplota los ecosistemas convirtiéndolos en áreas estériles, erosionadas y contaminadas entre otras, por el manejo ineficiente de los recursos (Roldán y Trueba, 1978).

2.5 Antecedentes históricos en México

México cuenta con una gran gama de ecosistemas, la superficie estimada de áreas forestales asciende a 40, 957 millones de hectáreas cubiertas de bosques y selvas y 85,508 millones de hectáreas de arbustos y matorrales, lo que representa el 21% y 43% de ella respectivamente (SEDUE, 1986).

La erosión del suelo es una causa de degradación del medio ambiente y uno de los factores limitantes más serios que enfrenta la agricultura mexicana (López y Villareal, 2011). Este fenómeno, junto a situaciones socioeconómicas como: tenencia de la tierra, cambio de uso del suelo, falta de insumos operativos, ignorancia y bajos precios de los productos agrícolas en comparación con los industriales; han causado una fuerte reducción en la productividad agropecuaria y forestal del país; ocasionando la migración de la población rural hacia las ciudades en busca de un mejor nivel de vida (Peinado *et al.*, 2011).

En México, el problema con el manejo de los recursos naturales como suelo y agua se presenta desde épocas prehispánicas. Los registros que se conocen hacen referencia al manejo de estos recursos a través de la construcción de terrazas y el diseño de complejos sistemas de riego y drenaje. Los primeros esfuerzos desarrollados con carácter gubernamental, para el manejo eficiente de los recursos agua, suelo y vegetación datan de 1917 cuando las Secretarías de Agricultura y Fomento toman la responsabilidad del aprovechamiento de las tierras y aguas nacionales (Halffter, 2011).

En 1926 se crea el Departamento de Conservación de Suelos, como parte de la Comisión Nacional de Irrigación, encargado de la construcción de obras de conservación y reforestación en el Distrito de Riego Arroyo Zarco (Torres, 2000). Posteriormente, en 1947, la extinta Secretaría de Recursos Hidráulicos crea siete comisiones encargadas de desarrollar trabajos de manejo y conservación del suelo y el agua en las cuencas hidrográficas de México. Es a partir de la década de los años 80's cuando se hace urgente la necesidad de evaluar en México el proceso de erosión, hídrica y eólica, así como sus efectos en la degradación del suelo. Durante éste período se desarrollaron numerosos trabajos de investigación, a diferentes escalas de observación (nacional, estatal, regional y parcelaria), del fenómeno de la erosión hídrica y eólica; empleando desde información obtenida a partir de imágenes de satélite, hasta datos de laboratorio (Zloliniski, 2011).

A mediados de 1985, se consideraba que el 85% del territorio mexicano presentaba diversos grados de erosión. Solo se libraban del problema algunas zonas climáticas húmedas del sur del país. Un 30.5% del territorio padecía “erosión acelerada” y un 16.7% de la superficie del país el proceso de erosión había culminado ya con la desaparición de la cobertura edáfica y la consiguiente exposición de la roca madre (Roldan y Trueba, 1978).

Este problema presenta su máxima gravedad en el centro y la región nororiental del país, así como en la costa del Pacífico, al sur de la Península de Baja California. Es imposible reconstruir la evolución temporal del proceso erosivo en México, pero con toda probabilidad conoció dos momentos cruciales: el primero se relacionó con la portentosa multiplicación del ganado durante el siglo XVI, el segundo se produjo a raíz de las transformaciones agropecuarias que se iniciaron a mediados del siglo XX, en donde la principal causa de degradación es la explotación de áreas no aptas para el cultivo (Klein y Lewis, 2012). Estos dos grandes procesos se verificaron también en otros países de la región, y en todos ellos contribuyeron a acelerar la desertificación inducida (Figura 2).

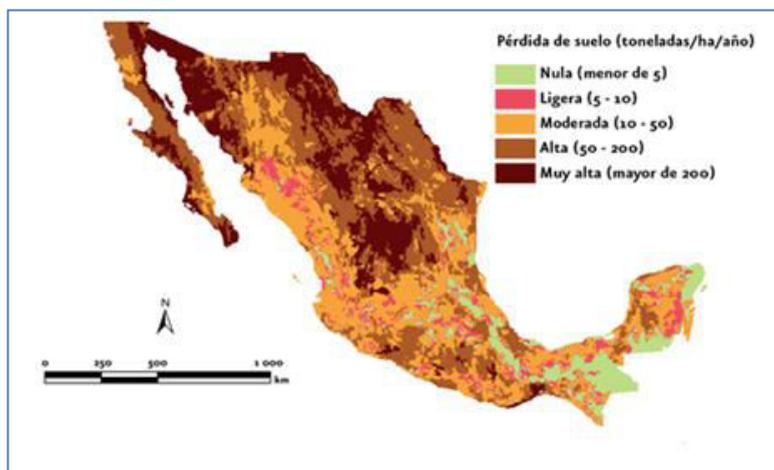


Figura 2. Pérdidas de suelo en el territorio mexicano

Fuente: SEMARNAT, 1999

Otra causa importante de la degradación es el crecimiento demográfico que se ha incrementado a partir de los años cuarenta (Crosby, 1992). En 1940 la población total del país alcanzaba 19.6 millones de habitantes, cifra que se elevó a 81.2 millones en 1990, y se estima llegará a los 127.1 millones en el año 2020. Por otro lado el crecimiento económico que se produjo a partir de 1950 provocó que la población urbana creciera con respecto a la rural. Para ese año la población urbana representaba el 35.1 % del total nacional, frente al 64.9% de la población rural, en 1990 esa relación se modificó radicalmente, correspondiendo al 71% la población urbana y sólo el 29% la población rural. Esa fuerte concentración de la

población en las ciudades no solo se explica por el acelerado crecimiento industrial, sino también por la pobreza de los campesinos que emigran a las ciudades en busca de mejores condiciones de vida. Así se pone de manifiesto, que en la actualidad la población urbana representa dos terceras partes del total (INEGI, 2010).

En el año 2000 la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) actualizó la cartografía de uso del suelo y vegetación serie II escala 1:250,000 del INEGI con base en imágenes Landsat (ETM 7) registradas entre noviembre de 1999 y mayo de 2000, paso que fue sumamente útil y favorecedor para construir un acervo cartográfico del territorio mexicano a mayor detalle. En la actualidad según datos publicados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) se tiene que el total de la superficie continental del país, existe un 64% del territorio que presenta algún tipo de degradación inducida por el hombre, de la cual se presenta la siguiente gráfica (Figura 3), con los diferentes tipos de degradación.

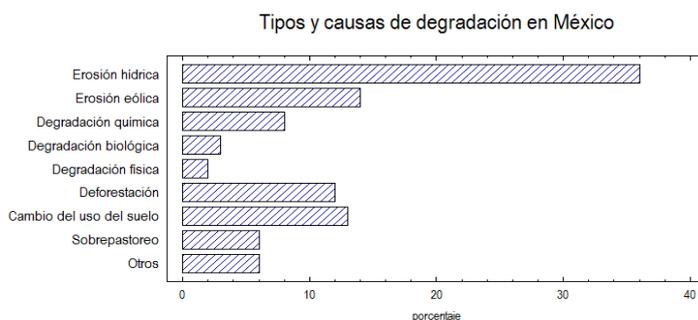


Figura 3. Tipos de degradación existente en México

Fuente: SEMARNAT, 2012

2.6 Acciones contra la desertificación en México

La desertificación y degradación de tierra son limitantes considerables en la productividad de tierra y su habilidad para proveer servicios ambientales a escala local, nacional y regional. La sequía excepcional de 2011-2012 en México ha sido un factor que ha exacerbado la baja en la productividad de las unidades de producción agroalimentarias y

forestales, propiciando desequilibrios económicos y ambientales. Los costes indirectos de la desertificación, la degradación de las tierras y la sequía, repercuten en una menor oferta de productos agrícolas, lo que conduce a un aumento de precios de los alimentos, e incide sobre la pobreza rural, la inseguridad alimentaria y la desnutrición. Y en el caso de estudio que hace referencia esta Tesis, es importante considerar que el territorio de Baja California Sur es especialmente árido, y por consecuencia, tiene relevancia las acciones y lucha contra la desertificación que actualmente el país está empezando a enfrentar.

La degradación de suelos en México, abarca 93.5 millones de hectáreas, en categorías que van desde ligera, a moderada, severa y extrema (SEMARNAT y CP, 2003), lo anterior se suma a las condiciones del país, en las que 128 millones de hectáreas, de la superficie están consideradas como climas de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas. La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD), surgió en 1994, como resultado de la Cumbre de la Tierra de 1992.

Esta es una convención ambiental e instrumento internacional de carácter obligatorio que centra su atención en prevenir y combatir la degradación de tierras, la desertificación y la mitigación de la sequía, a través de Planes de Acción Nacionales.

México fue el primer país en ratificar esta Convención en 1995, entrando en vigor en 1996. La CNULD, tiene a 193 países miembros, comprometidos con la ejecución de políticas y programas de manejo sustentable de tierras afectadas y con el aporte de soluciones perdurables para aumentar la productividad y disminuir la pobreza de los grupos humanos más vulnerables asociados a las tierras secas del mundo.

Es importante resaltar que después de varios años de trabajo, el Programa de las Naciones Unidas para el Mejoramiento del Ambiente (PNUMA) en colaboración con FAO se responsabilizó en elaborar un proyecto y generar una metodología para evaluar y elaborar cartografía para la degradación de suelos. Esta se presentó en 1979 y México fue seleccionado para probar la metodología en su ensayo piloto. Dicha metodología propone los siguientes procesos de degradación: a) degradación de la cubierta vegetal, b) erosión, c) salinización, d) disminución de la materia orgánica del suelo, e) encroscamiento y compactación del suelo y f) acumulación de sustancias tóxicas para las plantas o animales.

Después de probar esta metodología en México, se propusieron algunas modificaciones aplicables a las condiciones locales del país y los resultados se presentaron en la tercera reunión sobre desertificación efectuada en Roma en Octubre de 1982. De esta forma se genera la metodología para evaluar y elaborar cartografía de la desertificación en México (FAO y PNUMA, 1984).

Un trabajo de investigación que concentra gran cantidad de información obtenida de diversas fuentes especializadas en la evaluación de la erosión es “Informe de la situación del medio ambiente en México, 2012”. En él se reportan los porcentajes de áreas afectadas por diversos procesos de degradación, entre los que destacan la erosión hídrica y eólica; los datos se presentan a nivel nacional, por provincia fisiográfica y por estado. Con relación al cálculo de la superficie nacional afectada por erosión la publicación presenta algunas estimaciones realizadas por diversos autores (Tabla 3), que sí varían en cuanto al tiempo de realizar la estimación, pero coinciden al reportar un porcentaje de afectación considerable y que se incrementa con el tiempo.

Tabla 3. Porcentaje del área nacional mexicana afectada por erosión

Autor	Año	%Superficie del país afectada	Forma de cuantificación
Badwin	1945	45	Indirecta
SARH a nivel estatal	1960	69	Estimaciones visuales
Andrade Estrada y Ortiz	1975	80	Ecuaciones paramétricas
García	1983	71	Imágenes de satélite
SARH	1986	81	Imágenes de satélite
Geisset y Rossignol	1987	86	Indirecta

Fuente: SEMARNAT, 2012

Debido a la importancia económica, política y social de la degradación del suelo, tanto en México como en el mundo se han realizado diversos estudios para evaluar la magnitud de la superficie afectada, así como el tipo y grado de afectación. En nuestro país se han realizado diversas evaluaciones, pero debido a diferencias metodológicas y a la escala utilizada, sus resultados no son comparables. Los dos estudios más recientes se hicieron en los primeros años del siglo XXI y son la Evaluación de la pérdida de suelos por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1: 1 000 000 (SEMARNAT y UACH, 2003) y la Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana (SEMARNAT y CP, 2003). Con respecto a la erosión, se estimó que 89% del territorio nacional estaría en riesgo de ser afectado. Prácticamente el 100% del territorio de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Sonora, Durango y Zacatecas, tendría alta y muy alta erosión potencial, lo que concuerda con los tipos de vegetación y climas típicos en las zonas áridas y semiáridas del país. Sólo dos entidades mostraron menos de 30% de su territorio con riesgo de presentar erosión: Chiapas (29.3%) y la Ciudad de México, anteriormente conocida como Distrito Federal (21.8%).

Cuando la degradación de la tierra se produce en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, se habla de desertificación. Bajo esta definición, la desertificación no es la transformación de diversos ecosistemas en desiertos, sino la pérdida, muchas veces irreparable, de las funciones productivas del suelo, la alteración de los ciclos biológicos y del ciclo hidrológico, así como la disminución del aporte y cantidad de servicios ambientales que generan los ecosistemas. Para la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD, por sus siglas en inglés), la degradación de la tierra es “la reducción o pérdida de la productividad económica y de la complejidad de los ecosistemas terrestres, incluyendo a los suelos, la vegetación y otros componentes bióticos de los ecosistemas, así como los procesos ecológicos, biogeoquímicos e hidrológicos que tienen lugar en los mismos”.

No existe un proceso lineal de causa-efecto que permita explicar completamente la desertificación; sin embargo, se han detectado complejas interacciones que funcionan como motores del proceso. Estos motores son las variaciones climáticas (como la baja humedad del suelo, los patrones de precipitación cambiantes y la elevada evaporación) y las

actividades humanas (como la sobreexplotación del suelo por la actividad agrícola, el sobrepastoreo, la deforestación, el uso de sistemas de irrigación inadecuados, las tendencias del mercado e incluso, las dinámicas sociopolíticas (UNCCD, 2011)). En este último punto, la pobreza puede funcionar como causa y consecuencia de la desertificación. En México, de acuerdo con la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, el concepto de desertificación se aplica a todos los ecosistemas existentes en el territorio nacional, debido a que la pérdida de la capacidad productiva de las tierras no está restringida a las zonas secas (DOF, 2012).

No obstante, es importante mencionar que lo anterior no reduce la prioridad que la UNCCD establece para las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas para delimitar las regiones que pueden sufrir desertificación. Aunque en nuestro país las primeras acciones de lucha contra la desertificación se implementaron en la década de los 70 del siglo pasado a través de la Comisión Nacional de Zonas Áridas (CONAZA, 1994), es hasta 2005 que en el marco de los acuerdos firmados ante la UNCCD, se crea el Sistema Nacional de Lucha contra la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales (SINADES). En este sistema confluyen diversas instituciones públicas (Semarnat, Sagarpa, INEGI, SRA, Sedesol, Conafor e INE), organizaciones sociales (RIOD-Mex, CNC, CNPR y CCDS) y el sector académico (CP, UA-Chapingo, IMTA, UNAM, UAAAN e ITESM). El SINADES es coordinado por la Semarnat, a través de la Comisión Nacional Forestal (Conafor), la cual funge como punto focal nacional ante la UNCCD.

La combinación de la información sobre la degradación del suelo con la del uso del suelo y vegetación en el país permite obtener una aproximación de la presencia de degradación del suelo tanto en los ecosistemas naturales. Los ecosistemas naturales mayormente afectados por la degradación del suelo fueron el pastizal natural y la vegetación halófila y gipsófila (con el 66.2 y 49.5% de sus superficies remanentes; 6.48 y 2.2 millones de hectáreas afectadas), mientras que los menos afectados fueron los manglares (23.3%; 184 mil hectáreas) y el bosque mesófilo de montaña (Figura 4).

Si se observa por proceso de degradación en los ecosistemas naturales, los bosques templados resultaron mayormente dañados por erosión hídrica (21.5% de su superficie; Figura 5); la erosión eólica, por su parte, afectó en mayor medida a los suelos de la vegetación halófila y gipsófila (28.5% de su superficie), pastizales naturales (25%) y

matorral xerófilo (13.7%); mientras que las selvas húmedas y subhúmedas se vieron mayormente afectadas por degradación química (21 y 20% de su superficie, respectivamente). Con respecto a los ecosistemas manejados, de la superficie nacional dedicada a agricultura, ganadería y bosques cultivados, alrededor de 70% (aproximadamente 35.15 millones de hectáreas) muestra evidencia de degradación, siendo la química, en su calidad de pérdida de la fertilidad, el tipo dominante.

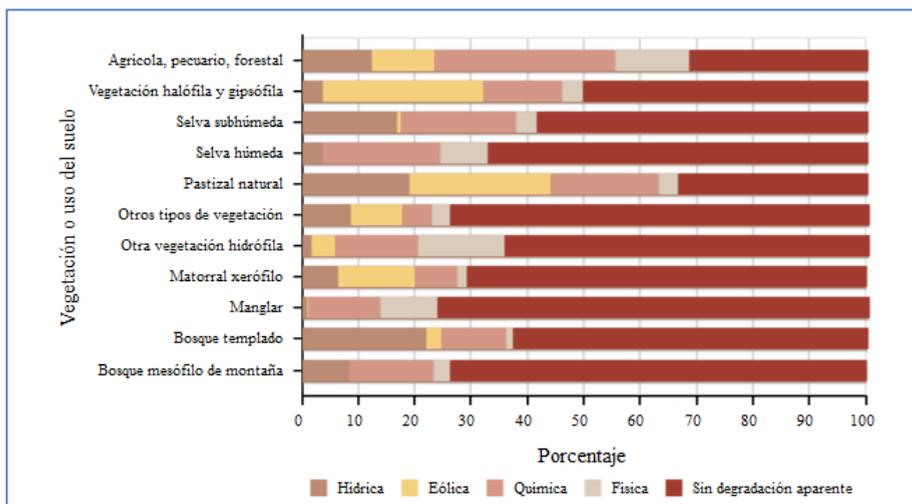


Figura 4. Procesos de degradación del suelo en diferentes usos del suelo y vegetación en México

Fuente: Elaboración propia con datos de: INEGI. Carta de Uso del Suelo y Vegetación, Serie V (2011), escala 1: 250,000. México. 2013. (Semarnat y CP, 2003)

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), con sus programas apoya y fomenta actividades de prevención, rehabilitación y promoción del manejo sustentable de tierras que ayudan a detener y mitigar la degradación forestal e incluye actividades de Lucha contra la Desertificación, en su conjunto.

Al respecto, en los últimos 10 años se han realizado trabajos de conservación y restauración de suelos a nivel nacional, en el período que va de 2007 a 2010 se tiene un total de 853,433 hectáreas trabajadas, con obras de conservación y restauración de suelos,

estimándose una captación de agua en las tinas ciegas y zanjas bordo de aproximadamente 80,000 litros por hectárea en promedio.

La CONAFOR en su calidad de Punto Focal Nacional de esta Convención ha promovido acciones para detener, revertir y mitigar los impactos de la desertificación, desde su designación en 2005.

En el 2013, la agenda nacional sobre la desertificación destaca lo siguiente:

- 1.-Preparación de Programa Nacional contra la Sequía
- 2.-Reforzamiento de Programas Nacionales de Restauración Forestal y
- 3.-Establecimiento de una línea base nacional de información sobre la Degradación de Tierras y la Desertificación
- 4.-Establecimiento de Sistemas Estatales de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (SEDES)

La problemática de la desertificación en el país es, sin duda, uno de los principales problemas ambientales con graves consecuencias sociales y económicas, por lo que resulta fundamental impulsar programas de investigación sobre este tema, así como ejecutar las recomendaciones expuestas en los diferentes programas, particularmente de la Estrategia Nacional de Manejo Sustentable de Tierras. Es también necesario enfocar y precisar los problemas de desertificación en las diferentes regiones del país, así como adecuar estas recomendaciones a ese nivel de acción. Se enmarca que uno de los planteamientos objetivos que se considera en esta investigación de Tesis se cumpliría al aportar conocimiento al área de Lucha contra la Desertificación en el territorio mexicano, específicamente en la región Noroeste del país.

2.7 La modelación hidrológica

En el campo de la Ordenación Agro-Hidrológica, los modelos hidrológicos han desempeñado una importante función clarificadora en cuanto a la orientación que los proyectos han ido utilizando, la cual se ha centrado más en el enfoque de protección del suelo sin tomar mucho en cuenta el estudio del curso torrencial y su repercusión en la cuenca (Gómez, 2005). Por este hecho, los modelos hidrológicos resaltan los aspectos hidráulicos en los cauces y del uso del suelo en la cuenca vertiente, en especial la importancia de las superficies dedicadas a la vegetación arbolada permanente.

Un modelo hidrológico busca representar los procesos involucrados en la distribución de la precipitación y la generación de caudales en una determinada cuenca. La modelación hidrológica comienza a principios del siglo XIX utilizándose para el diseño de obras hidráulicas y hasta mediados del siglo XX se limitó a expresiones matemáticas simples para representar mecanismos individuales involucrados en los procesos del ciclo hidrológico (Sorooshian, 2008).

De esta forma, actualmente se tiende a utilizar modelos hidrológicos integrados en la Ordenación Agro-Hidrológica de una cuenca objeto de restauración conjugando 1) la Ordenación del territorio tomando en cuenta las pérdidas de suelo por erosión y 2) la Ordenación de los usos de la cuenca dependiendo de sus potencialidades hídricas y bioclimáticas y tratando de potenciar sus capacidades productivas y reguladoras de los recursos hídricos (Gómez y Barredo, 2006).

Uno de los objetivos principales de los modelos hidrológicos distribuidos es llegar a conocer con precisión las disponibilidades hídricas de la cuenca. Un ejemplo de esto aplicó José Carlos Robredo Sánchez (1994) en su tesis doctoral “Diseño de un modelo distribuido elemental para el análisis del comportamiento hidrológico de una cuenca vertiente”, pues no se pensó tanto en las disponibilidades hídricas en sí mismas, sino en la demarcación de las zonas capaces de mantener unos recursos hídricos suficientes (Figura 5), para poder realizar en las mismas las actuaciones propuestas con los proyectos restauradores.

La posibilidad de obtener con un solo modelo la mayor parte de la información necesaria para abordar la restauración de la cuenca, podría conducir en un futuro a adoptar modelos distribuidos como medida indispensable para la proyección y planeación del territorio.

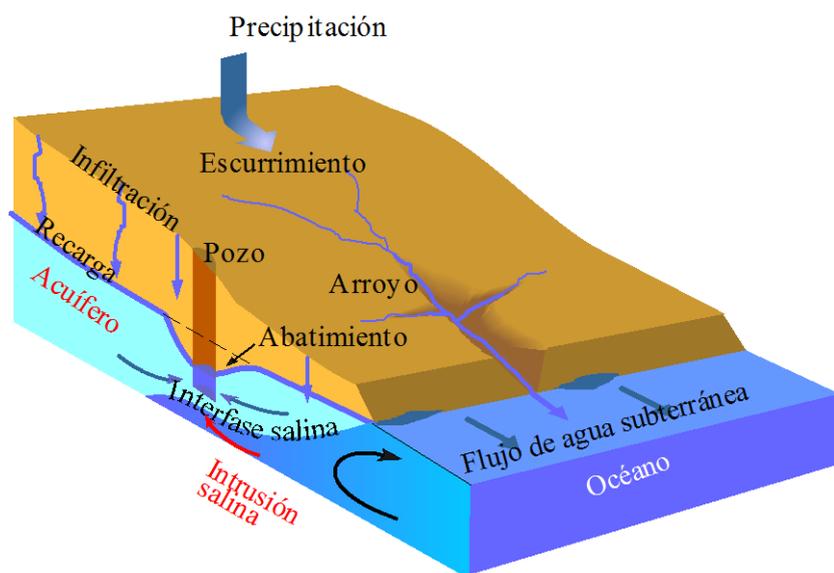


Figura 5. Sistema hidrológico conceptual integrado, mostrando parte de una cuenca superficial y un acuífero

Las distintas flechas indican diversos flujos de agua

Fuente: Elaboración propia

En la década de los 60's, con el progreso de la revolución digital, se realizó el primer intento por representar casi en su totalidad el ciclo hidrológico en una cuenca. Nace así el Stanford Watershed Model-SWM de Crawford y Linsley en 1966 (Singh, 1995). Sin embargo, las máquinas disponibles eran caras y muy lentas respecto a los estándares actuales, por lo tanto los programas eran limitados en tamaño y complejidad (Beven, 2001). Como consecuencia, la modelación hidrológica fue planteada principalmente en forma agregada (Vieux, 2004). La aparición de ordenadores más potentes, la mayor disponibilidad de datos distribuidos provenientes de sensores remotos y las herramientas proporcionadas

por los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han permitido el desarrollo de este campo.

Además, los sistemas hidrológicos son naturalmente continuos, es decir, los flujos de agua entre la atmósfera, la superficie y el subsuelo son continuos. Sin embargo, las diferentes escalas temporales del flujo de agua en estos dominios permiten descomponer el ciclo hidrológico en tres componentes individuales. Esta desagregación posibilita una mejor comprensión de los procesos y aporta una simplificación matemática-computacional, no obstante, conduce a modelos incompletos (Furman, 2008). Un sistema integrado de flujos superficial-subsuperficial incluye una componente superficial, una subsuperficial, condiciones iniciales y de borde externas y en la interfase. Siendo estas últimas las que permiten efectivizar el acoplamiento.

De acuerdo a la literatura se encuentran principalmente dos estrategias de modelación con fuerte base física: una vincula el modelo de agua subterránea MODFLOW con distintos modelos para el flujo superficial y la otra acopla las ecuaciones diferenciales que rigen el flujo superficial y el subterráneo. Un tercer enfoque conceptualiza la cuenca a través de reservorios hipotéticos. A continuación se presenta una breve síntesis de las principales capacidades de los modelos utilizados en la presente investigación:

2.7.1 Modelo Nonpoint Source Pollution and Erosion Comparison Tool (N-SPECT)

El modelo *Nonpoint Source Pollution and Erosion Comparison Tool* (N-SPECT) desarrollada por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (US National Oceanographic and Atmospheric Administration - NOAA). Este modelo combina información del ambiente físico (elevación, pendientes, suelos, precipitación y cobertura terrestre) para derivar estimaciones de fuentes de descarga, erosión y contaminantes (Nitrógeno, Fósforo, y Total de Sólidos Suspendidos) a través del terreno, así como también estimaciones de acumulación y concentración de sedimentos y contaminantes en las corrientes y redes fluviales (Zachary, 2013).

N-SPECT evalúa cada celda de la retícula sugerida por el usuario en relación con su contribución a la escorrentía, sedimentos, y descarga de contaminantes dentro de la cuenca hidrológica. Los resultados del análisis de dicha herramienta tienen el objetivo de ser usados como herramientas de protección para asistir en el entendimiento de los impactos que tienen la toma de decisiones en la calidad del agua, y finalmente, en la aplicación de diferentes usos del suelo en las regiones cercanas a las costas. Posee la ventaja de ser extrapolable a cualquier área de estudio (Chandramouli, 2015).

2.7.1.1 Parametrización de N-SPECT

- *Coefficiente de cobertura del suelo (C)*: Este factor indica como la pérdida del suelo será distribuida a través del tiempo mediante distintos tipos de manejos sobre la cobertura.
- *Coefficiente de Erosividad de lluvia (R)*: Este factor representa la capacidad que tiene la lluvia de provocar erosión utilizando el efecto de la intensidad, duración y magnitud de cada evento de lluvia.
- *Coefficiente de Erodabilidad del suelo (K)*: Este factor representa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, este depende de la textura, estructura, contenido de materia orgánica y permeabilidad que este posea.
- *Grupos Hidrológicos de Suelos*: basado en el porcentaje de permeabilidad de los suelos donde 0 equivale a la máxima infiltración para suelos arenosos (100% infiltración) y 1 (0% de infiltración) para suelos arcillosos.
- *Factor L (longitud de la pendiente) y S (gradiente de la pendiente)*: Estos dos factores utilizados en la Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) para el cálculo de erosión se calculan mediante un modelo de elevación digital cuenca adicionado al modelo N-SPECT.

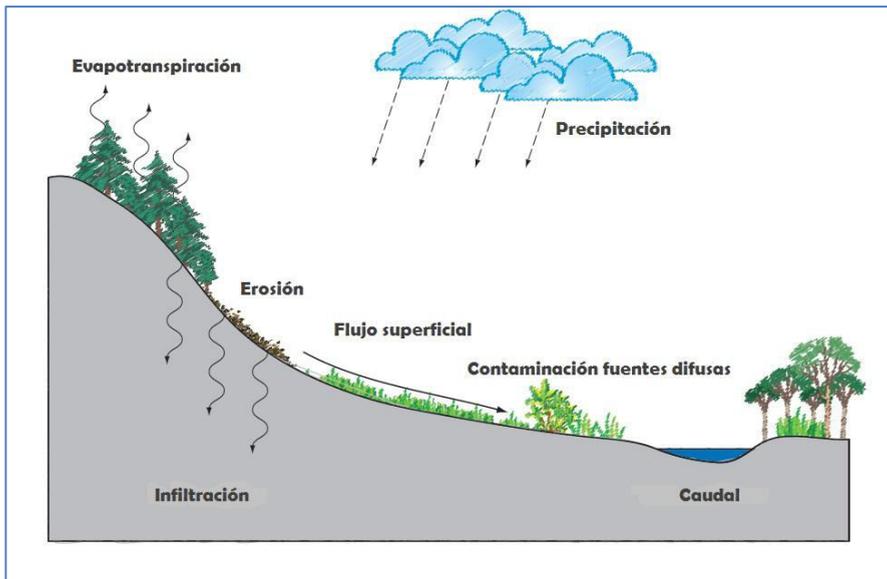


Figura 6. Modelo del ciclo hidrológico simplificado por N-SPECT

Fuente: Elaboración propia

El modelo N-SPECT evalúa la escorrentía basándose en las características del suelo, la cobertura terrestre, la topografía y la precipitación (Figura 6). Los cálculos de escorrentía están basados en curvas desarrolladas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos; estas curvas reflejan la permeabilidad general de un tipo de suelo determinado.

Las curvas también están asociadas con la clasificación del grupo hidrológico del suelo (A, B, C ó D), el cual es una medida del potencial del drenaje, o del grado de filtración que puede tener el suelo (USDA-SCS, 1964). Los suelos en el grupo A poseen buen drenaje, mientras que suelos en el Grupo D poseen un drenaje pobre y tienen tendencia a inundarse.

Tabla 4. Grupos hidrológicos de suelo

Grupo hidrológico del suelo	Potencial de escorrentía	Infiltración cuando la tierra está húmeda	Suelos típicos
A	Escaso	Alta	Arenas y grava excesivamente drenadas
B	Moderado	Moderada	Texturas medias
C	Medio	Lenta	Textura fina o suelos con una capa que impide el drenaje hacia abajo
D	Elevado	Muy lenta	Suelos de arcillas hinchadas o compactas o suelos poco profundos sobre capas impermeables

Fuente: USDA-SCS, 1964

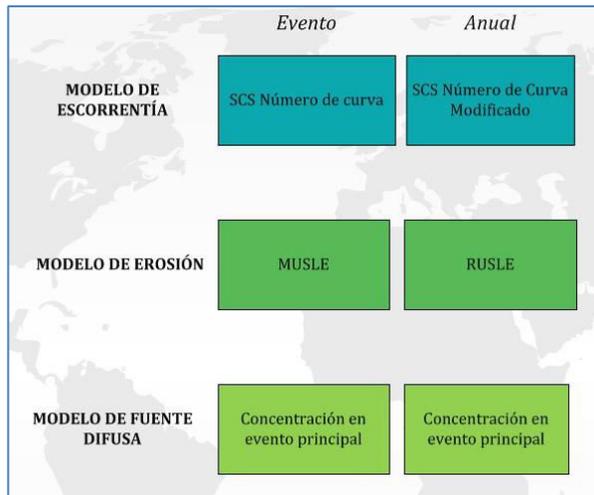


Figura 7. Modelo conceptual de N-SPECT

Fuente: Elaboración propia

Cualquier modelo con múltiples etapas tendrá siempre inexactitudes, y es vital que los usuarios estén conscientes de las limitaciones del modelo y usen los resultados apropiadamente.

2.7.1.2 Limitaciones del modelo hidrológico

Una desventaja clave del modelo N-SPECT es que el modelo no incorpora adecuadamente la disminución de nutrientes en la cuenca hidrológica durante el trayecto hacia la desembocadura del río. Como resultado, los valores estimados de la descarga de sedimento y nutrientes en la desembocadura del río son exagerados. Los valores absolutos no son precisos, pero sí sirven como un indicador general de la magnitud y los patrones del descarga de sedimento y nutrientes en la región (Burke, 2006).

Aunque no son exactos, los valores estimados son útiles para examinar los patrones relativos y las implicaciones de los diferentes escenarios de políticas ya que las estimaciones del porcentaje de cambio son válidas (Michaud, 2012).

Una segunda limitación del modelaje es el énfasis en el papel que juega el cambio de cobertura terrestre sin considerar el efecto específico de las prácticas de manejo de uso de suelo. Para la región de Baja California Sur, solo existe información sobre el tipo de cobertura terrestre y no existe información sobre las intervenciones específicas de manejo. El módulo de tipo de prácticas de manejo del modelo N-SPECT aún no se ha llevado a cabo. Además no existe información detallada sobre la reducción en la erosión y descarga de nutrientes asociada con cada una de las prácticas de manejo agrícola. Una vez que exista esta información, sería posible evaluar los beneficios en el modelo tratando cada intervención de manejo para distintos tipos de cobertura terrestre (Factor-C) y coeficientes de contaminación para distintas categorías (por ejemplo cultivos de cítricos con control de erosión). Esta sería una extensión valiosa para éste análisis.

2.7.2 Modelo de simulación del flujo de agua subterránea, Modflow

Los modelos matemáticos, llamados también modelos digitales son técnicas que permiten reemplazar las ecuaciones de flujo por un sistema de ecuaciones lineales cuyas variables y solución son estimadas en un número finito de puntos discretos en el espacio y en el tiempo. Este método puede utilizar aproximaciones numéricas, como es el ejemplo de las

diferencias finitas, al sustituir las derivadas por variaciones lineales de las variables en un intervalo finito. Otro método más refinado es el de elementos finitos, que consiste en la formulación de problema basándose en la teoría del cálculo variacional. En los modelos matemáticos, existen aproximaciones o métodos mediante los cuales puede resolverse la ecuación del flujo subterráneo (Hanson, 2012).

Modflow es un programa desarrollado por el Servicio Geológico de USA (USGS) en 1983 para simular el flujo del agua subterránea, o más exactamente, la evolución de los niveles en condiciones específicas: bombeos, ríos, drenes, infiltración, etc.

En su versión original su utilización no es sencilla. En cambio, existen otras versiones que, utilizando el motor de cálculo original, le añaden una interfaz cómoda para el usuario, tanto para introducir las características del modelo como para observar al final los resultados. La más extendida es Visual Modflow. Este programa es el estándar del sector en software de modelado tridimensional de transporte de contaminantes y flujo de aguas subterráneas. Las funciones de modelado de flujo de aguas subterráneas y transporte de contaminantes en tres dimensiones de Visual Modflow merece la confianza y uso de muchos profesionales de las aguas subterráneas, gracias a sus motores numéricos perfectamente integrados con una interfaz gráfica de fácil uso.

Debido a su capacidad de simular las interacciones entre las aguas subterráneas y superficiales, los profesionales de las aguas subterráneas disponen de un conjunto de herramientas completo para afrontar iniciativas de calidad del agua, suministro de aguas subterráneas y protección de aguas de manantial (USGS, 2011).

Visual Modflow incluye además a otros programas que fueron creados como complementos de MODFLOW; utilizan la salida de MODFLOW y nos proporcionan los siguientes resultados: MODPATH describe la trayectoria descrita por las partículas de fluido que le hayamos indicado; ZONE BUDGET calcula el balance hídrico de cada zona que establezcamos dentro del modelo, MT3D calcula el transporte de solutos, etc.

Al ser un modelo cuasitridimensional, Visual Modflow está capacitado para representar de una manera más realista los problemas modelados (Niswonger, 2014).

2.7.2.1 Parametrización de Modflow

Las propiedades físicas a describir son la conductividad hidráulica (K) y el coeficiente de almacenamiento (S) en cada acuífero, y la conductividad hidráulica vertical (K_i/b_i) entre distintos acuíferos.

- Conductividad Hidráulica (K)
- Almacenamiento Específico (S_s)
- Capacidad Específica (S_y)
- Porosidad Total (Φ)
- Porosidad Efectiva (Φ_e)

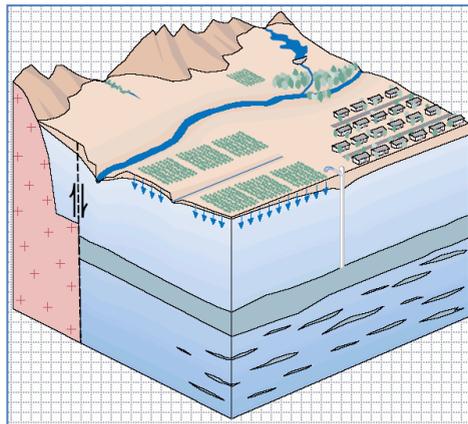


Figura 8. Esquema de un acuífero y los elementos conceptuales con los que trabaja Modflow

Fuente: Hanson, 2012

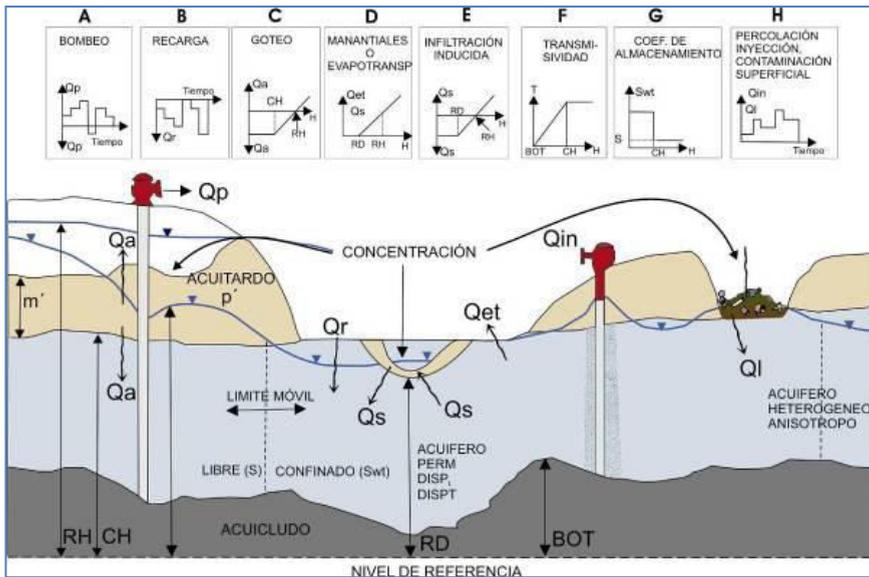


Figura 9. Sección transversal de un acuífero mostrando los parámetros que intervienen en un modelo de simulación

Fuente: Hanson, 2012

Un aspecto importante en la modelación de un determinado sistema es la incorporación de pozos de bombeo o recarga. Visual Modflow permite incorporar (o eliminar) pozos en forma gráfica (Wolfgang, 1995). Los tipos de pozos que se pueden definir en Visual Modflow son:

- Pozos de extracción: Se definen asignando una tasa de extracción negativa.
- Pozos de inyección: Se definen asignando una tasa de extracción positiva.
- Pozos de observación: Estos pozos pueden ser utilizados como puntos de observación para las cargas hidráulicas

Una vez ingresados los datos necesarios para la ejecución del modelo antes mencionado es posible poder ejecutar el modelo y resolver un problema de flujo de aguas subterráneas particular.

Los resultados entregados por Visual Modflow pueden ser visualizados gráficamente en el mismo plano base, en donde se pueden observar velocidades (existiendo

las alternativas de representar su dirección, magnitud o proyección) y además se pueden representar curvas isofreáticas, líneas de flujo, trayectorias de trazadores y otros.

2.7.2.2. Limitaciones del modelo Modflow

Los modelos numéricos de flujo de agua subterránea son importantes para integrar los datos hidrológicos y para predecir de qué manera los niveles de agua en un acuífero responderán a la extracción (Quijano, 2012).

Estos modelos permiten predecir los cambios en el espesor saturado e identificar los datos de entrada cuya calidad debe ser mejorada con censos de calidad y una red de monitoreo establecida para que podemos definir con una mejor precisión los cambios de almacenamiento (Chen, 2003). Es importante remplazar modelos nuevos con mejor calidad en los datos de entrada como la conductividad hidráulica, zonas recarga, extracción para el comportamiento del modelo, sobre todo cuando se necesitan predicciones detalladas, así mismo es necesario emplear una discretización fina y obtener resultados más precisos de la reducción de los niveles estáticos y zonas de abatimientos (Schwartz, 2002).

Una de las más grandes debilidades de Visual Modflow, producto de su formulación numérica, es la imposibilidad de llenar celdas secas, las que se vacían durante el proceso de cálculo. Esto lleva a cometer errores de cálculo al momento de cuantificar caudales de extracción o direcciones de flujos.

Será importante desarrollar una mejor descripción de los límites de la zona de estudio, teniendo más estudios geofísicos que nos ayuden a interpretar la geología del subsuelo y tener una mejor definición de la geometría de la zona de interés y tener modelos conceptuales de mayores atributos. El tener una mejor calidad en los datos de parámetros hidráulicos puede implicar esfuerzos muy costosos, sin embargo se mejorará la información exigiendo a perforistas de nuevos pozos, las pruebas de bombeo y datos de aforo.

Capítulo 3. Caso de estudio



Capítulo 3. Caso de estudio

El caso que es analizado en la presente Tesis, y que servirá de base para las *Aportaciones metodológicas* planteadas en el siguiente capítulo, consiste en una propuesta de Ordenación hidrológica para una zona árida en el territorio mexicano. En la primera parte se describe el caso de estudio desde todos sus ángulos, abordando tanto una descripción física como hidrológica, social y económica. En la parte final se exponen los resultados obtenidos del presente caso de estudio bajo la aplicación de diversas metodologías clásicas de Ordenación de Cuencas.

Para la presente investigación se ha seleccionado el ámbito árido del sur de la Península de Baja California en México, específicamente en el estado de Baja California Sur. Se han elegido seis cuencas piloto denominadas como El Cajoncito, La Huerta, La Palma, El Carrizal, Victoria y El Novillo, que son reflejo del típico entorno árido-desértico de la Península de Baja California y específicamente del territorio de Baja California Sur. Las cuencas hidrográficas de estudio cuentan con la presencia única de cursos de agua intermitentes (*arroyos* en América, *ramblas* en el ámbito mediterráneo semiárido), pendientes de bajas a medias en un territorio que es proclive a la afección por huracanes cada año en la temporada estival, presentando una cubierta vegetal expuesta a un excesivo pastoreo de ganado caprino y bovino. Existe una escorrentía con un elevado arrastre de sedimentos, ocasionando la degradación del suelo en la parte montañosa de la zona de estudio y un consecuente cambio de curso de los arroyos aguas abajo debido a la sedimentación de las partículas que han sido arrastradas.

3.1 Descripción del medio físico

La región de estudio se localiza en México, un país situado en la parte meridional de América del Norte, colindante al Norte con los Estados Unidos de América y al sureste con Guatemala y Belice, al oriente con el Golfo de México y el Mar Caribe, y al poniente con el Océano Pacífico (Figura 10). El territorio mexicano ocupa una extensión cercana a los 2 millones de km², y su población en el 2010 rondó los 112 millones de personas (INEGI, 2010). La Federación mexicana está compuesta por 32 entidades federativas o estados, en este caso la zona de estudio se ubica en el estado de Baja California Sur.

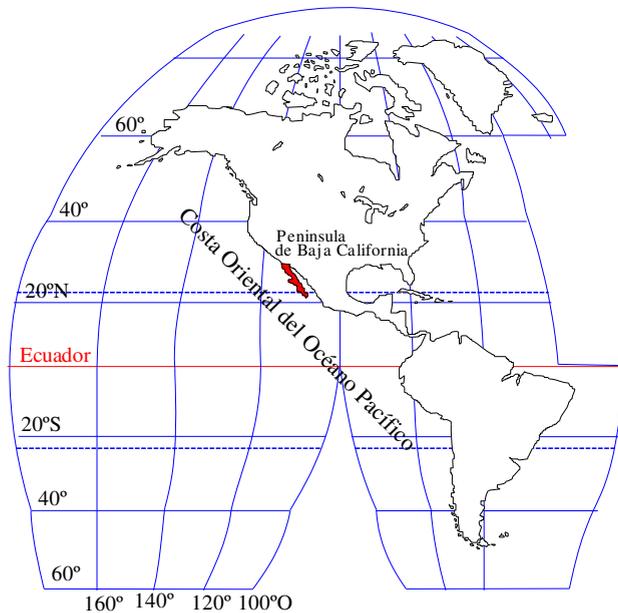


Figura 10. Localización de la Península de Baja California en el continente americano

Fuente: Elaboración propia

En la región noroeste de México se ubica la Península de Baja California, la más extensa de la costa oriental de todo el Océano Pacífico. En ella se encuentran los estados de Baja California (colindante con la frontera de Estados Unidos) y Baja California Sur, en la zona austral de la península (Figura 11).

La península de Baja California es bañada por las aguas relativamente frías del Océano Pacífico (al oeste y al sur), y separada del resto del territorio mexicano en el noreste por el Río Colorado, y después al este por el Golfo de California, que recibe distintas denominaciones como *Mar Bermejo* por el color de sus aguas, o *Mar de Cortés*, en honor al gran conquistador español Hernán Cortés y fundador de la ciudad capital de Baja California Sur, La Paz.



Figura 11. Imágenes de satélite, mostrando a la izquierda, el territorio correspondiente a la República Mexicana, y a la derecha, la Península de Baja California, situada en la región noroeste de México.

Fuente: Comisión Nacional del Agua

La Península de Baja California tiene un área de 143,600 km², sin incluir las islas que bordean los aproximadamente 3000 km. de costa. Ésta es una península rugosa de 1200 km de largo y entre 45 km de ancho en su porción más angosta en el Istmo de La Paz y 250 km en su parte más ancha en la Península de Vizcaíno. Presenta pendientes escarpadas y en general las vertientes de desagüe y acantilados se orientan hacia el Golfo de California. Por el lado occidental, el terreno desciende de forma progresiva en amplias planicies costeras. Cuenta a lo largo de toda su extensión con una cordillera de alturas cercanas a los 3000 m en el estado de Baja California y a los 2000 m en Baja California Sur (Figura 12).

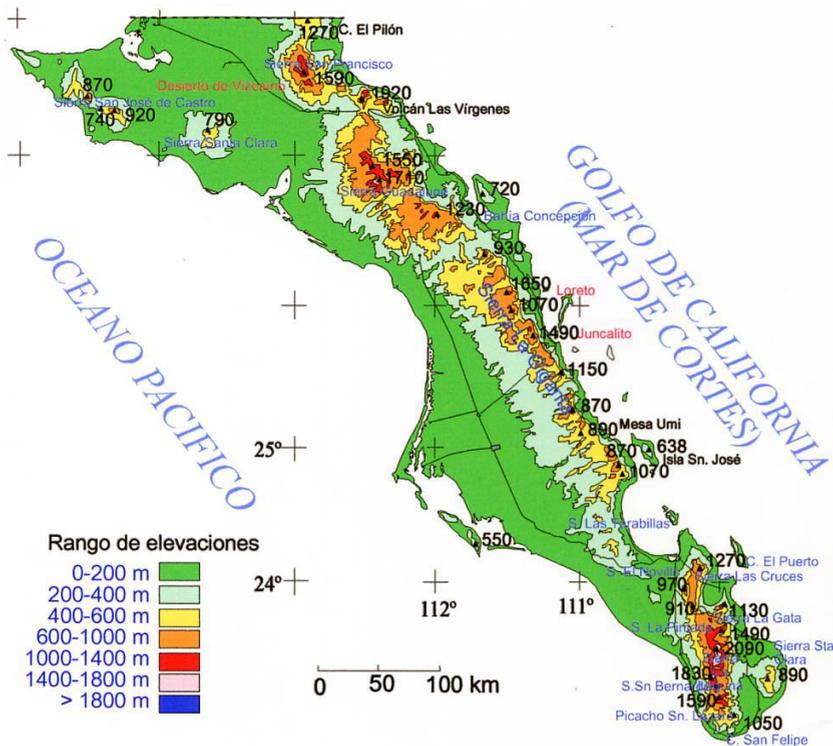


Figura 12. Relieve de Baja California Sur

Fuente: Elaboración propia

Presenta una orientación sumamente característica, NO-SE, casi paralela a las costas de Sonora y Sinaloa, estados vecinos al otro lado del Golfo de California. Ésta orientación explica en buena lid, cómo fue separada la Península del continente americano a causa de un desgarramiento de la corteza terrestre, que a su vez, contribuyó a la formación del Golfo de California hace varios millones de años.

La posición geográfica del estado de Baja California Sur, entre los 22°52' y los 28° de Latitud Norte, lo ubica dentro de la influencia del cinturón de desiertos del planeta (Figura 13). La principal causa de formación de estos desiertos o zonas áridas, es que coinciden con las regiones permanentes de alta presión, con aire seco y descendente, que se localizan entre los 23° y 30°. Debido a esto, gran parte del estado es árido, y las regiones que

no lo son, como es el caso de la Sierra de La Laguna al sur del estado, es debido a la gran altura que presenta.

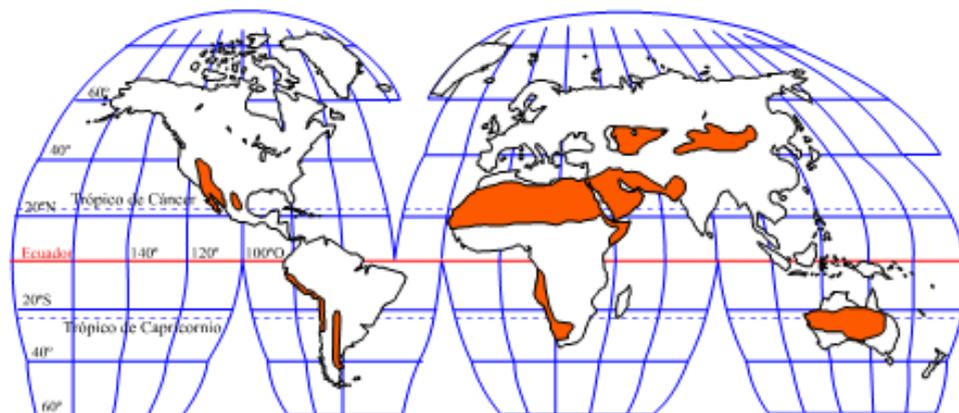


Figura 13. Cinturón de desiertos en el planeta

Fuente: Elaboración propia

En Baja California Sur ha surgido la metáfora de que el mismo Estado puede ser considerado como una isla, al estar separada por aproximadamente 200 km del resto del macizo continental y ser rodeada por agua en tres de sus costados, esto ha producido a lo largo del tiempo cierto aislamiento de la población estatal del resto del territorio mexicano.

La zona de estudio se sitúa en la parte Suroriental de la Península de Baja California. Pertenece al estado de Baja California Sur o *Sudcalifornia*, nombre coloquial que recibe por parte de sus pobladores y por el cual es mayormente conocida. Se han analizado cuencas piloto representativas del entorno de la Ciudad de La Paz, por ser una zona donde existen más datos e información contrastada.

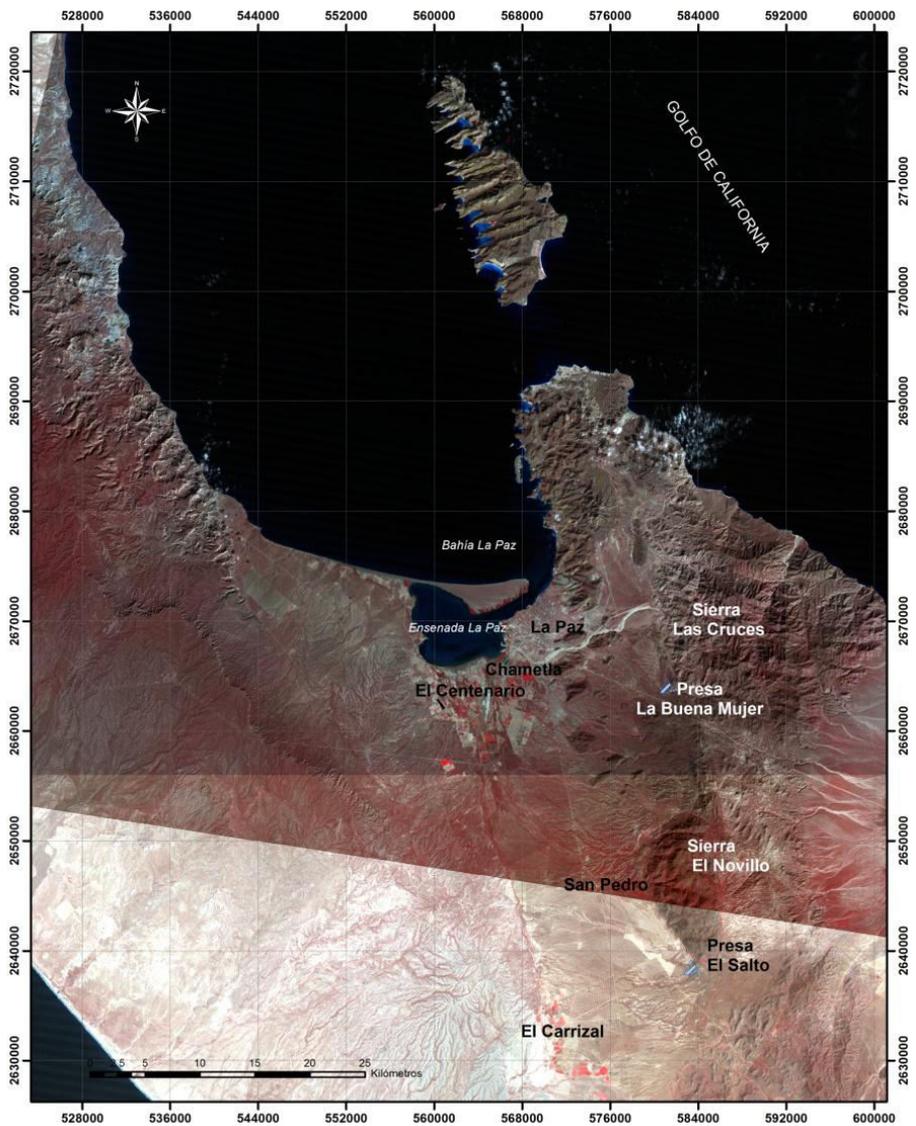


Figura 14. Zona de estudio y sus principales formaciones serranas, presas y poblaciones relevantes

Fuente: Elaboración propia

De las seis cuencas seleccionadas en esta investigación, la cuenca de El Carrizal es la más extensa con 374 km² y la cuenca de La Huerta es la más diminuta teniendo solamente 124 km² de superficie (Tabla 5). Si realizamos una sumatoria de la extensión total en km² del territorio estudiado, se llega a la cifra de 1222 km². Extensión que se consideró suficientemente representativa del territorio sudcaliforniano, no solamente por la gran superficie analizada, sino por la similitud física que guarda con el resto del Estado de Baja California Sur, específicamente referida a la diversidad de tipologías de cuenca que se encuentran a lo largo y ancho de toda Sudcalifornia, es decir, se trabajó con cuencas de llanura, con cuencas de alta montaña y con cuencas de relieve mixto. Principalmente se seleccionaron estas cuencas por la disponibilidad de datos con los que se contaba, pues en el resto de BCS resultaba más complicado recolectar los *inputs* necesarios para la cartografía y análisis hidrológico. Con ello, se busca lograr un muestrario de cuencas que sean verdaderamente representativas del territorio árido sudcaliforniano.

Tabla 5. Superficie y tipología de las cuencas de estudio

Cuenca	A (km²)	Tipología de cuenca
I (El Novillo)	124.48	A
II (El Cajoncito)	172.35	B
III (La Huerta)	116.81	B
IV (La Palma)	290.07	B
V (El Carrizal)	373.79	C
VI Victoria	145.79	A

Tipología de cuenca

A= Cuenca de llanura,

B= Cuenca de alta montaña,

C= Cuenca mixta.

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta un mapa de situación de la zona de estudio.



Figura 15. Ubicación de las seis cuencas de estudio en el estado de Baja California Sur.

Fuente: Elaboración propia en base a los Datos Geográficos de la Dirección General de Geografía del INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

3.2 Localización geográfica

La zona de estudio está situada entre los paralelos $24^{\circ}10'26.60''$ N y $23^{\circ}46'51.99''$ N, y entre los meridianos $110^{\circ}29'32.27''$ W y $110^{\circ}04'56.46''$ W, dentro del municipio de La Paz, en Baja California Sur, México. La cuenca El Cajoncito, La Huerta, La Palma y el Novillo colindan al Norte con la Ensenada La Paz, zona que representa el último punto de alimentación para las aves playeras que migran por la península (en otoño) o el primero (en primavera). En general, sus aguas presentan poco oleaje, lo que permite que en la porción sur de la ensenada el sedimento se deposite y forme una planicie de inundación, donde las aves playeras se alimentan. La cuenca La Palma y El Carrizal colindan hacia el Este, con la Sierra Las Cruces, con una altura máxima de 1270 m, en el Cerro El Puerto, y con poblados como San Juan de Los Planes, El Sargento y La Ventana, estos dos últimos situados en la costa del Golfo de California. En la zona sur, la cuenca El Carrizal (la más extensa de todas) limita

con la Sierra La Trinchera, que en las cercanías del poblado de San Antonio asciende a los 910 m de altura. Más hacia el sur, está la Sierra Los Chiles, en las inmediaciones de los poblados de El Triunfo y San Antonio, la cual integra la unión de la ramificación oeste con la Sierra La Laguna, la cual en su cumbre posee una elevación de 2090 m, cercana a la altura de la Ciudad de México. Ahí se ubican 11,600 hectáreas designadas como Reserva de la Biósfera, para proteger las ecozonas áridas de bosques perennes, coníferos y matorrales que poseen alta biodiversidad y riqueza de especies endémicas. Hacia el oeste, se localiza la Sierra de los Filos del Treinta y cinco.

La cuenca de El Cajoncito es particularmente especial e importante en esta investigación, pues en su zona noreste abarca a la ciudad capital del estado de Baja California Sur, La Paz, que tiene una población cercana a los 215,000 habitantes (INEGI, 2010), siendo la cuarta ciudad más grande en la Península de Baja California, después de Tijuana, Mexicali y Ensenada en el vecino estado de Baja California y la primera en el estado de Baja California Sur (Figura 16). Por lo cual es de suponerse, que en gran medida, la atención principal por parte del Gobierno Estatal y Municipal lo recibe la zona urbana de la ciudad de La Paz, al ser el núcleo poblacional más importante en la región, tanto por la demanda de servicios, como por ser la capital del Estado.

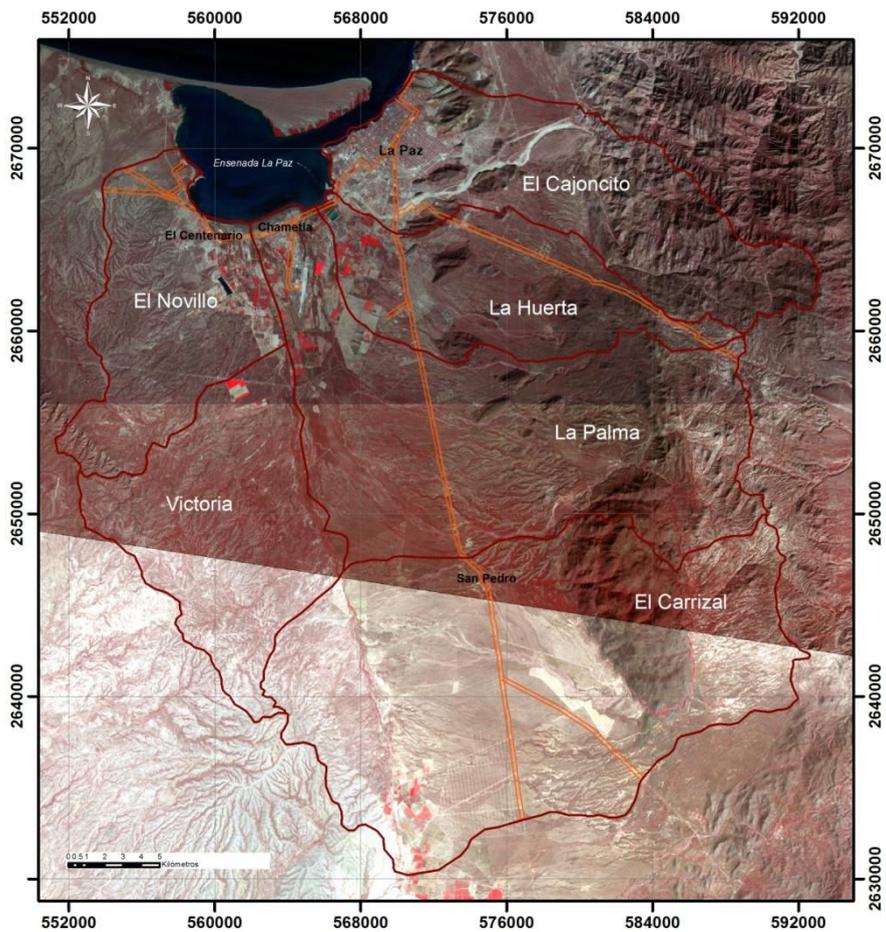


Figura 16. Localización de las cuencas de estudio

Fuente: Elaboración propia



Figura 17. Vista de satélite de las seis cuencas de estudio.

Sus principales ciudades, incluyendo la capital del estado, con el mismo nombre, La Paz y las serranías presentes. El Mar de Cortés o Golfo de California rodeando el macizo

Fuente: Consultado en Google Earth 2016

La ciudad de La Paz se desarrolló a lo largo de la costa sur de la bahía de La Paz. Uno de los perfiles más notorios en el paisaje de la ciudad es una larga barra de arena, conocida como El Mogote, que se formó hace aproximadamente 5000 años y se encuentra frente a la zona urbana. El Mogote encierra un cuerpo de agua: la ensenada de La Paz, que se conecta a la bahía de La Paz mediante un estrecho canal. Tres islas cercanas proveen protección adicional a La Paz. Estas islas: Espíritu Santo, San José y Cerralvo, están reconocidas como unas de las más bellas del golfo de California y representan un importante atractivo turístico. Las reservas naturales e islas del golfo de California fueron designadas como Patrimonio Mundial por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) el 14 de julio del 2005.

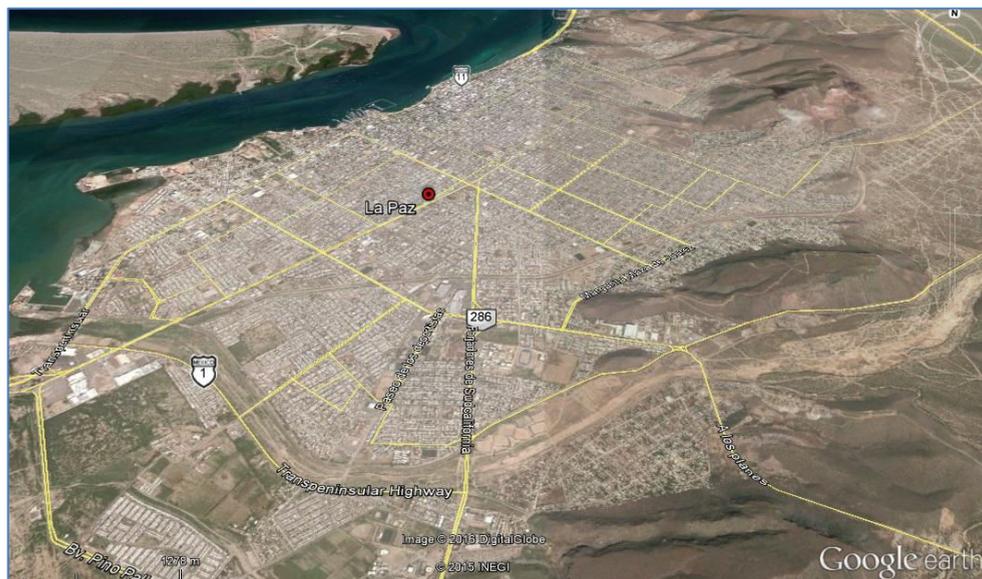


Figura 18. Vista de la ciudad de La Paz, capital de Baja California Sur y el Mogote

Fuente: Consultado en Google Earth 2016

En la región de La Paz predominan los ecosistemas desértico y árido. La lluvia es poco frecuente y alcanza un promedio de sólo 180 mm al año, la más baja de entre todos los estados de México. Adicionalmente, es interesante considerar que en una zona árida, la lluvia más representativa, no es el valor medio, sino la moda, que en el caso de la cuenca de La Paz, se reduce a 100 mm, cantidad de la cual la mayor parte, un 90%, es evaporada, y solo el restante queda disponible para producir escorrentía superficial en arroyos y una urgente y necesaria recarga para los acuíferos en la región. La mayor parte de las precipitaciones provienen de los huracanes, fenómenos meteorológicos que han provocado, al menos en los últimos años, desastres históricos en esta región.

Las cuencas de estudio no tienen ríos o corrientes de aguas superficiales permanentes (Figura 19), situación que se repite a lo largo de todo el estado de Baja California Sur (Z.Flores, 1998). La única fuente confiable de agua es la subterránea, acotada al acuífero de La Paz, que abastece a ciudades como La Paz, Chametla, El Centenario, San

Pedro y proporciona el suministro de agua para usos industriales, pecuarios y agrícolas de las zonas circunvecinas.



Figura 19. Arroyo típico en la cuenca El Cajoncito

Fuente: Elaboración propia

La parte alta de la cuenca El Cajoncito y El Carrizal, en su zona oeste, que incluye a las formaciones serranas como la Sierra El Novillo y Sierra Las Cruces, se encuentran altamente erosionadas, debido a la escasez de vegetación que permita afianzar el terreno, adicionalmente se presenta un alarmante sobrepastoreo, actividad comúnmente ejercida por los rancheros sudcalifornianos, población rural que vive en pequeñas comunidades denominadas rancherías o ranchos.

En las cercanías de la ciudad de La Paz, se localiza un sistema de falla transpeninsular con orientación norte-sur, conocido como “Falla de La Paz”. Tiene un ancho aproximado de 2 km y presenta rocas trituradas que muestran indicios de deformación a varios kilómetros de profundidad, lo cual indica la profundidad de la falla, y el consecuente levantamiento a la superficie y su erosión.

La Sierra El Novillo, está formada por material fundido proveniente del interior de la tierra que se solidificó antes de emerger a la superficie, localizada al este del poblado de

San Pedro y visible desde la carretera La Paz-Los Cabos. En la Sierra Las Cruces, al este de la ciudad de La Paz, drenan varias corrientes, como el Arroyo El Cajoncito, en la cual se localiza la Presa La Buena Mujer, que regula parte de su cuenca y se cimenta sobre material de la Falla de La Paz. Ésta presa se sitúa a unos 12 km de la ciudad de La Paz y no cuenta con compuertas ni obra de toma, tiene dos ductos libres tipo vertedor (Figura 21).



Figura 20. Zona de alta montaña en la cuenca de La Paz, Sierra El Novillo.

Fuente: Elaboración propia



Figura 21. Vista de satélite de la Presa La Buena Mujer

Fuente: Consultado en Google Earth 2016.

En contraparte, sobre la parte baja de las cuencas El Novillo y Victoria, estas forman una gran planicie, que se estrecha cuando se acerca a la costa, donde la velocidad de la escorrentía tiende a disminuir, lo que ocasiona que el área de inundación sea más grande y que las partículas de arrastre se sedimenten y propaguen la divagación de cauces.

La población en toda la zona de estudio muestra un sesgo en cuanto a la distribución de la misma, pues un gran número de sus pobladores habitan en pequeñas comunidades o rancherías, que comúnmente tienen menos de 100 habitantes, y que en gran medida generan una problemática relacionada con el abastecimiento y distribución de servicios básicos como educación, seguridad, protección civil, vías de comunicación, al ser estos pequeños núcleos poblacionales de difícil acceso. Aunque por otro lado es importante recalcar que estas comunidades representan y son sinónimo de la real identidad del hombre de campo sudcaliforniano, que conoce, preserva y ha valorado su entorno a través de los años (Crosby, 1992).

3.3 Geología y Litología

La litología de la zona de estudio es muy variada, constituida de la siguiente manera: en dirección norte en la cuenca El Cajoncito partiendo de la ciudad de La Paz afloran rocas volcánicas adyacentes a depósitos cuaternarios, a continuación se localiza un depósito de granito en la cuenca La Huerta y La Palma y hacia el sur en la cuenca El Carrizal una pequeña porción de grabo-diorita. Finalmente en las cuencas El Novillo y Victoria se localizan grandes depósitos cuaternarios.

La síntesis geológica de la zona se conoce a partir del Mesozoico, abarca rocas metamórficas e intrusivas, afectadas por plutones que varían en composición granítica a máfica y que conforman el complejo cristalino de La Paz o Bloque de Los Cabos que forman parte del terreno Pericú. El Cenozoico se encuentra representado por rocas extrusivas y volcanoclásticas, además de secuencia sedimentarias marinas y continentales.

El Mioceno, está representado por las rocas volcánicas que conforman la cresta de la sierra de la Giganta y terminan al sur de La Paz. La formación es una secuencia de rocas volcánicas y volcanoclásticas constituida por intercalaciones de arenisca volcánica y aglomerados, brechas volcánicas de composición andesítico-dacítico-riolítica, tobas riolíticas, derrames de lava andesítica masivos y lahares andesíticos.

El Cuaternario está representado por algunas secuencias sedimentarias marinas, rocas ígneas extrusivas y depósitos clásticos, salinos, aluviales y eólicos. Las unidades más recientes son las áreas adyacentes a la bahía de La Paz, cubriendo a las formaciones mesozoicas y cenozoicas, constituidas por material clástico de origen continental y marino, que conforman depósitos litorales, lacustres, salinos, aluviales y eólicos. Los depósitos de aluvión, por su parte, presentan un intervalo granulométrico muy amplio, que va desde limos hasta cantos rodados y que por lo general rellena partes bajas, lechos de arroyos y pequeñas cuencas, como sucede, por ejemplo, al sur de la bahía de La Paz, donde además de acumulaciones aluviales cuaternarias se presenta una barrera formada por procesos costeros arenosos, que protege un cuerpo de agua lagunar somero.

Las rocas ígneas intrusivas del Mesozoico están representadas por unidades del Cretácico en el bloque tectónico de La Paz-Los Cabos. En esta región, dos terceras partes del área están constituidas por rocas ígneas intrusivas, divididas en tres eventos magmáticos regionales. Debido a la evolución geológica de toda la península de Baja California, el área de La Paz es cortada por fallas transpeninsulares que controlan la geometría de cuencas Cuaternarias y dividen el área en distintos bloques tectónicos. Algunas de las principales estructuras son: falla El Carrizal; falla San Juan de los Planes; falla San Bartolo; falla San José del Cabo y lineamiento La Paz.

La zona de alta montaña en la cuenca La Palma y El Carrizal, presenta fuertes pendientes (mayores del 4%) y escasa vegetación; cuando acontece una precipitación de tipo ciclónica, se presentan escorrentías que duran poco tiempo pero generan grandes caudales y velocidades capaces de arrastrar gran cantidad de material suelto.

En esta zona, la transformación y el deterioro de los ecosistemas por el avance de actividades agropecuarias han generado altas tasas de deforestación, procesos intensos de

degradación de suelos, pérdida de biodiversidad, lo cual impacta en la cantidad, calidad y temporalidad del recurso agua; esto constituye hoy en día, uno de los principales limitantes del desarrollo humano y supervivencia de ecosistemas. El conflicto entre desarrollo y conservación es especialmente notable en la parte alta de la cuenca El Carrizal y El Cajoncito.

A continuación se presenta la litología de la zona de estudio:

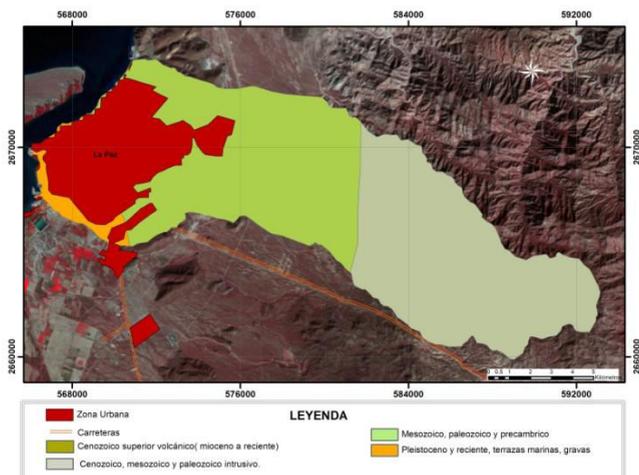


Figura 22. Litología en la Cuenca El Cajoncito

Fuente: Elaboración propia

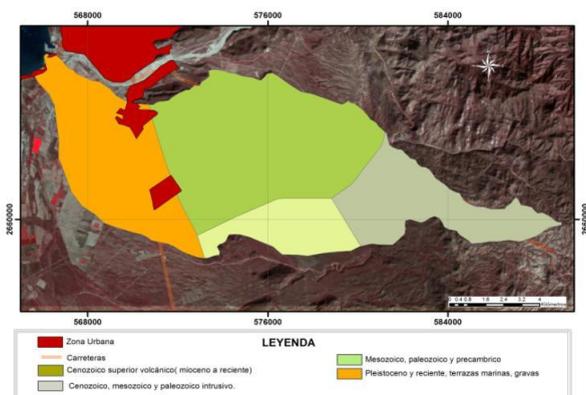


Figura 23. Litología en la Cuenca La Huerta

Fuente: Elaboración propia

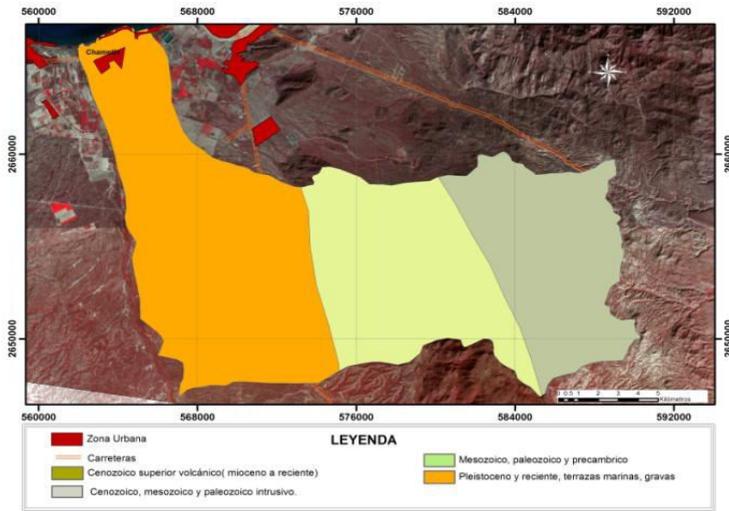


Figura 24. Litología en la Cuenca La Palma

Fuente: Elaboración propia

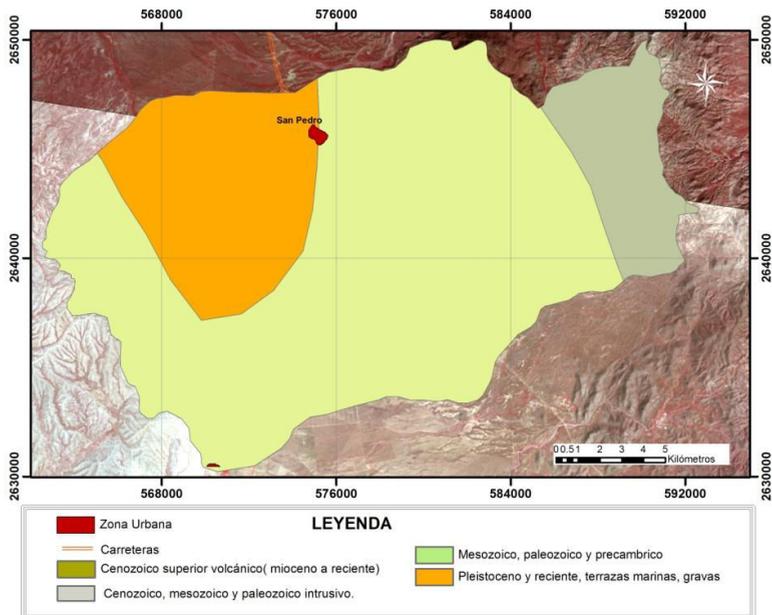


Figura 25. Litología en la Cuenca El Carrizal

Fuente: Elaboración propia

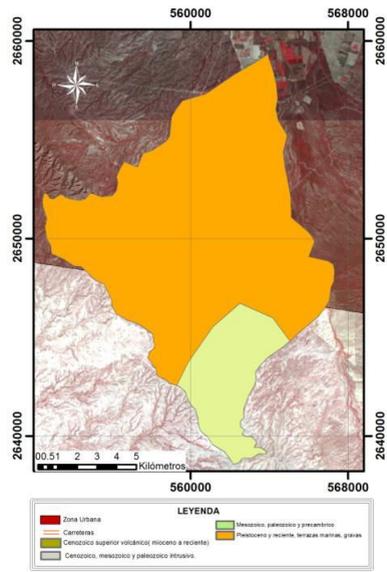


Figura 26. Litología en la Cuenca Victoria

Fuente: Elaboración propia

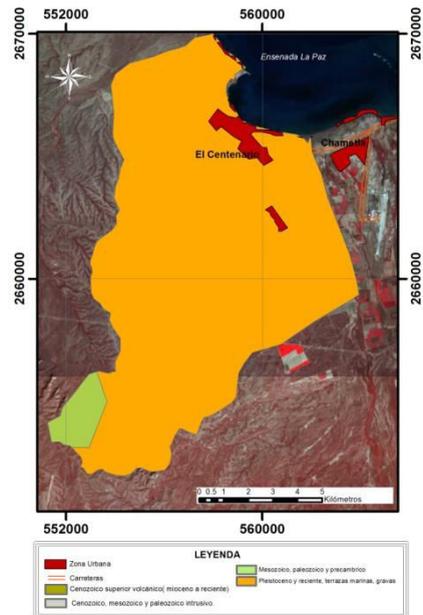


Figura 27. Litología en la cuenca El Novillo

Fuente: Elaboración propia

En la zona de transición (Cuenca El Carrizal) se forma un abanico aluvial, en esta zona el sistema de drenaje no está definido; dependiendo de las condiciones de distribución espacial y temporal de la lluvia, infiltración y escorrentía, se puede presentar socavación o depósitos que pueden cambiar los rumbos de los cauces (cauces divagantes).

Es la zona considerada como área de crecimiento de la ciudad de La Paz, en esta zona las pendientes son del orden del 1%, con escorrentías extraordinarias el agua se extiende y cruza con velocidades más bajas. Los cauces se suelen encontrar azolvados y en crecidas extraordinarias tienden a desbordarse.

3.4 Edafología y estratigrafía

El origen geológico, la litología, las condiciones climáticas y el relieve presentes en la zona de estudio han determinado suelos de escaso desarrollo genético, es decir poco profundos y muy susceptibles a la remoción de sus partículas. Gran parte de los suelos de la zona presentan alto contenido de cuarzo y carbonatos al derivarse de rocas ígneas ácidas y graníticas que al intemperizarse-degradarse generan suelos de textura gruesa o media, con alta permeabilidad lo que les impide retener agua o nutrientes, por lo que su fertilidad resulta baja.

En la cuenca El Cajoncito los suelos predominantes son los Regosoles éútricos, especialmente en la parte Norte de la zona de estudio asociados a Yermosoles háplicos, Litosoles y en las zonas de inundación Fluvisoles éútricos. Hacia el Este de la zona de estudio, existe una franja de Litosoles. Finalmente, en la cuenca El Carrizal, Victoria y Novillo predominan los Yermosoles lúvicos y háplicos asociados a Regosoles éútricos.

Las texturas de los suelos presentes en la zona de estudio son de gruesas (arenosas) a medias (limosas) y una escasa presencia de arcillas. Los suelos de textura gruesa son aquellos que en la superficie son arenosos, lo que puede ser causa de poca retención de agua o nutrientes en los mismos. A su vez, los suelos con textura media semejante a los limos de los ríos, presentan menos problemas de drenaje, erosión y fertilidad (Aranda y Pérez, 1989).

En casi toda la zona de trabajo se presentan fases físicas líticas que dificultan el uso del suelo para actividades agrícolas. Los suelos presentes en la zona de estudio se clasifican como suelos con algunas limitaciones para el desarrollo de asentamientos humanos, en donde se tiene que tomar en cuenta el tipo de pendiente en el que se ubican. En la parte sureste y noreste se debe tener especial cuidado por la presencia de suelos que poseen características poco favorables para el desarrollo urbano, debido a la posibilidad de inundación constante.

En general, los suelos de la zona de estudio presentan varias limitaciones simultáneas (baja calidad de los suelos, aridez excesiva, pendientes moderadas, salinidad, etc.), aunque es posible aprovecharlos para la agricultura, esto resulta muy costoso por la fuerte demanda de insumos que requieren.

En su parte septentrional, se encuentra la parte activa del abanico aluvial del Arroyo del Cajoncito, uno de los cauces principales de la Sierra de Las Cruces. Esta zona está desprovista de arroyos y durante la época de crecidas, es el área donde se deposita en una buena parte el material que ha sido acarreado por arroyos.

La Sierra de Las Cruces y sus estribaciones septentrionales presentan la característica de que la altura de cota va aumentando gradualmente desde el Golfo de California hasta alcanzar un máximo en el Cerro El Puerto. El patrón de drenaje se considera que está grandemente influenciado por los juegos de fracturas que cortan a las rocas graníticas. Por lo cual se plantea la deducción de que esta sierra fue formada por fallamiento de bloques y constituye un pilar tectónico.

Las rocas más antiguas que afloran en el área estudiada pertenecen a lo que se ha llamado “Complejo Cristalino de La Paz” (Ortega, 1982). Estas rocas afloran en la Sierra de Las Cruces y en una serie de lomeríos bajos localizados en sus estribaciones occidentales. También afloran granitos, rocas gabroicas sin deformación aparente y metasedimentos. En una porción amplia de la región suroriental de la Sierra de Las Cruces en la cuenca El Cajoncito, afloran rocas graníticas, son de color rosa, holocristalinas y de grano medio a grueso. Se constituyen por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita.

La secuencia volcanosedimentaria difiere en distintas zonas dentro de la cuenca. Pues no existe una sola capa, o cuerpo de roca, que sirva como horizonte índice o marcador a través de toda la región que sugiera la posición que ocupa una unidad determinada en la secuencia. En las inmediaciones de la ciudad de La Paz, predominan areniscas volcánicas de grano grueso. El tamaño de los fragmentos en los conglomerados oscila entre 1 y 15 cm y predominan los fragmentos de 3 a 5 cm.

3.4.1 Clasificación de las litofacies según su repercusión en los procesos erosivos

Según el grado de erosionabilidad y los materiales que con anterioridad han sido descritos, se pueden agrupar en las siguientes clases. Ésta clasificación suele ser utilizada en territorio español, pero bien podría extrapolarse a otras zonas.

Tabla 6. Clasificación litológica según nivel de erosión

Nivel de erosión	Clasificación litológica	
a. Muy erosionable	Cuaternario	Playa y cordón litoral. Arenas con conchas. Terrazas. Depósitos Aluviales modernos de fondo de rambla. Abanico aluvial. Arenas arcillosas con cantos redondeados. Depósitos de albufera. Fangos y turba Limos arenosos de albufera. Limos eólicos

Nivel de erosión	Clasificación litológica	
b. Erosionable	Cuaternario	Coluvión moderno: Cantos angulosos y arcillas. Arcillas de descalcificación Glacis de acumulación. Arcillas y cantos con costras discontinuas. Depósitos de pie de monte. Arcillas con cantos cementados superficialmente. Coluvión antiguo: Arcillas con cantos cementados superficialmente.
	Mioceno Superior	Margas en facies tap
	Mioceno Inferior	Conglomerados
	Senoniense	Margas y calizas arenosas
	Albiense	Margas
	Cretácico Inferior	Arcillitas margosas
	Triásico superior	Arcillas, margas y yesos en fase keuper.
c. Poco Erosionable	Cuaternario	Depósitos aluviales antiguos: conglomerados
	Oligoceno	Calizas
	Senoniense	Calizas y margas
		Calizas y dolomias
	Turoniense-Cenomaniense	Dolomias y calizas masivas
	Cretácico inferior	Calizas y margas
	Malm-Cretácico Inferior	Calizas y margas
Malm	Calizas	

Fuente: Vera, 2004

3.4.2 Descripción de los suelos

Debido al origen geológico, la litología, las condiciones climáticas y el relieve presente en la zona de estudio, se han determinado suelos de escaso desarrollo genético, es decir poco profundos y muy susceptibles a la remoción de sus partículas.

De acuerdo a la carta edafológica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la mayor parte del área en estudio corresponde a un suelo yermosol (color amarillo) en cuencas La Huerta y La Palma, es de color claro y muy pobre en materia orgánica; otro tipo de suelo predominante es el regosol (color crema) en cuenca El Cajoncito, homogéneo, también de color claro y presenta alto contenido de arenas. Los tipos de suelo son los siguientes:

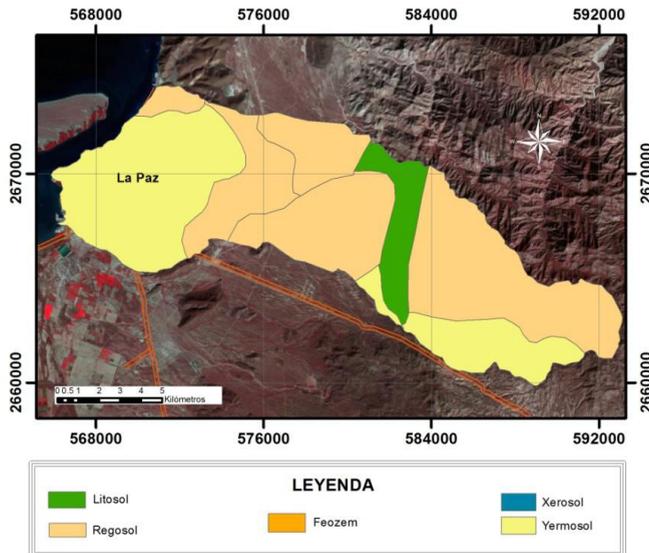


Figura 28. Tipos de suelo en la cuenca El Cajoncito

Fuente: Elaboración propia

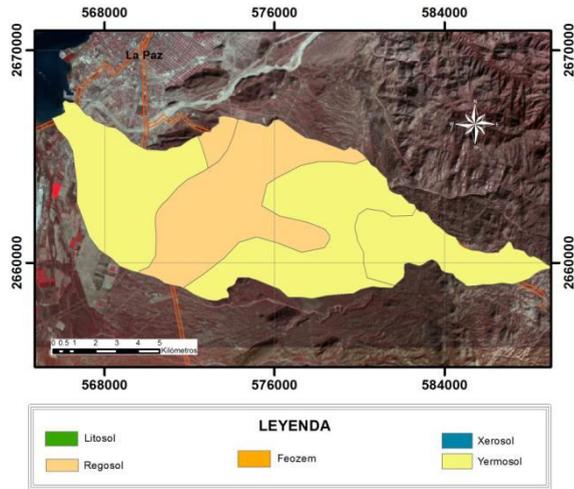


Figura 29. Tipos de suelo en la cuenca La Huerta

Fuente: Elaboración propia

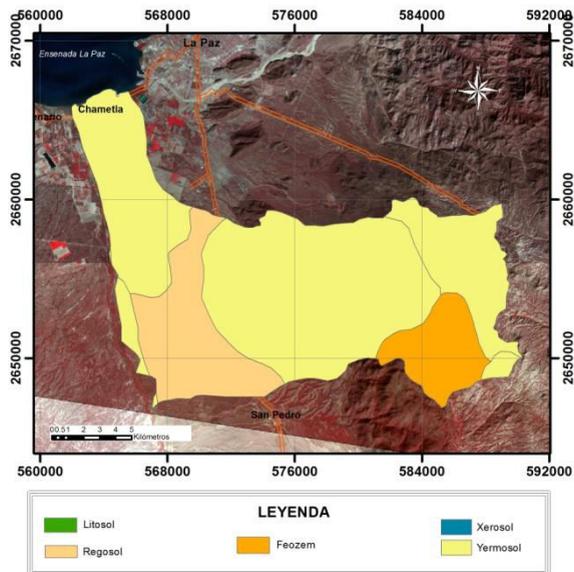


Figura 30. Tipos de suelo en la cuenca La Palma

Fuente: Elaboración propia

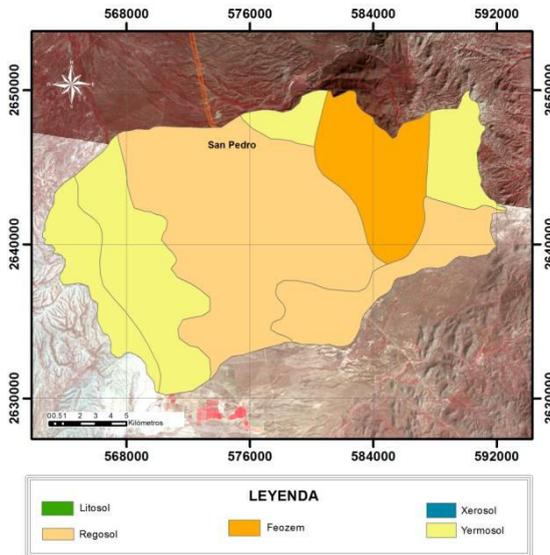


Figura 31. Tipos de suelo en la cuenca El Carrizal

Fuente: Elaboración propia

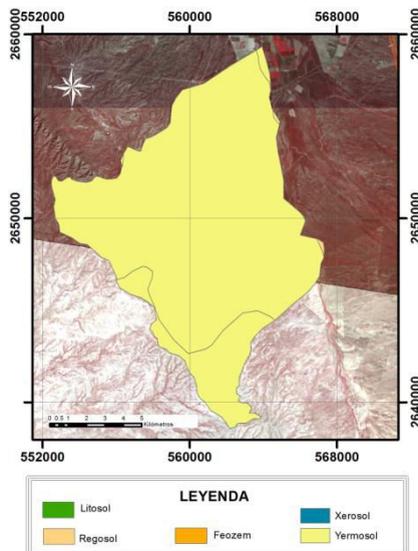


Figura 32. Tipos de suelo en la cuenca Victoria

Fuente: Elaboración propia

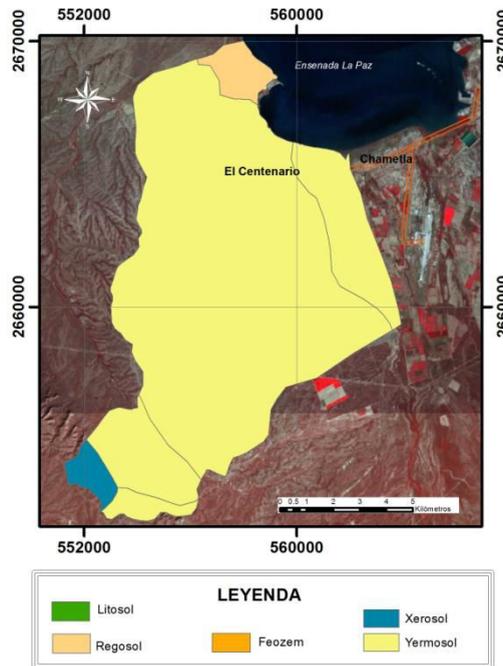


Figura 33. Tipos de suelo en la cuenca El Novillo

Fuente: Elaboración propia

En la cuenca El Carrizal, predomina el suelo oscuro denominado feozem (color naranja), suave y rico en materia orgánica y nutrientes. Todos estos suelos presentan gran susceptibilidad a la erosión, dependiendo no sólo de la edafología, sino también en áreas con pendientes pronunciadas y en zonas altamente deforestadas por el sobrepastoreo.

Para la realización de posteriores análisis, se hizo uso del estudio geohidrológico realizado para la región, “Estudio Geohidrológico complementario de las Cuencas La Paz-El Carrizal, para proporcionar agua en bloque a la ciudad de La Paz, B.C.S”. En el cual se efectuó un muestreo de suelos en 154 puntos de la zona, con lo cual solamente se utilizaron 115 puntos de muestreo, que son los que se ubican dentro de la zona de estudio (los datos de este muestreo se incluyen en el Anejo al final de este documento). A pesar de que este

estudio fue elaborado en el año 1985, se considera de gran utilidad la información ahí descrita, *pues es la única fuente de datos cotejada en campo que existe sobre la región.*

En este estudio se recoge una clasificación textural de los suelos de la región, así como un análisis granulométrico de los mismos, incluyendo datos de permeabilidad, porosidad eficaz, PH, y porcentaje de saturación.

3.5 Clima

Baja California Sur forma parte de un cuerpo muy especial, la península de Baja California, única en muchos aspectos: su característica forma alargada, posición geográfica con la mayor parte dentro de la zona subtropical y una porción en la zona tórrida, limitada en tres de sus costados por mares con propiedades distintas. Esto produce, junto con otros factores externos, una serie de características especiales en cuanto a la descripción del clima se refiere.

Uno de los aspectos climáticos primordiales a resaltar es su aridez. Con una precipitación media anual de 272 mm y una temperatura media anual de 24.8°C, define sin lugar a dudas un clima desértico. Más aún, si en vez de considerarse el valor promedio de lluvia, se toma en cuenta la moda, o valor más frecuente de la precipitación anual, y que suele ser más representativa en lugares desérticos, entonces el valor de precipitación cambia a 139 mm. La precipitación media anual en la zona de estudio presenta una variación que va desde los 50 mm hasta los 400 mm en la zona alta de la cuenca.

Las variaciones de temperatura y los subtipos presentes son cálidos, semicálidos y templados. La característica principal es lo extremoso de sus temperaturas diurnas y la gran sequedad ambiental. Se han registrado temperaturas máximas de 40 a 44°C en verano y temperaturas mínimas de 10-16°C en invierno.

Consecuentemente la vegetación existente en gran parte de la zona de estudio, excluyendo la zona sureste de la Sierra El Novillo, pertenece al Desierto Sonorense, desarrollando en gran medida las plantas comunes del desierto, las xerófilas, condicionadas a una economía extrema en el uso del agua.

Debido a la enorme importancia que tiene el agua para una zona árida, como lo es Sudcalifornia, es conveniente pensar en la precipitación en términos estacionales y no anuales. Aunque para hacer referencia a esto las estaciones del año se clasifiquen hasta cierto punto de modo arbitrario, comenzando con el invierno de diciembre a febrero, primavera de marzo a mayo, verano de junio a agosto, y otoño de septiembre a noviembre. La temporada de sequía dura alrededor del verano y se rompe un poco al inicio del otoño. El mes más seco del año es mayo.

Las principales corrientes aéreas soplan paralelas al sistema orográfico de la región. Sobre el Océano Pacífico los vientos superficiales del noroeste son fuertes, en cambio por el lado del Golfo de California soplan vientos del sureste muy débiles, que solamente se ven alterados por las tormentas eléctricas que llegan a afectar la costa oriental. Estos vientos traen aire húmedo y son un reflejo del movimiento de la zona de baja presión, que en invierno se localizaba más al sur (Figura 34).

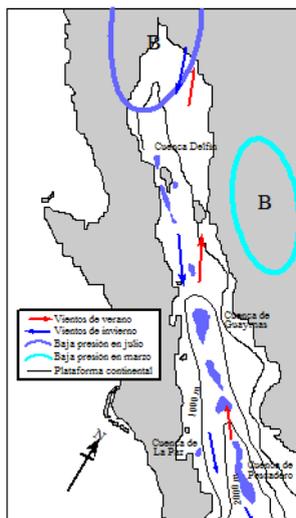


Figura 34. Localización de los vientos de verano e invierno, y el movimiento de la zona de baja presión de marzo a julio, y batimetría del Golfo de California

Fuente: Elaboración propia

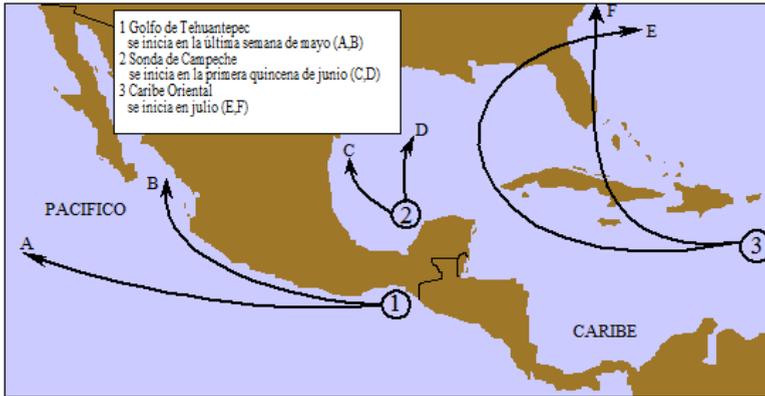


Figura 35. Zonas de formación de ciclones con afectación a la República Mexicana

Fuente: Z.Flores, 1988

La presencia de ciclones en la cuenca de La Paz (Figura 36), no es un fenómeno aislado, pues estos eventos tienden a cambiar considerablemente las condicionantes preestablecidas de la zona, es decir, el promedio de precipitación del lugar, debido a su carácter torrencial.



Figura 36. Imagen de satélite del huracán Odile

(Hasta la fecha el ciclón tropical más intenso al tocar tierra sobre la península de Baja California durante la era de las imágenes de satélite. Fecha 10 de Septiembre de 2014)

Fuente: Consultado en www.met-bcs.cicese.mx/

En el mes de octubre, la región se encuentra bajo la influencia de los vientos del oeste al suroeste y la precipitación tiende a ser escasa, pero para el mes de noviembre, el régimen invernal empieza a dejar sentir su influencia, con lo que se avecinan consecuentes lluvias invernales de la temporada.

3.5.1 Elección de observatorios meteorológicos

Para la realización de esta investigación se creó una base de datos de precipitación pluvial (valores totales, mensuales y anuales) de las estaciones u observatorios meteorológicos del estado de Baja California Sur, en específico de la zona circundante a las seis cuencas de estudio (Tabla 7). Estas estaciones meteorológicas dependen directamente del organismo oficial encargado de administrar y preservar las aguas nacionales de México, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que entre sus dependencias cuenta con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), que a su vez es el encargado de dar a conocer la información del estado del tiempo que prevalece o afecta al territorio mexicano, y que entre sus labores, abarca la operación de los observatorios meteorológicos, las estaciones de radiosondeo y radares meteorológicos existentes.

De acuerdo al criterio de proximidad geográfica para las cuencas de estudio, los observatorios meteorológicos seleccionados son los siguientes:

Tabla 7. Observatorios meteorológicos cercanos a la zona de estudio.

				Coordenadas UTM		Temperatura media(°C)	Precipitación media anual (mm)
No.	Nombre de la Estación	Municipio	Altitud (m)	X	Y		
1	El Cajoncito	La Paz	180	580714.213	2670601.372	23.7	220.7
2	El Carrizal	La Paz	180	574333.411	2627354.176	22.1	246.9
3	El Triunfo	La Paz	432	590748.032	2632614.788	21.3	427.1

				Coordenadas UTM		Temperatura media(°C)	Precipitación media anual (mm)
No.	Nombre de la Estación	Municipio	Altitud (m)	X	Y		
4	Lagunillas	La Paz	200	566037.865	2655914.233	24.4	295.9
5	La Paz	La Paz	16	567455.382	2669302.082	23.3	182.6
6	Los Divisaderos	La Paz	490	587234.817	2642650.613	22.1	406.7
7	Los Robles	La Paz	665	588974.666	2658501.280	21.7	321.7
8	Los Planes	La Paz	40	608240.172	2651098.098	23.2	165.1
9	San Antonio Sur	La Paz	375	595923.197	2633171.064	23.1	455.5
10	San Bartolo	La Paz	395	618196.354	2626107.566	22.6	341.8
11	San Pedro	La Paz	190	574915.371	2646118.194	23.1	342.6
12	El Sargento	La Paz	20	617756.142	2662554.335	23.8	139.7
13	El Rosario	La Paz	45	535071.454	2638892.379	20.6	105.6
14	Alfredo B. Bonfil	La Paz	78	557563.055	2672641.807	24.3	149.5

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, Normales Climatológicas para el estado de Baja California Sur

En el interior de las seis cuencas de estudio, existen 5 observatorios meteorológicos, San Pedro, Lagunillas, La Paz, Los Robles y Los Divisaderos. De ahí, la estación de Los Divisaderos, presenta la serie más larga con 58 años de registro (Figura 37). En zonas circunvecinas se localizan el resto de observatorios meteorológicos, que en buena medida sirven de apoyo para la extrapolación de variables climáticas que posteriormente han de ser

utilizadas para la realización de las diversas metodologías de Ordenación de Cuencas, con la ayuda de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Las series climáticas de precipitaciones totales mensuales y temperaturas medias mensuales, se encuentra en el Anejo al final de este documento.

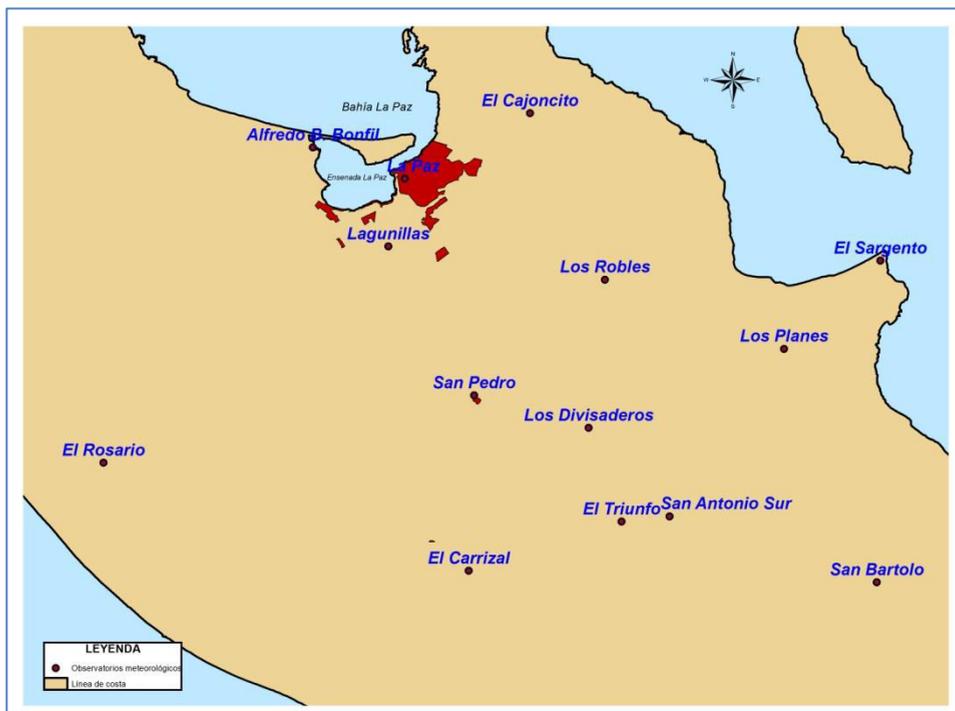


Figura 37. Ubicación de los observatorios meteorológicos en la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Clasificación climática

En esta categoría se hará referencia a los índices climáticos que caracterizan a la zona de estudio, el índice de Thornthwaite, el índice de agresividad del suelo F. Fournier y el índice de aridez de Martonne.

3.5.2.1 Clasificación climática de Thornthwaite

La clasificación de Thornthwaite (1949) ha sido ampliamente asumida dadas las aportaciones de su autor al edafoclima e hidrología, desde una perspectiva geográfica.

Se basa en la consideración de la eficacia térmica, dada por la evapotranspiración (ETP) del mismo autor, y la humedad disponible, expresada como índices de humedad y de aridez a partir del balance hídrico. Supone un gran avance respecto a otras clasificaciones ya que parte del clima que afecta al suelo y a la planta, es decir, la evaporación, la transpiración y el agua disponible en el suelo; en vez de medias mensuales de parámetros meteorológicos clásicos.

Esta clasificación define unos tipos según la humedad (representados por letras mayúsculas) y su variación estacional (letras minúsculas), y otros tipos según la eficacia térmica (letras mayúsculas con comilla) y su concentración estival (letras minúsculas con comilla) que se concentra en la Tabla 8. Según la clasificación Thornthwaite, la mayoría del territorio de las cuencas El Cajoncito, La Huerta, La Palma, el Carrizal y La Victoria está dominado por los climas C2 A' a'. La cuenca El Novillo se caracteriza por un B2 A' a' con un clima más húmedo que el resto.

Tabla 8. Clasificación de climas según sistema Thornthwaite

C/2	Clasificación de climas sistema Thornthwaite
Símbolo	Carácter del clima
A'	Cálido
B'	Semicálido
a'	Sin estación fría bien definida
b'	Con invierno benigno
B	Húmedo

C/2	Clasificación de climas sistema Thornthwaite
Símbolo	Carácter del clima
C	Semiseco
r	Sin estación seca bien definida

Fuente: Thornthwaite y Mater, 1955

3.5.2.2 Índice de Papadakis

Papadakis hace referencia a diez grupos fundamentales de climas, donde cada grupo se caracteriza por regímenes específicos de temperatura y humedad. La clasificación de Papadakis utiliza, fundamentalmente, parámetros basados en valores extremos de las variables climatológicas, que son más representativos y limitantes para estimar las respuestas y condiciones óptimas de los diferentes cultivos que los empleados en las clasificaciones basadas sólo en valores medios.

Esta clasificación agroclimática se ha de considerar como una caracterización agroecológica a nivel macroclimático, y nunca como un caso a nivel meso o microclimático, ya que en estos niveles intervienen de forma importante factores como la topografía o el relieve.

Según la clasificación agroclimática de J. Papadakis aplicada a la zona de estudio

Los umbrales fijados para caracterizar los tipos climáticos no son arbitrarios, sino que corresponden a los límites naturales de determinados cultivos. En este aspecto resultan relevantes:

- Frío invernal.
- Calor estival.
- Aridez y distribución anual.

Para la zona de estudio se pueden separar dos zonas claves de clasificación, la primera, en la cuenca El Cajoncito, La Huerta, La Palma y El Carrizal bordeada por la Sierra El Novillo, que registra una clasificación tipo climático según Papadakis, de Desierto mediterráneo, con tipo de verano Gossypium e invierno Citrus.

La segunda zona comprende la región de la Cuenca Victoria y El Novillo, comprendiendo la parte occidental. Esta región registra cotas de menor altura sin accidentes orográficos aparentes que se interpongan, y presenta un tipo climático de Desierto continental, con invierno Citrus y verano Gossypium, según la clasificación de Papadakis.

3.5.2.3 Índice de aridez de Martonne

Para el índice de aridez de Martonne, se expresa la siguiente formulación:

$$Ia = \frac{Pma}{[Tma + 10]}$$

donde:

Ia Índice de aridez.

Pma Precipitación media anual, en mm.

Tma Temperatura media anual, en °C.

De acuerdo a esto, el índice de aridez de Martonne para las cuencas El Novillo, El Cajoncito y El Carrizal corresponden a una zona de semidesierto (árido) según la clasificación de Martonne (Tabla 9). La cuenca La Palma, Victoria y La Huerta presentan una clasificación semiárido de tipo mediterráneo.

Tabla 9. Índice de aridez

Cuenca	T (°C)	Pma (mm)	Ia
I (El Novillo)	24.4	295.9	8.60
II (El Cajoncito)	23.3	182.6	5.48
III (La Huerta)	21.7	321.7	10.14
IV (La Palma)	22.1	406.7	12.66
V (El Carrizal)	22.1	246.9	7.69
VI (Victoria)	23.1	342.6	10.35

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Clasificación de Martonne para el índice de aridez

Valor de Ia	Zona
0-5	Desiertos (Hiperárido)
5-10	Semidesierto (Árido)
10-20	Semiárido de tipo mediterráneo
20-30	Subhúmeda
30-60	Húmeda
>60	Perhúmeda

Fuente: Martonne, 1926

3.5.2.4 Índice de agresividad del clima (F. Fournier)

También llamado índice de la capacidad erosiva de un clima. Fournier ideó un índice simple que da una idea de la erosión que se puede producir en una cuenca debido a factores pluviométricos, es decir, da una primera idea de la torrencialidad de la cuenca. Dicho índice tiene la siguiente expresión:

$$F = \frac{p^2}{P}$$

Donde,

p precipitación del mes más lluvioso

P módulo pluviométrico (precipitación anual).

Con este propósito, Fournier (1960) estableció el índice de agresividad climática o Índice de Fournier (IF), que muestra una alta correlación con la cantidad de sedimentos arrastrados por la escorrentía.

Arnoldus (1977) propuso una corrección del Índice de Fournier (IF) en que se consideran no sólo la precipitación mensual del mes más húmedo, sino también la del resto de los meses. Este índice modificado de Fournier (IFM) caracteriza la agresividad de la precipitación y se calcula de la siguiente forma:

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

Donde,

p_i precipitación del mes más lluvioso

P módulo pluviométrico (precipitación anual).

Los resultados de la clasificación del Índice de Fournier Modificado se agrupan bajo el siguiente criterio:

Tabla 11. Clasificación bajo el Índice de Fournier Modificado

IFM	Clasificación de agresividad
0-60	Muy bajo
60-90	Bajo
90-120	Moderado
120-160	Alto
>160	Muy alto

Fuente: Fournier, 1960

Este índice se calculó para una serie de 30 años de duración en cada una de las estaciones meteorológicas involucradas en la cuenca de estudio. Los resultados son los siguientes:

Tabla 12. Clasificación del IFM para las estaciones climatológicas relacionadas a la zona de estudio

Estación climatológica	IFM	Clasificación de agresividad climática
El Cajoncito	43.232	Muy bajo
El Carrizal	51.205	Muy bajo
El Triunfo	107.673	Moderado
Lagunillas	57.924	Muy bajo
La Paz	33.798	Muy bajo
Los Divisaderos	93.366	Moderado
Los Robles	69.957	Bajo
Los Planes	36.646	Muy bajo
San Antonio Sur	102.142	Moderado
San Bartolo	88.991	Bajo
San Pedro	75.533	Bajo
El Sargento	31.045	Muy bajo
El Rosario	17.266	Muy bajo
Alfredo B. Bonfil	31.287	Muy bajo

Fuente: Elaboración propia en base a la información del Servicio Meteorológico Nacional

Con respecto a los resultados, la mayoría de los valores del Índice de Fournier Modificado se encuentran bajo la clasificación de agresividad climática baja o muy baja.

3.6 Vegetación y cultivos

La flora en la zona de estudio se presenta como el producto de la interacción de diversos factores, siendo afectada por las condiciones climáticas principalmente áridas de la región. Las comunidades vegetales soportan chubascos, lluvias sumamente torrenciales, que arrasan con suelo, semillas y plántulas; las grandes temperaturas con sus amplias variaciones diarias, limitan el establecimiento de las plantas. En la mayor parte de la cuenca El Cajoncito, La Huerta y La Palma se desarrollan matorrales xerófilos¹, como los llamados sarcocaul², que presentan baja cobertura y están constituidos por gran variedad de formas adaptadas a la aridez, arbustos y herbáceas perennes.

Al sur de la ensenada de La Paz, se encuentran zonas de agricultura de riego, con intercalaciones de matorral crasicaule y sarcocaul.

De acuerdo al INEGI, la principal vegetación que se desarrolla en la zona es: torote (*Bursera microphylla*), cardón (*Pachycereus pringlei*), palo adán (*Fouquieria diguetii*), lengua de gato (*Bourreria sonora*), palo verde (*Cercidium microphyllum*), lomboy (*Jatropha cinerea*), choya (*Opuntia cholla*), pitaya dulce (*Lemaireocereus thurberi*) y agria (*Machaerocereus gummosus*), matacora (*Jatropha cuneata*) y ciruela (*Cyrtocarpa edulis*).

Finalmente partiendo de La Paz y hacia Sierra Las Cruces hay una franja de selva baja caducifolia³.

Al norte de la Bahía de La Paz, comúnmente se encuentran: Copal (*Bursera hindsiana*), Sangregado (*Jatropha cinerea*), Palo Verde (*Cercidium microphyllum*), y varias especies de Opuntia y Ferocactus. Especies óptimas, entre otras, para una repoblación de montes.

¹ Reúne las comunidades arbustivas de las zonas áridas y semiáridas de la zona de estudio su flora se caracteriza por que presenta un número variable de adaptaciones a la aridez como son la microfilia, la presencia de espinas y la pérdida de hojas en temporadas sin lluvias, por lo que hay numerosas especies

² Caracterizado por la dominancia fisonómica de árboles y arbustos de tallo grueso, semisuculentos, de madera blanda y con algunas especies de corteza papirácea y exfoliante. Especies características: Agave sebastiana, Bursera hindsiana, B. microphylla, Cercidium sonora, Ephedra aspera, Lophocereus schottii, Pithecellobium confine, Stenocereus gummosus, Yucca valida, Fouquieria diguetii, Ruellia californica, Opuntia invicta, Olneya tesota, Pachycereus pringlei, Pedilanthus macrocarpus.

³ Comunidad vegetal con árboles que se desarrolla en climas cálidos y subhúmedos, semisecos o subsecos, principalmente en laderas de cerros con suelos de buen drenaje.

Existe una franja de vegetación halófila⁴ en la Bahía la Paz y Punta las Pilitas con especies de mangle negro, así como de matorral de dunas⁵ y matorral inerme⁶.

3.6.1 Vegetación actual y distribución de usos del suelo en la zona de estudio

Para la descripción actual de estos usos se utilizó la Cartografía de Usos de Suelo y Vegetación, de INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, escala 1: 250 000. A partir de ella, fue posible agrupar los usos de suelo y vegetación de acuerdo a los siguientes criterios:

0. Zona urbana. Comprende las áreas desprovistas de vegetación o con una cobertura vegetal extremadamente baja. Obtenidos de los conjuntos de datos topográficos escala 1: 250 000.

1. Vegetación halófila. La constituyen comunidades vegetales arbustivas o herbáceas que se caracterizan por desarrollarse sobre suelos con alto contenido de sales, en partes bajas de cuencas cerradas de las zonas áridas y semi áridas, cerca de lagunas costeras y área de marismas.

2. Selva baja caducifolia. Se desarrolla en condiciones climáticas con tipos cálidos, subhúmedos, semisecos o subsecos. El promedio de temperaturas anuales es a 20°C. Esta selva presenta corta altura de sus componentes arbóreos (normalmente de 4 a 10 m, y eventualmente de hasta 15 m o más).

3. Riego. Considera los diferentes sistemas de riego (método con el que se proporciona agua suplementaria a los cultivos durante el ciclo agrícola).

4. Pastizal inducido. Es aquel que surge cuando es eliminada la vegetación original. Este pastizal puede aparecer como consecuencia de desmonte de cualquier tipo de vegetación;

⁴ Agrupa especies vegetales con un elevado nivel de tolerancia a la salinidad y alcalinidad del suelo. Su ubicación es muy amplia y corresponde a superficies que estuvieron bajo la superficie del mar. Especies características: *Ambrosia magdalenae*, *Atriplex barclayana* subespecie *schottii*, *Agave vitzainoensis*, *Euphorbia misera*, *Frankenia grandifolia*, *Opuntia cholla*, *Pachycormus discolor*.

⁵ La flora que se logra establecer en esta superficie parece tratar de fijar el suelo inmediatamente pues la estabilidad de las dunas es baja por la acción del viento. Algunas especies constantes son: *Abronia carterae*, *Asclepias subulata*, *Chaenactis lacera*, *Erazurizia megacarpa*, *Mesembryanthemum crystallinum*, *Proboscidea altheaeifolia*.

⁶ Comprende la franja limitrofe entre el matorral de dunas y el matorral halófilo, pero con mayor densidad vegetal y cobertura que ambos. Las especies características son: *Asclepias subulata*, *Encelia californica*, *Jatropha cinerea*, *Larrea tridentata*, *Rhus microphylla*, *Euphorbia misera*.

también puede establecerse en áreas agrícolas abandonadas. Otras veces el pastizal inducido no forma parte de ninguna serie normal de sucesión de comunidades, pero se establece y perdura por efecto de un intenso disturbio, ejercido a través de tala, incendios, pastoreo.

5. Pastizal cultivado. Se refiere al pastizal que se ha introducido intencionalmente y que para su establecimiento y conservación se realizan algunas labores de cultivo y manejo.

6. Mezquital. Comunidad vegetal formada principalmente por arbustos que se agrupan sobre las dunas de arena de los desiertos áridos, fijándolas progresivamente. Se desarrolla frecuentemente en terrenos de suelos profundos y en aluviones cercanos a escorrentías.

7. Matorral sarcocaulé. Tipo de vegetación caracterizada por la dominancia de arbustos de tallos carnosos, gruesos y frecuentemente retorcidos y algunos con corteza papirácea. Se desarrollan en terrenos rocosos y suelos someros de regiones costeras. Dado las condiciones ecológicas, las actividades pecuarias son limitadas y casi no hay actividad agrícola.

8. Matorral sarco-crasicaulé. Es la comunidad vegetal con gran número de formas de vida o biotipos, entre los que destacan especies sarcocaulés (tallos gruesos carnosos) y crasicaulés (tallos suculentos jugosos). Se desarrolla sobre terrenos ondulados graníticos y coluviones.

9. Cuerpo de agua. Dentro de este estrato se incluyen las playas, lagunas y otras superficies sin ningún aprovechamiento agrario. Obtenidos de los conjuntos de datos topográficos escala 1: 250 000.

De acuerdo a la clasificación anterior, se integra la siguiente distribución superficial de los usos del suelo:

Tabla 13. Usos de suelo en la zona de estudio

Uso de suelo	Cuencas (Superficie km ²)					
	I (El Novillo)	II (El Cajoncito)	III (La Huerta)	IV (La Palma)	V (El Carrizal)	VI (Victoria)
Matorral sarco- crasicaule	48.45	72.14	3.31	50.71	92.02	94.98
Matorral sarcocaulé	57.86	0	73.85	125.04	118.83	42.73
Mezquital	0	0	0	7.29	3.04	3.7
Pastizal cultivado	0	0	0	0.21	6.29	0.39
Riego	12.77	0.29	12.83	16.13	12.14	3.71
Cuerpo de agua	0.91	1.12	0.43	0.57	0	0
Pastizal inducido	0	3.39	0.89	0	0	0
Selva baja caducifolia	0	62.15	22.48	85.57	140.44	0
Vegetación halófila	1.58	0.22	0.04	3.23	0	0
Zona urbana	1.96	32.61	2.62	1.01	0.66	0

Fuente: Elaboración propia

En la cuenca de El Carrizal existe una predominancia de selva baja caducifolia en la parte oriental de la misma, precisamente donde se registran las cotas más elevadas de altura, (Figura 41). También se presenta una alta cobertura de matorral en la cuenca El Novillo y Victoria, pues se integra planicies y monte bajo. La distribución en los usos de suelo para las seis cuencas de estudio es la siguiente:

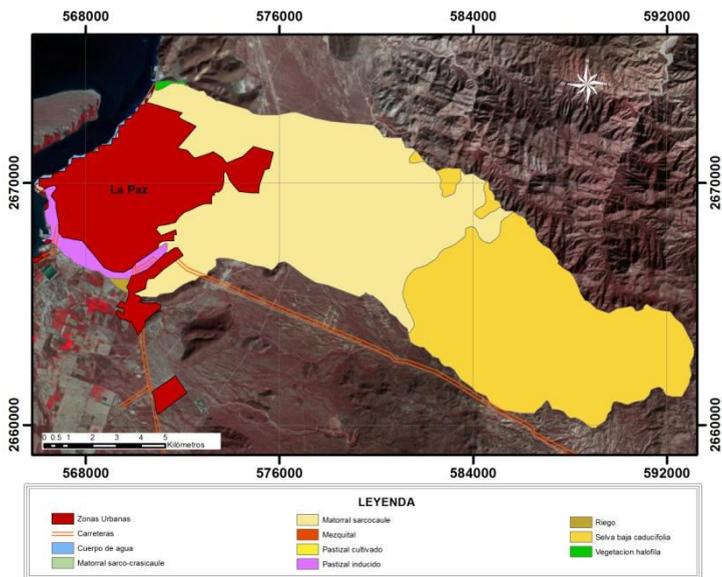


Figura 38. Distribución de usos de suelo en la cuenca El Cajoncito

Fuente: Elaboración propia

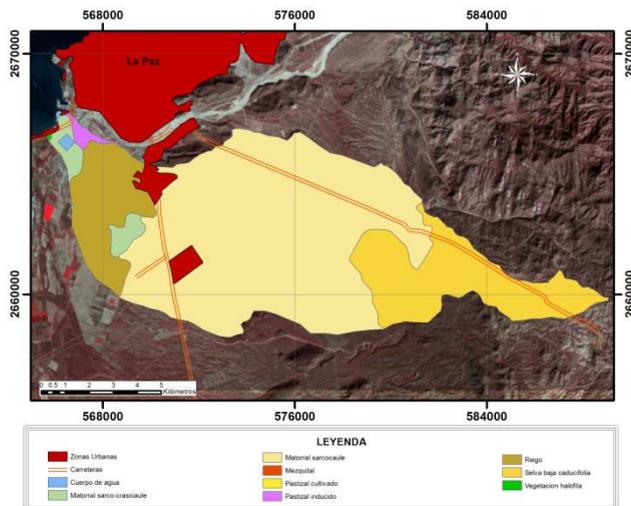


Figura 39. Distribución de usos de suelo en la cuenca La Huerta

Fuente: Elaboración propia

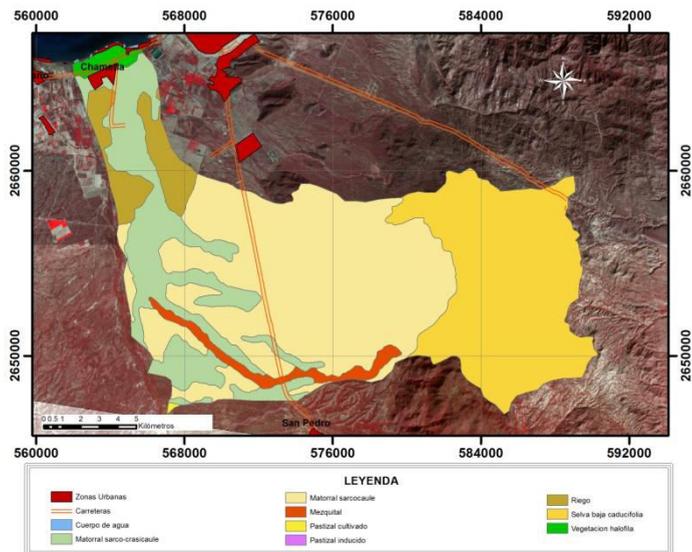


Figura 40. Distribución de usos de suelo en la cuenca La Palma

Fuente: Elaboración propia

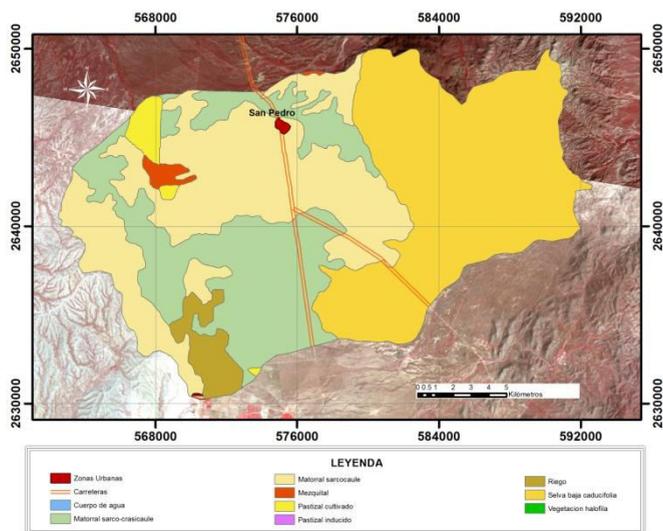


Figura 41. Distribución de usos de suelo en la cuenca El Carrizal

Fuente: Elaboración propia

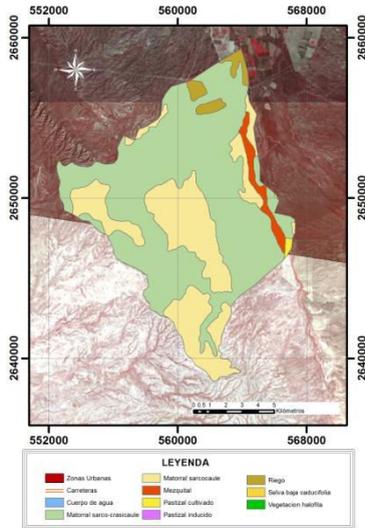


Figura 42. Distribución de usos de suelo en la cuenca Victoria

Fuente: Elaboración propia

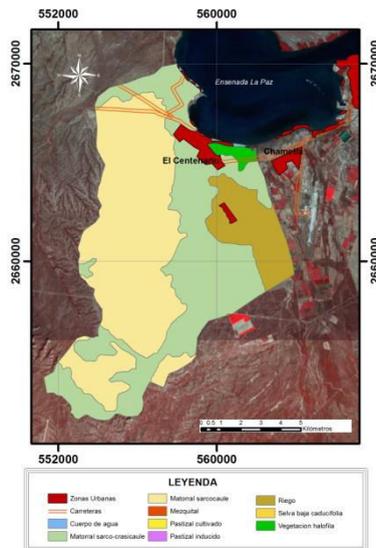


Figura 43. Distribución de usos de suelo en la cuenca El Novillo

Fuente: Elaboración propia

A nivel regional los principales cambios de uso del suelo y vegetación son de origen antrópico y se han dado por el crecimiento de las ciudades y la expansión de las actividades agropecuarias.

Los tipos de vegetación que mayor disminución sufrieron fueron el matorral, los pastizales, la agricultura de temporal y la agricultura de riego y humedad. Existen otros tipos de vegetación que presentan disminución e incrementos significativos, pero están asociados a la dinámica de los cuerpos de agua costeros (como es el caso de la vegetación halófila, otros tipos de vegetación y áreas sin vegetación aparente) o a procesos de reforestación en las zonas boscosas.

Las especies de mezquite representadas en la cuenca de La Palma, son freatofíticas ya que extraen agua del subsuelo mediante su gran sistema radicular que se ha encontrado a 80 metros de profundidad; se consideran resistentes a la sequía y se presentan en áreas con precipitaciones menores de 250 a 500 milímetros o más según la región. La eficiencia en el uso del agua es variable y se encuentra entre los 205 a 19,700 kg de agua/kg de materia seca producido. Existen algunas especies tolerantes a las altas temperaturas y otras a las heladas, pero el máximo crecimiento se ha encontrado a 30°C; se desarrollan en diferentes niveles de salinidad y se ha encontrado un ligero decremento en el crecimiento a niveles de salinidad de 36,000 mg de cloruro de sodio/litro de solución, siendo *Prosopis articulata* una de las especies más tolerantes a la salinidad entre otras (Felker, 1979).

Ésta y otras especies pueden ser utilizadas para la recuperación de tierras agrícolas con problemas de salinidad en suelo y agua del Estado de Baja California Sur, además de que se consideran útiles para la estabilización y mejoramiento del suelo al incrementar el contenido de materia orgánica, mejorar la capacidad de almacenamiento de agua y la tasa de infiltración y la cantidad de nitrógeno en el suelo.

3.7 Tenencia de la tierra

En la zona de estudio existe un importante número de familias de *rancheros paceños*, en su mayoría oriundos de la ciudad de La Paz, que desde tiempos ancestrales han venido luchando por la regularización de sus tierras.

La dinámica de crecimiento del centro de población ha originado la formación de zonas irregulares, que consisten mayoritariamente en la falta de documentos legales que acrediten la propiedad de vivienda de los ciudadanos, que en la mayoría de las ocasiones adquieren predios ejidales que aun no cuentan con dominio pleno y por ende, las lotificaciones que se realizan así como la compra venta de las fracciones de una parcela se consideran irregulares, siendo que al no estar considerados en algún registro de propiedad son inexistentes administrativamente, por lo que principalmente carecen de servicios urbanos básicos como agua, drenaje, servicio de recolección de basura entre otros, ocasionando así, desbalances en el gasto publico municipal y estatal, sin embargo esta no es la peor cara, ya que los habitantes de estos asentamientos viven en condiciones no dignas y con la cantidad de problemas que esto conlleva.



Figura 44. Panorámica de la zona urbana de la ciudad de La Paz, rodeada por la Ensenada de La Paz

Fuente: Elaboración propia

En estos asentamientos la vivienda se ha edificado a partir de un proceso de autoconstrucción y debido a esto se observa la utilización de materiales peligrosos como lo es el cartón o la madera principalmente en los asentamientos irregulares que se presentan en la zona de estudio, dándose un proceso de mejoramiento constante por parte de sus habitantes en la medida de sus posibilidades.

El agua es abastecida por pipas, no existe drenaje y los caminos son de terracería. La mayoría de estas construcciones se encuentran en zonas de riesgo, debido a que se ubican en las faldas de los arroyos, que en épocas de lluvia genera el desbordamiento de los cauces, provocando pérdidas materiales e incluso humanas.

Se tiene conocimiento que desde que se ejecutó el Programa de Actualización de Catastro Rural⁷, se regularizó la tenencia de la tierra de diversas poblaciones, aunque no en su totalidad.

Para 1997 en el municipio de la Paz se identifica una superficie de origen ejidal, comunal o de propiedad federal por regularizar de 16.8 hectáreas y un total de 178 lotes, para el 2003 se regularizaron un total de 2.49 hectáreas equivalente a 49 lotes regularizados que corresponde al 16.18% de las 15.4 hectáreas regularizados en el periodo 1998 al 2003, regularizándose un 91.66% de la superficie de origen ejidal, comunal o de propiedad federal con respecto a 1997.

⁷

Programa Vigente a 2006, de la Secretaría de la Reforma Agraria, a través del Registro Agrario Nacional; Dirección General de Catastro Rural, www.ran.gob.mx

Tabla 14. Lotes y superficies de origen ejidal, comunal o de propiedad federal regularizados, por regularizar y superficie promedio por lote en el municipio de La Paz, 1998-2003

Número de lotes por regularizar a diciembre de 1997		Lotes regularizados											
		1998		1999		2000		2001		2002		2003	
Lotes	Superficie (Has)	Lotes	Superficie (Has)	Lotes	Superficie (Has)	Lotes	Superficie (Has)	Lotes	Superficie (Has)	Lotes	Superficie (Has)	Lotes	Superficie (Has)
176	16.8	21	2.26	20	1.8	39	3.4	14	1.34	11	0.74	49	2.49

Fuente: Registro Agrario Nacional (RAN), Subdelegación Técnica BCS.

De acuerdo con el Registro Agrario Nacional (RAN), en el municipio de La Paz se expidieron certificados para ordenar y regularizar la propiedad rural y urbana: 668 certificados parcelarios para 1998, 365 certificados en el 2002 y 1 para el 2003; así mismo se expidieron 188 certificados de uso común en 1998; 3 en el 2002 y 2 en 2003, por lo que se considera que se realiza un trabajo constante y acertado en la regularización de la propiedad.

3.8 Características socioeconómicas

Con la consideración de que la población de una cuenca es la beneficiaria de las actuaciones que en ella se producen, resulta de gran relevancia conocer su medio de vida, infraestructura, actividades que en ella se realizan y todas las características socioeconómicas restantes de la zona.

Las principales localidades del municipio de La Paz que se encuentran dentro de las cuencas de estudio son:

Tabla 15. Núcleos poblacionales importantes en el municipio de La Paz

Localidad	Población (habitantes)	Altitud (msnm)	Distancia a la capital del municipio (km)
La Paz	251,871	27	0
Chametla	1,731	5	10
El Centenario	3,626	15	15

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2010

3.8.1 Demografía y análisis de la población

El Estado de Baja California Sur registró en el Censo General de Población y Vivienda del año 2010, una población de 637 026 habitantes, lo que representa el 0.5% del total nacional. Mientras que en el Municipio de La Paz se contabilizó, en el mismo año, una población de 258 478 habitantes.

En lo referente a la distribución espacial de la población, existe una marcada concentración de la misma en el municipio de La Paz, el cual, para el año 2010 albergaba el 39.5 % del total de los habitantes del estado. Sin embargo, ante el explosivo crecimiento demográfico que ha venido experimentando el municipio de Los Cabos en las últimas décadas y el ritmo decreciente en la dinámica poblacional del resto de los municipios, la tendencia histórica ha venido cambiando ligeramente.

En la ciudad de La Paz y las subdelegaciones aledañas de San Juan de la Costa, Alfredo V. Bonfil, El Centenario, Chametla, El Calandrio, y San Pedro residen 225 022 habitantes, de los cuales 111 511 son mujeres y el resto hombres (INEGI, 2010), por lo que existe un equilibrio entre la distribución de la población, aunque sí de densidad de población se refiere, el cambio ha sido mínimo en los últimos 10 años.



Figura 45. Municipios de Baja California Sur

Fuente: Elaboración propia

Así se observa que para 1980 el municipio de La Paz concentraba el 51.7 %, seguido de Comondú con el 24.3 % y Los Cabos contaba, para esas fechas, con tan solo el 8.9% del total de la población de la entidad. Para el año 2000 La Paz reduce su participación porcentual al 46.4 %, Comondú lo hace notoriamente al 15.1 % y Los Cabos incrementa su participación al 24.8 %, colocándose ya como el segundo municipio más poblado después de La Paz (ver tabla 16).

Tabla 16. Distribución porcentual de la población en Baja California Sur

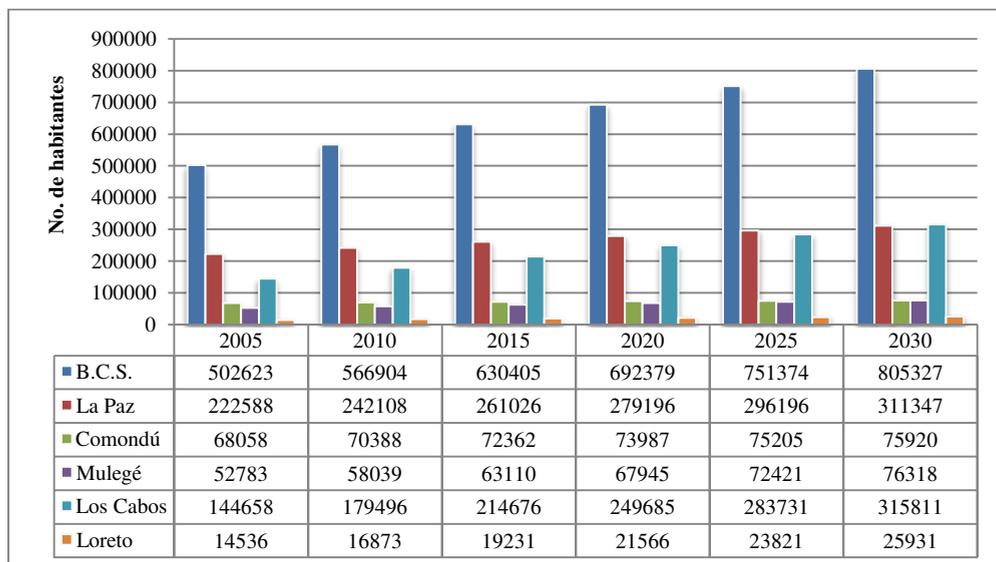
Municipio	1960	1970	1980	1990	1995	2000
Comondú	17.2	22.9	24.3	20.8	17.6	15.1
Mulegé	18.1	15.2	12.5	12.1	12.2	10.9
La Paz	47.6	47.7	51.7	50.7	48.6	46.4
Los Cabos	14.8	11.9	8.9	13.8	18.9	24.8
Loreto	2.4	2.2	2.6	2.5	2.7	2.8

Fuente: VIII, IX, X, XI y XII Censo General de Población y Vivienda y Censo de Población y Vivienda. INEGI

El fenómeno de la distribución de la población adquiere una mayor relevancia si lo observamos en términos de densidad de población. El estado de Baja California Sur es para el año 2010, la entidad federativa con menor densidad poblacional del país, con tan sólo 10 habitantes por kilómetro cuadrado. Sin embargo, al observar las densidades de población en cada uno de los municipios que conforman el estado, se pone de manifiesto la desigualdad en esta distribución y por consiguiente el mal aprovechamiento del espacio que se tiene en Baja California Sur. Municipios como Mulegé, Loreto y Comondú presentan una densidad de población de 1.4, 2.4 y 5.3 habitantes por kilómetro cuadrado respectivamente. Mientras que los municipios de La Paz y Los Cabos tienen una densidad de 9.7 y 29.8 habitantes por kilómetro cuadrado respectivamente.

De acuerdo a las proyecciones de crecimiento estimadas por el Consejo Nacional de Población (CONAPO), las tendencias de crecimiento para el Estado de Baja California Sur y de sus municipios es la siguiente:

Tabla 17. Proyecciones de crecimiento de población 2000-2030



Fuente: Comisión Nacional de Población (CONAPO).

Relativo al tema de migración, el estado de Baja California Sur es una entidad que se caracteriza por tener una de las tasas más elevadas de inmigración, con población proveniente de otros estados de la República Mexicana. Se observa que el 65.7% de la población residente es nativa de la entidad, el 32.5% nació en otro estado y el 0.7% nació fuera del país.

En cuanto al municipio de La Paz en el año 2000 el 28.7% de la población nació en otros estados del país, habiendo disminuido 1.9% con respecto a 1990. Los motivos más importantes por las que las personas deciden cambiar su lugar de residencia en el municipio de La Paz, se encuentra la búsqueda de empleo, registrando el 23.2%; por reunión con la familia el 21%; cambio de lugar de trabajo el 9.8%; matrimonio o unión el 2.9%; estudios el 2.7%; salud, violencia o inseguridad el 1.5%; y, otras causas el 12.8%.

El principal país que es destino de los emigrantes sudcalifornianos es Estados Unidos de América con el 90.9%, mientras que la proporción nacional es de 96.1%. El porcentaje de emigrantes del estado cuyo destino es el resto del mundo es de 5.1%, contra el 2.9% a nivel nacional. El estado de Baja California Sur está ubicado en la posición número

32 en la recepción de remesas; lo que representó en el año 2006, una importante entrada de dinero en esta entidad de casi \$25 millones de dólares; ingresos que son utilizados por las familias del estado en diversos rubros como son: educación, salud y vivienda.

3.8.2 El mercado de trabajo

Baja California Sur es uno de los estados con más baja participación en la generación del Producto Interno Bruto (PIB) nacional. Si bien este indicador ha registrado un crecimiento global importante en las últimas cuatro décadas, su tendencia es decreciente, fenómeno que se acentúa en las décadas de los años mil novecientos ochenta y noventa.

La estructura económica de la entidad durante el periodo 1970-1999 sufrió importantes cambios. En la misma se observó una marcada orientación productiva hacia el sector terciario, a consecuencia de la existencia de recursos turísticos de singular valor y, por otra, de la acción de factores e intereses foráneos muy poderosos, lo que se refleja en la participación de la actividad terciaria en el PIB estatal (en 1970 aportó el 63.6% del producto estatal y en 1999 esta magnitud representó el 76.3%).

Este sector ha sido y es en la actualidad el de mayor dinamismo, tanto en valores absolutos como relativos. Se destacan en su estructura los servicios financieros, seguros, actividades inmobiliarias y de alquiler. Esto le confiere un sello característico a la economía sudcaliforniana, cuyos efectos a mediano y largo plazos pueden resultar en extremo desfavorables de no promoverse, de manera permanente acciones de planeamiento y control por las instituciones de gobierno.

Paralelamente se observa una fuerte concentración de la generación del PIB estatal en los municipios de La Paz y Los Cabos que aportan el 41.2% y el 33.3% del mismo, respectivamente. Tomados en conjunto, generan el 75% del producto de la entidad, lo que muestra el profundo desequilibrio económico y social que caracteriza este espacio económico. En estos municipios el sector terciario es el de mayor peso, en ambos casos genera más del 80% del PIB de sus economías (INEGI, 2010).

La población económicamente activa en el municipio de La Paz presenta la siguiente distribución:

Tabla 18. Población económicamente activa por rama de actividad

Sector	Porcentaje
Primario (Agricultura, ganadería y pesca)	7.99
Secundario (Minería, petróleo, industria)	19.60
Terciario (Turismo, comercio y servicios)	69.36
Otros	3.05

Fuente: XII Censo General de Población y Vivienda 2000, INEGI

3.8.3 Análisis de cada uno de los sectores económicos

3.8.3.1 Sector primario

El municipio de La Paz tiene una extensión territorial de 202,750 hectáreas, de las cuales 13 por ciento se utilizan alternadamente en actividades agrícolas (INEGI). De estas, 78 por ciento son irrigadas, 21.5 por ciento son pastizales y apenas 0.5 por ciento es utilizada para realizar agricultura de temporal.

Para el ciclo 2004-2005, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) reportó una extensión de 3,995 hectáreas sembradas. De acuerdo al valor comercial que generan, las hortalizas son las que tienen mayor importancia y, entre la producción ganadera, es el bovino el más importante (95%) seguido de lejos por el caprino (5%). Las ventajas comparativas del Estado en materia agrícola se basan principalmente en la ausencia de heladas en época de invierno y que se encuentra libre de plagas como la mosca de la fruta, el carbón parcial y la abeja africana.

Las tierras que actualmente se destinan a la agricultura de temporal suman 62 hectáreas. A pesar de ser una superficie tan pequeña la que tiene esta ocupación, el número de hectáreas aptas para ello, según la información brindada por agrónomos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) es mucho mayor, llegando a sumar 21,271 hectáreas (10% del municipio). Éstas se ubican al sur de la ciudad

de La Paz y hacia Los Planes, principalmente en las zonas con pluviometría de entre 200 y 400 milímetros por año, suelos de tipo regosol y de baja pedregosidad.

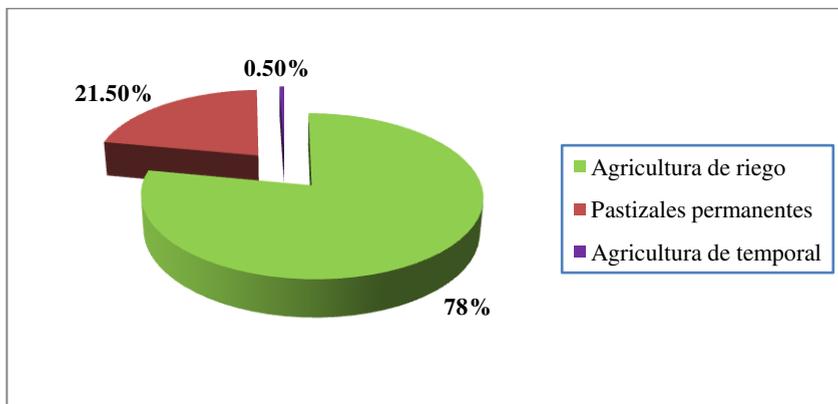


Figura 46. Distribución de la superficie agrícola en el municipio de La Paz

Fuente: INEGI, Carta de vegetación y uso actual del suelo. Serie III, Escala 1:250 000

La agricultura de riego se visualiza en 20,575 hectáreas según la cartografía de INEGI para el año 2002 y se concentra en terrenos aledaños a la ciudad de La Paz, Los Planes y en la planicie de El Carrizal. La Comisión Nacional del Agua ha decretado una veda a la concesión de nuevos pozos de agua con fines agrícolas por lo que la superficie irrigada se encuentra restringida. A cambio de esto, CONAGUA ha promovido el desvío de aguas grises para irrigación que provienen principalmente de las plantas de tratamiento de la ciudad de La Paz y de Los Planes.

La plantilla de cultivos denota que la especialización de la agricultura irrigada con agua del acuífero de La Paz es en torno a la producción de verduras y hortalizas. Es interesante notar que los cultivos con menor valor de producción son el maíz y el frijol, mientras que los de mayor valor son el tomate rojo y el chile verde.

En el Distrito de Desarrollo Rural de La Paz, la producción promedio anual en los últimos cinco años ha sido de 127,894 toneladas de productos agrícolas, principalmente alimentos de consumo humano. El promedio del valor total de la producción generada del 2003 al 2008 fue de aproximadamente \$639 millones de pesos por año. Por cada hectárea cultivada y regada, se genera un valor de producción de \$219,000 pesos/hectárea por año.

Para estimar el retorno real de la agricultura del valle agrícola de La Paz, se requiere información detallada de costes de producción por cultivo, además de costes y volúmenes de entrega de agua también por cultivo, sin embargo esta información no está disponible para su consulta.

La sobreexplotación de los acuíferos ha propiciado una reducción de las áreas destinadas a la agricultura a nivel estatal. Los principales cultivos obtenidos dada su rentabilidad, son el trigo, algodón y garbanzo, que en los últimos años han ocupado alrededor del 70 por ciento de la superficie total sembrada.

La explotación ganadera es de tipo extensivo en su mayoría y de libre pastoreo. Su producción es limitada por los índices de agostaderos que se observan en casi la totalidad de las superficies destinadas a esta actividad y que registran desde 80 hectáreas por unidad animal. Mayoritariamente se comercializa tanto la carne como la leche. Uno de los problemas elementales que atraviesa este subsector es la falta de fuentes de abastecimiento de agua para abreviar el ganado ya que se considera muy escasa la precipitación pluvial que se presenta en todo el territorio estatal.

La actividad pesquera en la región es de suma relevancia, y es a partir de los años cuarentas donde adquiere mayor importancia en la economía estatal, debido al apoyo del Gobierno Federal y a la participación de pescadores organizados, iniciándose de este modo la operación de sociedades cooperativas de producción pesquera, explotándose especies de alto valor comercial como el abulón, la langosta y el atún entre otros; situación que dio lugar a un éxodo hacia la zona Pacífico norte del estado donde se crearon las primeras comunidades pesqueras importantes. La actividad continúa siendo prioritaria para el desarrollo integral de Baja California Sur, su fuente de alimentos, empleo y divisas, así como por las ventajas que ofrecen las condiciones de la situación geográfica y el potencial pesquero disponible.

En el subsector acuicultura se cuenta con 220 mil hectáreas de aguas protegidas, lo que le permite guardar un lugar privilegiado por sus condiciones ecológicas, no sólo dentro del contexto nacional sino mundial. De tal forma, en los últimos años, se ha venido canalizando una fuerte cantidad de inversiones hacia el desarrollo de la acuicultura y se han

llevado a cabo cultivos de ostión japonés, de almeja catarina, de camarón, y experimentalmente de callo de hacha.

3.8.3.2 Sector secundario

Dentro del Programa Estatal de Minería de B.C.S. para el municipio de La Paz se incluyen cuatro regiones para el desarrollo regional del sector minero: 1) Región Pacífico Central, 2) Región La Paz, 3) Región Pacífico Sur, y 4) Región Golfo Sur.

En la región Pacífico Central existen potenciales mineros de interés comunitario, sin embargo se deberán fomentar estudios para ver la factibilidad de los mismos. Dentro de la región de La Paz en la micro región Los Dolores existe una asignación minera “San Hilario Santa Rita” de fosfatos con una superficie de 161,900 hectáreas. En la comunidad de San Evaristo existe una zona potencial para la producción de sal marina por evaporación, que está siendo explotada por un grupo social de trabajo de la comunidad.

En la micro región de La Paz conurbada, la empresa Roca Fosfórica Mexicana (ROFOMEX) tiene concesiones que amparan la explotación y exploración de 26,000 hectáreas aproximadamente. Por su parte, en la micro región Sureste de La Paz el grupo ejidal minero San Antonio junto con la empresa canadiense Echo Bay México y la empresa Minera Caopas, S.A de C.V tienen una superficie para explorar de 1, 336 hectáreas, además la empresa Texcalama una superficie de 1, 039 hectáreas. Los mineros ejidales del Triunfo se han dedicado a explotar oro y plata en los siguientes sitios: El Triunfo Ampliación con una superficie de 3,140 hectáreas y Reducción El Triunfo Fracción I con una superficie de 1,975 hectáreas. Echo Bay México contaba en 1995 con una superficie concesionada de aproximadamente 25,000 hectáreas, y por su parte la Minera Tepmin, S.A de C.V contaba con una superficie mayor a 5,000 hectáreas.

En Baja California Sur el desarrollo industrial se fundamenta en la existencia de recursos naturales y materias primas disponibles en volúmenes industrializables que actualmente son importados a otras entidades.

3.8.3.3 Sector terciario

La actividad comercial es muy importante para Baja California Sur no sólo por los problemas que plantea su aislamiento al ser parte de una península y presentar dificultades de transporte y mercado local muy reducido, sino también porque el desarrollo de esta actividad debe continuar siendo un factor de apoyo indispensable para el funcionamiento de otras actividades tales como el turismo, pesca, industria y agropecuaria.

El comercio de Baja California Sur ha incrementado su volumen de compras nacionales, limitando importaciones a artículos indispensables y que no se fabrican en México; este cambio se está presentando de una manera gradual.

En cuanto al tema turístico se refiere, el Municipio de La Paz cuenta con recursos naturales y culturales para convertirse en un destino importante en el mercado turístico nacional e internacional. Este municipio posee enormes bellezas como el mar, sus playas, el clima y una enorme riqueza de fauna marina que son atractivos para los turistas que buscan el contacto con la naturaleza; es por esto que cada día adquiere mayor importancia el turismo alternativo, en la Ciudad de La Paz, así como en algunas localidades del municipio. Estas condiciones naturales son propicias para que La Paz pueda convertirse en un centro ideal para observar la flora y fauna, práctica de kayak, wind surf, ciclismo de montaña, destacando también su atractivo cultural que presentan las misiones y su historia. La Paz ha conservado su ambiente prístino, lo que convierte a este sitio en un lugar ideal para las actividades eco turísticas.

En función de las características del territorio se han identificado cinco zonas turísticas: al norte la península de Balandra, que abarca desde Punta Prieta hasta la Punta del Rosario; Sierra del Novillo que comprende desde Punta del Rosario hasta La Ventana; Los Planes que se inscriben desde La Ventana hasta límite sur de Bahía de Muertos; San Juan de La Costa, que se delimita con la zona montañosa del Tule, Mesa Portero de los Venados y Cerro Blanco y el Valle de la Paz que se inscribe en las zonas montañosas de la Sierra del Novillo y la que forma San Juan de la Costa.

El desarrollo de esta actividad no se identifica con objetividad en todas las zonas, sin embargo se observa en las cifras disponibles sobre derrama económica que ha generado, particularmente en el valle de La Paz, que dan idea de la importancia que ha adquirido, últimamente esta actividad en su ciudad capital de La Paz.

3.9 Hidrología

3.9.1 Reseña Hidrográfica

El Estado de Baja California Sur, de acuerdo a la clasificación nacional (INEGI, 1995) pertenece a las Regiones Hidrológicas RH2 y RH3 en la vertiente del Océano Pacífico y a RH5 y RH6 en la vertiente del Mar de Cortés, nombradas de norte a sur. La región hidrológica RH6 se subdivide en cuencas, definidas por los arroyos El Cajoncito, La Huerta, La Ardilla, La Palma y El Novillo. Las seis cuencas de estudio pertenecen de acuerdo a esta clasificación hidrológica nacional a la porción sur de la región hidrológica 6.

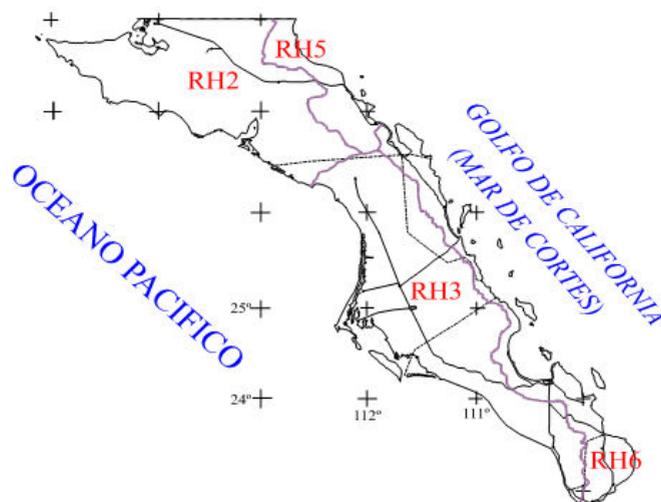


Figura 47. Regiones hidrológicas de la Península de Baja California

Fuente: Comisión Nacional del Agua, elaboración propia

La cuenca de El Cajoncito, situada en el extremo noreste de la cuenca de La Paz, es dominada por el arroyo principal del mismo nombre, El Cajoncito, que drena hacia y a través de la ciudad de La Paz y que se origina en la Sierra de Las Cruces. Sobre este arroyo se ubica la Presa La Buena Mujer (Figura 48), que fue inaugurada en 1985 y regula en buena medida gran parte de la cuenca. Esta presa se cimentó sobre material fallado asociado a la Falla de La Paz. El arroyo El Cajoncito también funciona como colector de escorrentía para toda su región de influencia y su importancia radica en que la ciudad de La Paz está construida sobre la parte activa de su abanico aluvial por lo que puede llegar a causar desastres en eventos ciclónicos.



Figura 48. Foto de la Presa La Buena Mujer

Fuente: Elaboración propia

Recorriendo territorio hacia el sur de la cuenca El Cajoncito, se ubica la cuenca de La Huerta, siguiendo el arroyo principal denominado La Huerta, que recorre 19.5 km. A escasos 5.6 km de su origen recibe las aguas de la cañada Sta. Clara y a 17.7 km se une a Chametla; atraviesa un fraccionamiento y zonas agrícolas; a 23.6 km de su origen recibe aguas del Calandrio y corre paralelo al arroyo El Cajoncito.

Posteriormente se localiza la cuenca de La Palma, ubicada al sur de la cuenca La Huerta. Esta cuenca está regida por el arroyo principal llamado La Palma, que funciona como el colector principal que conduce agua hacia la Ensenada de La Paz. Es importante considerar que gran parte de la escorrentía no alcanza a llegar al colector principal debido a las condiciones de alta permeabilidad y baja pendiente del terreno. El arroyo La Palma es de orden uno y se caracteriza por presentar un largo cauce, desciende de las sierras localizadas al este de la cuenca, para después confluir en ángulo recto con las corrientes principales.

En la zona oeste de estudio, se localizan las dos cuencas restantes, Victoria y El Novillo que son marcadas por el curso medio del arroyo El Novillo, que en buena medida atraviesa casi la mayor parte de la cuenca La Palma. En el afluente medio de El Novillo se puede localizar vegetación como el mezquital.

Por la topografía de Baja California Sur, las escorrentías presentan dirección sur – norte, confluyendo la mayor parte de ellos en la zona de planicie, situada kilómetros antes de su desembocadura en la ensenada de La Paz, en cuya costa se ubica la parte sur de la zona urbana de La Paz, y las localidades de El centenario y Chametla. A continuación se presentan los mapas de pendientes para cada una de las cuencas de estudio.

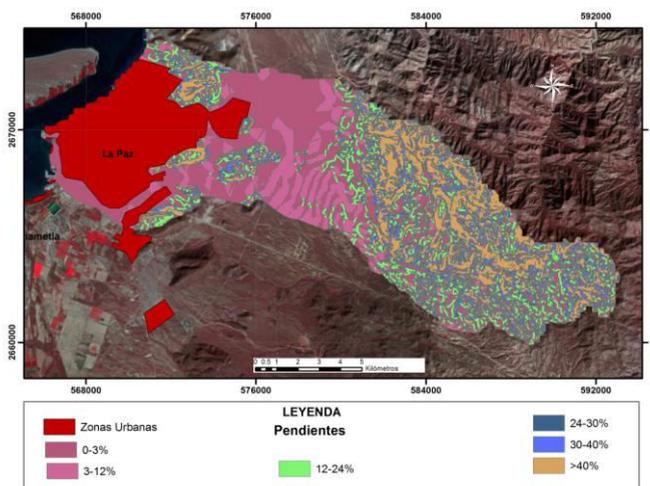


Figura 49. Mapa de pendientes en la cuenca El Cajoncito

Fuente: Elaboración propia

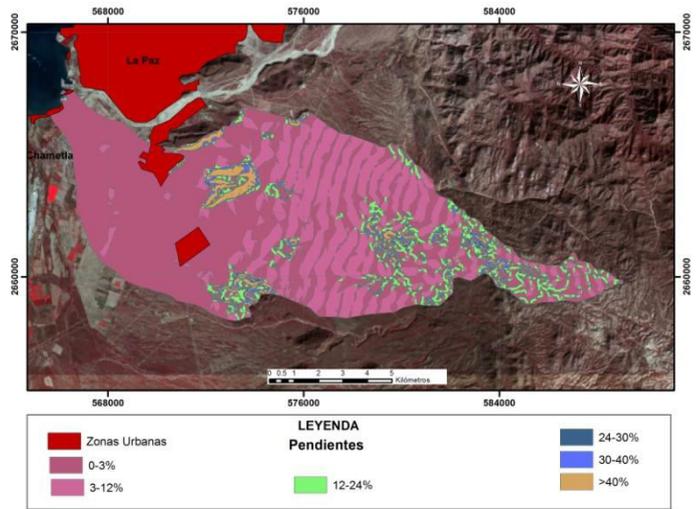


Figura 50. Mapa de pendientes en la cuenca La Huerta

Fuente: Elaboración propia

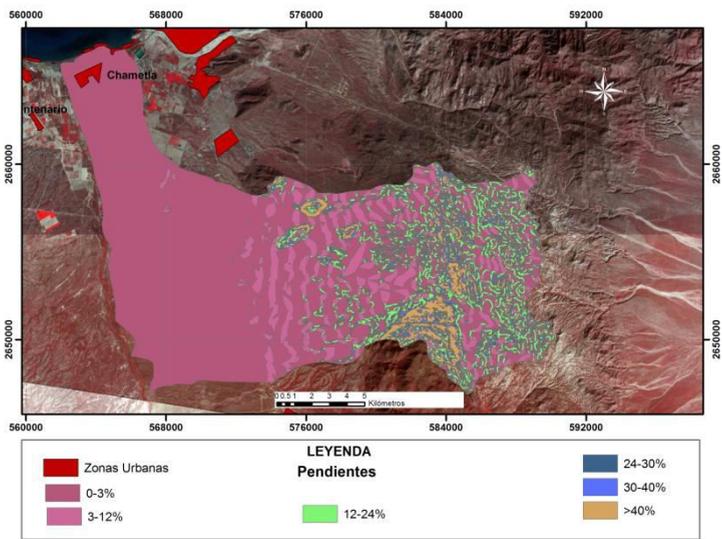


Figura 51. Mapa de pendientes en la cuenca La Palma

Fuente: Elaboración propia

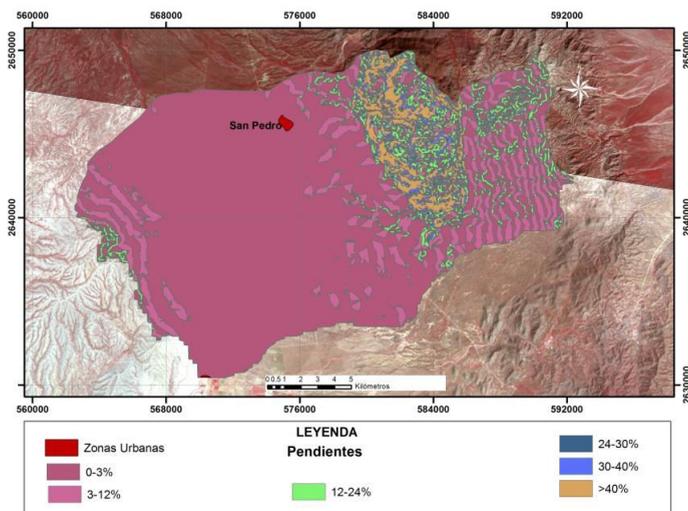


Figura 52. Mapa de pendientes en la cuenca El Carrizal

Fuente: Elaboración propia

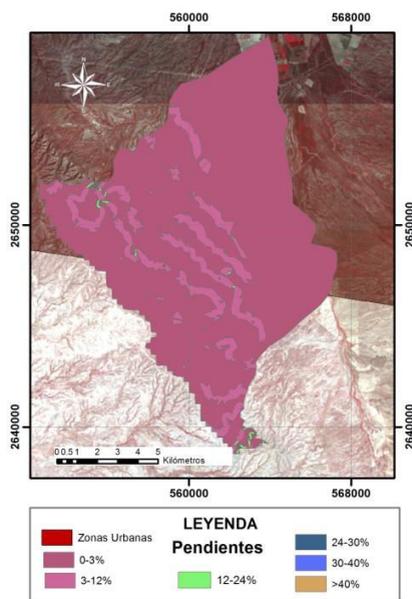


Figura 53. Mapa de pendientes en la cuenca Victoria

Fuente: Elaboración propia

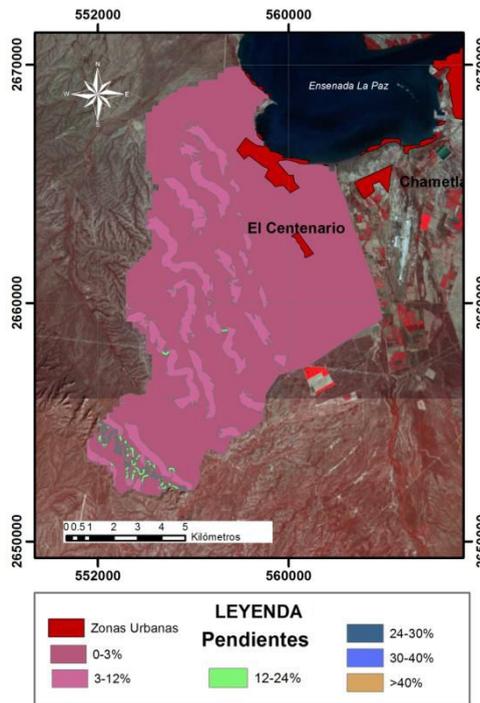


Figura 54. Mapa de pendientes en la cuenca El Novillo

Fuente: Elaboración propia

3.9.2 Parámetros de forma

A partir de la morfología de las cuencas de estudio, se obtienen los parámetros de forma, relieve y los relativos a la red hidrográfica. Con ello se pretende caracterizar la zona de estudio, teniendo así un panorama más completo de la región de trabajo.

3.9.2.1 Coeficiente de Gravelius

Este coeficiente determina la influencia del contorno de una cuenca (su forma y su superficie) en los escurrimientos y marcha de los hidrogramas resultantes de una precipitación dada. Este está definido como la relación entre el perímetro P y el perímetro de un círculo que contenga la misma área A de la cuenca hidrográfica.

$$Cg = \frac{P}{2(\pi \cdot A)^{1/2}} \approx 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde,

Cg Coeficiente de Gravelius

P Perímetro de la cuenca

A Superficie de la cuenca

El coeficiente de Gravelius será mayor o igual a la unidad, de modo que cuanto más cercano a ella se encuentre, más se aproximará su forma a la del círculo, en cuyo caso la cuenca tendrá mayores posibilidades de producir crecientes con mayores picos (caudales). De otra forma cuando “Kc” se aleja más del valor unidad significa un mayor alargamiento en la forma de la cuenca. Obteniendo así la cuenca La Palma el coeficiente mayor de todos, relacionado evidentemente a una forma alargada de la cuenca.

Tabla 19. Coeficiente de Gravelius para cada cuenca de estudio

Cuenca	A (km ²)	Perímetro	Cg
I (El Novillo)	124.48	54.7	1.372763009
II (El Cajoncito)	172.35	73.11	1.559298178
III (La Huerta)	116.81	60.81	1.575407914
IV (La Palma)	290.07	96.83	1.591902833
V (El Carrizal)	373.79	90.87	1.31602676
VI (Victoria)	145.79	61.55	1.427322857

Fuente: Elaboración propia

3.9.3 Parámetros de relieve

Un modelo digital de elevación (DEM) libre de sumideros, un DEM sin depresión, es la entrada deseada al proceso de dirección de flujo de una cuenca hidrográfica. La presencia de sumideros puede ocasionar un ráster de dirección de flujo con error. En algunos casos pueden haber algunos sumideros legítimos en los datos. Es importante comprender la

morfología del área lo suficientemente bien para saber qué entidades pueden ser realmente sumideros en la superficie de la tierra y cuáles son solamente errores en los datos. A continuación se presentan los DEM de cada una de las cuencas de estudio, en donde se percibe la diferencia de cotas y cómo la tipología de cada cuenca es diversa en cuanto a su relieve se refiere.

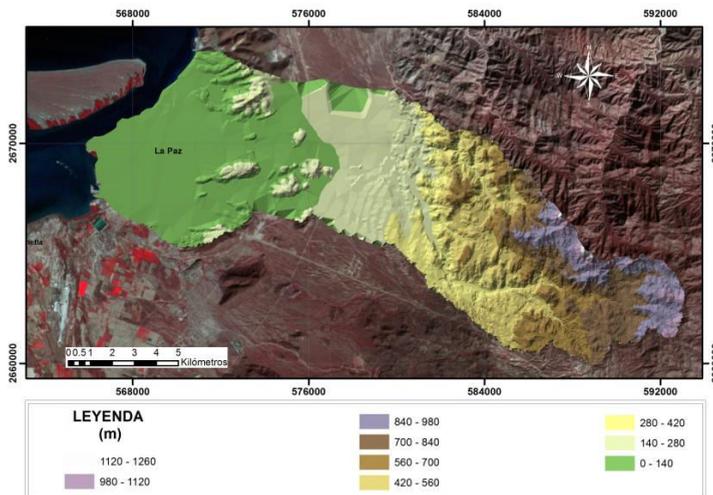


Figura 55. Modelo MED de la Cuenca El Cajoncito

Fuente: Elaboración propia

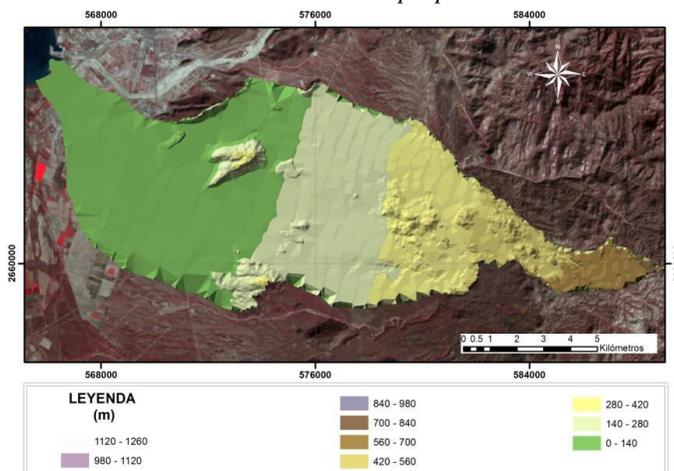


Figura 56. Modelo MED de la Cuenca La Huerta

Fuente: Elaboración propia

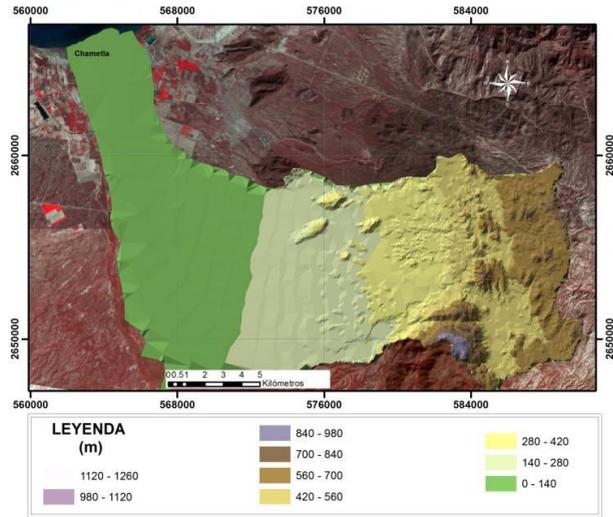


Figura 57. Modelo MED de la Cuenca La Palma

Fuente: Elaboración propia

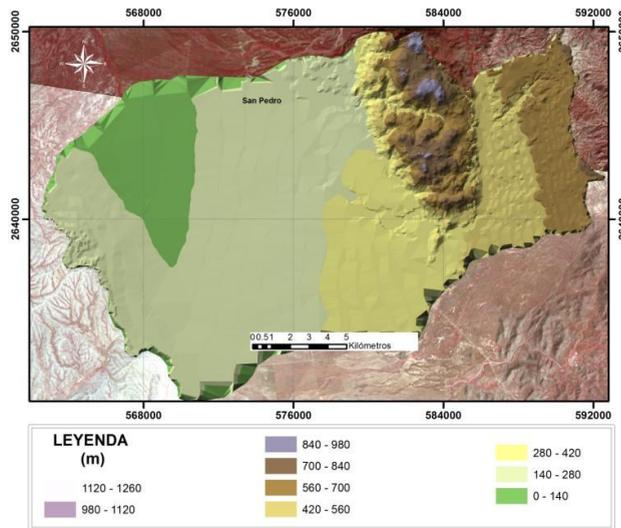


Figura 58. Modelo MED de la Cuenca El Carrizal

Fuente: Elaboración propia

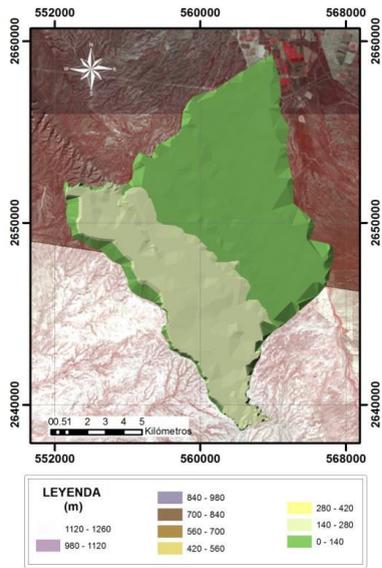


Figura 59. Modelo MED de la Cuenca Victoria

Fuente: Elaboración propia

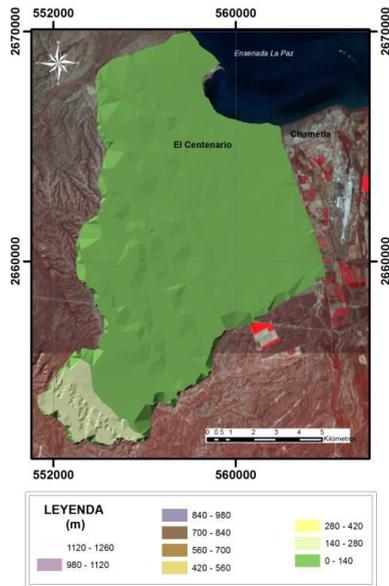


Figura 60. Modelo MED de la Cuenca El Novillo

Fuente: Elaboración propia

3.9.4 Parámetros relativos a la red hidrográfica.

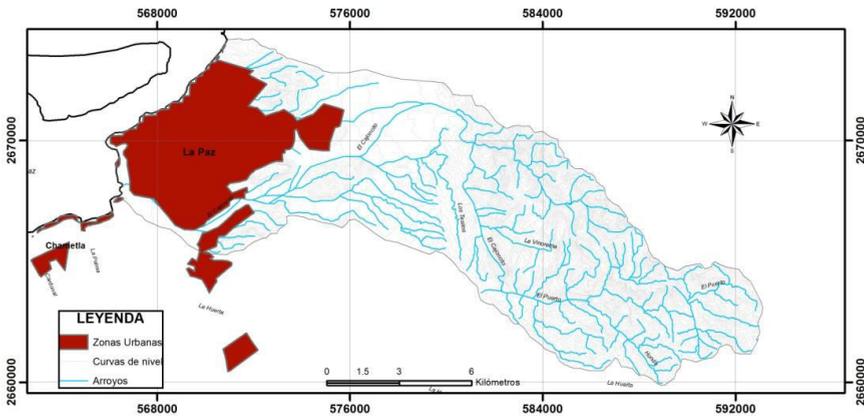


Figura 61. Red de drenaje en la cuenca El Cajoncito

Fuente: Elaboración propia

La red de drenaje en Baja California Sur es extensa y sumamente densa. No tiene ríos o flujos de agua permanentes. Solamente cuenta con la presencia de cursos de agua efímeros, arroyos, que en temporada de lluvias o huracanes, es cuando presentan su caudal máximo. A continuación se presenta la red de drenaje existente en las seis cuencas de estudio:

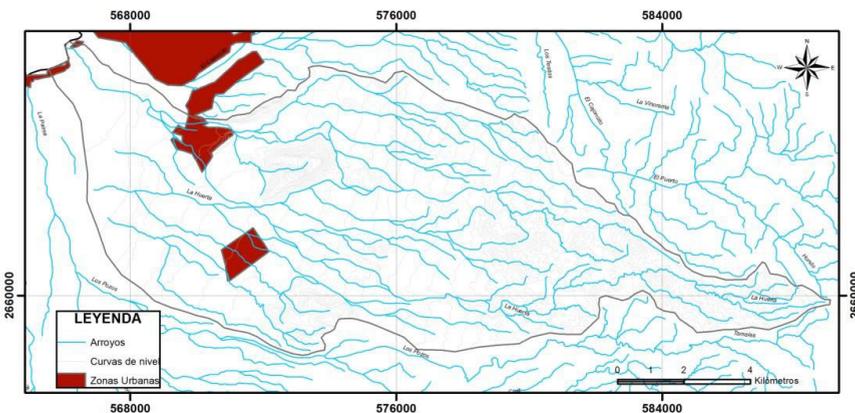


Figura 62. Red de drenaje en la cuenca La Huerta

Fuente: Elaboración propia

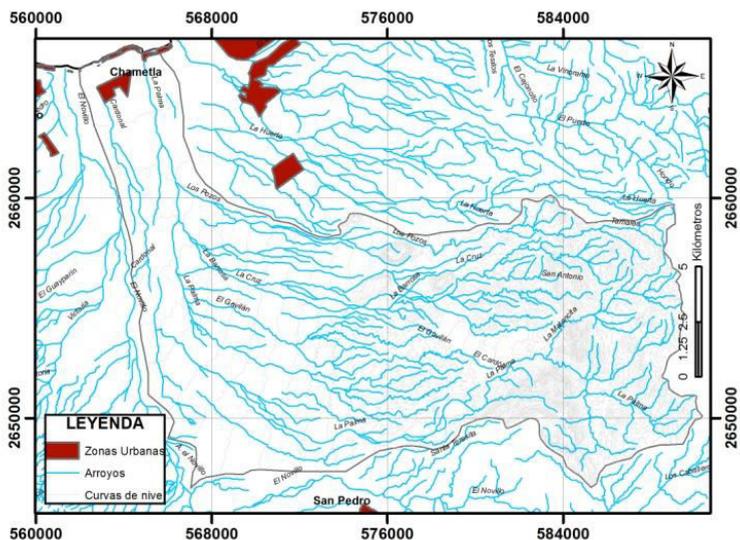


Figura 63. Red de drenaje en la cuenca La Palma

Fuente: Elaboración propia

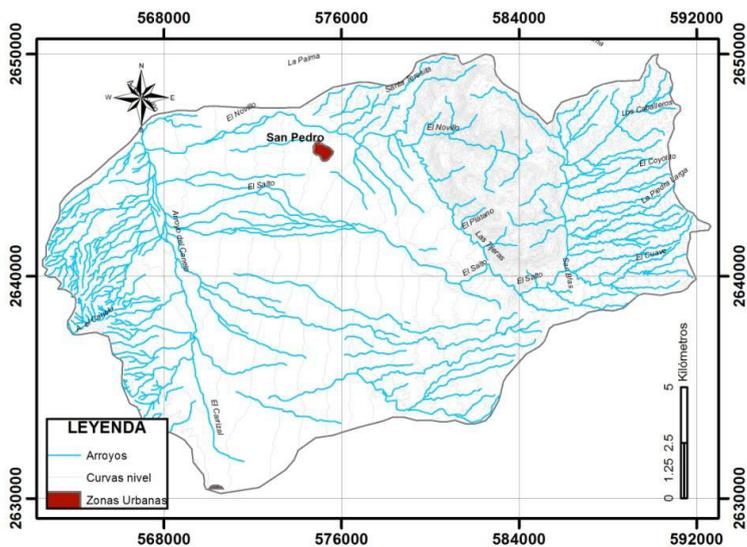


Figura 64. Red de drenaje en la cuenca El Carrizal

Fuente: Elaboración propia

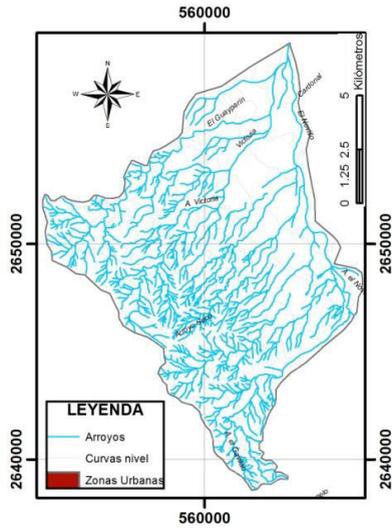


Figura 65. Red de drenaje en la cuenca Victoria

Fuente: Elaboración propia

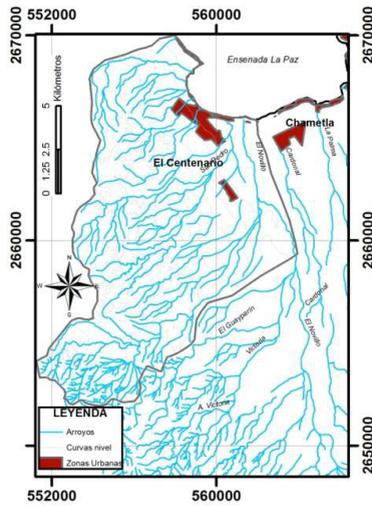


Figura 66. Red de drenaje en la cuenca El Novillo

Fuente: Elaboración propia

3.9.5 Cálculo de caudales

3.9.5.1 Aplicación de la fórmula empírica de García Nájera

García Nájera ha propuesto las siguientes expresiones que dan, no la avenida máxima posible, sino el valor intermedio entre las pequeñas y las extraordinarias, que es la que debe tomarse en consideración para calcular las obras de corrección. Estas fórmulas son las siguientes:

$$S < 0,4 \text{ km}^2, \quad Q_{\text{máx}} = \frac{a \cdot p(42 + 0,525 \cdot S) \cdot S}{(1+S)[1+0,025 \cdot S][0,5+\sqrt{S}]}$$

$$0,4 < S < 2,5 \text{ km}^2 \quad Q_{\text{máx}} = a \cdot p(12,21S + 5,74)$$

$$S > 2,5 \text{ km}^2 \quad Q_{\text{máx}} = \frac{a \cdot p(42 + 0,525 \cdot S) \cdot S^2}{(1+S)[1+0,025 \cdot S][0,5+\sqrt{S}]}$$

En las que,

$Q_{\text{máx}}$ Caudal máximo estimado (m^3/s)

S Superficie de la cuenca (km^2)

a, p Coeficientes para tener en cuenta el estado forestal y lo accidentado de la cuenca.

Designado por F_c la superficie en km^2 de vegetación en buen estado (que en este estudio es definida por el área de vegetación cuya fracción de cabida cubierta es mayor a 70%), obtenida del mapa de cubierta arbórea de la cuenca, y se tiene:

$$a = 1 - \frac{3F_c}{4S}$$

y en cuanto a “ p ” tiene los siguientes valores:

Cuencas poco accidentadas: $p = 0,75$

Cuencas medianamente accidentadas: $p=1.00$

Cuencas muy accidentadas: $p= 1.25$

Según si menos de un tercio, más de un tercio o más de dos tercios de la cuenca de estudio tengan pendientes superiores al 30%. Como la superficie de la zona en estudio es mayor a 2.5 km^2 , se aplicó la tercera fórmula.

Los resultados de la aplicación de esta expresión, para cada una de las cuencas se muestran a continuación:

Tabla 20. Caudales calculados para cada cuenca de estudio

a					
(El Novillo)	(El Cajoncito)	(La Huerta)	(La Palma)	(El Carrizal)	(Victoria)
0.792	0.817	0.797	0.848	0.860	0.871
S					
124.48	172.35	116.81	290.07	373.79	145.79
Fc					
34.52	42.12	31.54	58.63	69.77	25.11
p					
0.75	1.25	1	1.25	1.25	0.75
Qmax					
163.328	318.254	214.069	408.647	461.691	190.760

Fuente: Elaboración propia

3.9.5.2 Aplicación del método de la dirección general de carreteras del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU)

Los factores que intervienen en la siguiente expresión, son afectados para cada período de retorno seleccionado:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6} \cdot K$$

Donde,

- Q Caudal punta (m^3/s)
- I Intensidad de precipitación (mm/h)
- A Superficie (km^2)
- C Coeficiente de escorrentía
- K Coeficiente de uniformidad

3.9.5.3 Cálculo de la intensidad I

Para el cálculo de la intensidad, se determina a partir del mapa de isoclinas que se adjunta a continuación para distintos períodos de retorno en el estado de Baja California Sur. Estos mapas de isoclinas (Figura 67) fueron desarrollados por la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

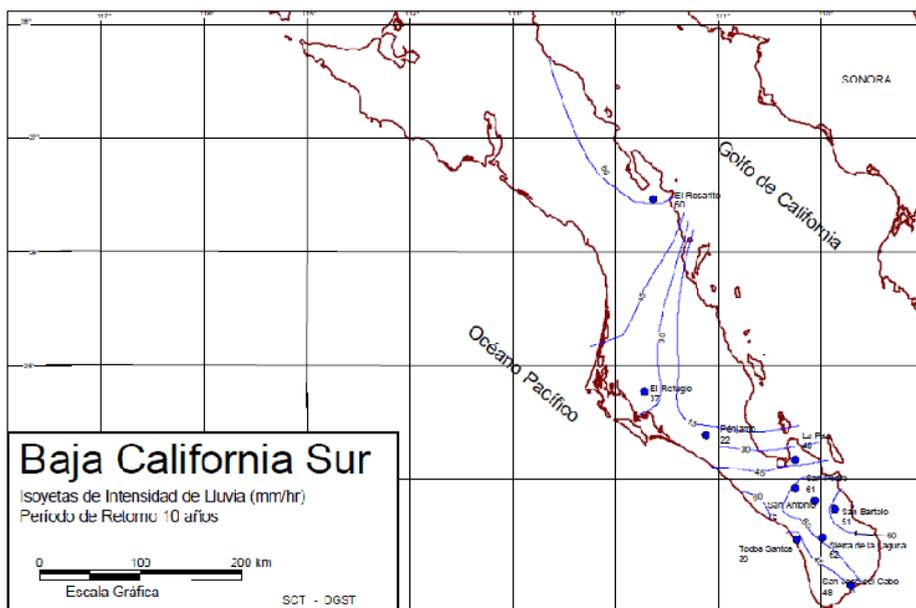


Figura 67. Mapa de Isoyetas de intensidad de lluvia en Baja California Sur

Fuente: Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)

3.9.5.4 Cálculo del coeficiente de uniformidad

El coeficiente de uniformidad es proporcional al tiempo de concentración y se introduce para tener en cuenta el error introducido al superponer la uniformidad temporal de la precipitación.

$$K = 1 + \frac{t_c^{1.25}}{t_c^{1.25} + 14}$$

Previamente se calcula el tiempo de concentración (D) mediante la siguiente expresión:

$$D = Tc = 0.3 \cdot \left(\frac{L}{J^{1/4}} \right)^{0.76}$$

Donde,

L Longitud del curso principal (km)

J Pendiente del curso principal en tanto por uno

Tc Tiempo de concentración (horas)

3.9.5.5 Cálculo del coeficiente de escorrentía

Se analizan las características del suelo y vegetación, y se reduce provisionalmente un valor de Po, según las indicaciones de la tabla modificada del US Soil Conservation Service. El umbral de escorrentía Po se podrá obtener de la siguiente tabla.

Tabla 21. Cálculo del coeficiente de escorrentía

USO DE LA TIERRA	PENDIENTE (%)	CARACTERISTICAS HIDROLÓGICAS	GRUPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	>3	R	15	8	6	4
		N	17	11	8	6
	<3	R/N	20	14	11	8
Cultivos en hilera	>3	R	23	13	8	6

USO DE LA TIERRA	PENDIENTE (%)	CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS	GRUPO DE SUELO			
			A	B	C	D
		N	25	16	11	8
	<3	R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	>3	R	29	17	10	8
		N	32	19	12	10
	<3	R/N	34	21	14	12
Rotación de cultivos pobres	>3	R	26	15	9	6
		N	28	17	11	8
	<3	R/N	30	19	13	8
Rotación de cultivos densos	>3	R	37	20	12	9
		N	42	23	14	11
	<3	R/N	47	25	16	13
Praderas	>3	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
		Buena	*	33	18	13
		Muy buena	*	41	22	15
	<3	Pobre	58	25	12	7
		Media	*	35	17	10
		Buena	*	*	22	14
		Muy buena	*	*	25	16
Plantaciones regulares	>3	Pobre	62	26	15	10
		Media	*	34	19	14
		Buena	*	42	22	15
	<3	Pobre	*	34	19	14
		Media	*	42	22	15
		Buena	*	50	25	16
Masas Forestales (bosques, monte bajo, etc.)		Muy clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
		Media	*	34	22	16
		Espesa	*	47	31	23
		Muy espesa	*	65	43	33

*Nota: 1. N: denota cultivo según las curvas de nivel. R: denota cultivo según la línea de máxima pendiente. 2. *: denota que esa parte de cuenca debe considerarse inexistente a efectos de cálculo de caudales de avenida. 3. Las zonas abalancadas se incluirán entre las de pendiente menor del 3%*

Fuente: US Soil Conservation Service, USCS

Tabla 22. Umbral de escorrentía dependiendo el tipo de terreno

TIPO DE TERRENO	PENDIENTE(%)	UMBRAL DE ESCORRENTIA(mm)
Rocas Permeables	>3	3
	<3	5
Rocas impermeables	>3	2
	<3	4
Firmes granulares sin pavimento		2
Adoquinados		1.5
Pavimentos bituminosos o de hormigón		1

Fuente: Orden del 14 de mayo de 1990, por la que se aprueba la instrucción de carreteras 5.2 IC "Drenaje Superficial". (BOE, 1990)

Tabla 23. Clasificación de suelos a efectos del umbral de escorrentía

GRUPO	INFILTRACIÓN (cuando están muy húmedos)	POTENCIA	TEXTURA	DRENAJE
A	Rápida	Grande	Arenosa Areno-limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a grande	Franco-arenosa Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado

GRUPO	INFILTRACIÓN (cuando están muy húmedos)	POTENCIA	TEXTURA	DRENAJE
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Pequeño (litosuelo) u horizonte de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy Pobre

Fuente: Orden del 14 de mayo de 1990, por la que se aprueba la instrucción de carreteras 5.2 IC "Drenaje Superficial". (BOE, 1990)

Se calcula C, aplicando la instrucción 5.2 del IC, Instrucción de Carreteras:

$$C = \frac{(Pd - Po) \cdot (Pd + 23 \cdot Po)}{(Pd + 11 \cdot Po)^2}$$

3.9.5.6 Precipitación máxima diaria

En el presente estudio se obtuvieron las siguientes precipitaciones para los periodos de retorno de 10, 50, 100 y 1,000 años en las estaciones cercanas al área de estudio.

Estación	$P_{Tr=10}$	$P_{Tr=50}$	$P_{Tr=100}$	$P_{Tr=1000}$
San Pedro	145.9	221.74	251.35	343.16
Los Robles	207.07	386.02	460.39	684.87
El Cajoncito	188.14	328.91	384.52	559.74
El Triunfo	171.25	258.78	291.29	396.34

El Carrizal	128.12	254.06	301.10	451.12
Alfredo V. Bonfil	137.25	198.75	212.37	277.41
Los Divisaderos	200.62	369.71	429.67	626.05
La Paz	102.16	154.60	177.98	243.93

Fuente: Módulo piloto para manejo y conservación de suelos y agua, para la protección de los recursos naturales e inducir la recarga del acuífero de La Paz, B.C.S., HIDROPROJECT, 2009

3.9.5.7 Cálculo del caudal punta Q

Mediante los valores encontrados de I, C, Po, Pd, K, se procede a calcular el caudal punta Q (m³/s) mediante la fórmula propuesta al inicio del apartado.

Se ha utilizado el método de los caudales punta con períodos de retorno de 10, 50, 100 y 1000 años. Estos caudales posteriormente serán utilizados para la valoración de zonas dominadas e inundabilidad en la propuesta de Ordenación MOCAS. A continuación se muestran los datos utilizados y los resultados. Se observa que la cuenca La Palma es la que presenta mayores caudales en la zona de estudio.

Tabla 24. Cálculo de caudales para distintos períodos de retorno en cada cuenca

T(años)	Intensidad (I)					
	(El Novillo)	(El Cajoncito)	(La Huerta)	(La Palma)	(El Carrizal)	(Victoria)
10	11	12	14	13	15	13
25	13	16	18	15	17	15
50	14	18	20	17	19	17
100	17	21	22	19	21	19
500	21	23	25	20	24	20

Cuenca	(El Novillo)	(El Cajoncito)	(La Huerta)	(La Palma)	(El Carrizal)	(Victoria)
T(años)	Pd(mm)					
10	145.900	188.140	102.160	145.900	152.160	139.900
25	205.140	220.110	124.780	205.140	174.780	199.140
50	221.740	328.910	154.600	221.740	204.600	215.740
100	251.350	384.520	177.980	251.350	227.980	245.050
500	305.160	429.560	233.010	305.160	283.010	299.160
T(años)	Po(mm)					
10	72	102	39	69	110	80
25	72	102	39	69	110	80
50	72	102	39	69	110	80
100	72	102	39	69	110	80
500	72	102	39	69	110	80
T(años)	Coefficiente de escorrentía (C)					
10	0.151	0.127	0.224	0.163	0.061	0.114
25	0.249	0.168	0.286	0.262	0.091	0.209
50	0.274	0.288	0.357	0.287	0.129	0.232
100	0.314	0.340	0.406	0.328	0.157	0.272
500	0.380	0.378	0.500	0.395	0.218	0.337
T(años)	C.I					
10	1.665	1.526	3.132	2.116	0.914	1.482
25	3.240	2.692	5.144	3.937	1.553	3.129
50	3.830	5.190	7.139	4.883	2.456	3.951
100	5.342	7.138	8.921	6.239	3.305	5.166
500	7.977	8.686	12.506	7.892	5.240	6.744
T(años)	Caudales punta Q (m³/s)					
10	88.151	101.629	139.407	252.633	108.016	79.652
25	171.511	179.284	229.020	470.129	183.539	168.165
50	202.778	345.613	317.789	583.067	290.228	212.327
100	282.809	475.335	397.153	745.062	390.464	277.612
500	422.298	578.453	556.736	942.386	619.150	362.398

Fuente: Elaboración propia

La zona de estudio presenta un drenaje dendrítico pero con densidad baja; se encuentra representado por el arroyo La Palma, El Cajoncito y El Novillo, siendo de régimen intermitente, por lo que sus cauces máximos se presentan en épocas de mayor precipitación, es decir en un periodo comprendido entre Julio y Septiembre. Las escorrentías superficiales generadas por las principales pendientes topográficas van del sureste a noroeste, del suroeste al sureste y en la parte central del área de estudio de sur a norte, generando las corrientes más sobresalientes de la zona del conjunto orográfico del oriente del sector estudiado. Con respecto a la dirección que siguen las corrientes menores, el flujo de las aguas es en sentido noreste y noroeste hasta desaparecer en el valle de La Paz o desembocar en el Golfo de California. Y aunque sería favorable contar con un estudio de caudales mucho más específico y detallado para la zona de estudio con otros métodos, es muy difícil llegar a ello, pues no existe una información hidrológica suficiente para la ejecución de estos modelos.

3.9.6 Erosión en la zona de estudio y zonas vulnerables

La erosión es un proceso natural que forma parte del ciclo geológico externo en la corteza terrestre, donde se producen erosión, transporte y sedimentación de los materiales geológicos cuando se exponen a la acción de los distintos agentes ambientales que producen la meteorización. A escala de tiempo humano, los procesos erosivos pueden llegar a tener graves consecuencias naturales, sociales y económicas: entre otras, aterramientos de embalses, agravamiento de las inundaciones e incremento de su frecuencia, deterioro de ecosistemas naturales, etc., pero sobre todo la pérdida de suelo y su fertilidad.

En la zona de estudio, caracterizada por un régimen climático árido-seco, destaca la escasez de lluvia a lo largo del año, la incidencia de ciclones en el verano, un relieve medianamente abrupto, falta de vegetación y un excesivo sobrepastoreo que termina por erosionar los suelos de la cuenca. Además, dada la escasez de agua, los acuíferos de la zona se encuentran sobreexplotados (Díaz *et al.*, 2004), lo cual acentúa más aún la aridez del sector.

En Baja California Sur, la ganadería ha sido una de las principales actividades económicas en las sierras y llanuras donde el agua simplemente no es suficiente para

desarrollar la agricultura. Debido al crecimiento de la población y a la presencia de largas sequías desde hace más de 100 años existen prácticas de sobrepastoreo. Existen testimonios de las actividades de los rancheros en la época de sequías, en las que se menciona, que una vez que las vacas y las cabras comían todo el follaje bajo, era necesario completar su forraje, por lo que los rancheros cortaban las ramas altas de los árboles y les preparaban biznagas, choyas, tunas, nopales, además de chamuscar los últimos tres; otra práctica común era la de los “cambiaderos”, que se trata de los rancheros que se mudaban junto con el ganado que cuidaban, principalmente cabras, de un rancho a otro cuando menos una vez al año, que era el tiempo que las tinajas permanecían con agua; por lo que el ganado abarcaba una gran superficie para pastorear, y consecuentemente, producía efectos negativos sobre la capa de suelo.

En general, los arroyos de la cuenca El Cajoncito se caracterizan por su tipología del sustrato, mayoritariamente arenoso, en relación con la mayor diversidad que muestran, por ejemplo las ramblas del sureste español, ramblas calizas, metamórficas y margosas: (Gómez, 2005). Esto es debido al tipo de litologías dominante en las cuencas de drenaje y sobre todo, a la tectónica del territorio.

En efecto, así como en Baja California Sur predominan los materiales de origen volcánico (Silver y Chappell, 1988), en el sureste español, materiales calizos, volcánicos y metamórficos, se mezclan tras un proceso tectónico en un cuaternario muy complejo (Arana *et al.*, 1999).

Un rasgo distintivo entre ambos sistemas se refiere a la homogeneidad del sustrato del lecho que presentan los arroyos sudcalifornianos en los que claramente dominan las arenas, en relación con la heterogeneidad que se manifiesta en los distintos tipos de ramblas españolas, en los que aparecen mezclados materiales gruesos (bloques y cantos), de tamaño medio (grava y arenas) y finos (limos y arcillas).

En relación con las características morfológicas de estos cauces, los arroyos estudiados se localizan a altitudes menores que los del Sureste español, sus lechos son mucho más anchos que cualquiera de los tipos estudiados en España, y sus taludes, por término medio, son muchos más altos, lo cual refleja, por un lado que los procesos erosivos

que conforman estas morfoestructuras son muy intensos, excavando en profundidad los cauces y ensanchando la ladera por donde evacuará el agua de lluvias intensas (Díaz y Troyo, 1997) y por otro, hacen referencia al material blando y deleznable mucho menos resistente a los procesos erosivos.

Para la realización del presente estudio, se trabajó bajo un esquema desafortunado de falta de información que existe en México, ya que actualmente no existe ningún estudio previo para la zona de estudio en Baja California Sur que tenga registro de datos de erosión precisos.

Previamente, en vísperas del nuevo milenio la SEMARNAT publicó mapas donde se señalaron los riesgos de erosión y el nivel de degradación de los suelos en México, sin embargo estos mapas fueron realizados para una escala de 1: 10 000000, con lo cual la información a detalle para una región en específico es complicada de obtener. Según estos mapas, en Baja California Sur casi no existe pérdida de suelo, y solamente en algunas zonas agrícolas del estado se presenta una erosión de ligera a moderada.

Finalmente, se considera que las cuencas de estudio, las seis en su totalidad, sufren un proceso de desertificación paulatino, gradual y constante, por lo que es recomendable tomar las decisiones pertinentes que lleven a mejorar los patrones de cultivo, disminuir el sobrepastoreo y proteger el ecosistema natural, que es único en el país y que guarda flora y fauna endémica de alto valor ecológico para la región y el planeta.

3.10 Metodologías de Ordenación en el caso de estudio

A partir de este punto de la investigación, después de haber caracterizado la zona de estudio se procederán a aplicar diversas metodologías de Ordenación de Cuencas hidrográficas, como es el caso del modelo USLE, también se ejecutará el modelo NSPECT y MODFLOW en la zona de estudio, y finalmente se aplicará la Ordenación de Cuencas hidrográficas por criterios Mintegui Aguirre y López.

Después de ello en el siguiente capítulo, se realizará la propuesta de una nueva metodología de Ordenación de Cuencas hidrográficas para el ámbito biogeográfico árido sudcaliforniano (MOCAS).

3.10.1 Metodología de Ordenación de la cuenca basada en el modelo USLE de estimación de la erosión

El desarrollo de ecuaciones empíricas para calcular pérdidas de suelo se inició en 1940 con Zingg (Wischmeier y Smith, 1978). Pero fue hasta 1962, con los trabajos de Wischmeier y colaboradores, que se elaboró la USLE (Wischmeier, 1959). La cual fue diseñada como herramienta de trabajo para conservacionistas, técnicos y programadores el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, USDA (Wischmeier y Smith, 1978). Las aplicaciones para las cuales la ecuación fue diseñada y probada son:

- Predicción de pérdidas de suelo.
- Evaluación y selección de prácticas de conservación.
- Estimación de las longitudes máximas permisibles de las pendientes para un sistema de cultivo dado.

El modelo USLE estima la erosión anual promedio en una determinada situación de uso y manejo del suelo teniendo en cuenta los factores que afectan la erosión: el clima, (erosividad de la lluvia en la región bajo estudio), las características físicas y topográficas del suelo, el sistema de uso y manejo del suelo, y las medidas mecánicas de control. La expresión del modelo corresponde a la siguiente ecuación paramétrica:

$$A = R \cdot K \cdot (LS) \cdot C \cdot P$$

Donde:

- A Tasa de pérdidas de suelo ($t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$)
- R Factor erosividad de la lluvia ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot año^{-1}$)
- K Factor erosionabilidad del suelo ($t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$)

- LS Factor topográfico (adimensional)
- C Factor cultivo (adimensional)
- P Factor de prácticas humanas de conservación de suelos agrícolas (adimensional)

De acuerdo a la ecuación anterior, las variables se dividen en dos tipos, físicas o cuantitativas y las cualitativas, que se asignan en función de una serie de parámetros también físicos. Las primeras incluyen a los factores R, K, LS; las variables cualitativas son los factores C y P, estos últimos además son factores manipulables o antropogénicos, por lo que los cuatro primeros factores, en conjunto, definen lo que se denomina erosión potencial, la cual es una condición teórica, bajo la cual el suelo no presenta protección alguna, y como su nombre lo indica es la condición máxima potencial de erosión para un punto o sitio dado. Por su parte los factores C y P son elementos atenuantes de la erosión potencial, por lo que una buena injerencia antropogénica sobre estos determina un terreno sostenible o en proceso de degradación.

Refiriéndose a México, el modelo USLE se ha empezado a usar en esporádicos estudios realizados para algunos Organismos de Cuenca en México que representan regiones consideradas como sustanciales para el crecimiento y desarrollo económico del país, como lo es el caso del Programa de obras y conservaciones para el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México, Colegio de Postgraduados (CP, 2008).

Con esto se pretende mostrar que existe una amplia desinformación en la nación acerca de los procesos erosivos que está experimentando el territorio nacional a nivel de cuencas hidrográficas, por lo que consecuentemente pocos estudios en México se han enfocado a la estimación y evaluación de la erosión con fines de planeación y diseño de prácticas de conservación de suelos (Maya, 2010).

Los mapas de estados erosivos se obtienen mediante la intersección de los siguientes mapas:

- Líneas iso-R
- Pendientes
- Usos del suelo o vegetación

- Litofacias
- Prácticas de conservación de suelos agrícolas

Como resultado, se obtienen recintos de igual grado de erosión que se clasifican en función de unos baremos o parámetros que son establecidos previamente.

3.10.1.1 Métodos de cálculo factores USLE

3.10.1.2 Factor erosividad de la lluvia (R)

La erosividad de la lluvia es definida como la capacidad potencial de ésta para provocar erosión y es medida a partir de los índices de erosividad, de los cuales el de más aplicación es el índice EI_{30} propuesto por Wischmeier en 1959 y es definido como el producto de la energía cinética total de la lluvia por la intensidad máxima en 30 minutos.

$$EI_{30} = Ect \ I_{30}$$

Donde:

EI_{30} es el índice de erosividad de la lluvia ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot año^{-1}$)

Ect es el total de energía cinética de la lluvia ($MJ \cdot ha^{-1}$)

I_{30} es la intensidad máxima de lluvia en un periodo de 30 minutos ($mm \cdot h^{-1}$)

Entonces, el valor R es obtenido por el promedio de valores anuales del índice EI_{30} :

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{m_j} (EI_{30})_k$$

Donde:

R es el promedio anual de erosividad de la lluvia ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot año^{-1}$)

n es el número de años de registro

m_j es el número de eventos erosivos en un determinado año j

EI_{30} es el índice de erosividad de la lluvia en un específico evento k

Esto mide el efecto en que la erosión por salpicamiento y la turbulencia del flujo se combinan con el escurrimiento para remover las partículas del suelo separadas por éste (Figuroa *et al.*, 1991). El mecanismo que desencadena el proceso erosivo es conocido como *splash*, impacto que ejercen las gotas de agua al incidir sobre el suelo desprovisto de vegetación y la salpicadura que produce consecuentemente.

En el caso de México, dado el escaso número de estaciones con pluviógrafos que existen en el país y, sin ningún tipo de información previa que regionalizara o agrupara zonas con el mismo factor R, fue conveniente regionalizar las estaciones meteorológicas de la zona de estudio a fin de caracterizar áreas sujetas a condiciones similares de lluvia.

Lo anterior solamente enuncia la realidad que prevalece en México, en la que desafortunadamente pocas instituciones se encargan de realizar mediciones hidrológicas continuas, y en la que la densidad de la red pluviométrica para la extensión de 1 972 550 de km^2 que tiene México, es limitada, con escasos pluviógrafos en funcionamiento y el resto en desuso o abandono, siendo el caso más común, la carencia de este tipo de aparatos a lo largo del territorio nacional. Por lo que se hizo uso de una metodología alternativa para determinar el factor R (FAO *et al.*, 1980) a partir de la información hidrológica disponible (CONAGUA) de las 14 estaciones climatológicas distribuidas en el territorio (5 estaciones en el interior de las cuencas de estudio y 9 estaciones en las zonas aledañas) de las cuales se tienen registros mensuales y diarios de precipitación y temperatura desde 1971 hasta la fecha.

Esta técnica se basa en el Índice modificado de Fournier (IMF), realizada por Arnoldus, (1977) el cual emplea para sus cálculos las precipitaciones mensuales de la siguiente manera:

$$R = \sum_1^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

Donde:

R es la erosividad de la lluvia

p_i es la precipitación mensual del mes “i”, (mm) el cual puede estar en el rango enero-diciembre del correspondiente año.

P es la precipitación anual (mm)

Incluso algunos autores han mostrado que el Índice modificado de Fournier genera mejores resultados en el cálculo del Factor R que el propio índice EI₃₀ (Carvalho *et al.*, 2005; Cassol *et al.*, 2008; Oliveira *et al.*, 2011). Ésta técnica para calcular la erosividad de la lluvia, se recomienda utilizar solamente en aquellas regiones donde no existan pluviógrafos en funcionamiento o la información pluviométrica sea escasa y/o de difícil acceso.

Tabla 25. Distribución del Factor R para las estaciones climatológicas de la zona de estudio

Nombre de la Estación	Factor R
El Cajoncito	43.232
El Carrizal	51.205
El Triunfo	107.673
Lagunillas	57.924
La Paz	33.798
Los Divisaderos	93.366
Los Robles	69.957
Los Planes	36.646
San Antonio Sur	102.142
San Bartolo	88.991
San Pedro	75.533
El Sargento	31.045
El Rosario	17.266
Alfredo B. Bonfil	31.287

Fuente: Elaboración propia

La metodología utilizada para generar la cobertura del factor R climático se basó en un análisis de interpolación que permitió determinar la estructura y distribución espacial de la agresividad climática, en base a los datos puntuales de las estaciones climatológicas sobre el área de estudio. Este análisis requiere del uso de la herramienta *Spline* en ArcGis 10, que ejecuta un ajuste de superficie de acuerdo a los valores de entrada (valores R para cada estación), usando métodos de polinomios y mínimos cuadrados, y es útil cuando se trata de superficies que varían suavemente. En este caso al tratarse de datos de pluviometría se usó la herramienta *Spline*, mediante la cual se puede obtener un mapa de isoclietas del factor R para la zona de estudio, que ha de ser capaz de reflejar la torrenciabilidad de las lluvias para un determinado clima.

3.10.1.3 El factor erosionabilidad (K)

El término erosionabilidad del suelo, sugerido por Cook (1936), se usa para indicar la susceptibilidad de un suelo a la erosión. La erosionabilidad de los suelos está influida por algunas propiedades de los mismos, tales como la distribución del tamaño de las partículas primarias, materia orgánica, estructura del suelo, óxidos de hierro y aluminio, uniones electroquímicas, contenido inicial de humedad y procesos de humedecimiento y secado. Este factor además expresa la pérdida anual media de suelo por unidad del factor R, en las condiciones normalizadas para las parcelas tipo establecidas por Wischmeier, en la que los demás factores adquieren el valor unidad.

El cálculo del factor K puede ser estimado mediante una ecuación de manera directa o gráficamente mediante el nomograma de Wischmeier y Smith (1978), el cual suele ser menos exacto, debido al sesgo visual en que pueda incurrir el interesado (Figura 68). En ese caso es bueno apoyarse de una regla o algún elemento recto de manera que se pueda reducir el error visual.

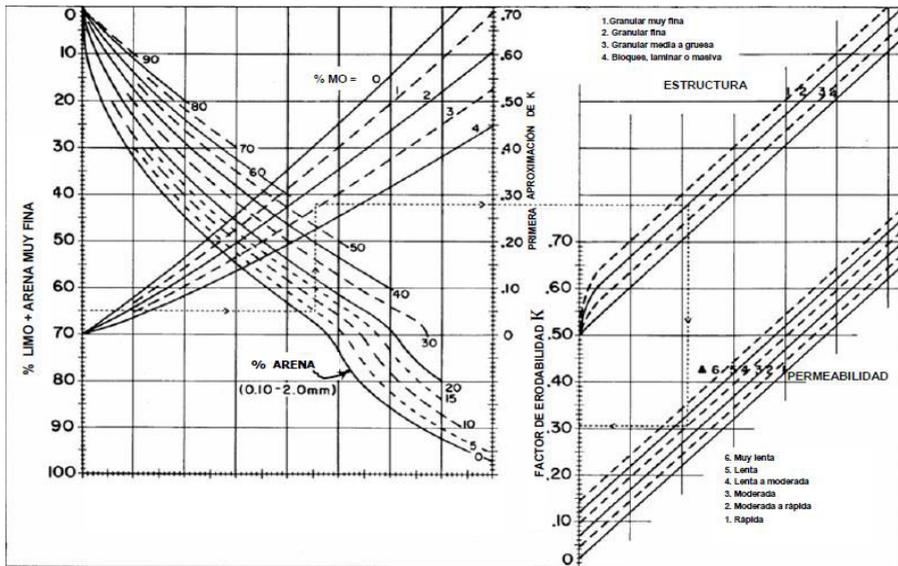


Figura 68. Nomograma del factor K

Fuente: Figueroa et al., 1991

Previamente es necesario efectuar determinaciones anteriores de algunas propiedades edáficas de la zona de interés. En este caso se utilizó el estudio Geohidrológico Complementario de las cuencas La Paz-El Carrizal (García, 1985) donde se realizaron 115 muestreos de suelo a diversas profundidades y se obtuvieron las principales características edáficas para la zona de estudio, con lo cual estos datos fueron reagrupados y tratados digitalmente para su posterior utilización en Arc Gis. Para calcular el factor de erosionabilidad del suelo se sigue una ecuación propuesta por Wischmeier y Smith (1978):

$$K = 1.313 * [(2.1^{10^{-4}}) * (12 - MO) * M^{1.14} + 3.25 * (s - 2) + 2.5 * (p - 3)] / 100$$

Donde:

K es el índice de erosionabilidad del suelo ($t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$)

M es el factor representativo de la textura. Se calcula como el producto del porcentaje de partículas de suelo comprendidas entre 0.002 – 0.1 mm de diámetro, expresado en

porcentaje, por el porcentaje de partículas del suelo comprendidas entre 0.002-2 mm de diámetro, expresado también en porcentaje. Es decir,

$$M = (100 - \%arcilla)(\%(limo + arena\ fina))$$

MO corresponde al porcentaje de materia orgánica del suelo

s es el código de la estructura del suelo, de acuerdo a la siguiente codificación

Tabla 26. Código de estructura del suelo

Código	Clase de Estructura	Tamaño partícula (mm)
1	Granular muy fina y grumosa muy fina	<1
2	Granular fina y grumosa fina	1-2
3	Granular media, grumosa media y granular gruesa	5-10
4	Laminar, masiva, prismática, columnar y granular muy gruesa	>10

Fuente: Wischmeier y Smith, 1978

p es el código de permeabilidad del perfil del suelo, bajo la codificación del USDA-Soil Survey Manual.

Tabla 27. Código de permeabilidad del perfil del suelo

Textura	Código	Clasificación	Conductividad
Arenosa	1	Rápida a muy rápida	>60
Franco arenosa	2	Moderadamente	20-60
Arena francosa,	3	Moderada	5-20
Franco arcilla	4	Moderadamente lenta	2-5
Franco arcillosa,	5	Lenta	1-2
Arcillo arenosa,	6	Muy lenta	<1

Fuente: Wischmeier y Smith, 1978

Los valores para el % de limo y arena muy fina, % de arena (0.1-2.0 mm), % de materia orgánica y estructura, se toman de los 15 a 20 cm superiores del perfil edáfico. El valor de permeabilidad se refiere a todo el perfil. Cabe señalar que esta ecuación es válida para suelos que tienen 70% o menos de fracción limosa.

Con el estudio geohidrológico La Paz-El Carrizal (García, 1985), a partir del muestreo de suelos a lo largo y ancho de las cuencas de estudio y zonas aledañas, fue posible calcular los valores respectivos del factor K para la zona. Los resultados finales y tabulación del factor K se encuentran en los Anejos al final del Documento.

Posteriormente mediante el uso de la herramienta de interpolación *kriging*, en Arc Gis fue modelado el factor K para cada una de las seis cuencas de interés. La técnica de *kriging* es adecuada cuando se conoce que hay una influencia direccional o de distancia correlacionada espacial en los datos. El *kriging* se utiliza muy a menudo en las ciencias del suelo y la geología. Los mapas de distribución del factor K son los siguientes:

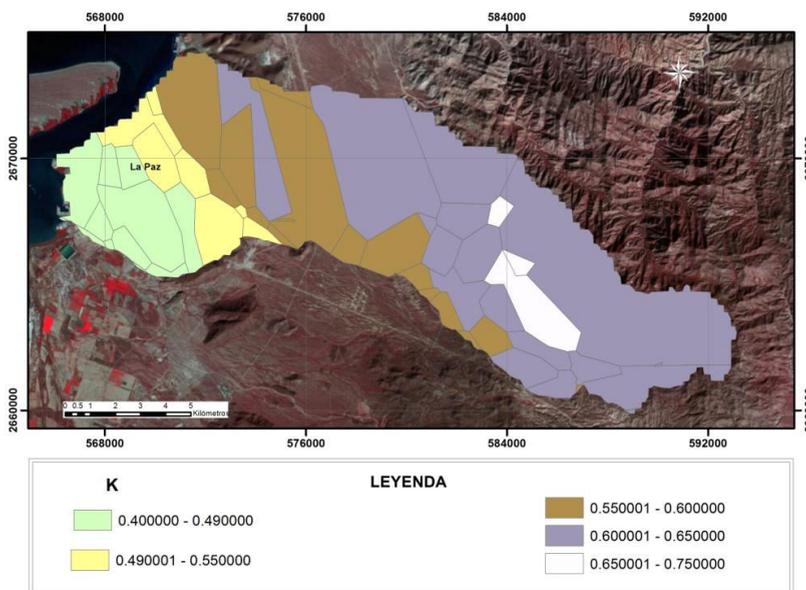


Figura 69. Distribución del factor K en la cuenca El Cajoncito

Fuente: Elaboración propia

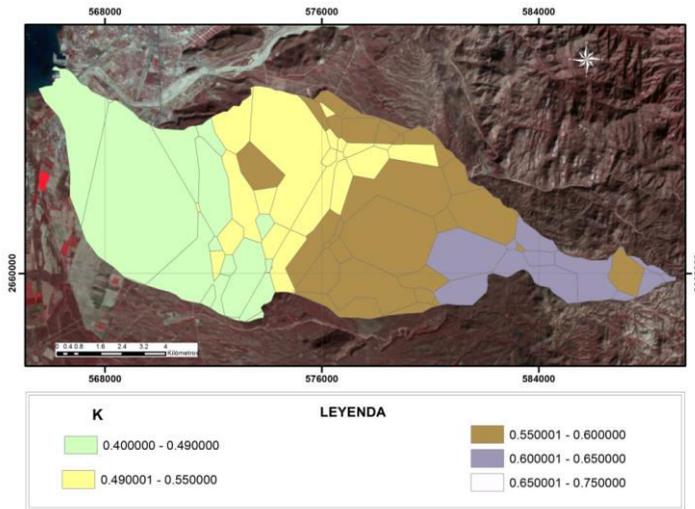


Figura 70. Distribución del factor K en la cuenca La Huerta

Fuente: Elaboración propia

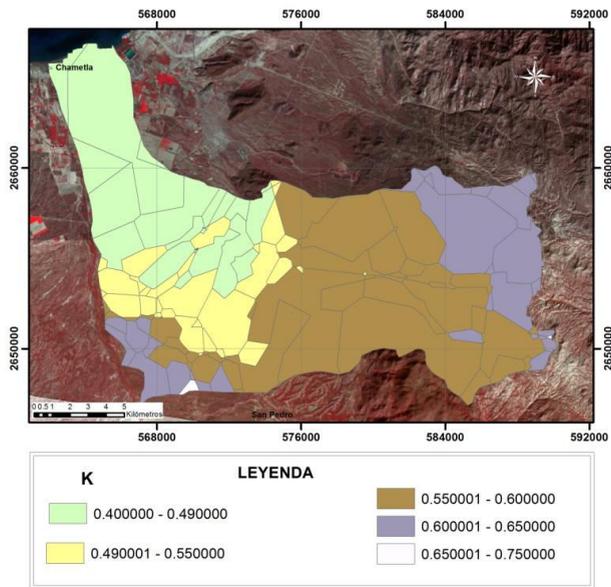


Figura 71. Distribución del factor K en la cuenca La Palma

Fuente: Elaboración propia

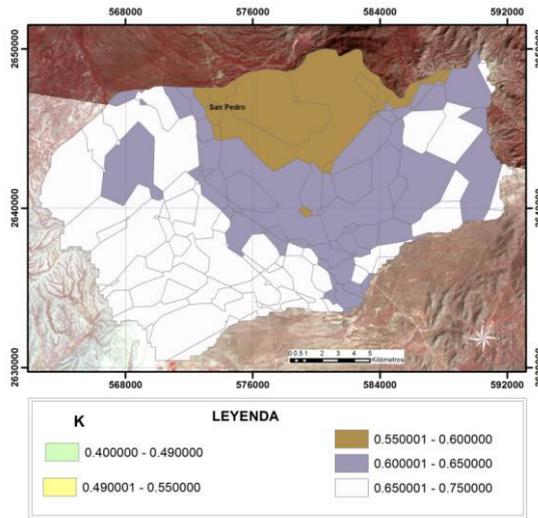


Figura 72. Distribución del factor K en la cuenca El Carrizal

Fuente: Elaboración propia

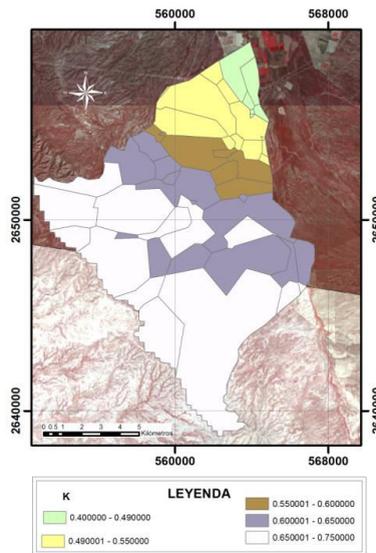


Figura 73. Distribución del factor K en la cuenca Victoria

Fuente: Elaboración propia

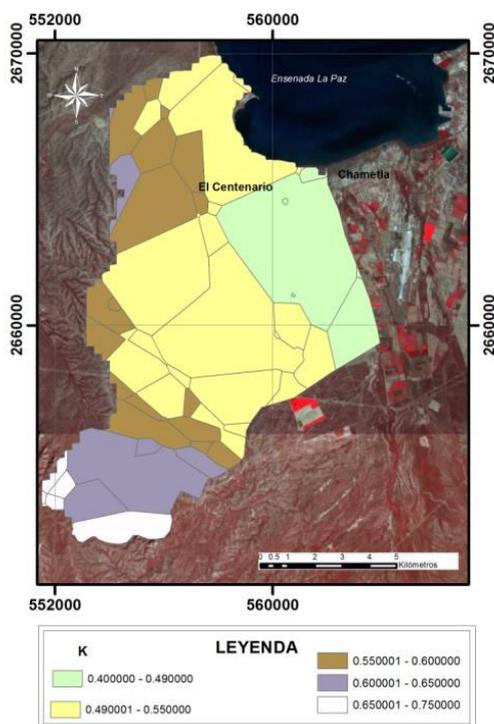


Figura 74. Distribución del factor K en la cuenca El Novillo

Fuente: Elaboración propia

3.10.1.4 El factor longitud-inclinación LS

La inserción de factores topográficos agrega un sustento importante en el modelo USLE. Este factor combina el factor, L, longitud de pendiente y el factor pendiente, S, resultando un valor que aumenta el valor final de las pérdidas de suelo conforme aumenta la pendiente del terreno. En términos llanos, el grado de inclinación de un terreno (S) da el componente de gravedad que es necesario para iniciar el movimiento del flujo y que este tome velocidad, en cambio la longitud de la pendiente (L) es un factor que regula el volumen de agua que fluye en una ladera específica, y en consecuencia el esfuerzo de corte que el flujo tiene.

En un principio los factores L y S se determinaron como:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{72.6}\right)^m * (65.41\text{sen}^2\alpha + 4.56 * \text{sen}\alpha + 0.065)$$

Donde λ es la longitud de la pendiente en pies, α el ángulo de pendiente y m un coeficiente que toma los siguientes valores:

Tabla 28. Coeficiente “m” en la formula LS

S (pendiente)	Valor m
<1%	0.2
Entre 1 y 3%	0.3
Entre 3.5 y 4.5%	0.4
>5%	0.5

Fuente: Arnoulds, 1977

El inconveniente de la fórmula anterior es que emplea unidades inglesas, las cuales no son habituales en América, y para evitar la necesidad de realizar transformaciones de unidades, se comenzó a emplear la ecuación descrita por Arnoulds (1977), que es la siguiente:

$$LS = \left(\frac{\gamma}{22.1}\right)^{0.6} * \left(\frac{S}{9}\right)^{1.4}$$

Donde, γ representa la longitud de la ladera en pendiente (en metros) , y s es el porcentaje de dicha inclinación. Las divisiones entre 22.1 y 9 en la ecuación representan las medidas de la ladera, sobre el grado de pendiente y longitud para la parcela estándar de la USLE.

En 1987 se da la última revisión del factor (McCool *et al.*, 1987), para laderas más o menos uniformes, resultando las expresiones siguientes:

Para pendientes, $s < 9\%$ y longitudes de pendiente, $\lambda < 350$ m

$$L.S = \left[\frac{\lambda}{22.1}\right]^{0.3} * \left[\frac{0.43 + 0.30s + 0.043s^2}{6.613}\right]$$

Para pendientes, $s > 9\%$ y cualquiera que sea la longitud de pendiente.

$$L.S = \left[\frac{\lambda}{22.1} \right]^{0.3} * \left[\frac{S}{9} \right]^{1.3}$$

Para el cálculo del factor LS en la zona de estudio, fue necesario elaborar el modelo digital de elevaciones (MED) creado en ArcGis 10 a partir de la capa vectorial de curvas de nivel en la zona, adicionalmente son indispensables las siguientes capas digitales para la zona de estudio: polígono de delimitación de la cuenca, red de drenaje, vegetación y vías de comunicación.

Posteriormente, al contar con los datos anteriores se utiliza el software Usle2D, (Van *et al.*, 2000). La vinculación de este programa en un SIG ofrece varias ventajas en el enfoque unidimensional y / o manual, ya que puede explicar el efecto de la convergencia del flujo y tiene ventajas en términos de rapidez de ejecución y la objetividad. El programa USLE 2D tiene la ventaja que proporciona los valores de LS para cada punto espacial ubicado en una cuenca y, a partir de ahí, esta información se puede aprovechar con un Sistema de Información Geográfica. Este software usa la fórmula de McCool (1987) para el cálculo del factor LS.

3.10.1.5 Factor cubierta vegetal o factor C

El parámetro de vegetación C, representa la capacidad de la vegetación para impedir el arrastre de sedimentos; es decir, si el suelo permanece desnudo durante la época de lluvias, su capacidad de permitir el arrastre de material es más alta que si tuviese algún tipo de cobertura, de tal forma que su determinación requiere de un análisis temporal, donde se conjuga la presencia de lluvia (factor R), con la desnudez del suelo. Dentro de la USLE el parámetro C representa un factor de reducción de erosión, razón por lo que carece de unidades. La influencia del cultivo en la erosión, depende de:

- Especie cultivada
- Posición de la especie dentro de la alternativa
- Mezclas, si existen
- Forma y número de las labores
- Productividad

- Existencia de mayor o menor erosividad de la lluvia en el periodo del año en que se realiza el cultivo.

A continuación se justifica la asignación del valor de C a los distintos tipos de vegetación y usos del suelo existentes en la zona de estudio.

Para estimar el Factor C de cobertura vegetal, se utilizaron las composiciones mensuales del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) proporcionadas por el satélite NOAA-AVHRR (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA), de acuerdo con las relaciones propuestas por (Garatuza, *et al.*, 2005) generalizadas para las regiones semiáridas del Norte de México:

- Factor C para Pastizales y Matorral Xerófito = $0.4304 - 0.0099 X + 0.00006 X^2$
- Factor C para Matorral Espinoso = $0.2508 - 0.005 X + 0.00003 X^2$
- Factor C para Selva Baja Caducifolia = $0.326 - 0.0071 X + 0.00004 X^2$
- Factor C para Pino y Encino = $0.3732 - 0.0084 X + 0.00005 X^2$

Donde X es el valor de NDVI

Tabla 29. Valores NDVI para la Clasificación del NDVI de la época seca del año 2008

Estrato de vegetación	Valor NDVI
Selvas bajas	0.454
Matorral	0.193
Pastizal	0.145

Fuente: Comisión Nacional Forestal, CONAFOR, México

Como en la zona de estudio existe una región de mezquital, se hizo uso de la clasificación del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) donde se estiman factores C para el entorno árido del estado de Arizona con una vegetación de mezquite, altamente similar a la que se localiza en la cuenca de estudio (Brady 2001).

Tabla 30. Factores asignados de C para vegetación de clima árido por el USGS

Estrato de vegetación	Factor C
Agricultura	0.3
Encinal roble mixto	0.013
Encinal mixtos de roble y mezquite	0.01
Semidesértico mixto de hierba y mezquite	0.09
Semidesértico mixto de hierba Yuca-Agave	0.18
Improductivo	1.00

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos, USGS

Por lo que el factor C queda establecido para los usos de vegetación en cada una de las cuencas como:

Tabla 31. Factores C calculados para la zona de estudio

Estrato de vegetación	Factor C (valor medio)
Pastizal	0.4289
Selva baja caducifolia	0.322
Matorral crasicaule	0.2498
Matorral sarcocaula	0.428
Cultivos anuales	0.25
Mestizal	0.09

Fuente: Elaboración propia

3.10.1.6 El factor de prácticas de conservación P

Por definición el factor P de la USLE representa la relación de la pérdida de suelo bajo una práctica de conservación específica respecto a la pérdida de suelo de la misma zona sin ningún tipo de práctica (Wischmeier y Smith, 1978).

Este parámetro se refiere a las prácticas mecánicas y de labranza que modifican la estructura del suelo, retrasando o incrementando la susceptibilidad del material a ser arrastrado; cuando P toma valores cercanos a cero, nos indica que el suelo no está siendo erosionado debido a las prácticas mecánicas de conservación; y cuando toma el valor de 1, nos indica que se tiene la erosión máxima o potencial debido a que no existen prácticas. Estas variaciones son utilizadas, ya sea generando valores medios anuales para evaluaciones

globales, o bien utilizándolas en evaluaciones temporales para generar un acumulado por temporada.

En el caso que nos concierne, las seis cuencas de estudio, al carecer de algún tipo de prácticas de conservación del suelo, el factor P, se ha valorado en 1 para toda la zona de estudio.

3.10.1.7 Tolerancia de pérdidas de suelo y tasa de erosión según el Modelo USLE

El concepto de pérdida de suelo tolerable se puede definir como la *cantidad de suelo en $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ que un terreno puede perder sin que se vea afectada su productividad* (Mellerowicz *et al.*, 1994). La evaluación de dicha tolerancia de pérdida de suelo en un terreno, factor básico para la utilización del modelo USLE en la Ordenación, depende de diversos factores tales como la profundidad del suelo, sus propiedades físicas, el desarrollo de los sistemas radicales de la vegetación, la reducción de la materia orgánica, la pérdida de nutrientes y sementeras, etc.

Según López y Blanco (1978), “*esta tolerancia refleja la máxima pérdida de suelo que puede consentirse alcanzando todavía el grado de conservación necesario para mantener una producción económica en un periodo futuro previsible con los medios técnicos actuales*”.

Para Wischmeier y Smith (1978), una pérdida tolerable de suelo es *la tasa máxima de erosión que aún permite la sustentabilidad económica a largo plazo del nivel de productividad del suelo*, por su parte Miller (citado por Oyarzún, 1993), sostiene que las pérdidas por erosión a largo plazo no deberían exceder la tasa de formación del suelo. Los rangos de tolerancia para pérdida de suelo varían desde $11 t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ para suelos profundos, permeables y bien drenados con alto nivel productivo a $3 t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ para suelos delgados (Guevara, 1997).

En relación a las pérdidas de suelo, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente –

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (FAO *et al.*, 1980), propone la siguiente clasificación:

Tabla 32. Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos

Pérdidas de suelo ($t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$)	Grado de erosión hídrica
10	Ninguna o ligera
10-50	Moderada
50-200	Alta
>200	Muy alta

Fuente: FAO et al., 1980

Para representar el modelo USLE, se realiza la superposición de los distintos mapas de los parámetros que integran la ecuación:

- Mapa de Cultivos y Aprovechamientos del suelo: definidor de C y P
- Líneas iso-R: definidor de R
- Intersección de litofacies según erosionabilidad y usos del suelo: definidor de K
- Mapa de pendientes: definidor de LS

Los resultados de la pérdida de suelo en las cuencas de estudio, se reflejan en la siguiente tabla, donde para establecer los intervalos de erosión en el mapa de pérdidas de suelo se ha respetado la clasificación anterior, aunque la misma se ha dividido en nuevos intervalos; con lo que el mapa de pérdidas de suelo se define en ocho categorías (principalmente porque en zonas áridas el baremo mínimo de consideración de la erosión disminuye), las cuales están acompañadas por el resultado de la distribución superficial de la cuenca en estudio.

Tabla 33. Superficie de pérdidas de suelo en las cuencas de estudio

Nivel de erosión (A)	Superficie(km ²)					
	I (El Novillo)	II (El Cajoncito)	III (La Huerta)	IV (La Palma)	V (El Carrizal)	VI (Victoria)
$A < 3$ t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹	121.8	60.43	90.16	208	253	144.44
$3 < A < 5$ t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹	0.34	21.23	4.65	9.91	27.8	0.17
$5 < A < 10$ t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹	0.78	29.25	7.35	11	10.6	0.07
$10 < A < 25$ t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹	0.16	10.09	6.85	17.01	27.05	0.013
$25 < A < 50$ t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹	0.005	17.21	4.71	18.58	16.55	0
$50 < A < 100$ t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹	0	27.23	2.4	17.88	20.21	0
$100 < A < 200$ t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹	0	5.68	0.111	6.85	16.61	0
$A > 200$ t·ha ⁻¹ ·año ⁻¹	0	0.27	0.02	0.22	0.42	0

Fuente: Elaboración propia

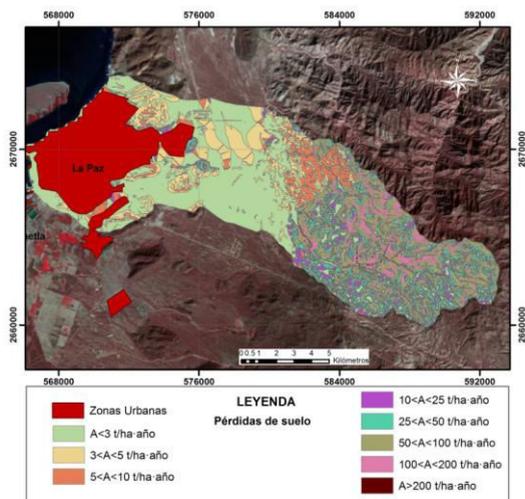


Figura 75. Pérdidas de suelo en la cuenca El Cajoncito

Fuente: Elaboración propia

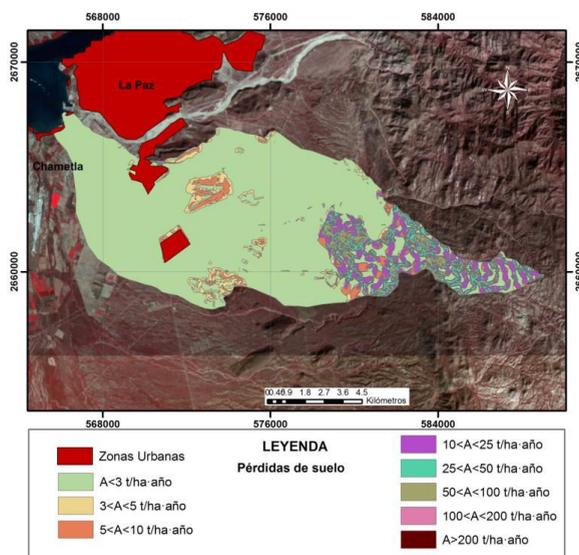


Figura 76. Pérdidas de suelo en la cuenca La Huerta

Fuente: Elaboración propia

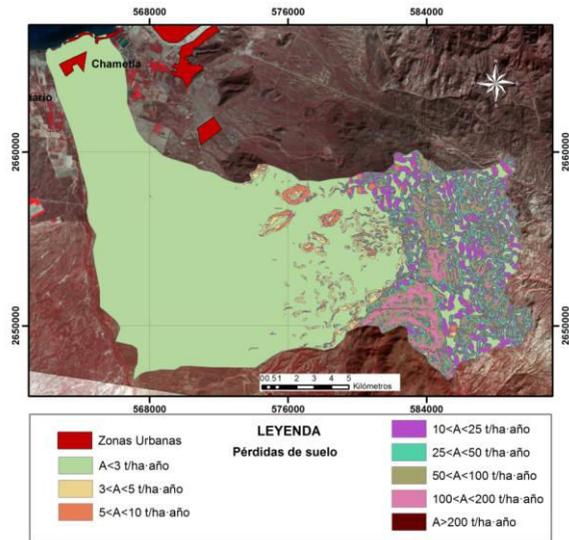


Figura 77. Pérdidas de suelo en la cuenca La Palma

Fuente: Elaboración propia

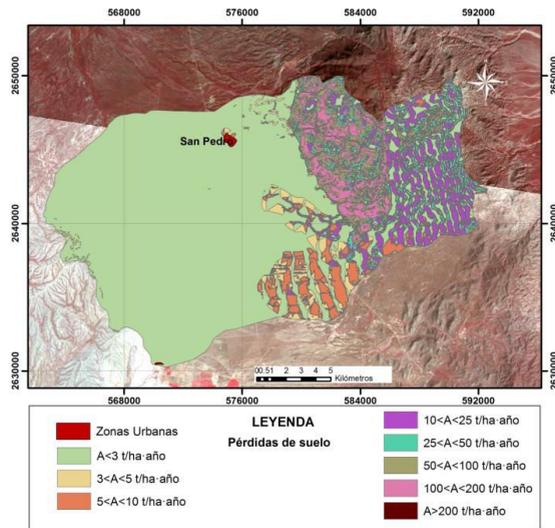


Figura 78. Pérdidas de suelo en la cuenca El Carrizal

Fuente: Elaboración propia

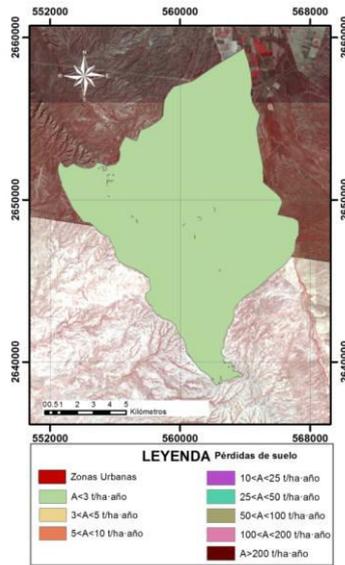


Figura 79. Pérdidas de suelo en la cuenca Victoria

Fuente: Elaboración propia

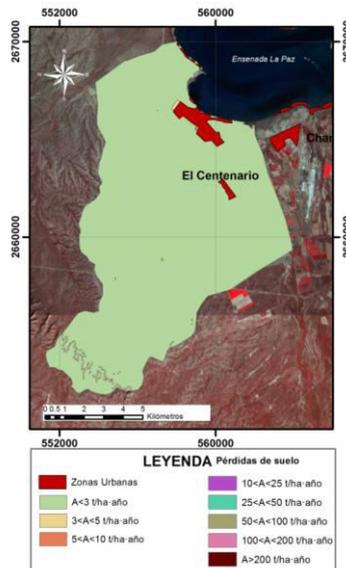


Figura 80. Pérdidas de suelo en la cuenca El Novillo

Fuente: Elaboración propia

3.10.1.8 Mapa de usos futuros en base a la Ordenación de la Cuenca

Continuando con el esquema de Ordenación de cuencas basado en función de la erosión, la forma de utilizar el modelo USLE corresponde a lo expuesto en la tabla anterior, donde A_t representan las pérdidas de suelo tolerables establecidas en $3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, y A son las pérdidas de suelo genéricas.

Por lo que consecuentemente será preciso conservar el uso actual de aquellas superficies en las que las pérdidas de suelo estén por debajo del umbral admisible, y por otro lado intentar llevar hasta niveles admisibles aquellos terrenos que son capaces de soportar pérdidas de suelo superiores, ya sea realizando prácticas de conservación en los suelos agrícolas o cambiando el uso del suelo.

Tabla 34. Ordenación de usos del suelo según el modelo USLE

Valoración del suelo en la parcela	Condición que debe cumplirse	Tolerancia respecto a la erosión
Terrenos forestales	$A_i < A_t$	Uso actual del suelo compatible
	$A_i > A_t$	Uso actual del suelo incompatible (sustituir o mejorar)

Valoración del suelo en la parcela	Condición que debe cumplirse	Tolerancia respecto a la erosión
Terrenos agrícolas	$A_i < A_t$	Uso actual del suelo compatible
	$A_i > A_t$	Siendo B_i prácticas de conservación de suelos. Uso compatible
	$A_i B_i < A_t$	
	$A_i > A_t$	Uso actual del suelo incompatible. Preciso reclasificar
$A_i B_i > A_t$		
Improductivo	No se considera	

Fuente: Wischmeier y Smith, 1978

Los terrenos improductivos no presentan pérdidas de suelo al tratarse de lagunas, carreteras, poblaciones, aunque en los caminos de tierra, comúnmente denominadas brechas de terracería, las pérdidas de suelo pueden ser considerables, aunque bien su importancia relativa es menor al representar poca superficie.

A partir del 30% de pendiente no disminuyen las pérdidas de suelo aunque se realicen prácticas de conservación de suelo, por lo que la única solución restauradora será el cambio de uso. Como se puede observar, en la Ordenación de la Cuenca teniendo en cuenta

el modelo USLE, no se diferencian bien las formaciones vegetales. Si bien en este trabajo se ha superpuesto el mapa de Ordenación con los usos del suelo de manera que en lugar de considerar exclusivamente terrenos agrícolas y forestales, se han distinguido además los otros usos. Las actuaciones se reducen a las siguientes:

1. Mantener uso agrícola (por ser compatible con la pérdida de suelo)
2. Mantener uso forestal (tolerable a las pérdidas de suelo)
3. Realizar prácticas de conservación de suelos
4. Repoblación en terreno forestal
5. Repoblación-Cambio de uso

De la aplicación de esta tabla se obtienen las siguientes superficies de actuación y los mapas resultantes de la Ordenación.

Tabla 35. Superficies de los usos de suelo asignados según el modelo USLE a las cuencas de estudio

Actividades	Superficie(km ²)					
	I (El Novillo)	II (El Cajoncito)	III (La Huerta)	IV (La Palma)	V (El Carrizal)	VI (Victoria)
Mantener uso agrícola	11.021	6.61	12.43	12.84	19.85	0.31
Mantener uso forestal	109.88	68.93	86.46	212.91	269.91	142.16
Realizar prácticas de conservación de suelos	0	0.19	0.084	0	0.7	0

Actividades	Superficie(km ²)					
	I (El Novillo)	II (El Cajoncito)	III (La Huerta)	IV (La Palma)	V (El Carrizal)	VI (Victoria)
Repoblación en terreno forestal	0.003	30.22	11.87	43.65	54.42	0.008
Repoblación -Cambio de uso	0.134	39.25	5.84	19.75	25.4	0.017

Fuente: Elaboración propia

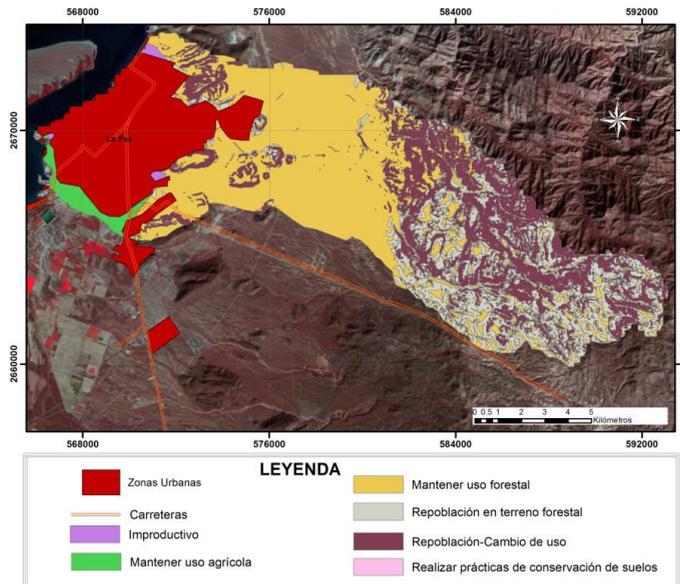


Figura 81. Ordenación bajo criterio USLE de Cuenca El Cajoncito

Fuente: Elaboración propia

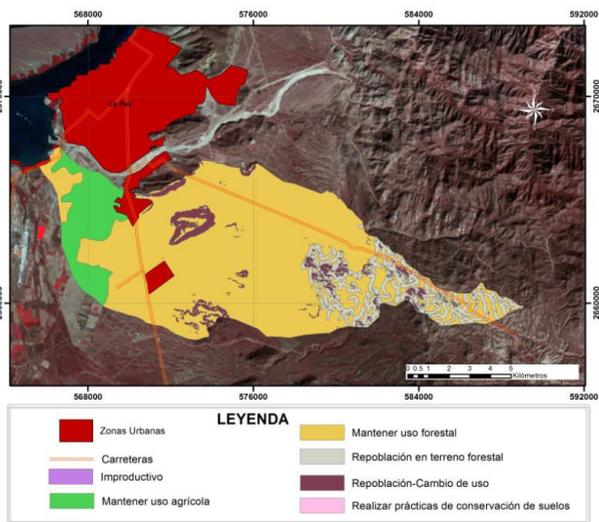


Figura 82. Ordenación bajo criterio USLE de Cuenca La Huerta

Fuente: Elaboración propia

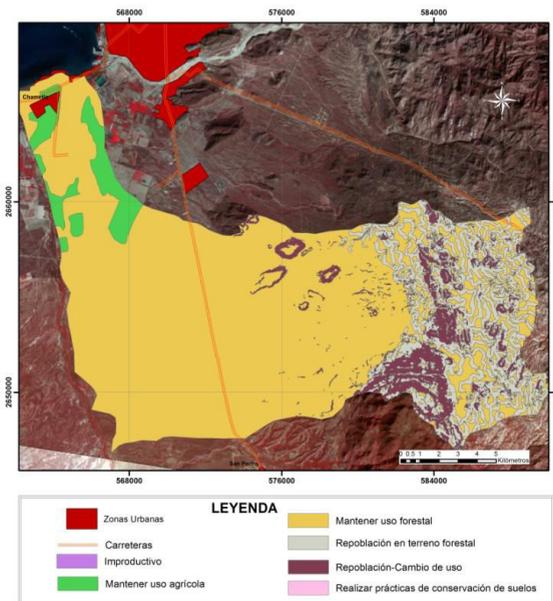


Figura 83. Ordenación bajo criterio USLE de Cuenca La Palma

Fuente: Elaboración propia

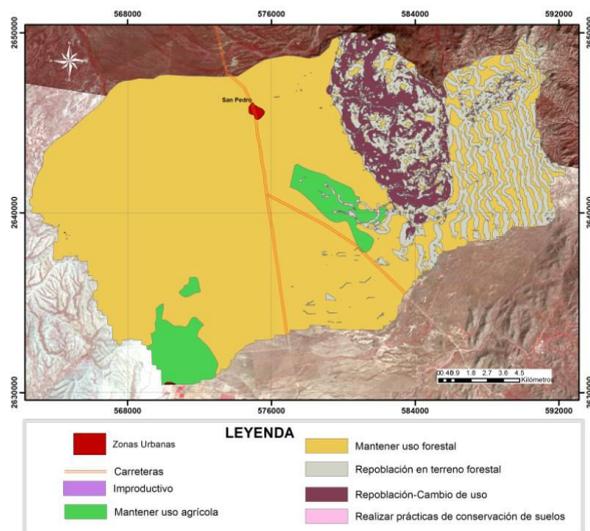


Figura 84. Ordenación bajo criterio USLE de Cuenca El Carrizal

Fuente: Elaboración propia

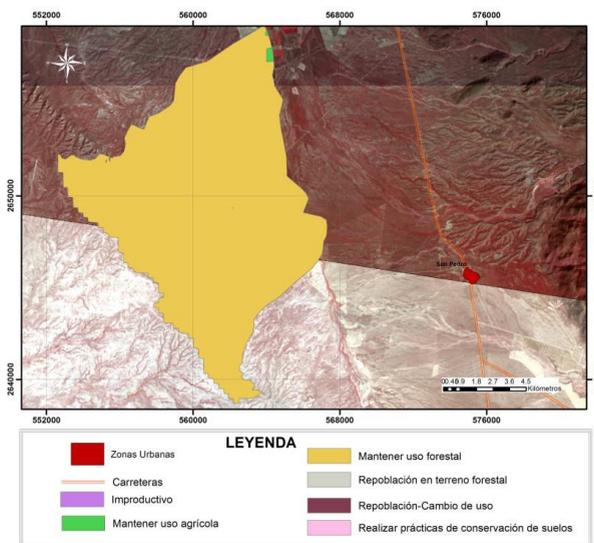


Figura 85. Ordenación bajo criterio USLE de Cuenca Victoria

Fuente: Elaboración propia

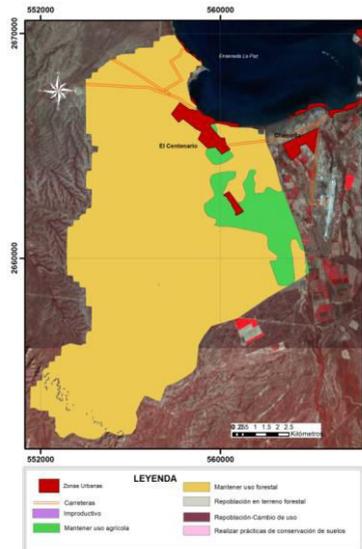


Figura 86. Ordenación bajo criterio USLE de Cuenca El Novillo

Fuente: Elaboración propia

3.10.2 Metodología de Ordenación de la cuenca bajo el modelo NSPECT

Se utilizaron los datos de tipo de suelo, cobertura, precipitación, erosividad y erodabilidad del suelo, tomados en dos periodos de tiempo correspondientes a los años 2011 y 2014. Se ejecutó el software *Nonpoint Source Pollution and Erosion Comparison Tool* (N-SPECT), analizando las relaciones entre la erosión, la cobertura del suelo y mediante la combinación de factores del ambiente físico como la elevación, la inclinación, tipo de suelo y precipitación. Y como ya se ha mencionado anteriormente, este modelo posee la ventaja de ser extrapolable a cualquier área de estudio.

3.10.2.1 Parametrización de N-SPECT

- Coeficiente de cobertura del suelo (C): las distintas capas de uso del suelo fueron obtenidas gracias a imágenes raster de la cuenca, pertenecientes al INEGI. Este

factor indica como la pérdida del suelo será distribuida a través del tiempo mediante distintos tipos de manejos sobre la cobertura (Renard, 1997). Los factores de cobertura para cada uno de los distintos usos del suelo, fueron estimados mediante una calibración del modelo, comparando los datos arrojados por el modelo con datos reales tomados de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

- Coeficiente de erosividad de lluvia (R): representa la capacidad que tiene la lluvia de causar erosión utilizando el efecto de la intensidad, duración y magnitud de cada evento de lluvia, este fue calculado utilizando datos de precipitación, los cuales fueron interpolados por medio del método Kriging (Haylock, 2006). Con esto se creó un modelo que valora la cantidad de precipitación medida de cada una de las estaciones meteorológicas cercanas a las cuencas de estudio. Posteriormente utilizando las capas interpoladas para los doce meses del año se calculó el modelo.
- Coeficiente de erosionabilidad del suelo (K): representa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, este depende de la textura, estructura, contenido de materia orgánica y permeabilidad que este posea (Pérez, 2007). Este factor fue calculado con la fórmula propuesta por Wischmeier y Smith (1978). La aplicación de esta ecuación fue previamente descrita en el apartado de USLE:

$$K = 1.313 * [(2.1^{10^{-4}}) * (12 - MO) * M^{1.14} + 3.25 * (s - 2) + 2.5 * (p - 3)]/100$$

Donde:

K es el índice de erosionabilidad del suelo ($t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$)

M es el factor representativo de la textura

MO corresponde al porcentaje de materia orgánica del suelo

s es el código de la estructura del suelo

p es el código de permeabilidad del suelo

Las características físicas como los porcentajes de materia orgánica y los datos de estructura fueron tomadas de las capas generadas por el estudio Geohidrológico La Paz-El Carrizal (García, 1985).

- Grupos Hidrológicos de Suelos: basado en el porcentaje de permeabilidad de los suelos donde 0 equivale a la máxima infiltración para suelos arenosos (100% infiltración) y 1 (0% de infiltración) para suelos arcillosos. Para este estudio los grupos hidrológicos fueron obtenidos mediante datos de textura provenientes del estudio Geohidrológico anterior.
- Factor L (longitud de la pendiente) y S (gradiente de la pendiente): Estos dos factores utilizados en la (USLE) para el cálculo de erosión se calcularon mediante un modelo de elevación digital de cuenca adicional al modelo N-SPECT.

Para acotar el modelo solamente al efecto de la variable “uso del suelo” la precipitación se mantuvo constante en los escenarios esto con el fin de disminuir el sesgo que podría ser introducido por esta variable.

3.10.2.2 Cambios en la cobertura de uso del suelo

Al realizar el análisis de cobertura, los principales cambios mostrados fueron el gran aumento en el área de plantaciones forestales y de matorrales y la disminución de la cobertura agrícola. Se observó una drástica disminución en las tierras agrícolas de la zona de estudio las cuales en el año 1998 dominaban el paisaje con el 27.5%, para pasar a un 7.6% en el 2011. Por otra parte, se observó un aumento en el área de matorral desde un 14.3 % en 1998 hasta un 27.1 % en el 2011.



Figura 87. Zona de cultivo en la Cuenca El Carrizal

Fuente: Elaboración propia

3.10.2.3 Ejecución y resultados de la Ordenación del territorio

El modelo NSPECT es una herramienta útil y novedosa utilizada en los últimos años en zonas costeras del sur de Estados Unidos. Provee resultados y escenarios a futuro en cuanto al cambio del uso de suelo. Requiere datos de entrada (*inputs*) calibrados e información cartográfica de buena calidad, que en gran medida en este caso de trabajo, han sido producto de la caracterización de la cuenca de estudio.

Toda la cartografía es importante que esté en formato ráster, de preferencia en formato GeoTiff, que conserve el mismo tamaño de celda (en este caso se trabajó con celdas de 25.5 m x 25.5m), que la escala de trabajo permanezca y el sistema de unidades sea el mismo para todo el proyecto. A continuación se ejemplifica una ventana del software utilizado:

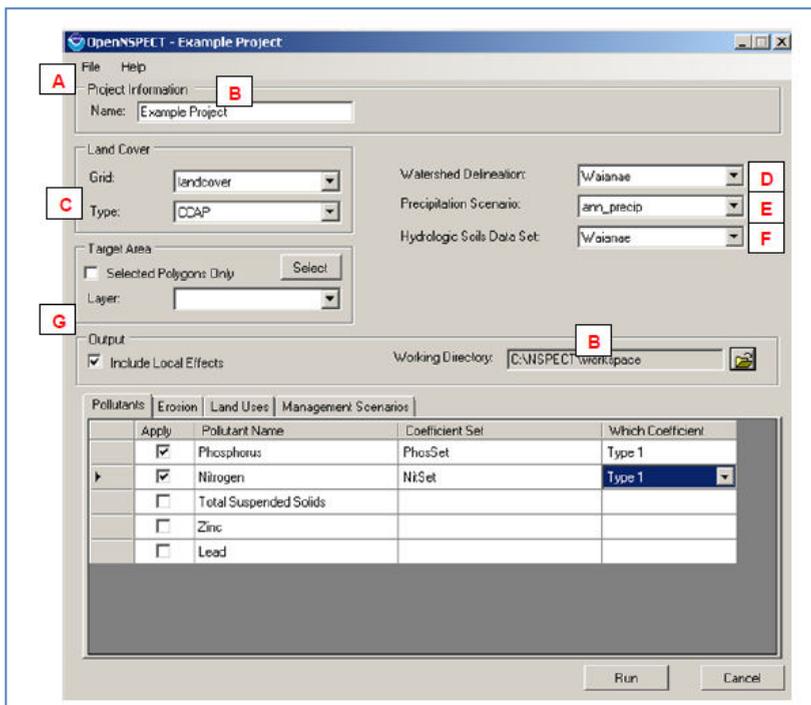


Figura 88. Ventana de trabajo del modelo de Ordenación NSPECT

Fuente: Elaboración propia

En la figura 88, se muestra una de las ventanas de trabajo del modelo NSPECT, el apartado A concierne a la información de archivo, el apartado B se refiere a la información y título del proyecto, el apartado C indica el Grid de cobertura de Usos del Suelo de la cuenca de estudio, en ella se deben especificar los diversos usos de suelo presentes en la zona de estudio y clasificarlos con referencia a los números de curva SCS y el factor de cobertura de la fórmula RUSLE. Cada una de estas rutinas es necesaria elaborarla para cada cuenca que se esté estudiando y analizando.

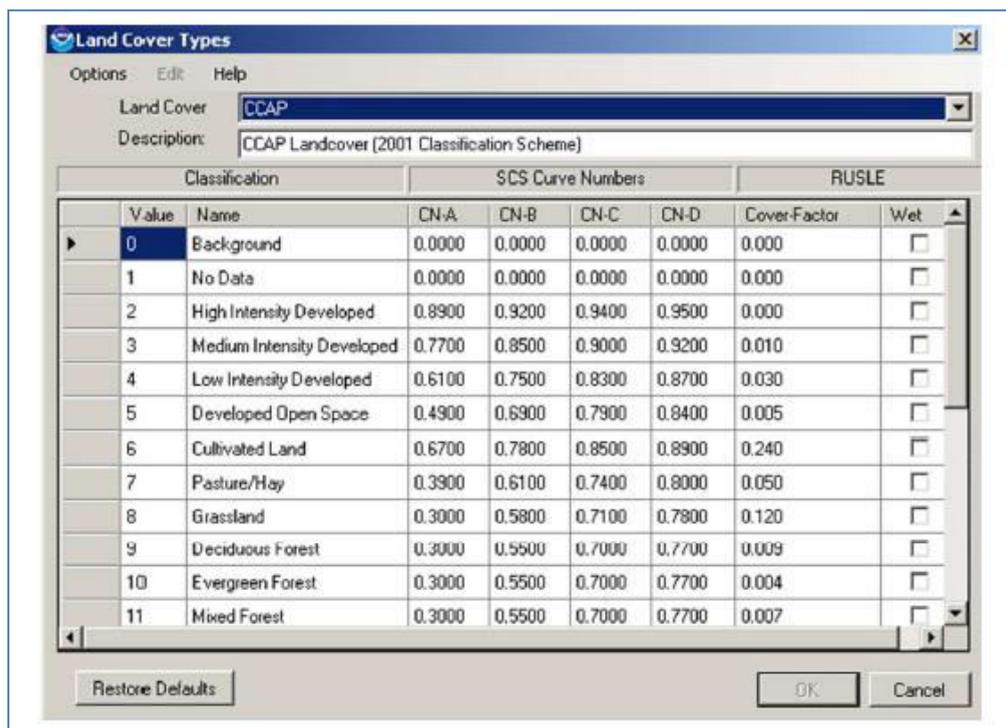


Figura 89. Ventana referente a la cobertura de Usos de Suelo

Fuente: Elaboración propia

El apartado D se refiere a la delimitación de la Cuenca, que previamente el usuario habrá introducido parámetros relativos a la malla de flujo y tamaño de la red de drenaje. Posteriormente el apartado E se refiere a los escenarios de precipitación incluidos en el modelo, en este caso se adecuarán a la zona de estudio introduciendo un Grid de

precipitación media anual de la cuenca, número de días lluviosos al año, etc. El apartado F indica los datos de suelo, introduciendo un Grid del factor K de la zona de estudio (Figura 90), atributos del grupo hidrológico de suelos, y coeficientes de la fórmula MUSLE, que en su defecto fueron los mismos utilizados para una zona árida de Arizona, que el software trae como ejemplo de aplicación. Aquí es muy importante recalcar la importancia de mantener el mismo sistema de unidades para todas las coberturas y datos introducidos en el modelo.

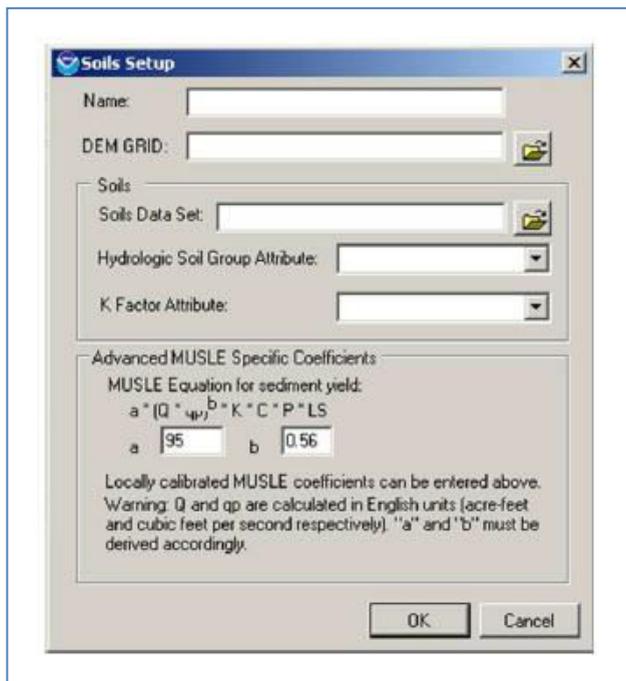


Figura 90. Datos de suelos utilizados en NSPECT

Fuente: Elaboración propia

Por último en el apartado G, se introducen y seleccionan los parámetros relacionados a los escenarios resultantes, outputs, del modelo. En este caso, de erosión, y posibles futuras usos de suelo en la cuenca de estudio. Y con ello, obteniendo la Ordenación final del territorio para cada una de las cuencas de estudio con sus respectivas actividades propuestas.

Tabla 36. Ordenación del territorio en base al modelo NSPECT para cada cuenca

Actividades	Superficie(km ²)					
	I (El Novillo)	II (El Cajoncito)	III (La Huerta)	IV (La Palma)	V (El Carrizal)	VI (Victoria)
Conservar matorral	57.86	70.96	73.33	125.09	118.22	43
Riego	12.77	0.29	12.83	16.13	12.14	4
Conservar matorral sarcocaulé	0	0	0.12	0	0.6	0
Conservar mezquital	0	0	0	70.96	3.04	4
Conservar selva baja caducifolia	0	34.4	6.36	45.56	140.43	0
Conservar vegetación halófila	1.59	0.22	0.04	3.22	0	0
Cuerpo de agua	0.71	1.12	0.43	0.57	0	0
Cultivar matorral sarcocaulé	48.45	26.99	19.31	89.7	92.02	95
Cultivo pastizales	0	4.58	0.89	4.58	6.29	0
Zona Urbana	1.96	32.61	2.61	1.01	0.66	0

Fuente: Elaboración propia

Los mapas temáticos resultantes para cada cuenca de estudio, se presentan a continuación:

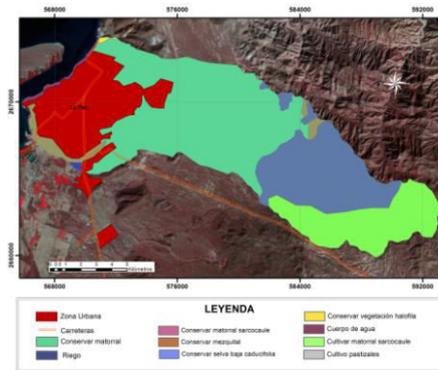


Figura 91. Escenario de Proyección de Usos del Suelo Futuro de la zona de estudio según el modelo NSPECT para cuenca El Cajoncito

Fuente: Elaboración propia

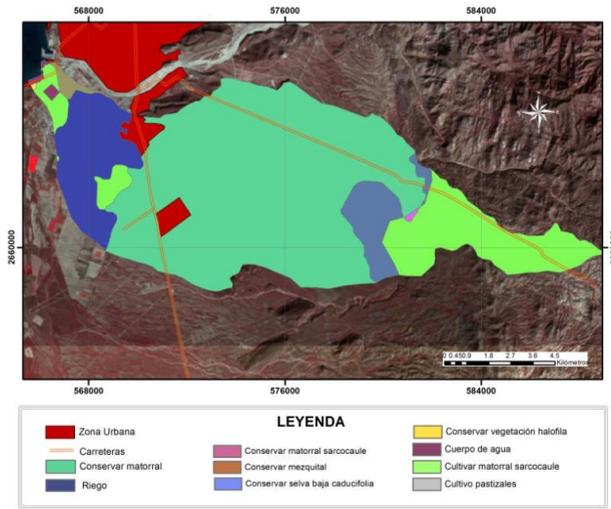


Figura 92. Escenario de Proyección de Usos del Suelo Futuro de la zona de estudio según el modelo NSPECT para cuenca La Huerta

Fuente: Elaboración propia

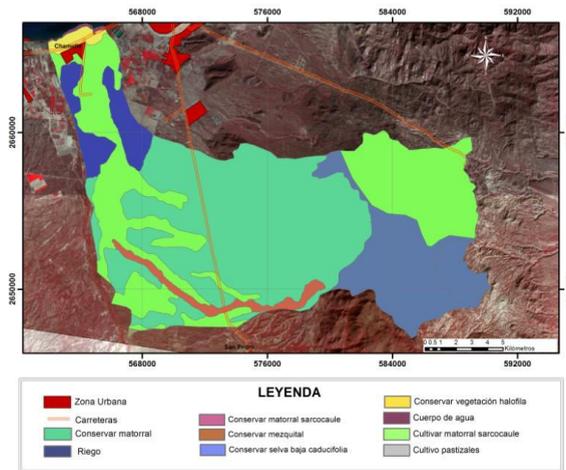


Figura 93. Escenario de Proyección de Usos del Suelo Futuro de la zona de estudio según el modelo NSPECT para cuenca La Palma

Fuente: Elaboración propia

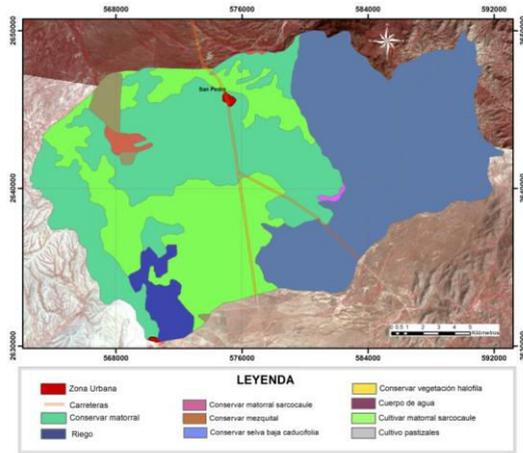


Figura 94. Escenario de Proyección de Usos del Suelo Futuro de la zona de estudio según el modelo NSPECT para cuenca El Carrizal

Fuente: Elaboración propia

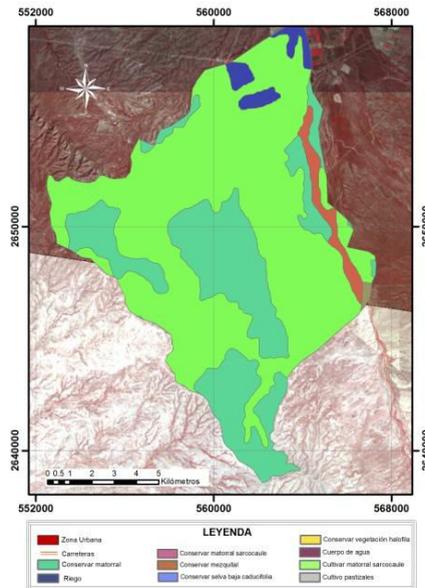


Figura 95. Escenario de Proyección de Usos del Suelo Futuro de la zona de estudio según el modelo NSPECT para cuenca Victoria

Fuente: Elaboración propia

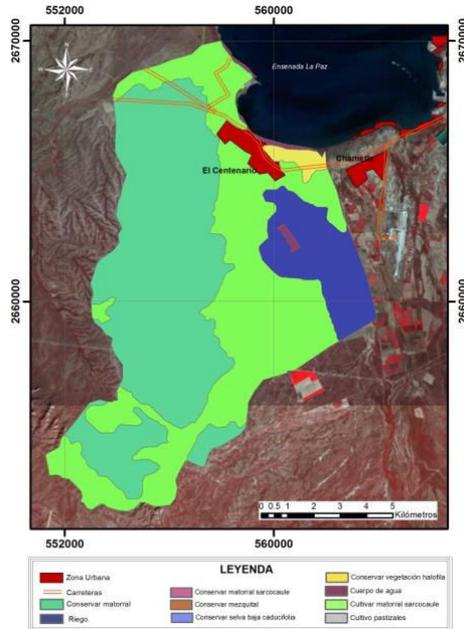


Figura 96. Escenario de Proyección de Usos del Suelo Futuro de la zona de estudio según el modelo NSPECT para cuenca El Novillo

Fuente: Elaboración propia

3.10.3 Modelación del agua subterránea

El agua subterránea constituye una de las principales fuentes de abastecimiento para el desarrollo socioeconómico de México, especialmente en zonas áridas y semiáridas del norte y noroeste del país, donde no existen fuentes alternas de abastecimiento de agua. Es por ello que la gestión adecuada de este vital recurso debe considerar todos los aspectos que intervienen, influyen o afectan tanto en su presencia como en su comportamiento dinámico, dentro del esquema de desarrollo sostenible.

Especial atención requieren las zonas costeras en donde el acelerado desarrollo demográfico y turístico demandan un volumen de abastecimiento cada vez mayor que está siendo extraído de los acuíferos a costa del inminente daño que le pueden inducir, por lo que las políticas de manejo deberán estar encaminadas no sólo a satisfacer la demanda requerida

sino también a atender los aspectos relacionados con problemas de cantidad y calidad del agua.

Aunque la zona estudiada presenta continuos abatimientos debidos a la sobreexplotación del acuífero de estudio, el objetivo final no fue generar un plan integral de manejo de recursos, ya que ello requeriría sin duda estudios más completos sobre costes fijos y variables de la extracción, estudios de mercado y la disposición al cambio del sector social, lo cual excede los límites del presente trabajo. Aquí se presenta la evaluación de una herramienta que permita, en éste y otros acuíferos, conocer las áreas de potencial recarga del acuífero, para así considerar posibles obras de conservación de suelo y agua, incluyendo repoblaciones apropiadas tendientes a rehabilitar el área y a propiciar un aumento en la recarga del acuífero del Valle de La Paz.

Por tanto, los escenarios planteados son teóricos, como medios para acentuar la capacidad de respuesta del modelo MODFLOW. Para visualizar los resultados del modelo se empleó VISUAL MODFLOW como herramienta alternativa de análisis.

3.10.3.1 El Acuífero de La Paz

La ciudad de La Paz tiene como principal almacenamiento natural de agua dulce, el acuífero de La Paz, única fuente de abastecimiento de agua potable para diversas localidades, siendo las más importantes la ciudad de La Paz, El Centenario, Chametla y San Pedro. Asimismo, el acuífero de La Paz, es también la única fuente de abastecimiento para los usos agrícola, pecuario e industrial de la zona. De ahí la importancia de considerar su manejo y correcta gestión para posibles futuros cambios de uso de suelo en la región.

El área que comprende al Acuífero de La Paz se localiza en la porción sureste del estado Baja California Sur, en el valle denominado “La Paz” el cual se ubica entre los paralelos 24°19'52” y 23°48'22” de latitud Norte y los meridianos 110°06'18” y 110°21'53” de longitud Oeste (Figura 97). La superficie real del Acuífero de La Paz, B.C.S., fue limitada por la CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) con un polígono que presenta los vértices mostrados.



Figura 97. Localización del acuífero de La Paz

Fuente: Comisión Nacional del Agua

Tabla 37. Coordenadas de los vértices del acuífero de La Paz

Nodos	Longitud oeste			Latitud norte		
	GRADOS(°)	MINUTOS(′)	SEGUNDOS(″)	GRADOS(°)	MINUTOS(′)	SEGUNDOS(″)
01	110	24	50	24	11	00
02	110	20	49	24	19	52
03	110	17	31	24	17	43
04	110	13	26	24	05	57
05	110	10	01	24	04	04
06	110	08	27	23	00	27
07	110	06	18	23	51	21
08	110	14	49	23	48	22
09	110	17	24	23	18	32
10	110	21	53	23	50	53
11	110	29	38	24	02	00

Fuente: Comisión Nacional del Agua

De acuerdo con la integración de la información proporcionada por los cortes litológicos de algunos pozos que se distribuyen en la zona del acuífero y de la interpretación

de las secciones geofísicas y geológicas, se considera que los materiales donde se desarrolla el acuífero de La Paz se encuentran asociados a los sedimentos clásticos de origen principalmente fluvial, que ocupan la mayor parte del valle, las facies, principalmente continentales, que lo conforman son arenosas y gravillentas, fenómeno que permite la libre circulación del agua entre los espacios intergranulares.

Los intervalos conformados por arcillas y horizontes de material de grano muy fino, forman un medio que puede provocar semiconfinamiento de las aguas subterráneas en determinadas áreas. El conjunto de materiales que integran el medio poroso corresponden principalmente a sedimentos que han sido derivados de medios dominados principalmente por fenómenos fluviales en donde el patrón de sedimentación ha sido controlado por el comportamiento en el tiempo de las distintas corrientes superficiales que se han desarrollado en la región. El conjunto de estos materiales conforma prismas de sedimentos cuyo espesor llega hasta los 200 m en las partes más profundas del Valle.

El volumen total concesionado del acuífero de La Paz está asignado principalmente a usos consuntivos humanos (59.3%) (CONAGUA, 2008). A diferencia de la mayoría de acuíferos del país, la agricultura ocupa el segundo lugar en volumen asignado (36.4%) (CONAGUA, 2008).

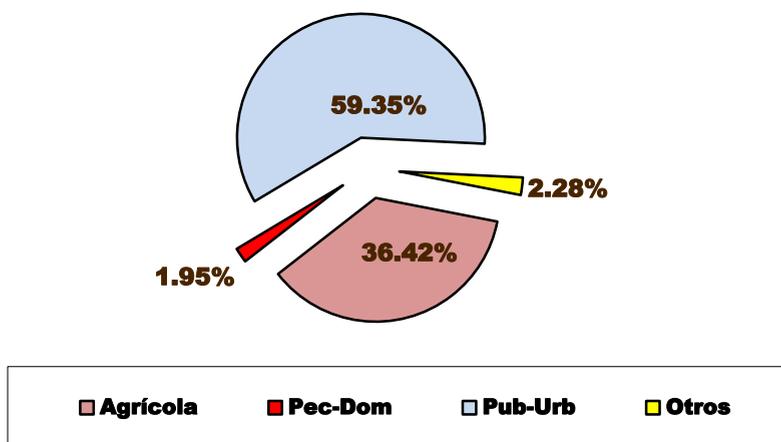


Figura 98. Distribución porcentual usos acuífero La Paz

Fuente: Elaboración propia

Actualmente, el sistema acuífero se encuentra en condiciones críticas, pues por varios años ha sido sobreexplotado, conforme la ciudad capital, La Paz, ha ido creciendo y requiriendo mayores volúmenes de agua, más otros requerimientos extras de agua ligados a su desarrollo.

Es importante reconocer que un buen manejo de la cuenca El Cajoncito y El Carrizal (principalmente por tener el sistema montañoso más relevante en su interior) puede contribuir a incrementar la recarga natural del sistema acuífero, pero al mismo tiempo es conveniente considerar la posibilidad de recargar artificialmente el sistema en un futuro.

Para conocer las condiciones del acuífero de La Paz, a lo largo de la última década, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) ha promovido la realización de diversos estudios geohidrológicos y geofísicos, encaminados a determinar las características físicas del acuífero, calidad del agua almacenada, evolución de la intrusión salina y grado de explotación a la que ha estado sujeto el acuífero. Actualmente, los usuarios están organizados en el Comité Técnico de Aguas Subterráneas del Acuífero La Paz - El Carrizal, A.C. (COTAS), asociación de reciente creación, que ha planteado como prioridad el realizar estudios que definan las obras necesarias para la conservación y recuperación del acuífero La Paz.

Para contrarrestar el incremento de las extracciones de agua subterránea y el estado crítico en el que se encuentra el acuífero La Paz, debido a la sobreexplotación y la contaminación por intrusión salina del agua de mar, es necesario llevar a cabo obras de conservación del suelo que favorezcan la recarga del acuífero. Hoy en día, la única obra en función en toda la cuenca de El Cajoncito (cuenca principalmente relevante por tener en su desembocadura a la ciudad de La Paz), es la presa de la Buena Mujer que se construyó para regular las avenidas y que de alguna forma contribuye a la recarga del acuífero, ya que retrasa el hidrograma de salida. Cabe señalar que han existido diversos programas de realización de obras para conservación de suelos y agua; sin embargo, no se ha tenido la coordinación interinstitucional ni se ha dado seguimiento ni medición de los resultados por parte de las dependencias ejecutoras, tales como las extintas SRH y SARH, la CONAZA, etc. Situación que es claramente preocupante y demanda soluciones urgentes.

La inundabilidad es un aspecto ligado a la inundación temporal del territorio y por lo tanto muy ligado a su función drenante. En el acuífero de La Paz se pueden encontrar zonas vulnerables que pueden considerarse como áreas críticas desde el punto de vista de riesgo frente a inundabilidad, y que se caracterizan en función de sus peculiaridades zonales. En este tipo de zonas las inundaciones pueden estar producidas por:

- El desbordamiento de cursos fluviales.
- La inundación de los puntos bajos del territorio y de los núcleos urbanos.
- El efecto del oleaje y las mareas.
- Posibles roturas de infraestructuras de regulación o acumulación (embalses, presas, grandes depósitos).

Principalmente en la zona de estudio se presenta el riesgo de inundabilidad en las poblaciones situadas en zona costera. También se tiene en cuenta la elevación del nivel del mar y el efecto del oleaje. En este caso, se decidió agrupar esta información en el apartado de aguas subterráneas pues se desea conocer si existe alguna relación entre las zonas vulnerables a inundación con las áreas potencialmente expuestas a recarga del acuífero.

Es necesario contar con los caudales de crecida de los cauces de la zona de estudio para distintos periodos de retorno, también se utiliza la geometría del terreno de estudio para poder obtener la altura y la extensión de la lámina de agua con los caudales previamente determinados en apartados anteriores. Por último con ayuda del programa geoRAS se obtiene cartografía que detalle la inundación estudiada.

Con el programa HEC RAS (desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers), a partir de la geometría del cauce a estudiar y los caudales obtenidos, se puede obtener la extensión de la lámina de agua y la altura de la misma en el cauce. Además con la extensión de HEC RAS para GIS (geoRAS), se generan mapas con detalle de la extensión de la inundación.

Se considera la siguiente clasificación de vulnerabilidad en zonas dominadas para la zona de estudio circunscrita en el acuífero de La Paz

- Zona de inundación baja: Zona donde las condiciones hidráulicas presentan un calado inferior a 0.4 metros.
- Zona de inundación regular: Zona inundable donde las condiciones hidráulicas presentan un calado inferior a 0.7 metros e igual o superior a 0.4 metros.
- Zona de inundación alta: Zona inundable donde las condiciones hidráulicas presentan un calado inferior a 1 metro e igual o superior a 0.7 metros.
- Zona de inundación muy alta: Zona donde las condiciones hidráulicas presentan un calado igual o superior a 1 metro.

En este caso, se decidió agrupar esta información en el apartado de aguas subterráneas pues se desea conocer si existe alguna relación entre las zonas vulnerables a inundación con las áreas potencialmente expuestas a recarga del acuífero.

La caracterización gráfica es la que se presenta a continuación:

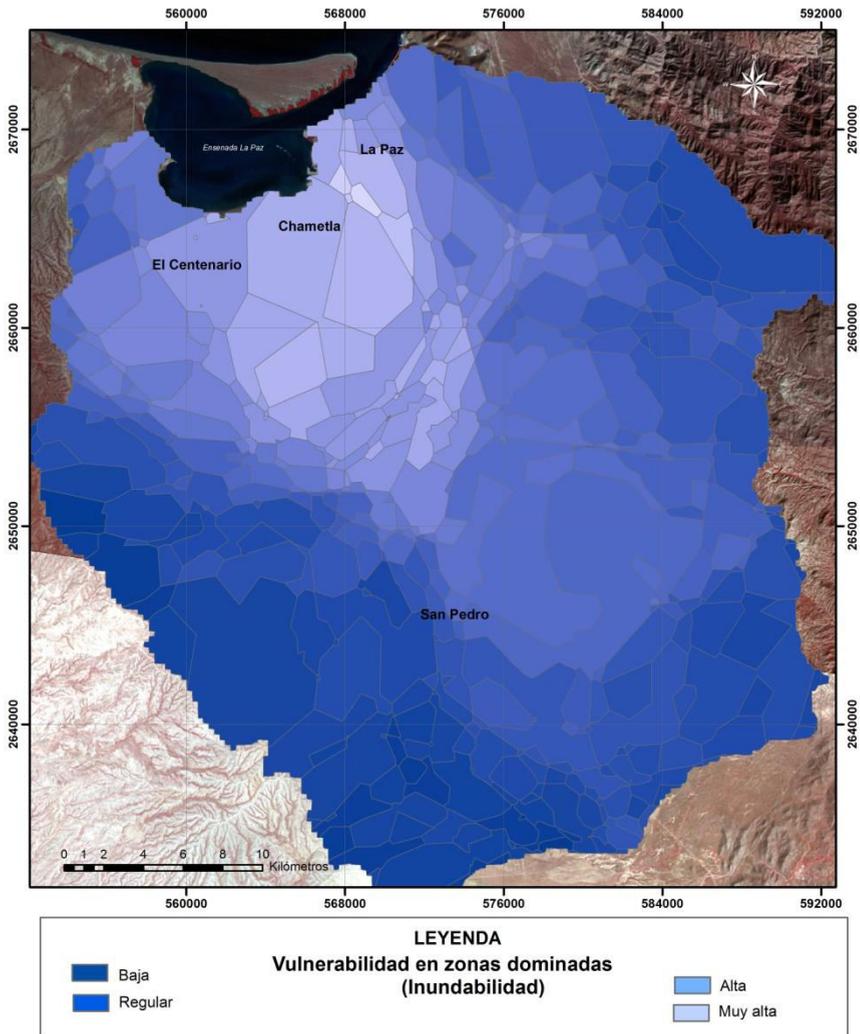


Figura 99. Vulnerabilidad en zonas dominadas para la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

3.10.3.2 Modelación del flujo subterráneo con Modflow

La modelación numérica, balance hídrico y potenciales áreas de recarga del acuífero se realizó por medio del programa Modflow. El modelo se basa en las siguientes características geohidrológicas del sitio:

- Extensión y espesor del acuífero.
- Límites hidrológicos que controlan la dirección de movimiento del agua subterránea.
- Propiedades hidráulicas de los acuíferos y unidades confinantes.
- Descripción de la distribución horizontal y vertical de las niveles a través del área modelada para:
 - La etapa inicial (condiciones iniciales), etapa de equilibrio (estado estacionario) y condiciones:
 - Transitorias donde los niveles varían en el tiempo (estado transitorio).
 - Distribución y magnitud de la recarga del agua subterránea y extracciones.
 - Información geológica de la región.
 - Información topográfica.
 - Datos de escorrentía en arroyos.
 - Perfiles geológicos construidos por barrenación o métodos geofísicos.

Para el análisis piezométrico del acuífero de La Paz se tomó como base la información reportada por CONAGUA. De tal manera, considerando el nivel piezométrico y profundidad de los pozos reportados, se construyó la gráfica de la Figura 100, que muestra la relación del nivel estático con la profundidad de los pozos que definen las zonas de recarga, tránsito y descarga, asociados a los diferentes flujos que integran al acuífero. Se añade que al final del documento en la sección de Anejos se encuentra la relación de pozos localizados en el acuífero de La Paz.

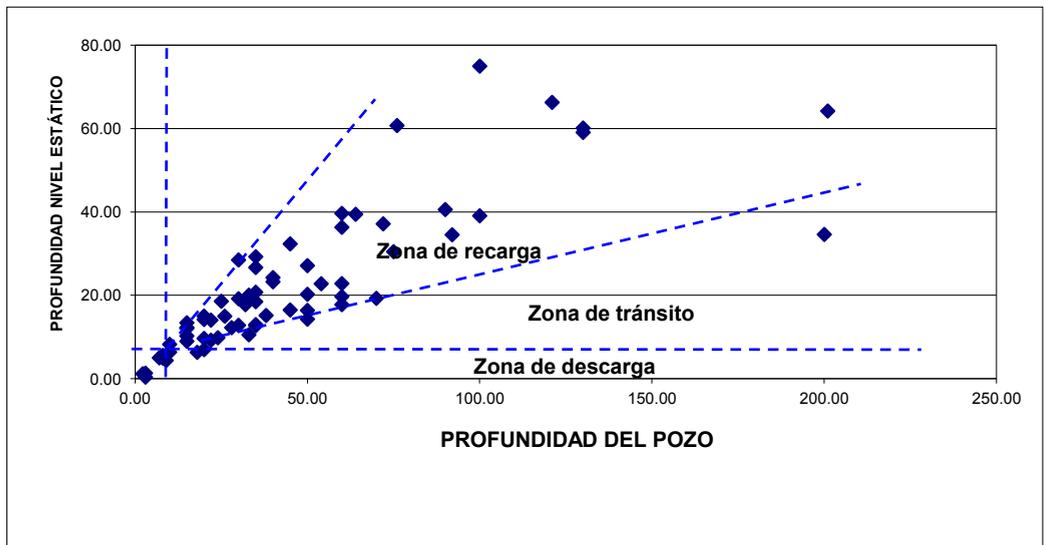


Figura 100. Relación de profundidad del nivel estático Vs profundidad del pozo

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el comportamiento de los niveles de las aguas subterráneas, las áreas de recarga generalmente corresponden con niveles profundos, por lo cual la profundidad de los aprovechamientos se incrementó en relación con la profundidad de los niveles piezométricos, en cambio en las zonas de descarga los niveles de las aguas normalmente son someros, por lo que la profundidad del pozo puede variar en un amplio rango con respecto a la medida del nivel estático.

Considerando lo anterior y según lo que se observa en la gráfica, por un lado se define la zona de flujos descendentes dados por los pozos con mayor profundidad y niveles estáticos más profundos y por el otro se define la zona de descarga, la cual determina flujos verticales hacia arriba, lo cual está representado por los pozos con niveles estáticos someros (menores de 20 m de profundidad), no importando la profundidad de la obra, lo cual se asocia a los aprovechamientos del área de la ciudad de La Paz. Se estima que los aprovechamientos de profundidades considerables y niveles piezométricos cercanos a los 20 m se localizan en una zona de tránsito, en donde el dominio del flujo de las aguas

subterráneas está controlado por un flujo lateral, que de acuerdo con los datos de los niveles, este tiene un sentido relevante en dirección hacia el mar (Mar de Cortés).

Para el estudio del comportamiento del acuífero en el tiempo, se recurrió al análisis de la piezometría, los hidrógrafos y a la configuración de curvas de profundidades del nivel estático. En las gráficas de los hidrógrafos se percibe una clara tendencia de abatimiento, fenómeno que es más notorio en algunos aprovechamientos, probablemente relacionados con su ritmo de operación. Para visualizar este fenómeno y tomando en consideración los datos piezométricos de pozos piloto proporcionados por la CONAGUA, se construyó un hidrógrafo-piezometría, general (Figura 101) en el cual resalta la tendencia descendente del nivel estático.

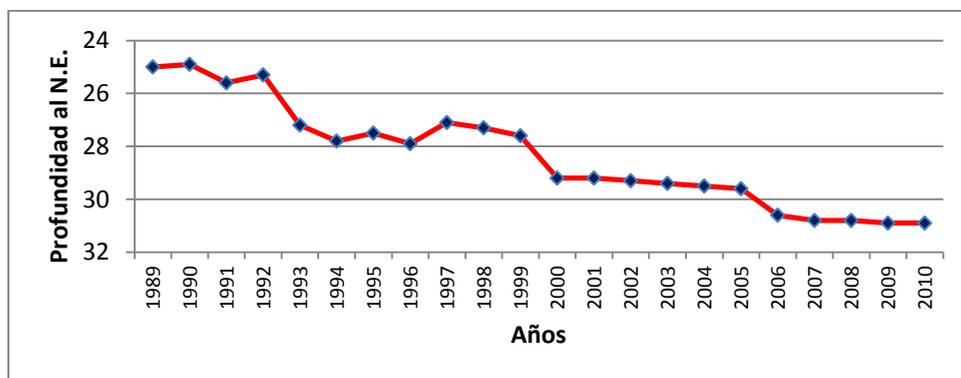


Figura 101. Nivel piezométrico del acuífero de La Paz

Fuente: Elaboración propia

En la misma figura se observa que de manera generalizada el acuífero en los 20 últimos años ha tenido un abatimiento promedio de 8 m, únicamente se observan periodos de recuperación en 1995 y en el intervalo de 1997 a 1998 para posteriormente continuar con su tendencia de abatimiento, el cual en los dos últimos años se ha acentuado.

Los datos piezométricos más recientes corresponden al año 2010, mismos que muestran un ritmo de explotación que no presenta cambios notorios, es decir los abatimientos principales se siguen presentándose en la porción centro y norte del Valle. Las

zonas con mayores abatimientos se siguen presentando hacia la zona de sierras, en donde existen aprovechamientos con más de 50 m de profundidad al nivel estático.

Una apreciación importante es que para los periodos descritos la información piezométrica se restringe a la porción central y norte del acuífero, por lo que no se presenta el comportamiento de las curvas de isovalores en los límites con el acuífero de El Carrizal.

Las zonas más afectadas por la explotación de las aguas subterráneas corresponde con el sur de Chametla , en donde un pozo reporta niveles por debajo de los 25 mbnm, de igual forma el área de Villas de la Paz manifiesta niveles con valores inferiores a los 20 mbnm. De igual forma al oriente del Aeropuerto Internacional de la ciudad de La Paz se presentan abatimientos que provocan niveles por debajo de los 8 mbnm. De acuerdo con lo anterior, es evidente que de manera general la dirección de flujo es principalmente hacia el valle, sin embargo la explotación de las aguas subterráneas ha provocado una alteración en este esquema, generándose áreas en donde se presentan abatimientos que provocan la inversión del gradiente hidráulico lo que ha provocado que el fenómeno de intrusión salina siga avanzando hacia la zona más interna del Valle.

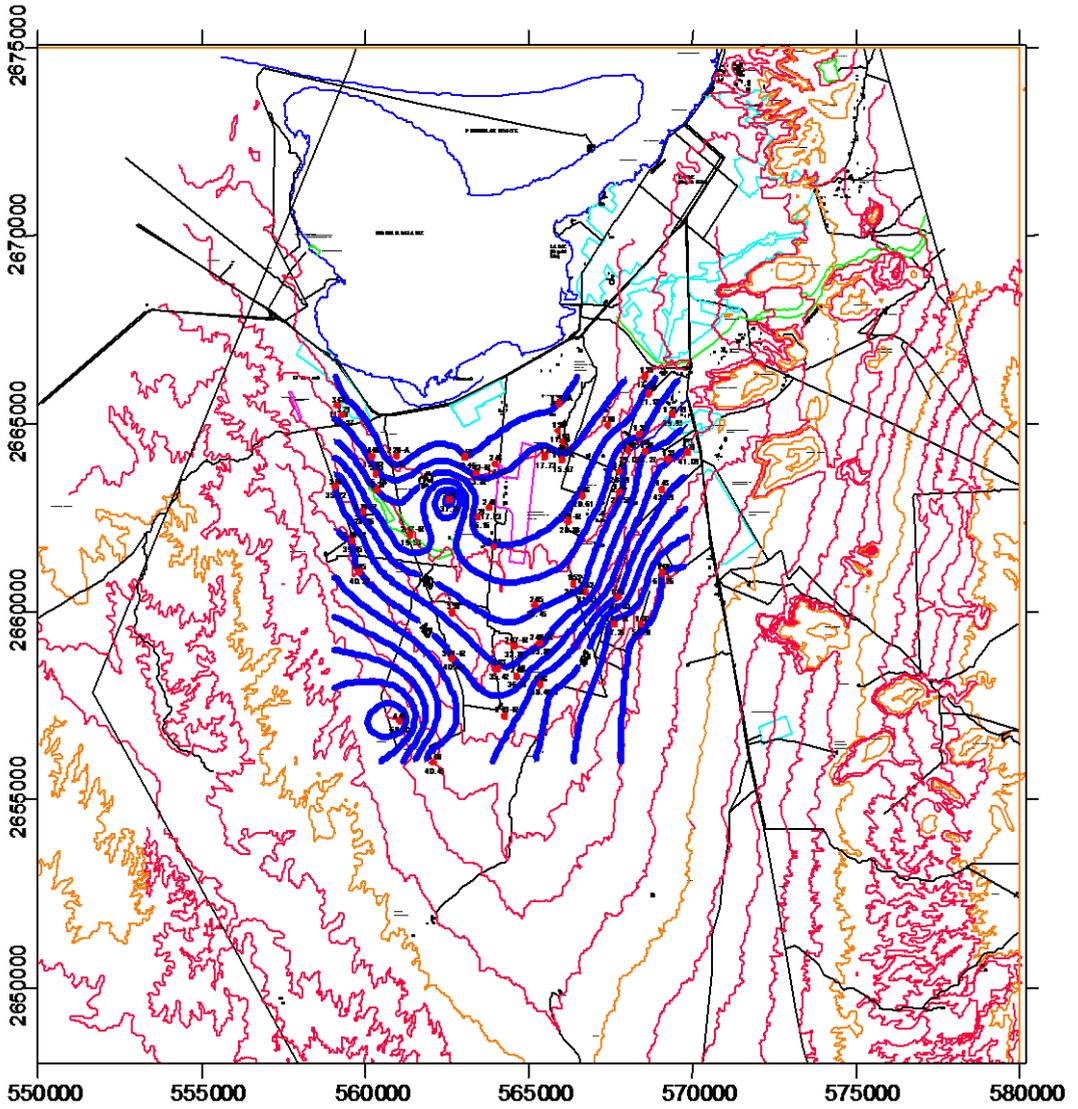


Figura 102. Profundidad al nivel estático para el año 2000

Fuente: Comisión Nacional del Agua

El Acuífero del Valle de La Paz está siendo explotado en sus materiales granulares del medio poroso, los cuales presentan variaciones texturales de los cantos y gravas hasta las

arenas, limos y arcillas. La distribución de los cuerpos de mayor granulometría representan las zonas de mayor permeabilidad y se asocian con los depósitos gravillentos de los canales fluviales y en los prismas gravillentos adyacentes a las zonas afectadas por fallamiento. Esta estructura se interpreta que fue originada a partir de la dinámica de la Falla La Paz, a manera de una cuenca "Pull apart" configurando una geometría triangular en planta, con una profundidad que varía de 150 a 200 m (Figura 103).

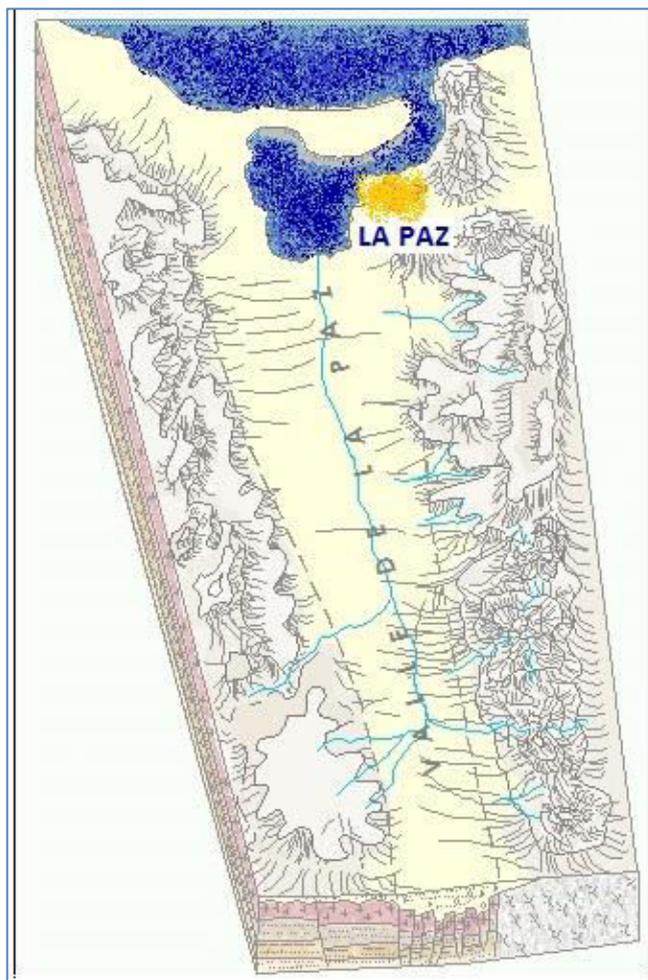


Figura 103. Geometría del Valle de La Paz

Fuente: Comisión Nacional del Agua

De acuerdo a los datos obtenidos a partir de las pruebas de bombeo, se establece que los valores de conductividad hidráulica de los materiales del medio poroso se encuentran en un rango de 1.2 a 14.3×10^{-3} m/seg.

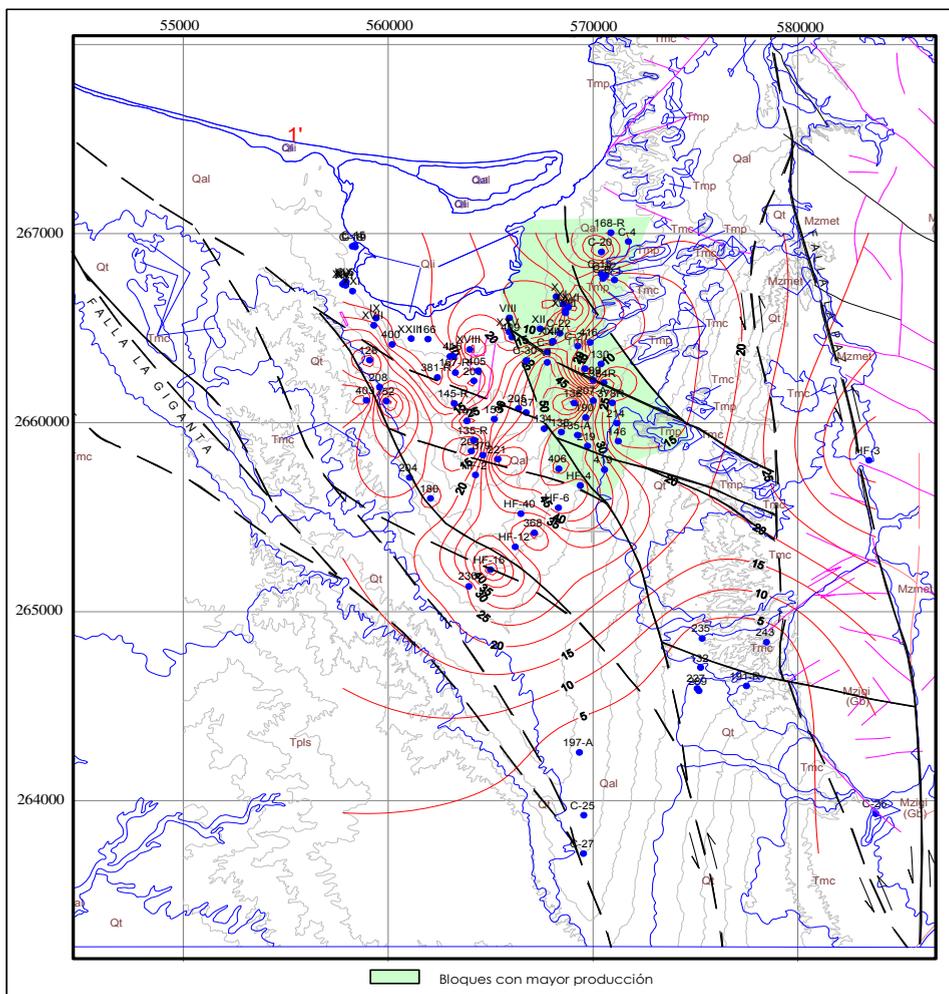


Figura 104. Zonas con mayor descarga por bombes de aguas

Fuente: Comisión Nacional del Agua

Ahora tomando como referencia los datos de las descargas por bombeo de los años 1972, 74, 82, 86 y 97 reportados por SAGARPA en 1998, cuyo promedio es de 31.46 Mm^3 , en tanto que la recarga total anual del acuífero (CONAGUA, 2002) la estiman en 27.8 Mm^3 , da como resultado un déficit de 3.66 Mm^3 , a costa de su reserva. Esta sobreexplotación a lo largo de las últimas 3 décadas, se considera que ha ocasionado el desequilibrio hidrostático entre el agua salada y el agua del acuífero, provocando la intrusión salina en las zonas de menor carga hidráulica.

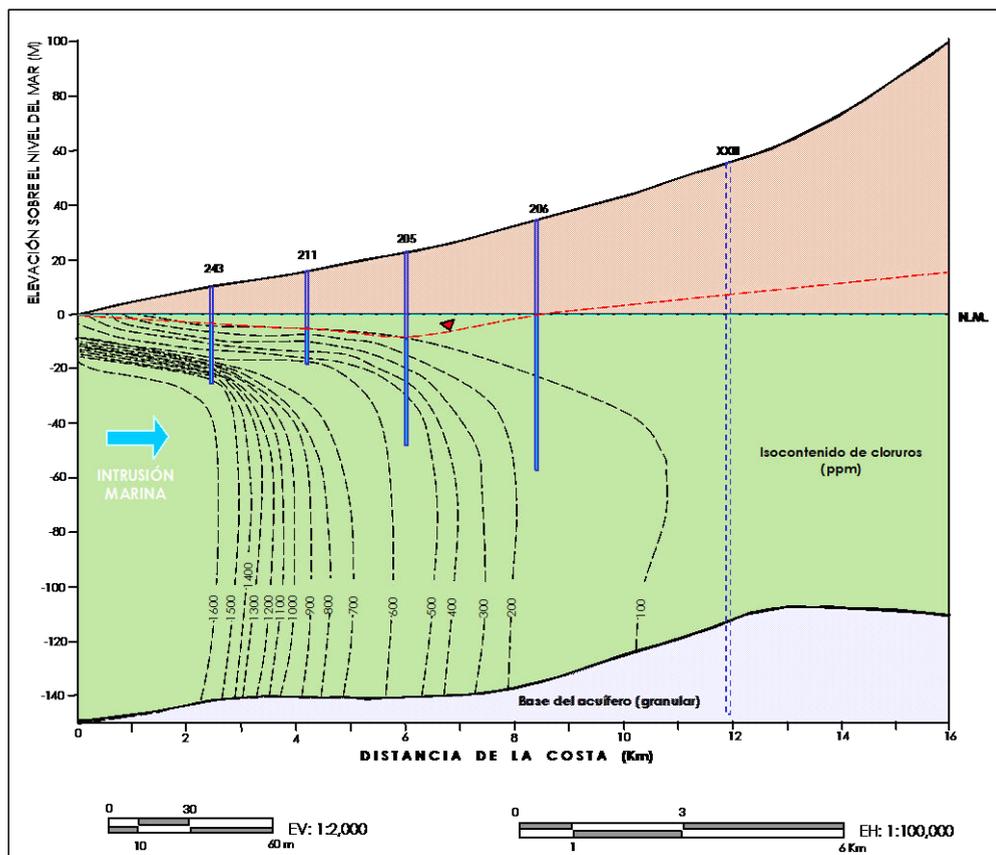


Figura 105. Modelo de representación de intrusión salina en acuífero La Paz

Fuente: Comisión Nacional del Agua

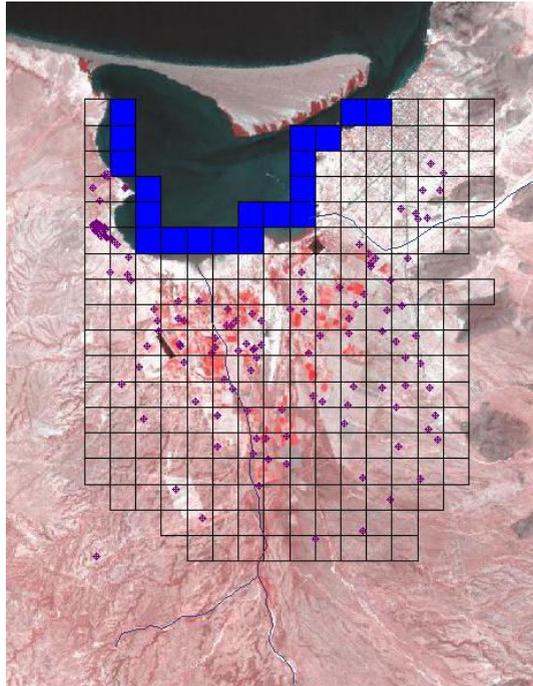


Figura 106. Modelo conceptual subterráneo en parte de la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

Para la discretización espacial del acuífero se elaboró una malla de diferencias finitas de 40 kilómetros de largo y 25 kilómetros en sentido transversal al valle, La discretización vertical incluyó cuatro capas con espesor de 5 metros que abarcan al medio poroso, 13 capas con un espesor de 10 metros que comprenden medio poroso de granulometría variada y las capas restantes presentan un espesor variable que van de 10, 20, 30, 40, 50, 75 y 120 metros respectivamente.

La ecuación general de balance volumétrico para el acuífero de La Paz se puede desglosar como sigue:

$$(E_h + R_v + Inf_B + Inf_S) - (B + S_h) = \Delta s$$

donde:

E_h = Recarga por flujo subterráneo

R_v = Recarga vertical

Inf_B = Retornos de riego por aprovechamientos de agua subterránea

Inf_S = Retornos de riego por la aplicación de aguas superficiales

B = Extracción por bombeo

S_h = Salidas horizontales

Δs = Cambio de almacenamiento

Como se mencionó anteriormente los volúmenes de infiltración se componen de diversas fuentes, por lo que se dejan como una incógnita. Debido a la sobreexplotación del acuífero no existen salidas horizontales ya que en la zona costera se ha generado una inversión del gradiente hidráulico por lo que las aguas marinas están aportando un volumen de 8.37 Mm^3 anuales, de tal forma la ecuación de balance queda reducida a la expresión:

$$E_h + Inf = B - \Delta s$$

Aplicando esta ecuación al Acuífero de La Paz, tenemos que las entradas por flujo subterráneas fueron de $16.8352 \text{ Mm}^3/\text{año}$, las salidas del acuífero por bombeo es de $31.796 \text{ Mm}^3/\text{año}$ y el cambio de almacenamiento presenta un valor de $9.579 \text{ Mm}^3/\text{año}$.

Sustituyendo los datos anteriores en la ecuación general de balance obtenemos un cambio de almacenamiento de:

$$8.4634 + 8.3718 + Inf = 31.796 - 9.579$$

o sea:

$$Inf = 31.796 - 9.579 - 8.4634 - 8.3718 = 5.3818$$

De ahí se obtiene que la recarga total al acuífero es de 22.217 Mm^3 . Sin embargo es importante observar que la recarga total de agua dulce al acuífero presenta un valor de tan solo 13.8452 Mm^3 , por lo cual el alto ritmo de explotación del acuífero (31.796 Mm^3) provoca el alto abatimiento del nivel de las aguas subterráneas (2.05 m anuales) lo que se ve traducido en la aportación de altos volúmenes de agua proveniente del mar $8.4918 \text{ Mm}^3/\text{año}$.

De seguir con el ritmo de extracción actual, la calidad del agua se verá afectada con incrementos de hasta 300 ppm de sólidos totales disueltos en los próximos 10 años, en la porción central del Valle de La Paz.

Al aumentar al 25% la extracción en cada uno de los 122 pozos que se tienen dentro del Acuífero de La Paz, la calidad del agua empeorará, incrementándose hasta 400 ppm de sólidos totales disueltos, mientras que la entrada de agua de mar será de 5.57 Mm³/año, es decir aumentará 0.1882 Mm³/año con respecto a la entrada.

Las zonas potenciales de recarga del acuífero de La Paz obtenidas a partir de la aplicación del modelo matemático son las que a continuación se presentan. Son zonas declaradas de interés público, donde se permitirá la expropiación del terreno para actuación en consecuencia de recarga del acuífero. Donde es evidente una óptima zona de recarga en la zona de sierras (Sierra El Novillo), principalmente en la porción este de la cuenca El Carrizal, y La Palma. En su defecto, la cuenca Victoria presenta una escasa predisposición a la recarga del acuífero.

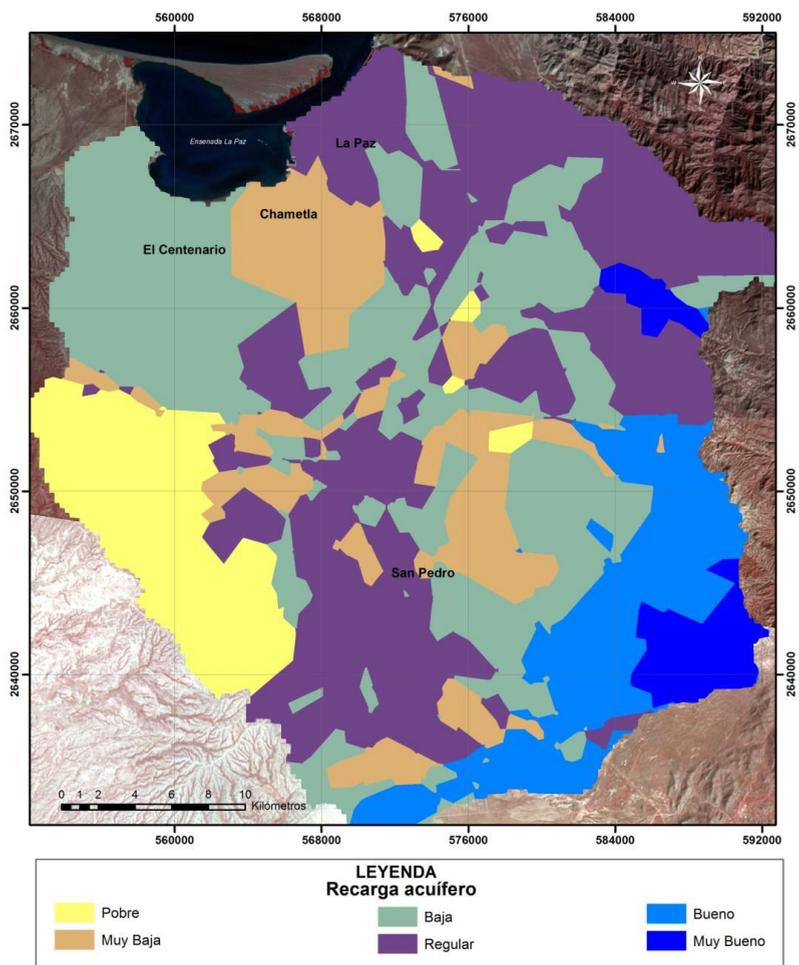


Figura 107. Distribución de las áreas de recarga potenciales para la zona de estudio en el interior del acuífero La Paz

Fuente: Elaboración propia

La situación actual del recurso agua en Baja California Sur es crítica debido a su escasa disponibilidad y a la creciente demanda. Actualmente no existe igualdad entre el volumen de recarga anual y la extracción anual, lo que indica la necesidad de un aumento artificial del agua en el futuro. Existen muchos métodos técnicos para aumentar la oferta de agua de los cuales tres métodos tienen mayor importancia para el estado de BCS. La

desalinización, el reuso de aguas residuales tratadas y la captura de agua superficial en presas.

El reuso de aguas residuales tratadas no representa una opción viable para un aumento sustancial del agua, debido a su relativo poco volumen y a que este recurso ya está concesionado para el riego. También, de acuerdo al alto grado de contaminación supuesto para las zonas de corales y ecosistemas marinos inherentes en la Ensenada de La Paz y Golfo de California y a los previsible desechos de salmuera, los elevados costes de energía (BCS no es autosuficiente en energía) los altos costes de mantenimiento, la desalinización de agua salobre o salada no puede sustituir el déficit esperado en el futuro cercano.

La captura de agua superficial en obras como PRESAS DE INFILTRACIÓN, REPRESAS O ESTANQUES DE INFILTRACIÓN representaría la opción más viable para el estado de Baja California Sur.



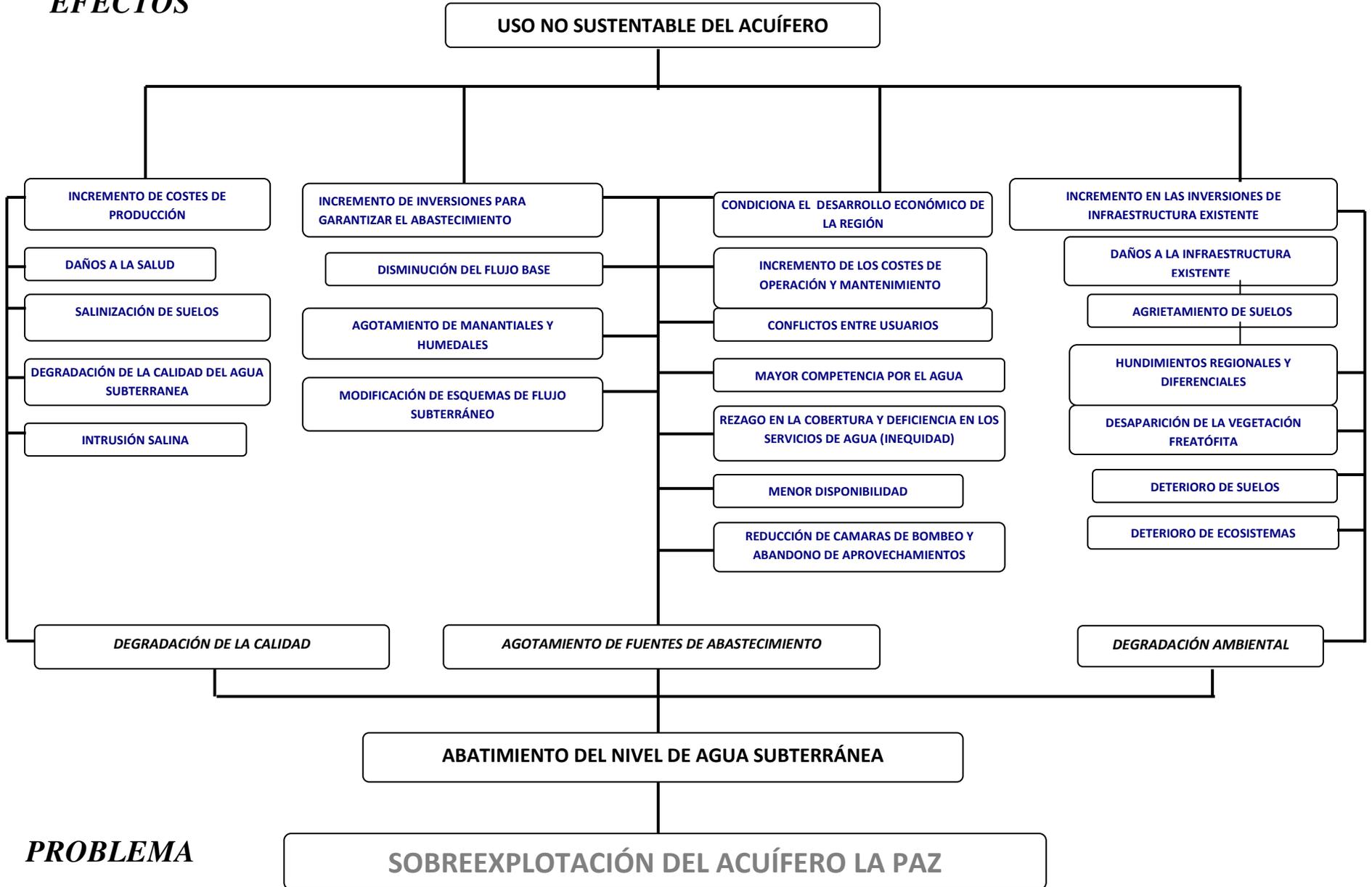
Figura 108. Utilización de un gavión en la parte alta de la cuenca de La Palma

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta a modo de esquema los efectos, causas, y medios relacionados a la problemática actual del acuífero de La Paz. Con ello se pretende que el lector tenga una referencia general de cuáles son los puntos clave por revisar y qué beneficios potenciales se obtendrían con una correcta planeación y Ordenación del territorio.

ÁRBOL DE PROBLEMAS (Acuífero La Paz)

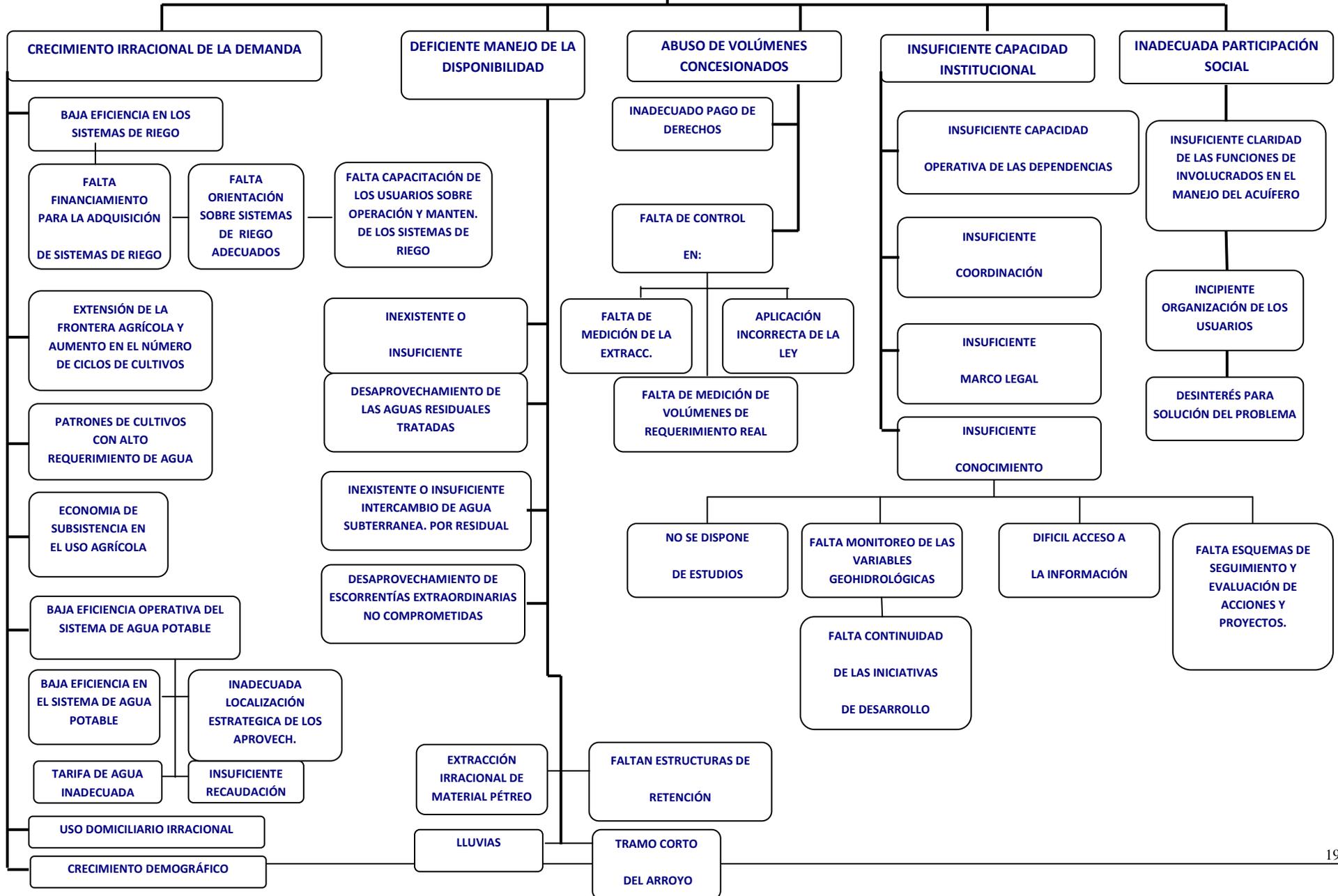
EFFECTOS



**PROBLEMA
CENTRAL**

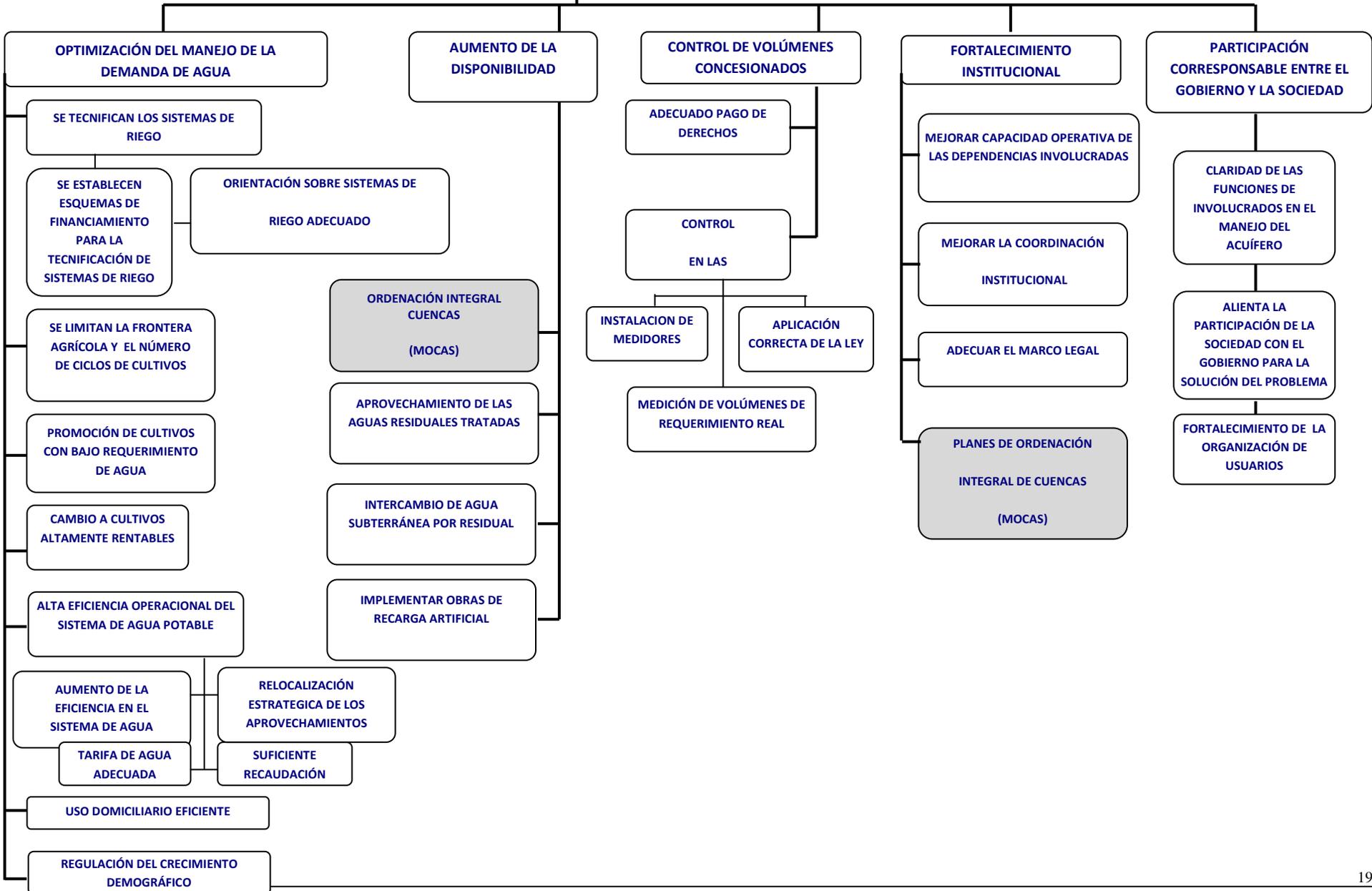
SOBREEXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO LA PAZ

CAUSAS



MEDIOS

SE ELABORA UN PLAN DE MANEJO INTEGRAL DEL ACUÍFERO



A fin de alcanzar un aprovechamiento sostenible del acuífero se deberá de llevar a cabo un reordenamiento de los derechos y concesiones de agua subterránea, a fin de que se puedan ajustar a la cuota de renovación natural del acuífero, este reordenamiento debe apoyarse con un programa de instalación, verificación y reparación de medidores en todos los pozos, y posteriormente establecer un programa de control de las extracciones en pozos.

Debido a la importancia estratégica del agua subterránea en esta región del país, y su valor económico para sostener las actividades productivas más rentables, se requiere la preparación de un plan de intercambio de agua subterránea de usos menos prioritarios a aquellos que ofrezcan un mayor beneficio socioeconómico, en términos de empleo, rentabilidad, eficiencia económica, etc.

La aplicación real y efectiva de las políticas recomendadas anteriormente no se puede llevar a la realidad sin la participación activa de los usuarios, por lo que se recomienda promover la organización y la colaboración de los usuarios de aguas subterráneas en la vigilancia y aplicación de las políticas recomendadas.

Se recomienda la preparación de un Plan de Manejo Integral del Acuífero de La Paz (MIALP), donde se establezcan los pasos a seguir, quienes serán los responsables, de dónde se obtendrán los recursos monetarios y en qué plazos se aplicarán las políticas que se identifiquen como las más adecuadas para lograr el aprovechamiento sostenible del acuífero. En este plan MIALP se integraría la gestión del acuífero junto con la propuesta de Ordenación de Cuencas MOCAS.

Una solución adecuada al problema urgente de abastecimiento de agua, tanto presente y futuro de la Ciudad de La Paz es concebir y manejar el sistema hidrológico, llámese cuenca superficial y cuenca subterránea de una manera integral y no mediante componentes separados, propuesta que en el siguiente capítulo será detallada.

3.10.4 Ordenación según criterios Mintegui Aguirre y López

Esta metodología se basa fundamentalmente en los índices de protección del suelo por la vegetación en el modelo USLE y, considerando la vegetación como el elemento fundamental de gestión en la Ordenación de una cuenca hidrográfica por ser el más manejable y asimismo, teniendo en cuenta que las prácticas de conservación en suelos agrícolas se pueden realizar, orientadas casi siempre a mantener el uso actual y no tener que modificarlo; Mintegui y López (1990) establecen unos criterios para la Ordenación Agrohidrológica de una cuenca vertiente que se encuentran recogidos en la tabla 38.

Con lo que consecuentemente, lo que hace un siglo se solucionaba aplicando la repoblación forestal a grandes superficies degradadas, hoy en la actualidad se emplea una Ordenación agrohidrológica previa a las obras y trabajos de una restauración hidrológico-forestal.

3.10.4.1 Clasificación de criterios para Mintegui Aguirre y López

La aplicación de esta metodología implica, con su debida inherencia a las necesidades actuales, la Ordenación Agrohidrológica previa de las cuencas analizadas. Las cuales, es común que cada vez sean de mayor superficie y por tanto van presentando evidentes modificaciones en los usos del territorio, debido en gran parte, a los cambios en la forma de vida de las nuevas generaciones.

Tabla 38. Criterios para la Ordenación agrohidrológica de una cuenca alimentadora

Pendiente	Uso Actual del suelo		Tipo suelo	Vocación del territorio	Aplicación del modelo USLE	Actuaciones en el territorio (Selección de alternativas)
	Estrato de la vegetación	Observaciones				
i>30	Arbolado Matorral Pastizales Cultivos	Estado en que se encuentra la vegetación: -Denso -Aclarado -No degradado -Afectado o no por razones sociales	Dependiendo de su vulnerabilidad a la erosión	FORESTAL	Según que: A<A _t O bien: A>A _t	Dado que i>30%, se propone con carácter general mantener, restaurar o crear el monte alto arbolado. No obstante, se analizan las situaciones singulares y se proponen soluciones concretas en general transitorias.

Pendiente	Uso Actual del suelo		Tipo suelo	Vocación del territorio	Aplicación del modelo USLE	Actuaciones en el territorio (Selección de alternativas)
	Estrato de la vegetación	Observaciones				
12<i>i</i><30	Arbolado Matorral Pastizales Cultivos	<p>Estado en que se encuentra la vegetación:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Denso -Aclarado -Degradado -No Degradado -Con o sin prácticas de conservación de suelos -Afectado o no por razones sociales 	Dependiendo de su vulnerabilidad a la erosión	FORESTAL Ocasionalmente AGRÍCOLA	<p>Según que:</p> <p>A<A_t</p> <p>O bien:</p> <p>A>A_t</p>	<p>-De existir arbolado se propone su continuidad y mejora.</p> <p>-Los matorrales y pastizales no degradados pueden permanecer; pero a los degradados se propone restaurarlos o transformarlos en monte alto arbolado.</p> <p>-De existir cultivos, siempre es necesario prácticas de conservación.</p> <p>-Para situaciones singulares se ofrecen soluciones concretas en general transitorias.</p>

Pendiente	Uso Actual del suelo		Tipo suelo	Vocación del territorio	Aplicación del modelo USLE	Actuaciones en el territorio (Selección de alternativas)
	Estrato de la vegetación	Observaciones				
i<12	Arbolado Matorral Pastizales Cultivos	Estado en que se encuentra la vegetación: -Denso -Aclarado -Degradado -No degradado	Dependiendo de su vulnerabilidad a la erosión	AGRÍCOLA Ocasionalmente FORESTAL	Según que: A<A _t O bien: A>A _t	No existen limitaciones para el uso del suelo en función de la pendiente. Para situaciones singulares se ofrecen soluciones concretas.

A, pérdidas de suelo y A_t pérdidas de suelo tolerables

Fuente: Mintegui y López, 1990

La tabla realiza hincapié en la utilización agropecuaria del suelo como actividad muy influyente en los procesos hidrológicos que tienen lugar en la cuenca. En consecuencia se proyecta la Ordenación intentando adaptar los usos actuales a los futuros y teniendo en consideración la vocación del territorio, ya que a menudo existen fuertes condicionantes sociales de cara a un posible cambio de uso. Esta condición es especialmente idónea y alusiva al territorio de Baja California Sur, donde el esquema social (migración del campo a la ciudad) y la tenencia de la tierra está en un constante cambio y transformación.

Sin embargo se destaca que esta agrupación no tiene en cuenta determinados aspectos de interés para la Ordenación como aspectos posicionales o zonificación de la cuenca (áreas dominantes y áreas dominadas), ni la capacidad actual del territorio para

permitir un cierto nivel de la serie climática, es decir, no hace mención de las potencialidades bioclimáticas del medio (Tejera, 2001).

Esta metodología se aplica elaborando una superposición de los mapas de pendientes, pérdidas del suelo según el Modelo USLE, usos del suelo (vocación del territorio) y estrato de la vegetación. A partir de lo anterior para cada polígono con las mismas características, se le es asignado un uso futuro del suelo. Por lo que las superficies obtenidas después de realizar las Ordenaciones de las cuencas se recogen en la tabla siguiente.

Tabla 39. Superficies definitivas de los usos asignados según la Ordenación agrohidrológica con criterios de Mintegui Aguirre y López para las cuencas estudiadas

Actividades	Superficie(km ²)					
	I (El Novillo)	II (El Cajoncito)	III (La Huerta)	IV (La Palma)	V (El Carrizal)	VI (Victoria)
Mantener el arbolado	0	9.04	9.79	25.52	60.02	0
Mantener el matorral	104.01	67.31	76.55	175.26	208.09	134.67
Mantener el pastizal	0	3.1	0.89	0.21	6.27	0.39
Mantener la cobertura	1.55	0.16	0.27	10.44	3.04	3.7
Mantener terreno de cultivo	12.77	0.29	12.82	16.13	11.89	3.7
Mejorar el matorral	0.004	3.81	0.54	0.46	1.08	0.008
Mejorar el pastizal	0	0.06	0	0	0	0
Repoblación forestal	0	52.29	13.05	0	0	0
Improductivo	2.66	33.16	2.75	1.4	0.54	0

Fuente: Elaboración propia

La Ordenación de las cuencas de estudio bajo los criterios de Mintegui Aguirre y López, se representan cartográficamente a continuación:

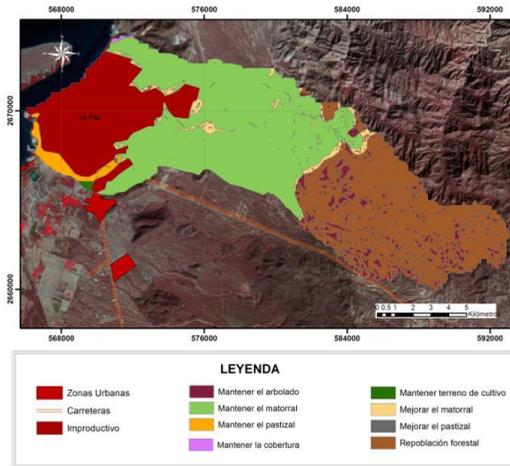


Figura 109. Ordenación bajo criterios Mintegui Aguirre y López para la cuenca El Cajoncito

Fuente: Elaboración propia

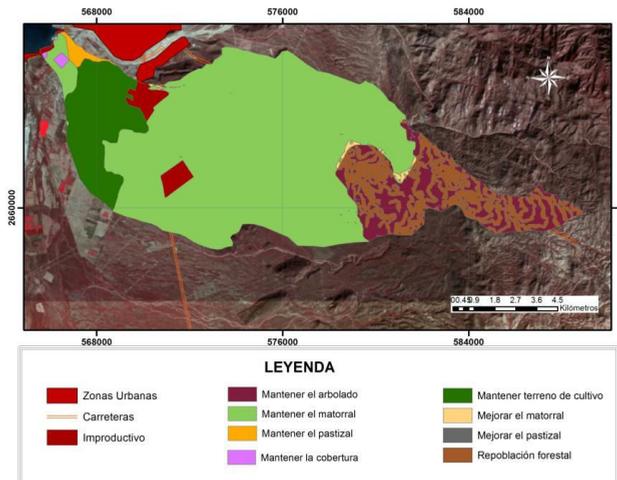


Figura 110. Ordenación bajo criterios Mintegui Aguirre y López para la cuenca La Huerta

Fuente: Elaboración propia

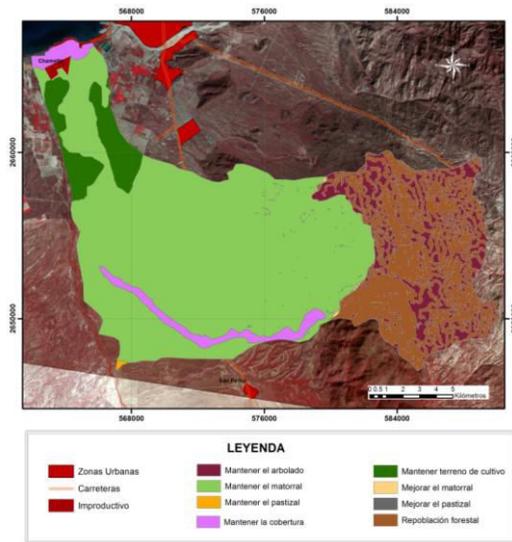


Figura 111. Ordenación bajo criterios Mintegui Aguirre y López para la cuenca La Palma

Fuente: Elaboración propia

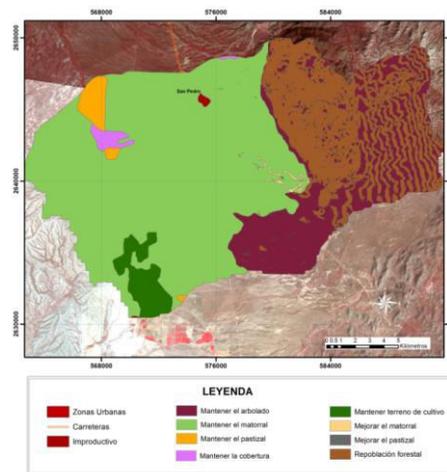


Figura 112. Ordenación bajo criterios Mintegui Aguirre y López para la cuenca El Carrizal

Fuente: Elaboración propia

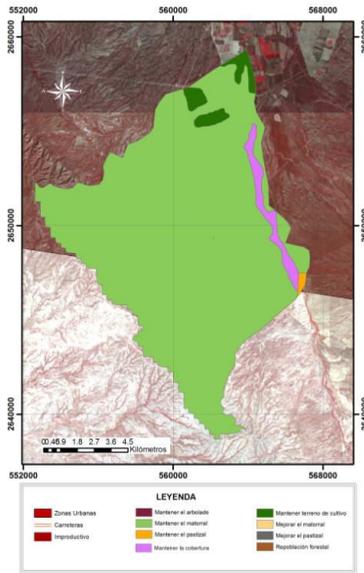


Figura 113. Ordenación bajo criterios Mintegui Aguirre y López para la cuenca Victoria

Fuente: Elaboración propia

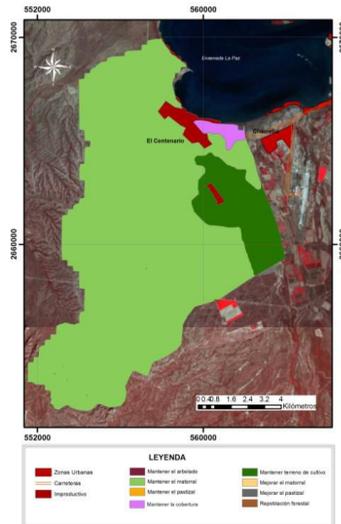


Figura 114. Ordenación bajo criterios Mintegui Aguirre y López para la cuenca El Novillo

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4.

Resultados al caso de estudio



Capítulo 4. Resultados al caso de estudio

La planificación física se fundamenta conceptualmente en la capacidad del territorio para acoger una actividad determinada, como resultado de la concurrencia de un conjunto de elementos ambientales significativos, que son los que le otorgan la aptitud para que pueda desarrollarse en él sin causarle daños (Ramos, 1979).

Como no es posible aplicar el concepto de capacidad de carga (máximo cuantitativo de una actividad o de sus efectos que puede soportar indefinidamente un hábitat o un ecosistema sin dañarlo de manera irreversible y permanente) por carecer de información cuantitativa necesaria, procede acudir, en la línea del informe Dobris (Agencia Europea del Medio Ambiente, 1995), al concepto de capacidad del medio como expresión de su aptitud para acoger las diferentes actividades que pueden proponerse en la Ordenación de la Cuenca.

Uno de los conceptos clave en la aplicación de la sostenibilidad es la de “aptitud del medio para asumir determinadas actividades”.

La *metodología para la Ordenación de cuencas hidrográficas en el ámbito biogeográfico árido sudcaliforniano (MOCAS)* propuesta a continuación considera tanto factores de “aptitud” como de “impacto”. Según Gómez y Barredo (2006), la aptitud puede definirse como el potencial que posee un sitio para soportar una actividad determinada, es decir, el conjunto de requisitos que debe poseer un lugar para podrá acoger una actividad determinada; la aptitud varía como es lógico, a medida que varían los factores del medio o

las clases de los factores, estableciéndose así un rango de aptitud para una actividad en un territorio dado.

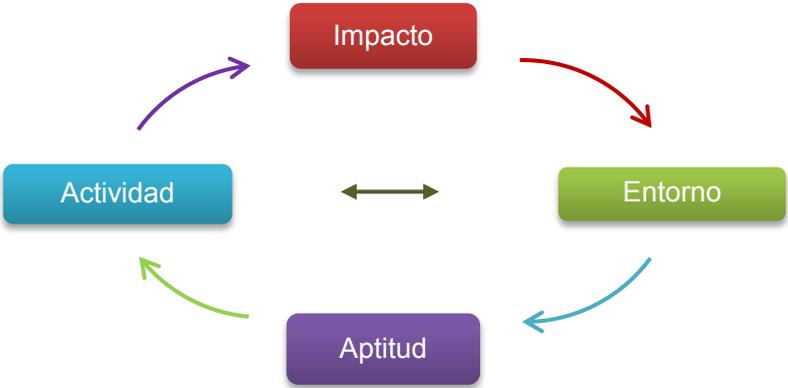


Figura 115. Esquema de influencia de la aptitud e impacto

Fuente: Elaboración propia

Mientras el impacto, puede entenderse como el efecto que una determinada actuación produce en los elementos del medio, o en las unidades ambientales, efecto que puede ser beneficioso o no, es decir , positivo o negativo (Ministerio de Medio Ambiente, 1996).

4.1 Propuesta de metodología para la Ordenación de Cuencas hidrográficas en el ámbito Árido Sudcaliforniano (MOCAS)

En la metodología para la Ordenación de Cuencas hidrográficas propuesta se tendrán en cuenta los siguientes elementos relevantes:

- La aplicación sobre un espacio físico definido territorialmente por la cuenca vertiente.
- Existe la concurrencia de recursos naturales, agua y suelo que son precisos de proteger.

- Contempla múltiples actividades socioeconómicas para hacer posible el sostenimiento económico de la población que ahí habita.
- Todas las actividades antropogénicas deben asignarse de acuerdo a la capacidad del medio para su acogida.

El resultado final que se obtendrá será una capa de información que muestre una zonificación de la región de estudio, asignando a cada área una puntuación en función de su capacidad de acogida. Al realizar el análisis multicriterio, la información final expresa el valor del conjunto por su capacidad en relación al criterio estudiado (aptitud e impacto). Este método es ampliamente utilizado en estudios y declaraciones de Impacto Ambiental y relacionados. Al recogerse la información en una sola capa, los resultados pueden ser comparables, pudiendo agruparse las puntuaciones para realizar una clasificación sobre las capacidades del territorio. Una vez tengamos la capa final, podemos evaluar y proponer alternativas a la localización de la urbanización, pudiendo escogerse zonas más adecuadas, como es el caso de una valiosa y apreciable Tesis Doctoral que se relaciona con este tópico en el ámbito mediterráneo (Tejera, 2001).

El método que se va a utilizar está basado en la utilización de técnicas multicriterio. Estas técnicas afrontan el problema de la preferencia o la selección entre un conjunto de alternativas reales, en presencia de criterios diversos, delimitados entre sí. En la aplicación de estas técnicas se combinan y valoran simultáneamente dichos criterios, delimitados entre sí.

4.1.1 Estudio de la problemática

Las cuencas de estudio, de acuerdo a descripciones y caracterizaciones previas presentan un estado de degradación ocasionado principalmente por las siguientes causas:

- Las características morfológicas, geológicas, climáticas y biológicas de la zona de estudio dan lugar a fenómenos de erosión y depósito de sedimentos que implican importantes pérdidas de suelo en una zona sumamente árida como lo es la cuenca de El Cajoncito, La Huerta, La Palma y El Carrizal.

- Los resultados generales indican que el acuífero de La Paz tiene la capacidad potencial de almacenar suficiente de agua, el problema es la escasa precipitación que ocurre en la región, y la extracción de agua que es mayor a la recarga natural, lo que provoca un balance negativo. Consecuentemente el déficit de agua es ocupado por la intrusión de agua de mar.
- El paquete sedimentario es producto de la erosión, transporte y depósito de las rocas que se encuentran a ambos flancos de la cuenca de El Cajoncito. Todos estos suelos presentan gran susceptibilidad a la erosión, dependiendo no sólo de la edafología, sino también en áreas con pendientes pronunciadas y en zonas altamente deforestadas por el sobrepastoreo.
- Las cuencas de alta montaña como La Palma, La Huerta y El Cajoncito presentan fuertes pendientes (mayores del 4%) y escasa vegetación; cuando llega a efectuarse una precipitación de tipo ciclónica, se presentan escorrentías que duran poco tiempo pero con grandes caudales y velocidades capaces de arrastrar gran cantidad de material suelto. En esta zona, la transformación y el deterioro de los ecosistemas por el avance de actividades agropecuarias han generando altas tasas de deforestación, procesos intensos de degradación de suelos, pérdida de biodiversidad. Existe una superficie importante de matorral degradado que como consecuencia presenta pérdidas de suelo importantes. La vegetación en su mayor parte es deficiente, con lo que predominaría la escorrentía frente a la infiltración.
- La explotación forestal se ha realizado como actividad complementaria en el medio rural, debido fundamentalmente a la potencialidad de los recursos, por lo que su aprovechamiento no ha sido de carácter persistente, pero si ha logrado modificar parte de la cubierta vegetal en la zona. En la producción maderable destacan leña para combustible, carbón y postes, y los no maderables, la damiana (*Turnera difusa* Willd), hoja de palma (*Phoenix dactylifera* L.), jojoba (*Simmondsia chinensis* Link), orégano (*Lippia alba* Mill) y corteza para curtientes. Existen superficies de vegetación arbustiva en terrenos con pendientes elevadas (superior al 30%) que lejos de proteger al suelo aportan elevados caudales sólidos a los arroyos.

4.1.2 Establecimiento de los objetivos y selección de actividades

Con la Ordenación de las Cuencas se pretenderán regular los caudales líquidos de forma que se produzca un mejor aprovechamiento cuantitativo del recurso, recarga de acuíferos, así como controlar los caudales y evitar inundaciones. Esto está encaminado al uso correcto de recursos naturales y a la corrección de situaciones de degradación. Como objetivo fundamental de carácter hidrológico forestal está la protección del suelo y control de la erosión.

Por otro lado, las cuencas tienen una serie de hábitats y espacios de gran interés para su conservación, de forma que se plantea la necesidad de plantear una serie de objetivos de protección/conservación y restauración del medio físico, aumentar su riqueza en biodiversidad y procurar un desarrollo sostenible.

Asimismo, se plantea como objetivo de CARÁCTER SOCIOECONÓMICO, el mantenimiento de las actividades agrícolas de la zona, que representan una actividad económica de fija relevancia para la región.

La presente metodología incorpora los objetivos de la protección hidrológico forestal, los complementarios de la Ordenación de Cuencas y los de sostenibilidad, apuntando a una visión holística del medio natural alentando el aprovechamiento sostenible de los recursos previo análisis del grado de conveniencia de las actuaciones que se propongan.

Es común en los estudios de planificación física trabajar con escalas gráficas entre 1:100 000 y 1:250 000, en función de las características de la zona, la superficie y los objetivos que se definan (CEOTMA, 1982).

En consecuencia, la metodología que se propone (MOCAS) tendrá en cuenta la vulnerabilidad de zonas dominadas, la existencia de embalses y presas, y la protección del acuífero, criterios que novedosamente serán incluidos para su correcta ejecución en el medio árido sudcaliforniano.

4.1.3 Elaboración del plan de trabajo

Se definen los objetivos, actividades, productos y cronograma para la formulación del Plan de Trabajo mediante una herramienta que los presente de manera sistemática y ordenada. De igual forma se requiere de la definición de medios logísticos (infraestructura, personal, comunicaciones, recursos financieros). Es conveniente también prever la huella urbana de los principales centros poblacionales de la cuenca de estudio en un futuro. En este caso se desarrolló la simulación de la huella urbana para la ciudad de La Paz hacia el año 2030, mediante el modelo NSPECT previamente descrito. Donde es evidente que dentro de 15 años la simulación ejecutada detalla un aumento en la distribución de la mancha urbana hacia la zona sur de la Ciudad La Paz.

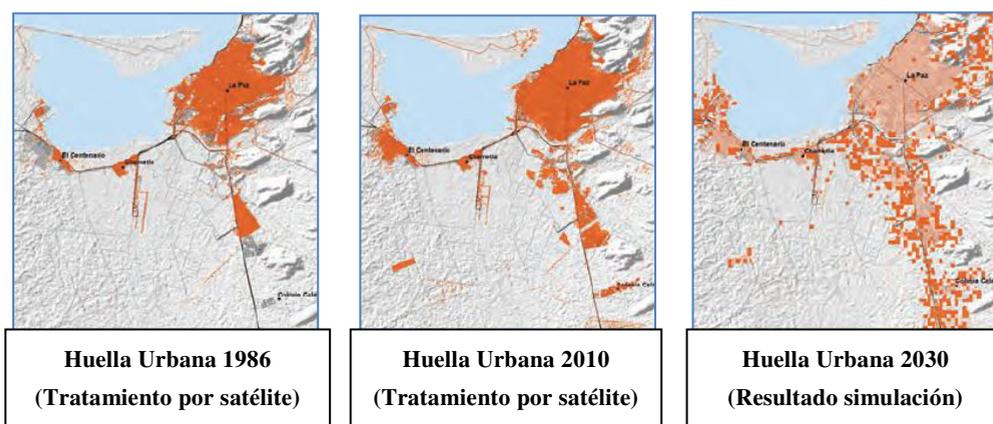


Figura 116. Simulación de la huella urbana en la ciudad de La Paz, año 1986, 2010 y 2030

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Identificación, caracterización y priorización de actores

Se deben identificar los individuos, organizaciones e instituciones que pueden ser importantes para la planeación y manejo de la cuenca; requiere del liderazgo de la Corporación para generar confianza en el proceso, propiciar asociaciones entre actores diversos y con intereses contrapuestos, gestionar los conflictos relacionados al recurso hídrico e impulsar el trabajo transdisciplinario. Su nivel de detalle, metodología y resultados deberán obedecer a las propuestas derivadas del contexto de cada cuenca, no obstante, se presentan a continuación los lineamientos generales para la identificación (¿quiénes son los actores clave?), caracterización (¿qué características tienen los actores clave?) y priorización de actores (¿quiénes son los actores prioritarios?), en tanto existen diversas metodologías que pueden ser utilizadas para poder desarrollar dichos procedimientos.

De manera general la participación de actores en esta fase se considera pertinente, aun sin que se hayan conformado las estructuras de participación formal para las fases posteriores. Es en esta fase donde se ha de hacer el mayor esfuerzo por identificar, convocar y promover la inclusión de las partes interesadas y de actores clave de la cuenca en el proceso. La conformación del Consejo de Cuenca podrá iniciarse teniendo en cuenta que la identificación de actores y la estrategia de participación aportan los insumos para llevarse a cabo.

¿De qué forma participan los actores de una cuenca en esta fase?

- Apoyando la configuración del mapa de actores.
- Construyendo el análisis situacional inicial (problemas, conflictos, potencialidades y su ubicación en la cuenca) desde su perspectiva.
- Aportando información que posean sobre la cuenca

- Aportando su visión sobre las versiones preliminares de plan de trabajo y estrategia de participación,

- Hacia la gestión institucional para lograr involucrar a los tomadores de decisiones en el proceso y los usuarios del recurso.

- Al acercamiento y establecimiento de un clima de diálogo y credibilidad con los actores clave.

- A la identificación y configuración del mapa de actores.

- A la recolección de información secundaria con los actores de la cuenca.

- A la socialización del proyecto para la formulación.

Esta información es necesaria al momento de llevar a cabo su aplicación en campo. Los actores clave serán estratégicos al momento de poner en marcha la Ordenación.

4.1.5 Inventario y análisis del medio: cartografía temática

La caracterización del medio físico de las cuencas de estudio, requiere de la selección de una serie de elementos del medio descritos en capítulos anteriores, que son influyentes o guardan relación con las actividades propuestas. Cada elemento se divide en sus correspondientes tipos.

Los elementos del medio seleccionados son los siguientes:

- Pendiente
- Influencia hídrica
- Uso del suelo
- Litología
- Pérdidas de suelo

- Propiedad
- Espesura de la cubierta arbórea
- Influencia aguas subterráneas
- Vulnerabilidad de zonas dominadas
- Existencia de embalses

Estos elementos son inventariados mediante mapas a través de Sistemas de Información Geográfica, y son representativos de la zona de estudio al influir en la capacidad de acogida de las actividades planificadas.

Cada elemento del medio constituye una capa de información compuesta por una serie de recintos homogéneos denominado mapa temático. La digitalización de dichos recintos, la información alfanumérica asociada a los mismos y la construcción de topología, da lugar a cada una de las coberturas temáticas.

Utilizando el Sistema de Información Geográfica ArcGIS 10 han sido generados todas las coberturas necesarias para el análisis de la información y producción de diferentes mapas temáticos, los mismos que ya han sido nombrados y utilizados en apartados anteriores.

Las coberturas generadas se resumen a continuación:

- Usos del suelo: Se originó esta cobertura a través del Mapa de Usos de Suelo y Vegetación de la Base Vectorial de INEGI.
- Pendientes: A partir de las curvas de nivel correspondientes a las hojas topográficas de la Base Vectorial de INEGI a escala 1:50 000 obtenidas de la Base de Datos Geográficos de INEGI. Con las curvas de nivel se construyó un Modelo Digital del Terreno (MDT) a partir del cual se creó un mapa en formato Ráster en el que cada píxel contiene su cota como variable. Posteriormente, con la ayuda de las herramientas de ArcGis se calcula la pendiente en cada píxel y finalmente se hizo una clasificación de estos resultados para facilitar su representación gráfica.
- Presencia de arroyos: A partir de la red hidrográfica obtenida en formato digital de la Base Vectorial de INEGI, se ha generado un buffer de 200 metros de

anchura a la red hídrica. De esta manera se obtuvo una cobertura con dos clases de tipologías: los de “influencia hídrica” y los de “no influencia hídrica”.

- Litología: Se obtuvo esta cobertura a partir del mapa Geológico de México escala 1:250 000 elaborado por el Servicio Geológico Mexicano.
- Pérdidas de suelo: Cobertura generada por ArcGIS 10, a partir de la superposición de cada uno de los factores de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, como se describe en el apartado correspondiente a su análisis. Considerando la degradación inicial de suelos desde las $3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$.
- Propiedad del suelo: Esta cobertura incluye la propiedad pública de todos los montes existentes en la región, así como la delimitación de la principal zona urbana.
- Espesura cubierta arbórea: Cobertura obtenida del Mapa de Cubierta de Copa de México. Escala 1:200 000 elaborado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).
- Influencia aguas subterráneas: A partir de los resultados obtenidos por el modelo MODFLOW, se recoge el balance del acuífero de La Paz y zonas en riesgo por la intrusión salina al acuífero. Se determinaron el número de celdas afectadas por la sobreexplotación del acuífero y zonas en posible riesgo.
- Vulnerabilidad de zonas dominadas: A partir de los mapas vectoriales previamente obtenidos en apartados anteriores, se utiliza un ráster que contenga las principales ciudades afectadas por las posibles inundaciones. En este caso principalmente, la ciudad capital de La Paz. Se especifica si pertenece a cuencas de alta montaña, mixtas o llanura.
- Existencia de embalses: Capa vectorial donde se recogen los principales embalses presentes en la zona de estudio, principalmente la Presa Buena Mujer, El Novillo y El Salto.

En este componente del análisis situacional, se deben analizar las limitantes y condicionamientos no solo de orden biofísico para el manejo de los ecosistemas en la cuenca, sino las limitantes y condicionamientos de índole social y legal que puedan existir para la ocupación del territorio y el uso y aprovechamiento de los recursos naturales

renovables de acuerdo con los resultados de la caracterización. Dentro de las limitantes y condicionamientos más comunes encontrados en la cuenca, pueden estar:

- Áreas con limitaciones en la capacidad productiva de los suelos.
- Áreas de la cuenca con déficit y mala calidad del recurso hídrico.
- Áreas expuestas a fenómenos de origen natural o antrópico, con alta probabilidad de ocurrencia de eventos peligrosos.
- Áreas afectadas por amenazas y riesgos que pueden condicionar, limitar o restringir el uso y aprovechamiento del territorio y sus recursos naturales.

4.1.6 Fase de Prospectiva y Zonificación Ambiental

Fase en la cual se diseñarán los escenarios futuros del uso coordinado y sostenible del suelo, de las aguas, de la flora y de la fauna presente de la cuenca, y se definirá en un horizonte no menor a diez años el modelo de Ordenación de la Cuenca, con base en el cual se formulará el plan de ordenación y manejo correspondiente.

El planteamiento general del método prospectivo a usar parte de tres visiones principales que surgen de los siguientes interrogantes: ¿cómo podría ser?, ¿cómo deseáramos que fuese? y ¿qué debemos y podemos hacer hoy para lograr el futuro deseado? Para alcanzar estos escenarios se deben desarrollar los siguientes procesos: el diseño de escenarios prospectivos a partir de los resultados del diagnóstico de la cuenca y bajo las metodologías que se proponen más adelante; la construcción de escenarios tendenciales a partir de variables e indicadores; la construcción de escenarios deseados con actores clave y; la construcción del escenario apuesta / zonificación ambiental.

Las tomas de decisiones en el manejo de cuencas o subcuencas, deben contemplar diversos intereses. En cada cuenca será diferente, pero deben considerarse básicamente que piensan y qué motivaciones tienen los agricultores, la comunidad y las instituciones, ésta clarificación debe contemplar la armonización y concertación de intereses.

Así en el manejo de cuencas o micro cuencas, cada uno de los actores tiene sus intereses, por ejemplo los agricultores generalmente pueden estar interesados en:

incrementar sus rendimientos en la producción agropecuaria, lograr mejores precios, resultados rápidos, bajos intereses en el crédito, bajar costes de producción, cultivar toda su extensión de terreno, lograr tenencia de la tierra, aplicar las técnicas más sencillas, intensificar el uso de la tierra. En el mismo sentido la comunidad puede estar interesada en: tener el mejor servicio de agua potable en cantidad y calidad, menor contaminación del ambiente (quemadas y agroquímicos), hidroelectricidad al menor coste, productos alimenticios a menor precio, productos del monte de buena calidad y a bajo precio, lugares de esparcimiento o recreación, protección contra inundaciones, etc. De otro lado las instituciones esperan: adopción de tecnologías, control de la presión social sobre los recursos naturales, organización de la comunidad y agricultores para adopción de los proyectos, concientización sobre la conservación ambiental, mayores ingresos por divisas de la actividad agropecuaria, etc.

Esta diferencia de intereses no debe representar un problema, es necesario concertar intereses y definir acciones integradas que permitan desarrollar actividades globalizantes de oportunidades flexibles para lograr resultados favorables a todos los actores. Esta discusión debe contemplarse previamente al diseño y formulación de los planes de manejo de cuencas o acciones de intervención.

Las siete actividades planteadas en uso futuro para la metodología MOCAS son las siguientes:

1. Mantener pastizales
2. Mantener matorrales
3. Repoblación forestal
4. Mejorar matorrales
5. Control del pastoreo
6. Mejorar pastizales
7. Mantener uso agrícola

A continuación se procede a evaluar la aptitud/impacto de la zona de estudio utilizando distintas escalas de valoración.

El concepto de impacto tiene que ser completado con el de aptitud. Ambos determinan la capacidad de acogida del territorio para una actividad. La capacidad muestra el mejor uso posible que admite el medio teniendo en cuenta su fragilidad y su potencialidad.

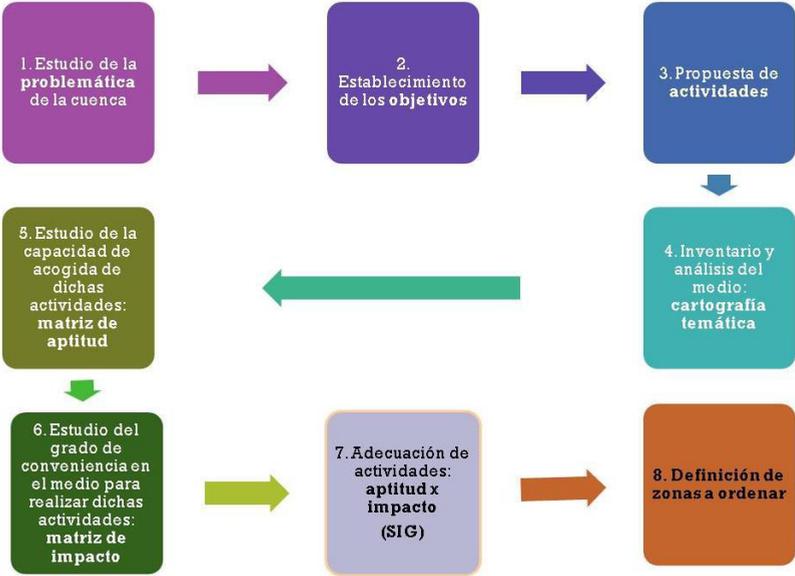


Figura 117. Esquema de trabajo en la metodología MOCAS

Fuente: Elaboración propia

La aptitud o capacidad de acogida para cada actividad, de cada una de las clases o tipos de cada elemento del medio seleccionado se evalúa con la siguiente escala cuantitativa:

p_{jh}^i (valor asignado al tipo h del elemento j ante la actividad i):

Positivo	1
Indiferente	0
Negativo	-1

Excluyente -

Una vez identificadas las diferentes unidades territoriales y definidas las actividades realizadas por el hombre, puede determinarse la capacidad de acogida del territorio para los diferentes usos considerados. Esta capacidad resulta de dos valoraciones: el impacto de una actividad dada sobre cada una de las unidades territoriales definidas y la aptitud de cada una de estas unidades para recibir esa actividad (Gómez, 1994). De esta forma, para cada unidad territorial se evalúa la tolerancia que presenta el territorio frente a las diversas actividades y el resultado se da según diferentes niveles de capacidad de acogida, usando la escala de valor mostrada en la siguiente Tabla:

Tabla 40. Matriz de aptitud de las actividades propuestas

Unidades de integración	Clasificación	Cuenca hidrográfica						
		Actividades						
		1	2	3	4	5	6	7
Usos del suelo	Matorral sarco-crasicaule	1	1	1	1	1	1	1
	Mezquital	1	-	1	0	1	1	1
	Matorral sarcocaule	1	1	1	1	1	1	1
	Pastizal	1	1	1	0	1	1	1
	Selva baja caducifolia	1	1	1	1	1	1	1
	Vegetación halófila	0	0	0	0	1	0	-

Unidades de integración	Clasificación	Cuenca hidrográfica						
		Actividades						
		1	2	3	4	5	6	7
	Zona urbana	-	-	-	-	-	-	-
	Cuerpo de agua	-	-	-	0	-	-	-
	Riego	-	-	1	-	1	-	1
Pendientes	0-3%	1	1	1	1	1	1	1
	3-12%	1	1	1	1	1	1	1
	12-24%	1	1	1	1	1	1	1
	24-30%	- 1	1	1	1	0	- 1	1
	30-40%	- 1	1	- 1	0	0	- 1	0
	>40%	- 1	1	- 1	0	0	- 1	0
Presencia de arroyos	SI	- 1	- 1	0	0	0	- 1	0
	NO	1	1	1	1	1	1	1
Litología	Erosionable	- 1	- 1	- 1	- 1	0	- 1	1
	Poco erosionable	1	1	1	1	1	1	0
Pérdidas de suelo	Poca<3	1	1	1	1	1	1	1
	Moderada 3-10	1	1	1	1	1	1	1
	Mediana 10-50	0	0	1	1	1	0	1
	Alta 50-100	-	-	-	-	0	-	0

Unidades de integración	Clasificación	Cuenca hidrográfica						
		Actividades						
		1	2	3	4	5	6	7
		1	1	1	1		1	
	Muy alta >100	- 1	- 1	- 1	- 1	0	- 1	0
Propiedad del suelo	Pública	1	1	1	1	1	1	1
	Urbana	- 1	- 1	- 1	- 1	- 1	- 1	0
Espesura de la cobertura arbórea	Defectiva 40-80%	1	1	1	1	-	1	1
	Ralo < 40%	1	1	1	1	-	1	1
	Improductivo	0	0	0	0	-	0	0
Influencia aguas subterráneas (áreas potenciales de recarga)	SI	1	1	1	1	1	1	1
	NO	0	0	0	0	0	0	-
Vulnerabilidad en zonas dominadas	Alta	1	1	1	1	1	1	0
	Media	0	0	0	0	1	0	0
Embalses	Alta montaña	1	1	-	1	-	1	1
	Mixta	1	1	-	0	-	1	1
	Llanura	1	1	-	0	-	1	1

Fuente: Elaboración propia

Actividades: 1. Mantener pastizales, 2. Mantener matorrales, 3. Repoblación forestal, 4. Mejorar matorrales, 5. Control del pastoreo, 6. Mejorar pastizales, 7. Mantener uso agrícola.

Y así sucesivamente se realiza una valoración para cada una de las actividades propuestas en cada una de las cuencas restantes.

Utilizando las herramientas del programa ArcGis 10, se ha seleccionado cada cobertura con sus clases y se ha asignado el valor correspondiente a las 10 variables.

Se han de efectuar las mismas operaciones para las coberturas restantes de la matriz de capacidad: pendientes, influencia hídrica, litología, pérdidas de suelo,

Cuando son realizadas las operaciones anteriores, se lleva a cabo la superposición de las diez coberturas referidas a las siete actividades del medio. Esta superposición se efectuó de dos en dos con la herramienta *Identity* de ArcGis 10. Posteriormente, se crearon diez variables, correspondientes a las diez actividades. Los valores que toman cada una de dichas variables es la suma de todos los valores de cada polígono. Esta suma es igual a la capacidad del medio para acoger las diferentes actividades y consecuentemente se obtiene así una cobertura para cada actividad, en la que la única variable que existe es la representación de este valor.

Finalmente se dispone de una serie de valores representativos de la capacidad del medio para acoger cada actividad. Para hacer manejables los valores obtenidos, se procedió a establecer una estratificación de dichos valores en las siguientes clases:

Capacidad EXCLUYENTE	-
Capacidad BAJA	valores comprendidos hasta el percentil 35%
Capacidad MEDIA	valores entre el percentil 35 y el 75%,
Capacidad ALTA	valores mayores del percentil 75%.

Las unidades territoriales y sus elementos constituyentes siempre se verán relativamente favorecidos por las actividades que se implanten de cara a conseguir los objetivos de la Ordenación.

El beneficio que cada actividad aporte al territorio, en función de los distintos tipos en que se ha dividido dichos elementos, se ha cuantificado según los siguientes valores:

R_{jh}^i (valor del grado de impacto asignado al tipo h del elemento j ante la actividad i)

Positivo	1
Indiferente	0

Negativo	-1
Excluyente	-

El elemento “j” no influye en el desarrollo sobre el territorio de la actividad “i” o no existe capacidad para la actividad por lo que no se evalúa el grado de conveniencia.

La relación entre los elementos del medio y actividades de cara a evaluar el beneficios que producen las mismas, se vuelve a expresar por medio de una matriz de dimensión mxn donde m= 7 actividades y n=10 elementos.

Tabla 41. Matriz de impacto del medio para realizar actividades propuestas

Unidades de integración	Clasificación	Cuenca hidrográfica						
		Actividades						
		1	2	3	4	5	6	7
Usos del suelo	Matorral sarco-crasicaule	0	1	1	1	1	1	0
	Mezquital	0	0	1	0	1	0	0
	Matorral sarcocaule	1	1	1	1	1	1	0
	Pastizal	1	0	1	0	1	1	0
	Selva baja caducifolia	1	1	1	1	1	1	0
	Vegetación halófila	0	0	0	0	1	0	-
	Zona urbana	-	-	-	-	-	-	-
	Cuerpo de agua	-	-	-	0	-	-	-
	Riego	-	-	1	-	1	-	1

Unidades de integración	Clasificación	Cuenca hidrográfica						
		Actividades						
		1	2	3	4	5	6	7
Pendientes	0-3%	1	1	1	1	1	1	1
	3-12%	1	1	1	1	1	1	1
	12-24%	1	1	1	1	1	1	1
	24-30%	- 1	1	1	1	1	- 1	1
	30-40%	- 1	1	1	0	1	- 1	0
	>40%	- 1	1	1	0	1	- 1	0
Presencia de arroyos	SI	- 1	- 1	0	0	0	- 1	0
	NO	1	1	1	1	1	1	1
Litología	Erosionable	- 1	- 1	1	- 1	0	- 1	1
	Poco erosionable	1	1	1	1	1	1	0
Pérdidas de suelo	Poca<3	1	1	1	1	1	1	1
	Moderada 3-10	1	1	1	1	1	1	1
	Mediana 10-50	0	0	1	1	1	0	1
	Alta 50-100	- 1	- 1	1	- 1	1	- 1	0
	Muy alta >100	- 1	- 1	1	- 1	1	- 1	0
Propiedad del suelo	Pública	1	1	1	1	1	1	1
	Urbana	- 1	- 1	- 1	- 1	- 1	- 1	0
Espesura de la cobertura arbórea	Defectiva 40-80%	1	1	1	1	-	1	1
	Ralo < 40%	1	1	1	1	-	1	1
	Improductivo	0	0	0	0	-	0	0

Unidades de integración	Clasificación	Cuenca hidrográfica						
		Actividades						
		1	2	3	4	5	6	7
Influencia aguas subterráneas (áreas potenciales de recarga)	SI	1	1	1	1	1	1	1
	NO	0	0	0	0	0	0	-
Vulnerabilidad en zonas dominadas	Alta	1	1	1	1	1	1	0
	Media	0	0	0	0	1	0	0
Embalses	Alta montaña	1	1	-	1	-	1	1
	Mixta	1	1	-	0	-	1	1
	Llanura	1	1	-	0	-	1	1

Fuente: Elaboración propia

Actividades: 1. Mantener pastizales, 2. Mantener matorrales, 3. Repoblación forestal, 4. Mejorar matorrales, 5. Control del pastoreo, 6. Mejorar pastizales, 7. Mantener uso agrícola.

El procedimiento considerado ha sido el de la sumatoria para pasar del conjunto de valores de una columna de la matriz a un valor escalar único que represente el grado de conveniencia de una determinada actividad en un recinto del medio. Este proceso se repite para cada una de las seis cuencas hidrográficas de estudio.

El valor de la conveniencia de una actividad i en una unidad territorial homogénea es dado por la siguiente suma:

$$\sum_{j=1}^8 r_{jh}^i$$

Utilizando el SIG, se ha realizado la superposición de las coberturas del medio calculándose en cada recinto obtenido, los valores del grado de conveniencia para cada una de las actuaciones propuestas.

Al llegar a esta fase se tiene, análogamente, el listado de los valores indicativos del grado de conveniencia de las actividades para el territorio.

Asimismo, se hace una clasificación de dichos valores en las siguientes clases

- Muy conveniente
- Conveniente
- Poco conveniente
- No conveniente o Inadmisible

Una vez que se tiene la aptitud y el impacto para cada unidad territorial homogénea, se engloban ambos conceptos en uno solo que se refiere a la aceptación de la actividad y al efecto que produce: Adecuación, representado de forma matricial de acuerdo a la siguiente tabla, donde resulta que para un mismo polígono coincidan varias actividades que sean compatibles de llevarse a cabo.

De acuerdo a la información obtenida hasta esta etapa, se presenta la Ordenación para cada actividad de las cuencas de estudio, indicada en la siguiente tabla:

Tabla 42. Superficies de adecuación para las actividades propuestas según MOCAS

Actividades	Superficie(km ²)					
	I (El Novillo)	II (El Cajoncito)	III (La Huerta)	IV (La Palma)	V (El Carrizal)	VI (Victoria)
1 y 3	0	0	0.46	6.04	3.57	0
3 y 4	83.66	43.93	66.48	146.17	131.09	58.42
4 y 6	0	3.11	0.89	5.71	14.61	0.39
2	19.05	0	1.71	17.12	69.67	75.68
7	12.77	0.27	12.28	15.83	11.891	3.7
3 y 5	0.01	45.927	7.42	26.29	37.02	0
3	2.84	41.63	23.94	70.22	100.99	4.261
5	0	0.11	0.01	0.13	0.26	0
4 y 7	0	0.02	0.54	0.3	0	0
Sin actividad	2.66	33.7	3	1.4	0.75	0

Fuente: Elaboración propia

Actividades: 1. Mantener pastizales, 2. Mantener matorrales, 3. Repoblación forestal, 4. Mejorar matorrales, 5. Control del pastoreo, 6. Mejorar pastizales, 7. Mantener uso agrícola.

Las actividades que siendo compatibles coincidan en el mismo polígono, se realizarán a la vez. Como criterio de propuesta final se ha adoptado la clase de adecuación ALTA para la realización de cada actividad en las cuencas de estudio. Realizando la superposición con el SIG de las coberturas de adecuación de las actividades propuestas se obtienen las siguientes combinaciones posibles.

La metodología MOCAS determina objetivos que son propios de la: protección de ecosistemas, aumento de la riqueza en biodiversidad, también contempla como criterio de decisión fundamental la capacidad del medio para acoger actividades sin poner en riesgo su conservación, definiendo áreas potenciales para el desarrollo de las mismas. Hay que considerar que es una metodología que recoge aspectos que comúnmente no son analizados en la Ordenación de cuencas hidrográficas, tales como el estudio y consideración de las aguas subterráneas y el nivel socioeconómico de la comunidad y pobladores de la zona de estudio. Estos últimos tópicos son de suma relevancia en zonas áridas, donde el recurso hídrico es escaso y existe una vital necesidad de conservar las aguas subterráneas disponibles en el acuífero.

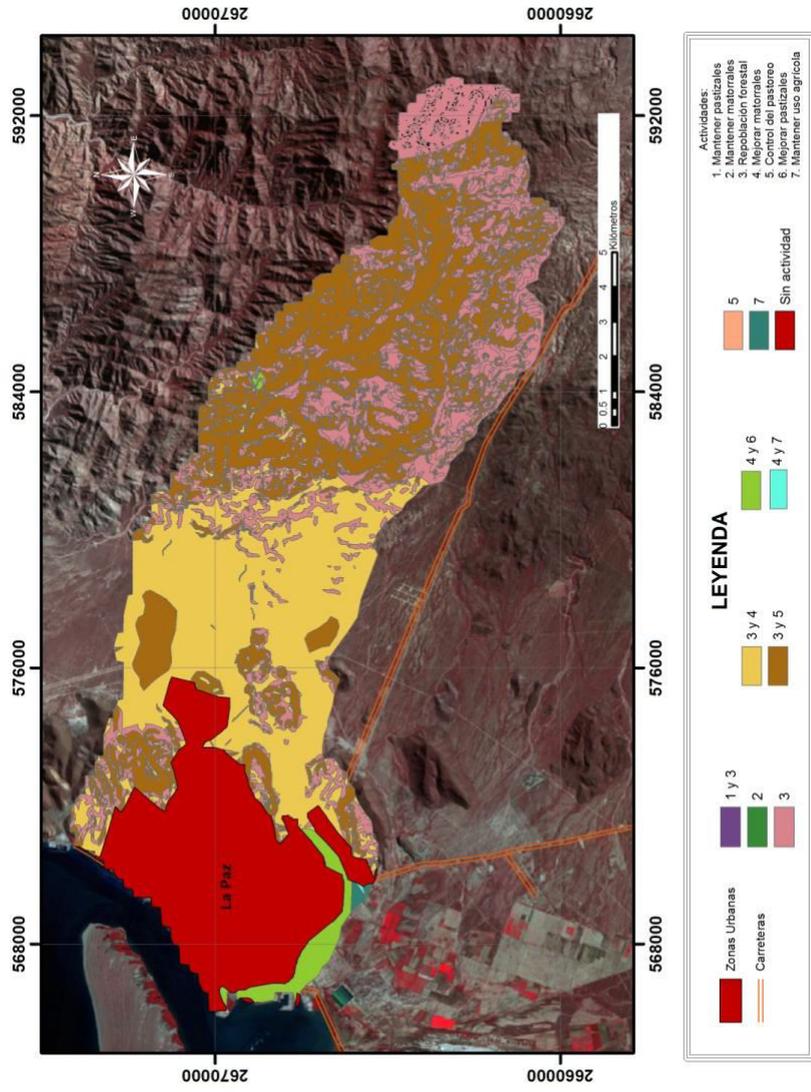


Figura 118. Ordenación final de la propuesta de metodología de Ordenación de cuencas para el árido sudcaliforniano (MOCAS) en cuenca El Cajoncito

Fuente: Elaboración propia

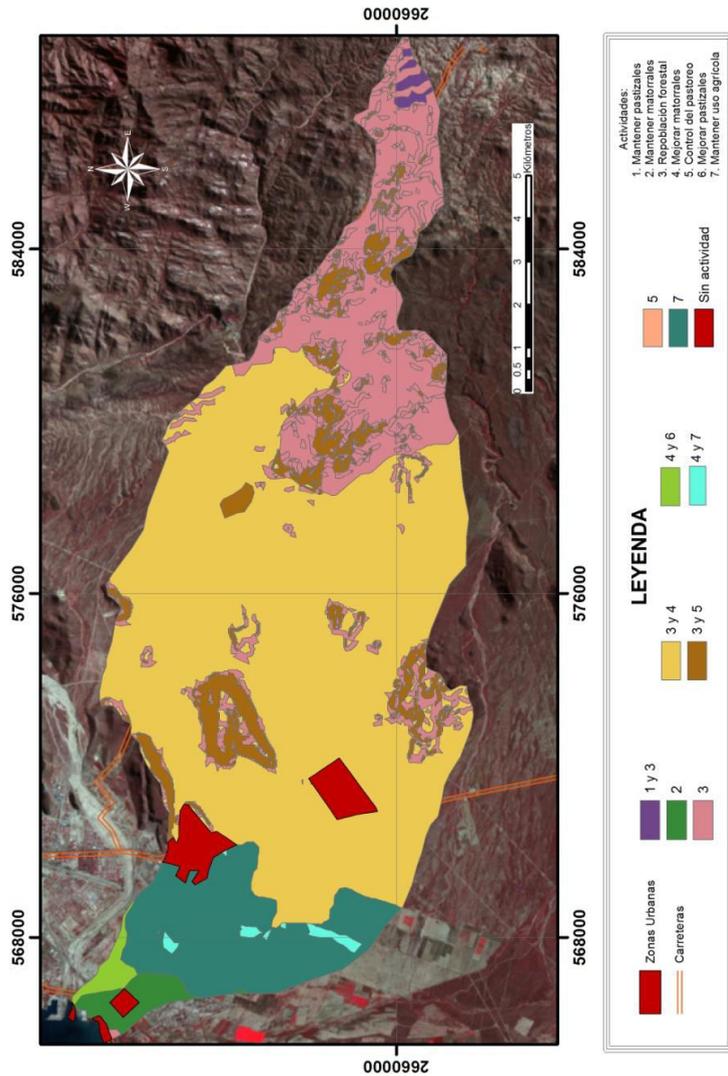


Figura 119. Ordenación final de la propuesta de metodología de Ordenación de cuencas para el árido sudcaliforniano (MOCAS) en cuenca La Huerta

Fuente: Elaboración propia

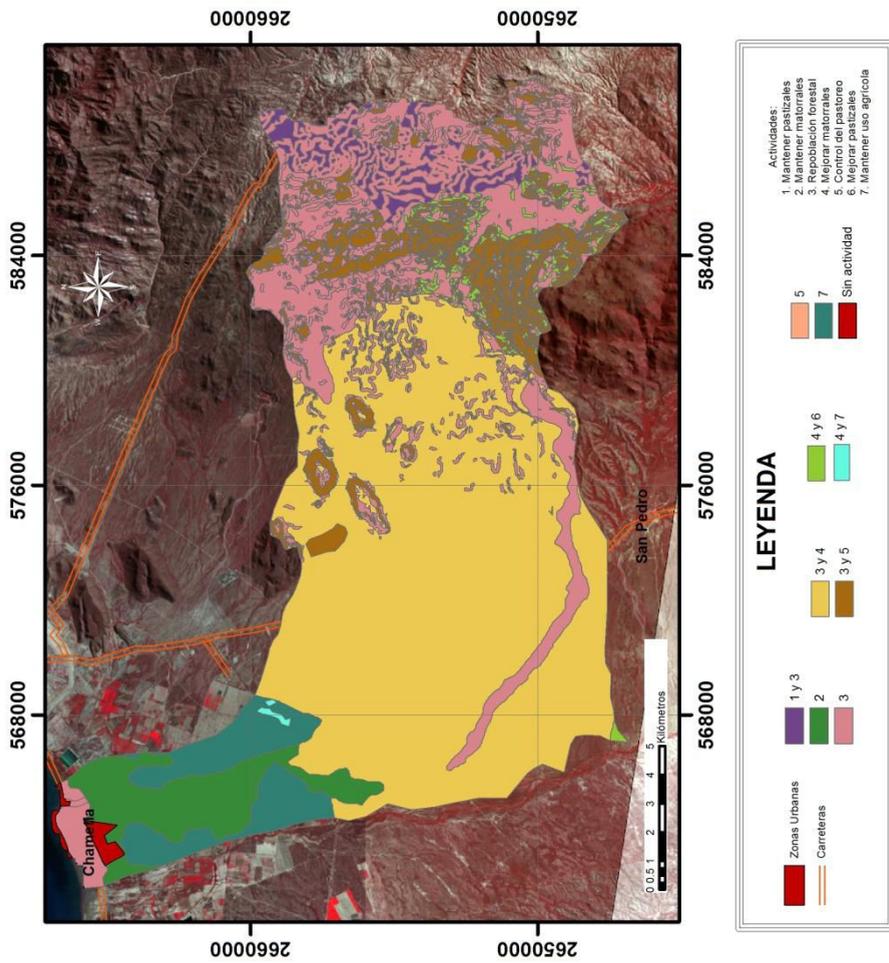


Figura 120. Ordenación final de la propuesta de metodología de Ordenación de cuencas para el árido sudcaliforniano (MOCAS) en cuenca La Palma

Fuente: Elaboración propia

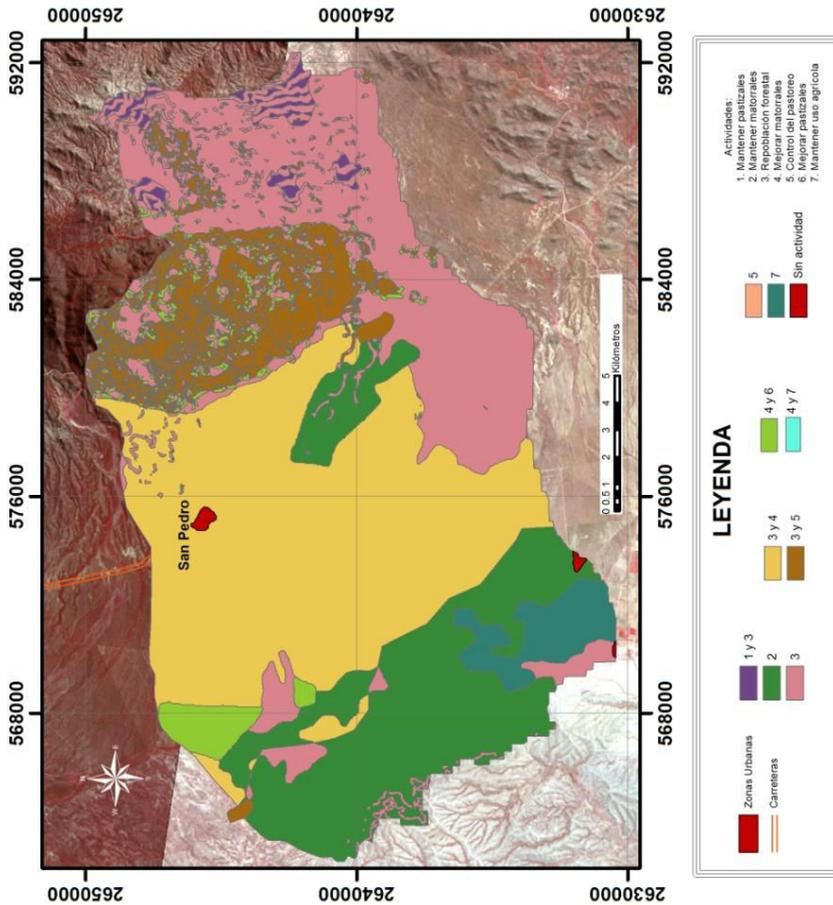


Figura 121. Ordenación final de la propuesta de metodología de Ordenación de cuencas para el árido sudcaliforniano (MOCAS) en cuenca El Carrizal

Fuente: Elaboración propia

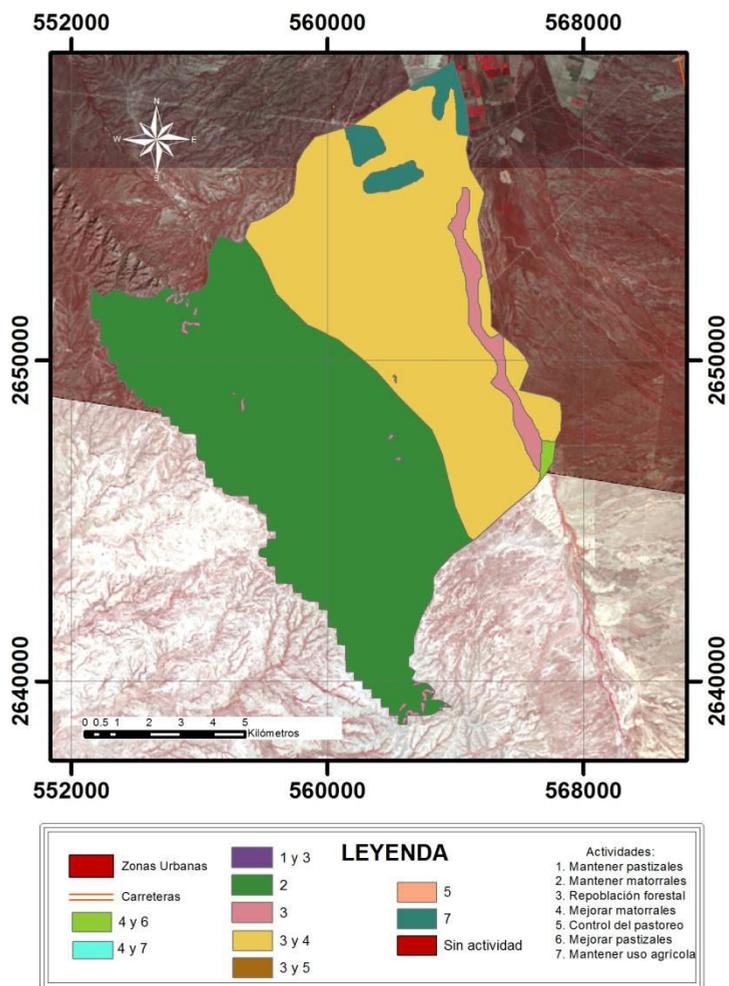


Figura 122. Ordenación final de la propuesta de metodología de Ordenación de cuencas para el árido sudcaliforniano (MOCAS) en cuenca Victoria

Fuente: Elaboración propia

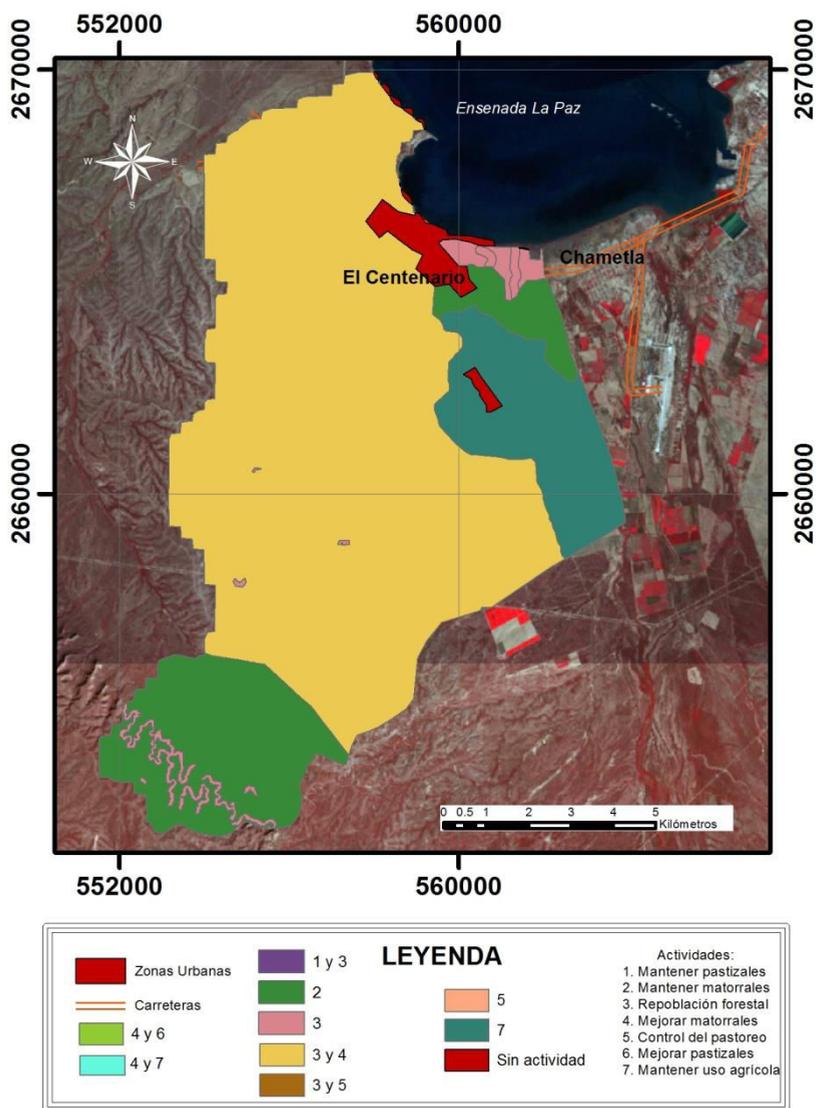


Figura 123. Ordenación final de la propuesta de metodología de Ordenación de cuencas para el árido sudcaliforniano (MOCAS) en cuenca El Novillo

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar tras la aplicación de esta metodología, en todas las cuencas de estudio la actividad de Repoblación forestal tiene un peso relevante (principalmente en la cuenca de tipología mixta, El Carrizal), es decir, se considera que existe una necesidad férrea de regenerar los montes, mediante siembra o plantación, y así proteger la zona de estudio. En su defecto, la actividad de Mantener pastizales es uno de los planteamientos que menor superficie abarca en los resultados. Los elementos del medio natural analizados en las matrices cuentan con clasificaciones parecidas a las de las tablas establecidas en la metodología según criterios de Mintegui Aguirre y López. Y en este caso, se aportan los criterios de consideración de balance del acuífero y vulnerabilidad en zonas dominadas, pues no es lo mismo realizar una Ordenación sobre un territorio donde no exista población alguna, a que el territorio abarque una ciudad con muchos habitantes, como es la situación de la ciudad de La Paz. Pues los efectos son muy distintos en cada caso. Esta metodología puede incluso llegar a proponer una mayor cantidad de actividades distintas para la Ordenación y conservación de recursos naturales en las cuencas de estudio, pero se ha decidido trabajar con un número suficiente de actividades que sean representativas de la zona de estudio, para así optimizar resultados y que en un futuro próximo, la Institución, Dependencia o equipo encargado de valorar esta propuesta de actuación tenga una perspectiva concisa y clara del proyecto.

Finalmente se propone una ficha diagnóstico para preservar el seguimiento de cada una de las actividades propuestas en la Metodología de Ordenación de Cuencas en el Árido Sudcaliforniano (MOCAS). En este caso se estipula un ejemplo de actividades resultantes, como son: *repoblaciones para aumentar la biodiversidad y restauración de riberas*, que principalmente tendrán como eje rector el tema: *Agua*. Este tipo de medidas serán indispensables para garantizar un correcto ejercicio de aplicación y monitoreo de las actividades planteadas. En el caso de estudio, las medidas adoptadas tendrán su foco de influencia, principalmente en su ciudad capital, La Paz.

Condiciones Actuales:

¿Cuáles son los retos que la ciudad está experimentando con el recurso hídrico? Agradeceremos indique la instancia o persona a cargo del tema.

1. Existe racionamiento (servicio promedio, 4 horas al día).
2. Control de la demanda. (el consumo puede estar alto debido a falta de medidores y estructura tarifaria inadecuada. Responsable OMSAPAS
3. Hay que incorporar nuevas fuentes de agua.
El acuífero está sobreexplotado. Responsables, CONCAGUA y OMSAPAS

¿Cuáles son los proyectos e iniciativas existentes que abordan el tema del **AGUA**? Indica las entidades a cargo del proyecto.

Proyecto e iniciativas	Entidades
1. Instalación de medidores y Control de fugas (automatización del sistema y rehabilitación de válvulas para reorganizar sectorización)	OOMSAPAS
2. Desarrollo de nueva fuente: Acuífero el Carrizal	OOMSAPAS
3. Recarga del acuífero La Paz	DECOPE-CONAGUA
4. Desalinizadora	OOMSAPAS
5. Intercambio de agua de los derechos de uso del agua subterránea de los regantes por agua residual tratada para uso agrícola	OOMSAPAS-Comité técnico del acuífero-CONAGUA

Jurisdicción:

¿Qué autoridad tiene la ciudad sobre el manejo del **recurso hídrico**? ¿Su distribución?

Ninguna. Hace parte del comité técnico de manejo del acuífero La Paz. El responsable es CONAGUA.

Seguimiento y Monitoreo:

¿Existe algún sistema en la ciudad para medir el mejoramiento o deterioro de la cobertura, disponibilidad y uso eficiente del **AGUA**?

Si. La empresa de agua OOMSAPAS tiene un sistema de monitoreo de cobertura. Sin embargo no tiene un sistema de macro y micromedición que permitiría monitorear el uso eficiente. Este sistema se está implementando (se implementó el 50%) pero se necesita recursos financieros para terminarlo.

4.2 Resumen y comparativa de los resultados obtenidos en las distintas Ordenaciones.

A continuación se presenta a modo de resumen los resultados obtenidos para cada una de las seis cuencas de estudio bajo cada Metodología de Ordenación realizada, USLE, Mintegui Aguirre y López, NSPECT y MOCAS:

1. Según USLE

Actividades	Superficie(km ²)					
	I (El Novillo)	II (El Cajoncito)	III (La Huerta)	IV (La Palma)	V (El Carrizal)	VI (Victoria)
Mantener uso agrícola	11.021	6.61	12.43	12.84	19.85	0.31
Mantener uso forestal	109.88	68.93	86.46	212.91	269.91	142.16
Realizar prácticas de conservación de suelos	0	0.19	0.084	0	0.7	0
Replacación en terreno forestal	0.003	30.22	11.87	43.65	54.42	0.008
Replacación-Cambio de uso	0.134	39.25	5.84	19.75	25.4	0.017

2. Según NSPECT

Actividades	Superficie(km ²)					
	I (El Novillo)	II (El Cajoncito)	III (La Huerta)	IV (La Palma)	V (El Carrizal)	VI (Victoria)
Conservar matorral	57.86	70.96	73.33	125.09	118.22	43
Riego	12.77	0.29	12.83	16.13	12.14	4

Actividades	Superficie(km ²)					
	I (El Novillo)	II (El Cajoncito)	III (La Huerta)	IV (La Palma)	V (El Carrizal)	VI (Victoria)
Conservar matorral sarcocaulé	0	0	0.12	0	0.6	0
Conservar mezquital	0	0	0	70.96	3.04	4
Conservar selva baja caducifolia	0	34.4	6.36	45.56	140.43	0
Conservar vegetación halófila	1.59	0.22	0.04	3.22	0	0
Cuerpo de agua	0.71	1.12	0.43	0.57	0	0
Cultivar matorral sarcocaulé	48.45	26.99	19.31	89.7	92.02	95
Cultivo pastizales	0	4.58	0.89	4.58	6.29	0
Zona Urbana	1.96	32.61	2.61	1.01	0.66	0

3 Según Mintegui Aguirre y López

Actividades	Superficie(km ²)					
	I (El Novillo)	II (El Cajoncito)	III (La Huerta)	IV (La Palma)	V (El Carrizal)	VI (Victoria)
Mantener el arbolado	0	9.04	9.79	25.52	60.02	0
Mantener el matorral	104.01	67.31	76.55	175.26	208.09	134.67
Mantener el pastizal	0	3.1	0.89	0.21	6.27	0.39
Mantener la cobertura	1.55	0.16	0.27	10.44	3.04	3.7
Mantener terreno de cultivo	12.77	0.29	12.82	16.13	11.89	3.7
Mejorar el matorral	0.004	3.81	0.54	0.46	1.08	0.008
Mejorar el pastizal	0	0.06	0	0	0	0
Replantación forestal	0	52.29	13.05	0	0	0
Improductivo	2.66	33.16	2.75	1.4	0.54	0

4. Según MOCAS

Actividades	Superficie(km ²)					
	I (El Novillo)	II (El Cajoncito)	III (La Huerta)	IV (La Palma)	V (El Carrizal)	VI (Victoria)
1 y 3	0	0	0.46	6.04	3.57	0
3 y 4	83.66	43.93	66.48	146.17	131.09	58.42
4 y 6	0	3.11	0.89	5.71	14.61	0.39
2	19.05	0	1.71	17.12	69.67	75.68
7	12.77	0.27	12.28	15.83	11.891	3.7
3 y 5	0.01	45.927	7.42	26.29	37.02	0
3	2.84	41.63	23.94	70.22	100.99	4.261
5	0	0.11	0.01	0.13	0.26	0
4 y 7	0	0.02	0.54	0.3	0	0
Sin actividad	2.66	33.7	3	1.4	0.75	0

Actividades: 1. Mantener pastizales, 2. Mantener matorrales, 3. Repoblación forestal, 4. Mejorar matorrales, 5. Control del pastoreo, 6. Mejorar pastizales, 7. Mantener uso agrícola.

Tabla 43. Resumen de superficies de adecuación para las actividades propuestas según distintas Metodologías de Ordenación

Capítulo 5. Discusión



5.1 Resultados y discusión

Para eliminar la subjetividad derivada de la aplicación de cada metodología de Ordenación de Cuencas de forma individual y establecer así criterios de Ordenación con mayor objetividad en las cuencas de estudio, se establecerá una clasificación común de actividades donde se recogen y unifican las actividades propuestas por las cuatro metodologías analizadas (USLE, Mintegui Aguirre y López, NSPECT y MOCAS). Posteriormente se adaptan las cuatro metodologías mediante la agrupación de sus actividades en la clasificación común propuesta. Luego se comparan las superficies representadas por las nuevas actividades para cada una de las cuatro metodologías. Finalmente, se valoran y priorizan las actuaciones principales para una correcta Ordenación considerando las fortalezas y debilidades de las cuatro metodologías.

5.1.1 Clasificación común de actividades

Las actividades propuestas por las tres metodologías analizadas previamente quedarán agrupadas en la siguiente clasificación debido a criterios de eficiencia y unificación:

- Mantener uso forestal
- Mejorar uso forestal
- Mantener uso agrícola
- Mejorar uso agrícola
- Cambio de uso
- Improductivo

Tabla 44. Equivalencias entre los usos de las tres metodologías de Ordenación estudiadas y los usos de la clasificación común propuesta

USLE	Mintegui Aguirre y López	NSPECT	MOCAS	Clasificación común
Mantener uso forestal	Conservar cubierta actual	Mezquital + Vegetación halófila+ +Pastizal inducido	Mantener matorrales	Mantener uso forestal
			Mantener pastizales	
			Control del pastoreo	
Repoblación en terreno forestal	Completar espesura. Repoblación forestal	Matorral sarcocrasicaule +Matorral sarcocaula +Selva baja caducifolia	Mejorar matorrales	Mejorar uso forestal
			Mejorar pastizales	
			Repoblación forestal	
Mantener uso agrícola	Conservar cultivos actuales	Pastizal cultivado	Mantener uso agrícola	Mantener uso agrícola

USLE	Mintegui Aguirre y López	NSPECT	MOCAS	Clasificación común
Realizar prácticas de conservación en suelos agrícolas	Prácticas de conservación	Riego	-	Mejorar uso agrícola
Cambio de uso agrícola a uso forestal	-	-	-	Cambio de uso
Improductivo	Improductivo	Zona urbana	Improductivo	Improductivo

Fuente: Elaboración propia

Es conveniente la elaboración de una comparativa de las cuatro metodologías adaptadas, aunque primero se especificarán los resultados obtenidos en cuanto a superficie se refiere.

Tabla 45. Superficies representadas por los nuevos usos para la zona de estudio

No.	Actividad planteada	USLE Adaptado		MINTEGUI Aguirre y López Adaptado		NSPECT Adaptado		MOCAS Adaptado	
		Superficie (km ²)	Superficie (%)	Superficie (km ²)	Superficie (%)	Superficie (km ²)	Superficie (%)	Superficie (km ²)	Superficie (%)
1	Mantener uso forestal	890.43	72.87	900.51	73.69	23.46	1.92	0.00	0.00
2	Mejorar uso forestal	140.24	11.48	227.38	18.61	1009	82.57	1094.71	89.58
3	Mantener uso agrícola	63.07	5.16	57.63	4.72	64.79	5.30	89.10	7.29
4	Mejorar uso agrícola	0.99	0.08	0.00	0.00	57.89	4.74	1.87	0.15
5	Cambio de uso	90.43	7.40	0.00	0.00	17.33	1.42	0.00	0.00
6	Improductivo	36.05	2.95	36.05	2.95	36.05	2.95	36.05	2.95

Fuente: Elaboración propia

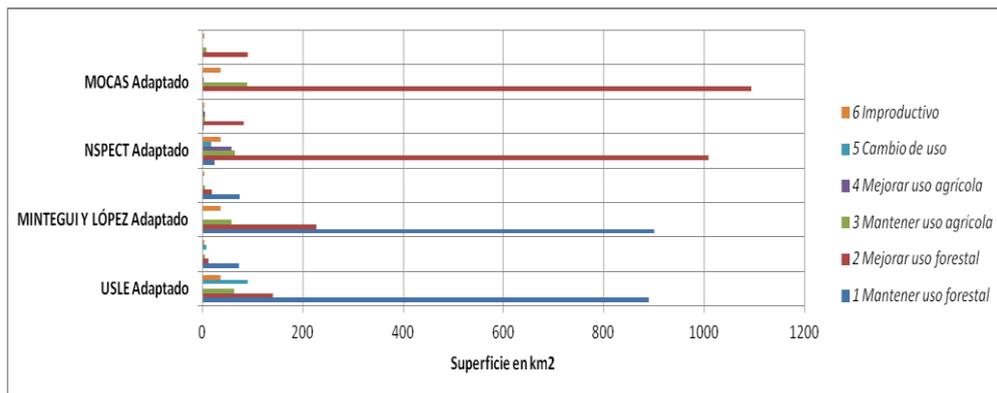


Figura 124. Comparación entre las metodologías adaptadas

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar existe una clara similitud en cuanto a extensión de superficies entre la metodología de Ordenación propuesta y la metodología NSPECT. A su vez, USLE y Mintegui Aguirre y López guardan cierta similitud entre ellas.

A continuación se presentan resultados estadísticos de la comparación de variables entre cada una de las metodologías. Se añade que el tratamiento estadístico fue llevado a cabo mediante el software StatGraphics Centurion. Se adiciona un análisis ANOVA, un Gráfico de Rangos, y un análisis de correlación entre metodologías.

Tabla ANOVA				
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Media Cuadrado	Razón-F
Entre	21.0945	3	7.0315	0.00
Dentro de	2.93919E8	20	146959	
Total	2.93921E8	23		

Valor-P = 1.0000

Verificación de Varianza
Levene's: 0.00993636
Valor-P = 0.9986

Figura 125. Tabla ANOVA y presentación de resultados

Fuente: Elaboración propia

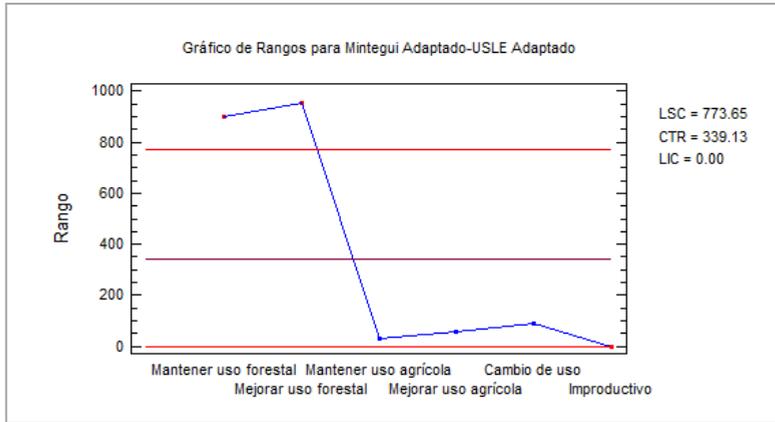


Figura 126. Gráfico de rangos para Mintegui Aguirre y López Adaptado y Usle Adaptado

Fuente: Elaboración propia

Gráfico X-bar

Período	#1-6
LSC: +3.0 sigma	267.348
Línea Central	202.521
LIC: -3.0 sigma	137.693

Gráfico de Rangos

Período	#1-6
LSC: +3.0 sigma	112.629
Línea Central	34.4717
LIC: -3.0 sigma	0.0

Estimados

Período	#1-6
Media de proceso	202.521
Sigma de proceso	30.56
Rango promedio	34.4717

Sigma estimada a partir del rango medio.

Este procedimiento crea un gráfico de X-bar y R para Mintegui Aguirre y López Adaptado-USLE Adaptado. Está diseñado para permitir determinar si los datos provienen de un proceso en un estado de control estadístico. Las gráficos de control se construyen

bajo el supuesto de que los datos provienen de una distribución normal con una media igual a 203.043 y una desviación estándar igual a 164.705. Estos parámetros fueron estimados a partir de los datos. También se desarrolló un análisis de regresión entre las metodologías, obteniendo una ecuación final del Modelo Ajustado entre cada una de las metodologías:

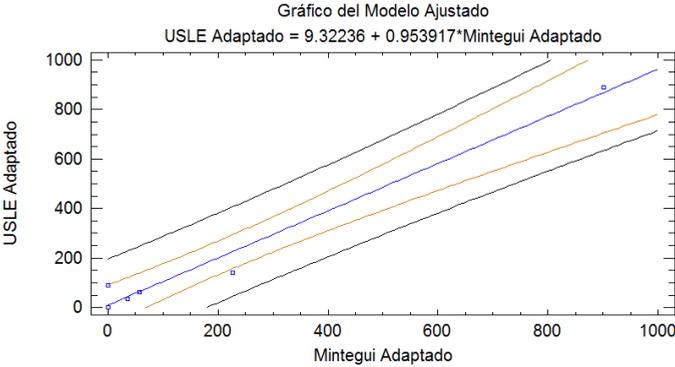


Figura 127. Gráfico del modelo ajustado 1

Fuente: Elaboración propia

Con un Coeficiente de Correlación = 0.987286
 R-cuadrada = 97.4734 por ciento
 R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 96.8417 por ciento

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 97.4734% de la variabilidad en USLE Adaptado. El coeficiente de correlación es igual a 0.987286, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 60.3936. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones.

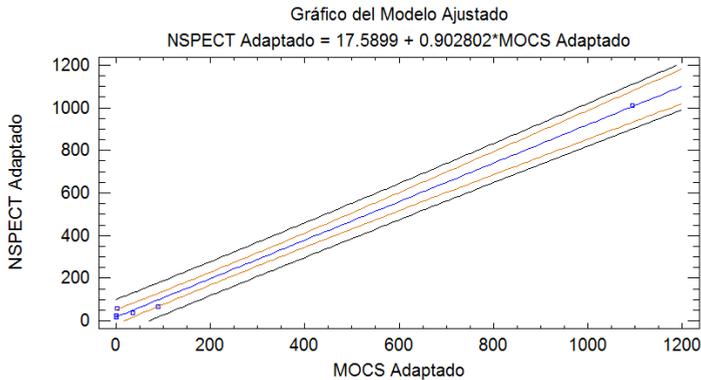


Figura 128. Gráfico del modelo ajustado 2

Fuente: Elaboración propia

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.211208

Con un Coeficiente de Correlación = 0.998189

R-cuadrada = 99.6381 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99.5477 por ciento

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99.6381% de la variabilidad en NSPECT Adaptado. El coeficiente de correlación es igual a 0.998189, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

Posteriormente se lleva a cabo una comparación entre cada una de las metodologías tradicionales (USLE, Mintegui Aguirre y López, NSPECT) y la metodología propuesta en esta Tesis (MOCAS). Para ello será necesario trabajar con la adaptación de las metodologías. En primera instancia se compara USLE Adaptado y MOCAS Adaptado.

	<i>USLE Adaptado</i>	<i>Mocas Adaptado</i>
Desviación Estándar	339.832	437.918
Varianza	115486.	191772.
Gl	5	5

Intervalos de confianza del 95.0%

Desviación Estándar de USLE Adaptado: [212.126, 833.477]

Desviación Estándar de Mocas Adaptado: [273.352, 1074.04]

Razones de Varianzas: [0.0842665, 4.3036]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar
 $F = 0.602204$ valor-P = 0.59139
 No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

Esta opción ejecuta una prueba para comparar las varianzas de las dos muestras. También construye intervalos ó cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0.0842665 hasta 4.3036.

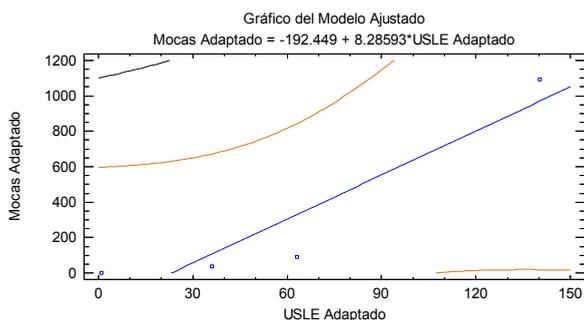


Figura 129. Modelo lineal 1

Fuente: Elaboración propia

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre Mocas Adaptado y USLE Adaptado. El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 86.4189% de la variabilidad en Mocas Adaptado. El coeficiente de correlación es igual a 0.929618, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

Posteriormente se lleva a cabo la comparación entre Mintegui Adaptado y MOCAS Adaptado.

	<i>Mintegui y López Adaptado</i>	<i>Mocas Adaptado</i>
Desviación Estándar	100.917	527.407
Varianza	10184.2	278159.
Gl	3	3

Intervalos de confianza del 95.0%
 Desviación Estándar de Mintegui y López Adaptado: [57.1685, 376.275]
 Desviación Estándar de Mocas Adaptado: [298.772, 1966.47]
 Razones de Varianzas: [0.00237143, 0.565274]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar
 $F = 0.0366129$ valor-P = 0.0222972
 Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

Esta opción ejecuta una prueba para comparar las varianzas de las dos muestras. También construye intervalos ó cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0.00237143 hasta 0.565274. Puesto que el intervalo no contiene el valor de 1, existe diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar de las dos muestras con un 95.0%.

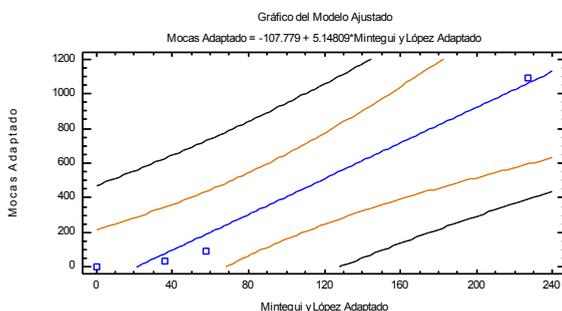


Figura 130. Modelo lineal 2

Fuente: Elaboración propia

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 97.0345% de la variabilidad en MOCAS Adaptado. El coeficiente de correlación es igual a 0.985061, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 111.235.

Finalmente se compara NSPECT Adaptado y MOCAS Adaptado.

	<i>NSPECT Adaptado</i>	<i>Mocas Adaptado</i>
Desviación Estándar	478.202	527.407
Varianza	228677.	278159.
Gl	3	3

Intervalos de confianza del 95.0%

Desviación Estándar de NSPECT Adaptado: [270.897, 1783.01]

Desviación Estándar de Mocas Adaptado: [298.772, 1966.47]
Razones de Varianzas: [0.0532483, 12.6927]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar
F = 0.82211 valor-P = 0.875904
No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0.05$.

De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0.0532483 hasta 12.692.

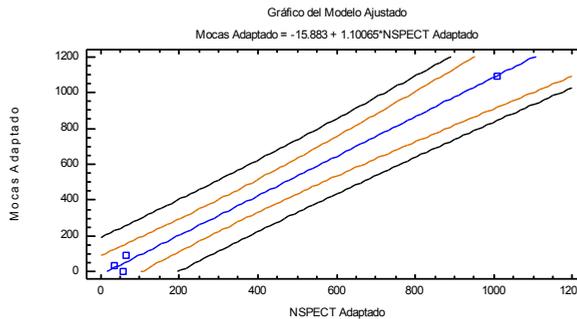


Figura 131. Modelo lineal 3

Fuente: Elaboración propia

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 99.593% de la variabilidad en MOCAS Adaptado. El coeficiente de correlación es igual a 0.997963, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar del estimado indica que la desviación estándar de los residuos es 41.2106. Este valor puede usarse para construir límites de predicción para nuevas observaciones. Con ello indica que existe una fuerte correlación entre la adaptación del modelo NSPECT y MOCAS.

Después de establecer una clasificación común de usos de Ordenación para las cuatro metodologías, calcular las superficies con los nuevos usos para cada metodología y comparar estadísticamente la coincidencia entre metodologías dos a dos, se busca conocer el grado de coincidencia de las cuatro metodologías. Para ello, mediante herramientas SIG se superponen los mapas correspondientes a las cuatro metodologías adaptadas dando como resultado lo siguiente, un 42% de la zona de estudio presenta coincidencias en cuanto a actividades se refiere.

Tabla 46. Superficies coincidentes de las cuatro metodologías, expresadas en km² y en %, en cada actividad.

Actividad planteada	Superficie coincidente de las cuatro metodologías	
	(km ²)	(% de la totalidad de zona de estudio)
Mantener uso forestal	117.58	9.63
Mejorar uso forestal	224.67	18.40
Mantener uso agrícola	54.46	4.46
Mejorar uso agrícola	0	0.00
Cambio de uso	80	6.55
Improductivo	36.05	2.95
TOTAL	512.76 = 42% de la zona de estudio	

Fuente: Elaboración propia

Entre los criterios para resolver la contradicción existente entre las cuatro metodologías, están aquellos que plantean la elección de la solución más económica en la Ordenación, la protección de infraestructuras y núcleos urbanos frente a posibles inundaciones, la mejora en la recarga de acuíferos, la viabilidad económica de un cambio de cultivo, la rentabilidad económica de los cultivos existentes, o evitar aterramientos de embalses. Este último criterio se deberá considerar puesto que los caudales generados, líquidos y sólidos, en la cuenca de El Cajoncito circulan aguas abajo de la cuenca y llegan a la ciudad de La Paz, donde existe un proceso de aterramiento importante, causado principalmente por la erosión en la cabecera de la cuenca.

Cuando se presentan alternativas entre “Cambio de uso”, “Mantener uso agrícola” y “Mejorar uso agrícola”, habría que estudiar la conveniencia de mantener el cultivo actual, realizar prácticas de conservación o sustituirlo, bien por otro tipo de cultivo o bien cambiar su uso, es decir, transformar esa zona en uso forestal. Para tomar una decisión al respecto, sería necesario realizar un estudio económico, analizando la rentabilidad económica, los costes de operación y la contribución socioeconómica que implicaría la actividad

planteada. Asimismo, la viabilidad física de los cultivos se considerará posible cuando las pérdidas de suelo no superen las $3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. En todo caso, en zonas donde se superen este valor límite se podría plantear la realización de prácticas de conservación de suelos o bien el cambio de uso, pasando de uso agrícola a forestal, comparando la rentabilidad económica del cultivo existente, con el coste-beneficio de la introducción de especies forestales.

Finalmente, las zonas con coincidencia entre usos o actividades totalmente opuestas, es decir, “Mantener uso forestal” o “Mejorar uso forestal”, con “Mantener uso agrícola” o “Mejorar uso agrícola, la solución planteada ha sido la de otorgar a esas zonas la asignación de “Cambio de uso” sobre el uso actual existente en la zona. De este modo, habría que analizar factores ya comentados en los casos anteriores, como el estudio y comparación de la viabilidad económica del cambio, analizando la rentabilidad económica de los cultivos actuales o a implantar.

Capítulo 6. Conclusiones



6.1 Conclusiones

Al momento de abordar las conclusiones que se exponen a continuación, se hará bajo la misma estructura que se ha seguido en el desarrollo de la Tesis, es decir, se agruparán de forma esquemática a fin de resumir las mismas.

Con ello primero se expondrán las conclusiones obtenidas del caso de estudio analizado; posteriormente se tabularán las conclusiones extraídas de las aportaciones realizadas al caso de estudio; y finalmente se aportarán las conclusiones globales obtenidas de la presente Tesis.

6.1.1. Conclusiones del caso de estudio

A partir de la caracterización física del medio fue posible constatar que La parte alta oriental de la zona de estudio es árida con un patrón de lluvias muy azaroso, de tipo convectivo y ciclónico. Los valores promedio anuales de precipitación van desde los 250 mm en la parte norte, sierra Las Cruces hasta los 425 mm en la parte sur, sierra Las Trincheras. Sin embargo, las altas pendientes, la escasa vegetación y el tipo de rocas contribuyen a un alto grado de erosión. Son precisamente vacas y chivos los que en gran parte contribuyen a la deforestación de la porción sur, la cual a su vez es la fuente principal de la recarga del acuífero que suministra agua a la ciudad capital del estado, La Paz. Partiendo de esta primicia se considera que:

1. Se identificaron, describieron y analizaron tres metodologías de Ordenación de cuencas: dos metodologías clásicas como son la del Modelo USLE

(estadounidense) y la metodología con criterios de Mintegui Aguirre y López (española), y una nueva metodología NSPECT (estadounidense). Donde según los resultados de pérdidas de suelo del modelo USLE y la Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos de la FAO, el grado de erosión de las cuencas de estudio es de moderado a fuerte. Con pérdidas de suelo mayores a las $50 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ principalmente en las cuencas de alta montaña como El Carrizal y La Palma. Las cuencas de llanura, El Novillo y Victoria presentan pérdidas de suelo principalmente por debajo de las $3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. Con lo cual surge un panorama urgente de atender en cuanto a degradación de suelos se refiere, principalmente en la cuenca El Carrizal, La Palma y El Cajoncito.

2. Se presentaron algunas diferencias en las superficies de asignación de actividades de Ordenación de la zona de estudio respecto a las tres metodologías, las cuales pueden observarse claramente en los mapas resultantes de las Ordenaciones de las cuencas. Los resultados de comparación espacial entre ellas, muestran que en general, las actividades consideradas similares, contempladas entre un método y otro, presentan bajo grado de coincidencia. Así por ejemplo, la actividad con mayor coincidencia superficial es la de mantener-mejorar el uso del suelo, seguida de la repoblación forestal. Con lo cual se reafirma la necesidad de contar con una metodología de Ordenación nueva específica para el ámbito biogeográfico de la zona estudiada que proporcione respuestas a los problemas de desertificación existentes.
3. La aplicación del modelo USLE es atractiva a muchos usuarios, particularmente por poder cuantificar evaluaciones del riesgo de erosión del suelo, sin embargo se identifica que este modelo al utilizar la valoración factorial no tiene en cuenta la erosión en cárcavas y barrancos, así como los movimientos en masa. De su ejecución, resultó que “Mantener uso forestal” fue la actividad que mayoritariamente se presentó en las Ordenaciones USLE para las seis cuencas estudiadas.
4. La metodología de Mintegui Aguirre y López se basa en la clasificación de los índices de protección del suelo por la vegetación, y a diferencia del modelo USLE, que solo toma en cuenta el fenómeno erosivo de manera física, éste analiza

los usos del suelo actuales, los estratos de vegetación, el tipo de suelo y la vocación del territorio. Se establece que los resultados obtenidos por Mintegui Aguirre y López están directamente correlacionados con los resultados del método USLE pues “Mantener el arbolado, pastizal y matorral” fueron las actividades futuras que mayoritariamente se presentaron en las Ordenaciones realizadas.

5. Se considera que el acuífero de La Paz es uno de los más importantes en la entidad de BCS, ya que en él se localiza la ciudad de La Paz capital del Estado, la cual demanda aproximadamente las dos terceras partes del agua subterránea que se extrae del acuífero. Las entradas por flujo subterráneo en el Acuífero de La Paz fueron de 16.8352 Mm³/año, las salidas del acuífero por bombeo es de 31.796 Mm³/año y el cambio de almacenamiento presenta un valor de 9.579 Mm³/año. De acuerdo a los resultados obtenidos en la modelación con MODFLOW se establece que el acuífero está sobreconcesionado y se encuentra en condiciones de sobreexplotación, debido a que las extracciones anuales han sobrepasado la disponibilidad total del agua (rendimiento permanente), ya que algunos usuarios entre ellos el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado, utiliza volúmenes mayores a las de la dotación por habitantes.
6. Se establece que las obras construidas sobre todo en el Arroyo El Cajoncito, en su conjunto con la presa La Buena Mujer, favorecen los amortiguamientos de los grandes volúmenes de escorrentía en esta zona (Cuenca El Cajoncito), donde la infiltración del acuífero se beneficia por las bajas velocidades de flujo, pues permanece mayor tiempo desde su origen hasta su desembocadura a la bahía de La Paz, B.C.S.
7. Respecto a la modelación del software NSPECT se ha comprobado que con relativamente pocos parámetros de entrada-inputs (ideal para zonas donde la información hidrológica es escasa y no se tiene disponible al alcance público) se pueden obtener coberturas de degradación de suelos y posibles escenarios futuros, de cambio de uso de suelo. Se añade que será necesario contar con un estudio detallado de suelos de la zona de estudio, pues de ahí deriva la obtención del factor K (erosionabilidad del suelo), que aunque sea el factor más complejo de obtener, éste será vital para la ejecución del modelo. En este caso de estudio, el

modelo NSPECT claramente priorizó la conservación de las masas arbóreas existentes en las cuencas frente a otras actividades. Con lo cual la actividad futura, “conservar selva baja caducifolia” fue la mayormente asignada en todas las Ordenaciones, principalmente en la cuenca de tipología mixta, El Carrizal y la cuenca de alta montaña, La Palma.

6.1.2. Conclusiones a las mejoras del caso de estudio

1. Con respecto a las mejores técnicas:
 - a. Se ha descrito una nueva metodología de Ordenación de cuencas hidrográficas en el ámbito árido sudcaliforniano (MOCAS). A partir de ella, junto con los objetivos de los modelos clásicos de ordenación de cuencas, se adicionan los que son propios de la sostenibilidad: protección del medio físico, aumento de la riqueza en biodiversidad, así como un sistema de toma de decisiones con el que se asegura que todas las actividades propuestas sean compatibles con la aptitud del medio para acogerlas, sin esperar un deterioro irreversible del medio.
 - b. En la metodología propuesta (MOCAS), se incorpora un nuevo enfoque para asignar la pérdida de suelo que se considera tolerable, criterio a partir del cual se promueven actividades a desarrollar de forma compatible con la capacidad del suelo. Con su aplicación se consigue cambiar el determinismo que viene empleándose como umbral general en muchos estudios y proyectos ($10 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) y la incertidumbre de que ésta tolerancia sea la adecuada para suelos mexicanos sumamente degradados. En el caso de estudio planteado se realizó una clasificación de la erosión, considerando la degradación inicial de suelos desde las $3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$.
 - c. Se puso de manifiesto la injerencia e importancia de las aguas subterráneas en las funcionalidades de la nueva metodología propuesta, con lo que se abre un campo de investigación sumamente interesante y

de gran relevancia para el ámbito de regiones áridas en donde el recurso hídrico es escaso. Con ello es posible demostrar una vez más, que la hidrología superficial y subterránea siempre van relacionadas, y en la medida de lo posible, cuando existe oportunidad y datos suficientes, es recomendable considerar ambos tópicos para obtener una visión holística de la problemática en la zona de estudio. En este caso, principalmente la Cuenca El Cajoncito es la que recibió mayor asignación de criterio en este ámbito, pues es la cuenca que directamente está relacionada con la ciudad de La Paz y por lo tanto, éste es el núcleo poblacional que principalmente utilizará los recursos del acuífero La Paz y en un momento previsto, se verá también afectado por la limitación del recurso hídrico, tanto en su aspecto superficial como subterráneo. De ahí la importancia de realizar una correcta Ordenación de Cuencas en zonas áridas, pues se necesita promover no solo el análisis de la hidrología superficial sino también considerar el estado actual del acuífero que recarga a la zona de estudio.

- d. De forma novedosa en la Metodología propuesta (MOCAS) también se tomó en cuenta la vulnerabilidad en zonas dominadas, considerando zonas de alto riesgo aquellas que estén expuestas frente a posibles y futuras inundaciones. Entre ellas se seleccionó principalmente la ciudad de La Paz y por ende la cuenca de El Cajoncito, por ser la máxima exponente en cuanto a riesgo de inundabilidad se refiere. Así también las zonas costeras de El Centenario y Chametla se consideraron como altamente vulnerables y propensas a ser afectadas.
- e. Se consideró la existencia y ubicación de embalses y presas en las cuencas de estudio, factor altamente relevante frente a una ordenación de cuencas. Se tomó en cuenta el efecto de aterramiento de embalses, así como el arrastre de sedimentos, ya sea con cercanía a una zona poblada, en este caso específicamente con la Presa La Buena Mujer con la cuenca El Cajoncito en la ciudad de La Paz o en su defecto, una zona con menos población como es el caso de la cuenca El Carrizal y la presa El Salto.

- f. La aplicación de la metodología de Ordenación de Cuencas propuesta (MOCAS) concreta un conjunto de actividades por desarrollar que son expresadas cartográficamente en mapas temáticos de aptitudes para cada una de ellas, entre ellas mayoritariamente, la actividad de “repoblación forestal protectora” y “mantenimiento y mejora de matorrales”. Será de crucial importancia hacer énfasis en las cuencas de tipología de alta montaña y mixta, al pertenecer éstas al área de recarga del acuífero, ser zonas potenciales para el aumento de la cobertura vegetal y por la proximidad física que presentan con la ciudad capital del Estado, La Paz.
- g. Esta forma de presentar los resultados (mapas temáticos) y la disponibilidad de herramientas geoestadísticas actuales pueden ser utilizadas de manera sencilla como prolongación del proceso de planificación, ya que con ello se ayuda al gestor con un instrumento de potencia y flexibilidad para optimizar su aplicación y establecer parámetros de actuación en función de una problemática específica existente y de los recursos disponibles. Para esta investigación se generaron mapas temáticos que se pueden considerar como cartografía hasta ahora inexistente en la zona de estudio, con lo cual se está contribuyendo a ampliar el acervo cartográfico de Baja California Sur con la generación de planos sumamente cruciales para la gestión y conservación del territorio sudcaliforniano. Entre ellos no solo se considera la cartografía resultante de la Metodología MOCAS, sino también la cartografía inicial (*inputs*) como lo fueron los resultados de, erosión, análisis del suelo, clima y vegetación, la cual fue necesario elaborar y adaptar a la escala de estudio convenida, con un tamaño de celda (*grid*) de 25.5m x 25.5m que se consideró suficientemente adecuado para el tipo de estudio llevado a cabo.

2. Con respecto a las aportaciones metodológicas se ha demostrado que puede ser útil la adaptación de usos del suelo a una clasificación común. Con ello se estaría eliminando el grado de subjetividad aportado por el gestor del proyecto

y de esta forma sería posible comparar los resultados de la aplicación de diversas metodologías de Ordenación de cuencas y así generar posibles patrones de actuaciones futuras con aptitudes favorables para el medio de estudio.

3. Con esto se fortalece uno de los objetivos principales de esta Tesis, que es la de extrapolar esta metodología al resto del territorio árido sudcaliforniano, que presenta condiciones climáticas muy similares a las cuencas de estudio seleccionadas. Con ello se haría frente a un escenario grave de degradación de suelos y desertificación que actualmente padece el estado austral de la Península de Baja California y con el que desafortunadamente poco se está llegando a hacer en las administraciones públicas pasadas y actuales.

6.2 Conclusiones generales

A lo largo de la presente Tesis se ha ido desarrollando una metodología capaz de caracterizar significativamente el estado físico de una cuenca hidrográfica, los recursos naturales inherentes a ella y su posible evolución en el tiempo. En esta metodología propuesta se han tenido en cuenta datos hidrológicos de partida, los cuales deberán estar debidamente agrupados, cotejados y reclasificados bajo la misma escala y sistema de unidades.

Con ello se ha desarrollado cartografía de caracterización del medio, la cual será de gran ayuda para futuros proyectos, trabajos y aportes a la materia. Gracias a lo anterior, y a la aplicación de tres metodologías de Ordenación de Cuencas clásicas, fue posible determinar un criterio de clasificación y comportamiento de la zona de estudio, frente a diversas problemáticas del medio, tales como la erosión, el sobrepastoreo y la incipiente recarga del acuífero.

De ahí surgió la necesidad de elaborar una nueva propuesta de Ordenación de Cuencas, para el entorno árido sudcaliforniano (MOCAS) la cual estará vinculada específicamente a las necesidades del medio, y la cual abarcará, elementos y factores que

las metodologías clásicas no tienen en cuenta. En este caso, al tratarse de una región sumamente seca, donde la precipitación es escasa durante todo el año, es necesario recurrir al análisis de las aguas subterráneas y suponer una clara influencia de estas, al momento de ordenar una cuenca hidrográfica. Para ello fue indispensable simular previamente el flujo subterráneo de la cuenca de estudio y con ello obtener el resultado de que el acuífero de La Paz actualmente está en un estado de sobreexplotación, situación que imperiosamente reclama una solución y frente a la cual debe existir una alternativa real, con medidas protectoras frente a la erosión de nuestros suelos, que hasta el momento no se había planteado en el territorio sudcaliforniano.

De lo anterior se concluye que este tipo de metodología de Ordenación de Cuencas propuesta, pese a su evidente peso tecnológico, si se desea extrapolar a otras cuencas de estudio, deberá ser llevada a cabo bajo la supervisión de un gestor de montes, o en su lugar, que exista un estudio previo que identifique y caracterice la zona de estudio y su problemática particular. Después de ello se ejecutaría el desarrollo de la metodología propuesta en la presente Tesis, y consecuentemente se obtendrían datos y cartografía resultantes relacionados a la Ordenación del territorio en cuestión.

Finalmente se añade que los resultados obtenidos bajo una de las metodologías clásicas de Ordenación de Cuencas, NSPECT, (que en buena medida parte de su desarrollo es completamente computacional) y la nueva metodología propuesta de Ordenación de Cuencas (MOCAS), presentaron resultados medianamente similares, después de reclasificar los usos de suelo resultantes de ambas, bajo el criterio de adaptación común de actividades. Ello indica que estos sistemas de Ordenación de Cuencas, pese al elevado número de posibilidades y combinaciones existentes, en cuanto a la elección de actividades supuestas, mantiene una robustez clara en cuanto al manejo de la cartografía, pues ambos sistemas se basan primordialmente en el manejo del SIG y el tratamiento geoestadístico de los inputs considerados con total y absoluta independencia. Se añade que la metodología MOCAS entrega resultados con una mayor diversificación de actividades que el resto de las metodologías utilizadas (USLE, Mintegui Aguirre y López, NSPECT), considerando la gran ventaja de que en esta metodología, en una misma parcela o área de control se pueden

estar ejecutando una o más actividades al mismo tiempo, lo cual reproduce de una forma mucho más certera el comportamiento real de las comunidades en el campo.

6.3 Discusión final

Con todo lo visto a lo largo de la presente investigación, se puede afirmar que la metodología de Ordenación de Cuencas para el árido sudcaliforniano (MOCAS), si ésta es alimentada de forma adecuada y ajustada a las medidas de clasificación y corrección descritas a lo largo de la Tesis, constituye una fuente de información fiable para los gestores de montes, ofreciendo una respuesta integral y sistémica a problemáticas recurrentes en territorios donde nunca ha existido una real Ordenación del territorio, y que debido a la preocupación extrema de ciertos sectores de la población por su entorno, se tiene que hacer frente a situaciones verdaderamente desfavorables e inciertas. Situaciones típicas tales como, la degradación de suelos con presencia de tasas máximas de erosión, sobreexplotación de acuíferos, inexistencia de hidrotecnias de corrección, incremento en la superficie de matorrales extendidos por los montes, etc.

Con todo ello se puede formular la siguiente pregunta ¿Son válidas éstas metodologías de Ordenación de Cuencas en todas las zonas forestales?

La respuesta no puede ni debe ser tan simple como un sí o un no, ya que cada monte y cada cuenca hidrográfica, posee diversos factores característicos que le identifican del resto.

En el caso que nos ocupa, la zona de estudio sudcaliforniana, de la cual se seleccionaron seis cuencas piloto, las cuales poseen unas considerables tasas de erosión y un clima árido desértico que dificulta el almacenamiento del recurso hídrico en sus montes, con una constante exposición al sobrepastoreo, y un marcado relieve en alta montaña, teniendo una zona de transición y planicie, que posee una evidente sobreexplotación de su acuífero. Por ello es importante destacar que para este caso en particular, sí que sería factible una extrapolación de esta metodología en otras zonas del territorio de Baja California Sur, pues las condiciones físicas y socioeconómicas de las cuencas piloto, son

muy similares a lo largo y ancho de todo el Estado. Con ello se estarían aportando medidas efectivas para corregir los problemas inherentes de la sequía existente en todo el estado de Baja California Sur.

Es importante considerar que la aplicación y ejecución de estas metodologías de Ordenación tendrían mejores resultados a largo plazo si son llevadas a cabo en territorios donde no ha existido una previa ordenación territorial, y por lo tanto, la tenencia de la tierra y usos del suelo, aún pueden ser modificados o alterados, sin sufrir considerables consecuencias desfavorables, tales como demandas legales, revueltas de la población u ocupación del territorio por grandes infraestructuras hoteleras o de ocio (situación ampliamente presentada en toda la costa este de BCS, alrededor del Mar de Cortés).

Las grandes transformaciones que se necesitan en México para lograr los objetivos de mayor desarrollo y disminución de las desigualdades requieren de procesos concertados y de largo plazo, configurados eficientemente dentro de las instituciones actuales o futuras, y que paralelamente generen mecanismos de gobernanza. Esto hace aún más relevante el establecimiento de mecanismos que permitan identificar estas características distintivas y proponer cauces para los procesos de planificación a nivel territorial.

Estas condiciones han sido recogidas en diferente grado por los sistemas e instrumentos metodológicos, que son la forma de vinculación de la teoría con la realidad. La revisión hecha en esta Tesis, permite incorporar la necesidad de entender la planificación como un proceso continuo de gestión, ampliando así el rango temporal que comúnmente limita la confección de los planes. El gran desafío en materia de institucionalización de la planificación territorial sucede por avanzar desde el desarrollo de ejercicios individuales de planificación, hacia la conformación de sistemas de planificación territorial, que permitan dar sustentabilidad e integralidad a los procesos desarrollados.

Sobre el ejercicio de los métodos, en la práctica se observa que las metodologías de Ordenación, no son aplicadas en su totalidad de acuerdo a su propuesta inicial, sino que suelen adaptarse en algún grado menor o se combinan métodos diferentes. Esta situación no se considera negativa, ya que le proporciona flexibilidad y contextualización a los

ejercicios desarrollados, sin embargo es importante destacar que no se esperarán la totalidad de resultados planteados en los objetivos propuestos al inicio de la metodología. Es decir, no existen reglas tácitas que obliguen al gestor a seguir al pie de la letra los planteamientos aquí descritos, pero sí se recomienda que al menos se lleve a cabo propiamente un estudio del medio, se conozca la aptitud e impacto de futuras actividades propuestas, y con ello la determinación de zonas de riesgo o de posibles actuaciones.

Finalmente es importante aclarar, que a pesar de que esta metodología de Ordenación de Cuencas, en buena y gran medida tiene un robusto soporte matemático, basado en la utilización de software hidrológico, geográfico y estadístico, nunca se debe perder de vista que el conjunto de respuestas obtenidas, producto de la ejecución de la misma Ordenación, tendrá siempre como prioridad el bienestar de los pobladores de la cuenca de estudio. Sin olvidar que los principales vínculos de interacción con la cuenca hidrográfica serán sus comunidades y núcleos poblacionales, y por ende, las actividades en que ellas se desarrollen, de ahí surgirán consecuencias y efectos, que podrán ser favorables o en su defecto, desfavorables, dependiendo de cuál haya sido la planificación y gestión del Territorio que se ha planteado.

6.4 Futuras líneas de investigación

La Ordenación de cuencas hidrográficas en zonas específicas de interfaz urbano y forestal, suponen un campo apasionante en donde se abren numerosas vías de investigación. Por una parte, deben estudiarse qué otras entradas (*inputs*), además de los utilizados en la presente Tesis, pueden ser utilizados como válidos para la estimación de usos futuros del suelo en la zona de estudio. Entre ellos podría considerarse, el factor energético, incendios forestales, etc.

Una de las limitantes más comunes al momento de elaborar un trabajo como este, es la necesidad de contar con información cartográfica a mayor detalle (escala menor), por lo que se puede plantear realizar un análisis de la información cartográfica a mayor detalle para que al momento de plantear actividades para la Ordenación de las cuencas, éstas sean diversificadas y más puntuales. Así también será necesario ir actualizando la base de datos

climatológica y edafológica, con referencia a un período de tiempo mucho más cercano al año 2016.

La elección final de un determinado modelo depende de su utilidad y alcance, lo que a su vez viene condicionado a la amplitud que pretende abarcar, los parámetros y coeficientes que utilice, el rigor que exige o es posible exigir en las mediciones de los parámetros que en él intervienen, las disponibilidades de medida con las que se cuentan y los coeficientes de ajuste obtenidos de la experiencia. Con ello se estipula que las metodologías de Ordenación de Cuencas no son sistemas estáticos, sino que deben retroalimentarse a lo largo del tiempo, de acuerdo a las nuevas necesidades del territorio en estudio, a fin de que cada vez la Ordenación de Cuencas tenga un ajuste mayor de sus resultados. Para ello en un futuro, se prevé el desarrollo computacional de modelos hidrológicos de autoaprendizaje y gestión. También será necesario contar con una valoración económica a detalle del proyecto en cuestión.

Finalmente en los aspectos que se observan para avanzar en el desarrollo de propuestas de Ordenación, están los esfuerzos por la incorporación más decidida de “estrategias de comunicación”. En futuros años, posiblemente vinculadas al uso de aplicaciones móviles, mejor conocidas como *apps*, donde estas servirán como un instrumento que permita a la comunidad, incluidos los actores claves que participan activamente, involucrarse en el proceso y ser base para la participación, permitiendo que estos se informen en tiempo real del desarrollo del plan o si el sistema de planificación está efectivamente en funcionamiento, para de esta manera generar las condiciones de base de una correcta gobernabilidad territorial.

Como se describió en la Tesis, la evolución metodológica de Ordenación de Cuencas ha buscado en gran medida responder al descrédito experimentado por la escasa planificación territorial llevada a cabo en países hispanos del continente americano, situación atribuible fundamentalmente a las dificultades de encontrar formas de transformar los diagnósticos territoriales en objetivos y propuestas estratégicas que después pudieran ser aplicadas de forma eficiente en la realidad. Por esta razón, el estudio y

desarrollo de marcos metodológicos contextualizados, flexibles y racionales sigue y probablemente seguirá teniendo una fuerte relevancia hoy, mañana y en años subsecuentes.

Capítulo 7. Referencias



Capítulo 7. Referencias

- Agencia Europea del Medio Ambiente. (1995). *Informe Dobris sobre el Medio Ambiente en Europa*. Oficina de Publicaciones de las CCEE Luxemburgo.
- Agua y energía eléctrica. (1981). *Estadística hidrológica hasta 1980. Fluviometría. Tomo I*. División de Recursos Hídricos. Ministerio de Obras y Servicios Públicos (MOSP), Subsecretaría de Energía Hidroeléctrica y Térmica.
- Alexie, S. (2003). *Watershed*. Beacon Press. Estados Unidos.
- Almorox, J., Saa, A., Antonio, R., Díaz, MC., y Gascó, J.M. (1994). *Métodos de estimación de la erosión hídrica*. Agrícola Española. Madrid.
- Ammar, R., Kazpard, V., Wazne, M., El Samrani, A., Amacha, N., Saad, Z., y Chou, L. (2015). *Reservoir sediments: a sink or source of chemicals at the surface water-groundwater interface*. Environmental Monitoring and Assessment. Springer Netherlands. pág 1-15.
- Anthony, E.J., Marriner, N., y Morhange, C. (2014). *Human influence and the changing geomorphology of Mediterranean deltas and coasts over the last 6000 years: From progradation to destruction phase*. Earth-Science Reviews. Elsevier.
- Aparicio, F. (2004). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Limusa, Noriega Editores. México. pág 57.
- Arana, R., Rodríguez, T., Mancheño, M.A., Guillén, F., Ortiz, R., Fernández, M.T. y Del Ramo, A. (1999). *El patrimonio geológico de la región de Murcia*. Interlibro. Fundación Séneca. Murcia, España. 399 pp.

- Aranda, J., y Pérez, J. (1989). *Estudio geológico de Punta Coyotes Baja California Sur*. Universidad Nacional de México. Instituto de Geología. Revista, vol. 7, núm.1. pág. 1-21.
- Arias, M. y Bianchi, A. (1996). *Estadísticas Climatológicas de la Provincia de Salta*. Salta: Dirección de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Provincia de Salta. Estación Experimental Agropecuaria Salta, INTA.
- Arnoldus, H. (1977). *Predicting soil losses due to sheet and rill erosion*. En: Fao Conservation Guide 1. Guidelines for watershed management. pág. 99-123.
- Bagnouls, F., y Gaussen, H. (1957). *Les climats biologiques et leur classification*. Annales de Géographie. N. 335.
- Barlow, M. (2014). *Blue Future: Protecting Water for People and the Planet Forever*. The New Press.
- Barnett, C. (2012). *Blue Revolution: Unmaking America's Water Crisis*. Beacon Press.
- Basile, P. (2006). *Transporte de Sedimentos en ríos aluvionales*. 1ª edición. Departamento de Hidráulica. Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales. Universidad Nacional de Rosario.
- Benini, L., Antonellini, M., y Mollema, P.N. (2015). *Assessment of Water Resources Availability and Groundwater Salinization in Future Climate and Land use Change Scenarios: A Case Study from a Coastal Drainage Basin in Italy*. Water Resources Management. Springer Netherlands.
- Bernex, N. (2006). *Agua y ecosistemas: De los diferentes enfoques de gestión a una apuesta para el bien común*. Piura: GIGA-PUCP, 16/1/2006.
- Beven, K. (2001). *Rainfall-runoff modeling*. Wiley. Estados Unidos.
- BOE. (1990). *Boletín Oficial del Estado: miércoles 23 de mayo de 1990, Núm. 123*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Sección de Carreteras. España.
- Booth, E.L.J., y Byrne, J.M. (2011). *Climatic changes in western North America, 1950-2005*. Water and Environmental Sciences, University of Lethbridge. Alberta, Canada.

- Brady, L. (2001). *Twin cities of Nogales: A border-shed analysis in GIS*. Arizona Hydrological Society Symposium. Tucson, Arizona.
- Brea J. D., y Balocchi F. (2010). *Proceso de erosión – sedimentación en cauces y cuencas*. Volúmen 1. Programa Hidrológico Internacional de UNESCO. PHI-VII/ Documento técnico No. 22.
- Brooks, K. (2013). *Hydrology and the management of watersheds*. Wiley. 515 pp.
- Brutsaert, W. (2005). *Hydrology an introduction*. Cambridge University Press.
- Burke, L. (2006). *Hydrologic Modeling of Watersheds Discharging Adjacent to the Mesoamerican Reef*. World Resources Institute.
- Carle, D. (2009). *Introduction to Water in California* (California Natural History Guides). University of California Press.
- Carvalho, D.F., Montebeller, C.A., Franco, E.M., Valcarcel, R., y Bertol, I. (2005). *Rainfall patterns and erosion indices at Seropedica and Nova Friburgo, Rio de Janeiro Brazil*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.
- Cassol, E.A., Eltz, F.L.F., Martin, D., Lemos, A.M., Lima, V.S., y Bueno, A.C. (2008). *Erosivity, hydrological patterns, return period and probability of occurrence of rainfalls at São Borja, RS, Brazil*. Revista Brasileira de Ciência do Solo 32.
- Castany, G. (1971). *Tratado práctico de las aguas subterráneas*. Editorial Omega, Barcelona, España. 671 pp.
- CEOTMA. (1982). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y Metodología*. CEOTMA. MOPU. Madrid.
- Colman, E. A. (1953). *Vegetation and Watershed Management*. Estados Unidos. 12 pp.
- CONAGUA. (1991). *Sinópsis Geohidrológica del estado de Baja California Sur*. Subdirección General de administración del agua. Contrato No. AC-SH-88-06. 85 pp.
- CONAGUA. (1997). *Censo de Captaciones de Aguas Subterráneas y Colección de datos Geohidrológicos en la zona La Paz-El Carrizal, B.C.S. Informe final, Contrato GAS-026-PR097 para ADI Construcciones S.A. de C.V.* Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas. 173 pp.

- CONAGUA. (1999). *Documento de Respaldo para la Publicación de la Disponibilidad. Acuífero B.C.S.-24 La Paz*. Gerencia Regional de la Península de Baja California, Mexicali, B.C. 17 pp.
- CONAGUA. (2002). *Evaluación y Modelación Hidrogeológica, Baja California Sur*. CONAGUA. México, D.F.
- CONAGUA. (2008). *Estadísticas del Agua en México*. 1ra. Edición 2008. ISBN 978-968-817-895-9.
- CONAGUA. (2010). *Plan de manejo integrado de las aguas subterráneas en el acuífero La Paz, Baja California Sur*. Dirección Local Baja California Sur. 27 pp.
- CONAZA. (1994). *Plan de acción para combatir la desertificación en México*. Primera edición. Saltillo, Coahuila. 155 pp.
- Cook, H. L. (1936). *The nature and controlling variables of the water erosion process*. Soil Sc. So. Am. Proc. 1. pág. 60-64.
- CP. (2008). Programa de obras y conservaciones para el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. Colegio de Postgraduados. México
- Crosby, H. (1992). *Los últimos Californios*. Gobierno del Estado de Baja California Sur. La Paz B.C.S. 162 pp.
- Cruz, A. (2007). *Caracterización y Diagnóstico del Acuífero de La Paz B.C.S. Mediante Estudios Geofísicos y Geohidrológicos*. Tesis de Doctorado, IPN-CICIMAR. 139 pp.
- Custodio, E. y Llamas, M. (1976). *Hidrología Subterránea*. Tomos 1 y 2. Editorial Omega. Barcelona. España.
- Chandramouli, V. (2015). *Non Point Source Pollution Modeling Using NSPECT Model to Facilitate Watershed Planning*. World Environmental and Water Resources Congress 2015: Floods, Droughts, and Ecosystems.
- Chen, X. (2003). *Sensitivity analysis and determination of streambed leakance and aquifer hydraulic properties*. Journal of Hydrology. Nebraska, USA.
- Chow, V.T., Maidment, D. R., y Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Mc Graw-Hill.
- Davis, S.N. y De Wiest, R. (1971). *Hidrogeología*. Ed. Ariel. Barcelona, España. 563 pp.

- De Santa, F. (2001). *Agricultura y Desertificación*. Editorial Mundi Prens.
- De Simón, E., Mintegui, J.A. García, J. L., y Robredo, J.C., (1993). *La restauración hidrológico-forestal en las cuencas hidrográficas de la vertiente mediterránea*. Junta de Andalucía Información Técnica N° 22/93. 325 pp.
- Dennis, S. (2012). *Natural Resources & the Informed Citizen*. Sagamore Trade.
- Desmet, P.J.J. y Govers, G. (1996). *A GIS-procedure for automatically calculating the USLE LS-factor on topographically complex landscape units*. Journal of Soil and Water Conservation, 51 (5). pág. 427-433.
- Díaz, S. y Troyo, E. (1997). *Balance hidrológico y análisis de la aridez en la península de Baja California*. Publicación n° 13. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. S.C. La Paz. Baja California Sur. pág. 35-49.
- Díaz, S., Troyo, E., Nieto, N., Maya Y., Murillo, B., y García, J.L. (2004). *Balance hidrológico y análisis de la aridez en oasis de Baja California Sur*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. S.C., Universidad Autónoma de Baja California Sur y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. La Paz. Baja California Sur. pág. 53-56.
- DOF. (2012). *Diario Oficial de la Federación*. Gobierno de México. México, D.F.
- Doyle, T.W. (2010). *Predicting the retreat and migration of tidal forests along the northern Gulf of Mexico under sea-level rise*. U.S. Geological Survey, National Wetlands Research Center. Estados Unidos.
- Dragoo, L. C. y Maddock, T. (2004). *Hydrology Model for the Alternative Futures of La Paz*. University of Arizona, Department of Hidrology and Water Resources. 16 pp.
- Duarte, O., E. Pujato, Valenti, R., y Paris, M. (2007). *III Seminario Hispano-Latinoamericano de Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Aguas subterráneas: Producción de alimentos y abastecimiento urbano*. Grupo Argentino Asociación Internacional de Hidrogeología. Universidad Nacional de Entre Ríos.
- Egboka, B.C.E., Nfor, B.N. y Banlanjo, E.W. (2006). *Water Budget Analysis of Agulu Lake in Anambra State, Nigeria*. Journal of Applied Sciences and Environmental Management. Vol.10 No.3, 27-30.

- Etter, A. (1991). *Introducción a la Ecología del Paisaje. Un marco de Integración para los levantamientos rurales*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá.
- FAO y PNUMA. (1984). *Directrices para el control de la degradación de los suelos*, FAO, PNUMA. Roma, Italia.
- FAO, PNUMA y UNESCO. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*.FAO, PNUMA y UNESCO. Roma, Italia.
- FAO. (1992). *Wastewater treatment and use in agriculture*. Department of Civil Engineering University of Newcastle-upon-Tyne Newcastleupon- Tyne, UK.
- FAO. (2002). *Congreso Latinoamericano de Cuencas Hidrográficas. Resúmenes*. Arequipa, Perú.
- Farías, H. D., Borsellino, M. J. y Pilan, M. T. (2003). *Técnicas para la Estimación de la Producción de Sedimentos en Cuencas con Escasos Datos Hidrológicos. Aplicaciones en la Región NOA*. Congreso Regional de Ciencia y Tecnología. NOA 2003. Sección Ciencias de la Tierra y Ambientes. Universidad Nacional de Catamarca.
- Felker, P. (1979). *Mesquite. An all-purpose leguminous arid land tree*. G.A. Ritchie (ed.). New agricultural crops. AAAS. Selected Symposium No.38. pág. 89-132.
- Figueroa, S. B. (1975). *Pérdida de suelo y nutrimentos y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Texcoco*. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 209 pp.
- Figueroa, S. B., Amante, O. A., Cortés, H. G., Pimentel, L.J, Osuna C. E. S., Rodríguez, O. y Morales F. J. (1991). *Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. pág. 83-90.
- Fikos I., Ziankas, G., Rizopoulou, A. y Famellos, S. (2005). *Water balance estimation in Anthemountas river basin and correlation with underground water level*. Selected from papers presented in 9th. International Conference on Environmental Science and Technology. Greece. Global NEST Journal, Vol7, No.3. pág. 354-359.
- Fournier, F. (1960). *Climat et erosion*. PUF. Paris.

- Furman, A. (2008). *Modeling coupled surface subsurface flow processes: a review*. Vadose Zone Journal 7: 741-756.
- Garatuza, J., Sánchez, R., Sánchez, S. y Navarro, J. (2005). *Using remote sensing to investigate erosion rate variability in a semiarid watershed, due to changes in vegetation cover*. Sediments Budgets I. IAHS Publ. 291, pág. 144-151.
- García, H. (1985). *Estudio geohidrológico complementario de las cuencas La Paz-El Carrizal para proporcionar agua en bloque a la ciudad de La Paz, BCS*. Universidad Autónoma de México (UNAM) y Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). Baja California Sur, México.
- García, J. I, Mintegui, J.A. y Robredo, J.C. (2005). *La vegetación en la marisma del Parque Nacional de Doñana en relación con su régimen hidráulico*. Ed. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- García, J. M. (1962). *Principios de Hidráulica Torrencial. Su aplicación a la corrección de torrentes*. Incluye: Eyerbe Valles José María. Corrección de aludes. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid.
- García, R., Mintegui, J.A. y Robredo, J.C. (2002). *La caracterización del movimiento del agua en laderas, como instrumento de zonificación de los usos del suelo en cuencas de montaña*. Revista Ecología No.16 pág. 9-25.
- Gómez, D. (1978). *El medio Físico y la planificación. Vol 1 y 2*. Cuadernos del CIFCA, 10. Madrid.
- Gómez, D. (1994). *Ordenación del Territorio: Una aproximación desde el Medio Físico*. Instituto Tecnológico Geominero de España, Editorial Agrícola Española.
- Gómez, M. y Barredo, J. I. (2006). *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. 2ª edición actualizada. Ed. Alfaomega. México.
- Gómez, R. (2005). *Ramblas in Southeast Spain: threatened and valuable ecosystems*. Aquatic Conservation. Marine and Freshwater Ecosystems 15. pág. 387-402.
- Gómez, T. y Romanillos, P. (2012). *El Cambio Climático*. Editorial Océano.

- González, D.S. (2011). *Precipitaciones extremas y sus implicaciones en procesos de remoción en masa en la planificación urbana de Tampico, México*. Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. pág. 135-139.
- Guevara, E. (1997). *Manejo integrado de cuencas. Documento de referencia para los países de América Latina*. FAO. RCL/97/04-FOR-54. Santiago. Chile. 14 pp.
- Gutiérrez, M. (2001). *Geomorfología Climática*. Edit. Omega.
- Halffer, G. (2011). *Historical and ecological determinants of dung beetle assemblages in two arid zones of central Mexico*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca. Mexico. pág. 54-60.
- Hanson, R. (2012). *Conjunctive Use Analysis Using MODFLOW with the Farm Process*. USGS. Sacramento, California.
- Hausback, B. P. (1983). *An extensive volatile-charged rhyodacite flow, Baja California, Mexico*. Geol. Soc. America. Abstr. With Program. v. 15. 281 pp.
- Haylock, M. R. (2006). *Downscaling heavy precipitation over the UK: A comparison of dynamical and statistical methods and their future scenarios*. International Journal of Climatology. pág. 1-19.
- Heathcote, I. (2009). *Integrated Watershed Management: Principles and Practice*. Wiley.
- Hewitt, W. (2012). *A Newer World: Politics, Money, Technology, and What's Really Being Done to Solve the Climate Crisis*. New Hampshire.
- Hornberger, G. (1998). *Physical hydrology*. Johns Hopkins University Press.
- Huang, G., y Kadir, T. (2008). *Hydrological response to climate warning: The upper Feather River watershed*. United States: California Department of Water Resources.
- Hufschmidt, M. (1986). *A conceptual framework for analysis of watershed activities. In strategies, approaches and systems in integrated watershed management*. Conservation Guide n°14. FAO. Roma, Italia
- INEGI. (1995). *Anuario estadístico de Baja California Sur*. INEGI. México.

- INEGI. (2010). *Censo General de Población y Vivienda. En México somos 112 millones 322 mil 757 habitantes al 12 de junio de 2010*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2015 de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>
- Junta de Andalucía. (1993). *Medio ambiente en Andalucía, Informe 1993*. Consejería de cultura de la Junta de Andalucía. España.
- Kinoshita, A. M. (2011). *Spatial and temporal controls on post-fire hydrologic recovery in Southern California watersheds*. Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Los Angeles, CA. Estados Unidos. pág. 240-252.
- Klein, R.D., y Lewis, J. (2012). *Logging and turbidity in the coastal watersheds of northern California*. North Coast Regional Water Quality Control Board. Estados Unidos.
- Kunkle, S. y Thames, J. (1976). *Hydrological techniques for upstream conservation*. FAO. Conservation guide. Roma.
- León, J.L. (1992). *Flora iconográfica de Baja California Sur*. Centro de investigaciones biológicas de Baja California Sur. México.
- Liebe, J.R. (2009). *Determining watershed response in data poor environments with remotely sensed small reservoirs as runoff gauges*. Water Resources.
- Linsley, R., Kohler, M. y Paulus, J. (1975). *Hidrología para Ingenieros*. 2ª edición. Ed. Mc Graw-Hill Latinoamericana SA.
- López, F. (1994). *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid: Grupo Tragsa. Ediciones Mundi Prensa. 929 pp.
- López, F. y Blanco, M. (1968). *Aspectos cualitativos y cuantitativos de la erosión hídrica y del transporte y depósito de materiales*. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 187 pp.
- López, F. y Blanco, M. (1976). *Hidrología Forestal 1º Parte*. Ed. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad de Madrid.
- López, F. y Blanco, M. (1978). *Hidrología Forestal 2º Parte*. Ed. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad de Madrid.

- López, N.S. y Villareal L.Z. (2011). *Land management, tourism and the environment in Valle de Bravo, Mexico*. Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex). Mexico. pág 233-250.
- M.O.P.U. (1985). *Metodología para la evaluación de la erosión hídrica*. Dirección Gral. del Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Madrid.
- Martínez, A. y Navarro, J. (1996). *Hidrología Forestal. El Ciclo Hidrológico*. Universidad de Valladolid. España.
- Martonne, E. (1926). *Aréisme et indice aridite*. Comptes rendus de L'Acad. París.
- Maya, Y. (2010). *Environmental Assesment of eroded soils, Tropical and Subtropical Agroecosystems*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. México. pág. 169 -179.
- McCool, D. K., Brown, L. C., Foster, G. R., Mutchler, C. K. y Meyer, L. D. (1987). *Revised Slope Steepness Factor for the USLE*. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan.
- Mellerowicz, H.W. Rees, T.L. Chow, y I. Ghanem. (1994). *Soil conservation planning at the watershed level using the Universal Soil Loss Equation with GIS and microcomputer technologies: a case study*. Journal of Soil and Water Conservation Vol. 49, no. 2, pág. 194-200.
- Memoria II Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas. (1994). Venezuela: Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- Mendoza, M. y Domínguez, L. (2006). *Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*. Fenómenos Geológicos. CENAPRED. México.
- Mendoza, M., y Domínguez, L. (2004). *Estimación de la amenaza y el riesgo de deslizamientos en laderas*. CENAPRED. México.
- Michaud, J. (2012). *Use of the N - SPECT Model to Quantify Direct and Cumulative Impacts. Marine and Coastal Solutions International*. Hawaii Office of Planning, Coastal Zone Management Program.
- Miklos, T. y Tello, M. (2012). *Planeación Prospectiva. Una Estrategia para el diseño del futuro*. Editorial Limusa. México.

- Ministerio de Medio Ambiente. (1996). *Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico: Contenido y Metodología*. Secretaría General de Medio Ambiente. Centro de Publicaciones. Serie monografías. Madrid. 808 pp.
- Mintegui, J. A. y López, F. (1990). *La ordenación agro-hidrológica en la planificación*. Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria. 306 pp.
- Mintegui, J. A., Robredo, J.C., García, J.I., y López, C. (2006). *Introducción a la restauración hidrológico-forestal de cuencas hidrográficas*. Revista Ecología. pág. 389-414.
- Mintegui, J.A. y Robredo, J.C. (2008). *Estrategias para el control de los Fenómenos Torrenciales y la Ordenación Sustentable de las Aguas, Suelos y Bosques de las Cuencas de Montaña*. Programa Hidrológico Internacional de UNESCO. PHI-VII/ Documento técnico No. 13.
- Mosterin, J. (1984). *Conceptos y teorías de la ciencia*. Alianza Universidad. Madrid. pág. 149.
- Murty, J.V.S. (1998). *Watershed management*. New Age International. Estados Unidos.
- Niswonger, R. (2014). *MODFLOW-NWT, A Newton Formulation for MODFLOW-2005*. Create Space Independent Publishing Platform.
- Nixon, R. (2013). *Slow Violence and the Environmentalism of the Poor*. Harvard University Press.
- Oliveira, P.T.S., Rodrigues, D.B.B., Alves, T., Carvalho, D.F., y Panachuki, E. (2011). *Spatial variability of the rainfall erosive potencial in the State of Mato Grosso do Sul, Brazil, Brazil*. Engenharia Agrícola.
- Oñate, F., y Aguilar, G. (2006). *Aplicación del Modelo SWAT para la Estimación de Caudales y Sedimentos en la Cuenca Alta del Río Catamayo*. Ecuador. Universidad Técnica Particular de Loja – Ecuador.
- Ortega, F. (1982). *Evolución magmática y metamórfica del complejo cristalino de La Paz, Baja California Sur*. Asociación geológica mexicana. Convención Nacional, Programa y Resúmenes, pág. 90 (resumen).

- Oyarzún, C. (1993). *Estimación de los procesos de erosión hídrica en un ambiente montañoso de la cuenca del Río Bío-Bío*, IX Región, Chile. Tesis Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 150 pp.
- Patiño, F. y Marín, J. (1993). *Viveros Forestales. Planeación, establecimiento y producción de plantas*. Serie: Libro Técnico. Centro de Investigación Regional de Sureste. INIFAP. México. pág. 65-100.
- Pearce, F. (2007). *When the Rivers Run Dry: Water--The Defining Crisis of the Twenty-first Century*. Beacon Press.
- Peinado, M., Macías, M.A., Ocaña, F., Aguirre, J.L. y Delgadillo, J. (2011). *Bioclimates and vegetation along the Pacific basin of Northwestern Mexico*. Cátedra de Medio Ambiente, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, España.
- Peña, S. y Arcos, D. (2004). *Estimación inicial de la recarga vertical para su introducción a modelos de simulación de flujo con la ayuda de sistemas de información geográfica*. Proyectos, Estudios y Sistemas, S.A. de C.V. Seminario Sistematización y automatización como herramienta para la gestión del agua. Expo-agua 2004, Comisión Estatal del Agua, Guanajuato.
- Pérez, R. (2007). *Spatial variability of the soil erodibility parameters and their relation with the soil map at subgroup level*. Science of the Total Environment. 166 –173 pp.
- Porta, J., López, M. y Roquero, C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi Prensa.
- Primer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Informe Final y Memorias. (1990). Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Manejo de Cuencas Hidrográficas, Universidad de Concepción, Ministerio de Agricultura de Chile.
- Quijano, M. (2012). *Groundwater Modeling of the Tsinkanet Catchment (Northern Ethiopia): A MODFLOW Approach to Evaluate the Impact of Small Reservoirs on Groundwater Recharge*. Lap Lambert Academic Publishing.

- Rábade, M. (2006). 2º *Simposio Internacional de Desertificación y Migración (Sidym)*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2015 de http://www.sidym2006.com/imagenes/pdf/ponencias/17_se.pdf
- Rafaelli, S.G., Montgomery, D.R., y Greenberg, H.M. (2001). *A comparison of thematic mapping of erosional intensity to GIS-deriven process models in an Andean drainage basin*. *Journal of Hidrology*, 244. pág. 33-42.
- Ramos A. (1979). *Planificación física y ecología: Modelos y métodos*. EMESA. Madrid.
- Rao, V. (2015). *Integrated Land Use Planning for Sustainable Agriculture and Rural Development*. Apple Academic Press.
- Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la lengua española*. 23.ª edición. Madrid: Espasa Libros.
- Renard, K.G. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Department of agriculture. USA.
- Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA Agricultural Handbook No. 703, 404 pp. Recuperado el 20 de Noviembre de 2015 de http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64080530/RUSLE/AH_703.pdf
- Robredo, J. C. y Mintegui, J.A. (1994). *Diseño de un modelo distribuido elemental para el análisis del comportamiento hidrológico de una cuenca vertiente*. *Ingeniería del Agua*. Vol. 1 Núm. 4. pág. 79-100.
- Rojo, L. (1995). *La ordenación de cuencas hidrográficas como marco metodológico para la conservación de la biodiversidad*. Cuadernos de Sección. Ciencias Naturales 11. (1995) p. 99-104. Donostia: Eusko Ikaskuntza.
- Roldan, P.A. y Trueba J. (1978). *Factores ecológicos y sociales de “La desertificación en México”*. Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México, pág. 55-80.
- SARH-CNA. (1991). *Sinopsis geohidrológica del estado de Baja California Sur*. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH)-Comisión Nacional del

- Agua (CNA). Contrato No. AC-SH-88-06, Subdirección General de Administración del Agua, Aguas Subterráneas. 85 p.
- Scarpati, O. y Jones, J. (2007). *Environmental change and rational water use*. Orientación Gráfica Editora. Bs. As.
 - Schwartz, F. (2002). *Fundamentals of Ground Water*. Wiley.
 - Sedlak, D. (2015). *Water 4.0: The Past, Present, and Future of the World's Most Vital Resource*. Yale University Press; Reprint edition.
 - SEDUE. (1986). *Informe sobre el estado del medio ambiente en México*. SEDUE, México DF.
 - SEMARNAT. (2012). *Informe de la situación del medio ambiente en México*. SEMARNAT. Edición 2012. México.
 - SEMARNAT y CP. (2003). *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250 000*. México.
 - SEMARNAT y U.A.C.H. (2003). *Evaluación de la pérdida de suelos por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1: 1 000 000*. México.
 - SEMARNAT. (1999). *La Evaluación de la Degradación del Suelo Causada por el Hombre. Inventario Nacional de SUELOS*. Dirección General de Restauración y Conservación de suelos.
 - Sheng, T. C. (1992). *Manual de Campo para la Ordenación de Cuencas Hidrográficas, Estudio y Planificación de Cuencas Hidrográficas*. Guía FAO Conservación 13/6. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
 - Silver, L.T., y Chapell, B.W. (1988). *The peninsular ranges batholits: An insight into the evolution of the Cordilleran batholits of southwestern North America*. Transactions of the Royal Society of Edinburgh 79: pág. 105-121.
 - Singh, V. P. (1995). *Computer models of watershed hydrology*. Water Resources Publications, CO.
 - Sorooshian, S. (2008). *Hydrological Modelling and the Water Cycle*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
 - Starrs, P. (2010). *Field Guide to California Agriculture (California Natural History Guides)*. California Natural History Guides (Book 98).

- Steinitz, C., Faris, R., Flaxman, M., Vargas, J.C., Canfield, T., Arizpe, O., Angeles, M., Cariño, M., y Santiago, F. (2005). *Alternative futures for the region of La Paz, Baja California Sur, Mexico*. Harvard University, Cambridge, MA USA 02138. February 2005. 37 pp.
- Stoking M., y Murnaghan, N. (2003). *Manual para la Evaluación de Campo de la Degradación de la Tierra*. Editorial Mundo Prensa.
- Tarbuck E. y Lutgens, F. (2000). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física*. 6º edición. Prentice Hall.
- Tejera, R. (2001). *Metodología para la ordenación de cuencas hidrográficas con criterios de sostenibilidad*. Tesis de Doctorado Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid, España.
- Tejera, R., García, F., y García R. (2006). *Pérdida tolerable de suelo: modelo para su estimación en la ordenación de cuencas hidrográficas*. Ingeniería Hidráulica en México. pág. 33-42.
- Thelen, K. (1991). *Informe del Taller Internacional Sobre Manejo de Cuencas y Técnicas Agroforestales*. RLAC/91/02-FOR-35. Bolivia: Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Manejo de Cuencas Hidrográficas, Corporación Regional de Desarrollo de Tarija, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
- Thelen, K. (1994). *Informe de la Consulta de Expertos en Manejo de Cuencas Hidrográficas en Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina*. Serie: Zonas Áridas y Semiáridas N° 4. Argentina: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Departamento General de Irrigación de Mendoza, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- Thornthwaite, C.W., Biel, E.R., Church, P.E., Jacobs, W.C., Landsberg, H., Leighly, J.B., y Hafstad, K. (1949). *Report of the Committee on Climatology, 1947-1948*. Transactions, American Geophysical Union 30.
- Thornthwaite, C.W., y Mather, J.R. (1955). *The water balance*. *Laboratory of Climatology*, No. 8, Centerton NJ.

- Torres, B. E. (2000). *Comparación de los modelos de simulación hidrológica SWRRB y SWAT en la cuenca El Tejocote, Atlacomulco, Estado de México*. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Torres, E., Fernández, D., Oropeza, J. L. y Mejía, E. (2006). *Aplicación del Modelo Matemático de Simulación Hidrológica SWAT en la Cuenca El Tejocote, Atlacomulco, Estado de México*. Diplomado en Gestión Integral de Cuencas. Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola.
- Treviño, E., Aguirre, C., Salinas, C., Xanat, A., y Verastegui, C.J. (2005). *Evaluación de la producción de agua usando modelos de análisis geográfico. Mapping Interactivo*. Revista internacional de Ciencias de la Tierra Art. público No.105. 8 pp.
- Turner, J., y Rampa, A. (1966). *Principios de Geomorfología*. Ed. Kapelusz. Bs.As.
- Umazano, A., Adema, E., y Aimar, A. (2004). *Tajamares: una tecnología alternativa para la zona árida-semiárida de La Pampa*. Anguil Ing. Agr. Guillermo Covas. Publ. Técnica N° 56. INTA.
- UNCED. (1992). *United Nations Conference on Environment and Development*. Rio de Janeiro.
- United States Department of Agriculture. (2015). *Effects of Forest Practices on Peak Flows and Consequent Channel Response: A State-of- Science Report for Western Oregon and Washington*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- UNNCD. (2011). *Desertification. A visual synthesis*. UNCCD-Zoï Environment Network. France.
- USDA-SCS. (1964). *Hydrology, Section 4, Part I*. US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington D.C.
- USGS. (2011). *MODFLOW-2000. The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model - User Guide to Modularization Concepts and the Ground-Water Flow Process*. U.S. Geological Survey.

- Van, O., Govers, G., y Desmet, P. (2000). *Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage*. Landscape Ecology, 15. pág. 577-589.
- Vásquez, A. (2000) *Manejo de Cuencas Altoandinas*. Tomo 2. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.
- Vera, J.A. (2004). *Geología de España*. SGE-IGME. Madrid. 890 pp.
- Vich, A. (2009). *Trampas de agua en zonas montañosas de Mendoza en Curso de posgrado El Agua como Recurso*. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales.
- Vieira, J. (2002). *El Sistema de Informaciones Geográficas (SIG) en los contextos de Planificación del medio físico y de las Cuencas Hidrográficas*. Notas de clases dictadas en el II Curso Internacional de Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Campinas, Brasil. Oficina Regional de Ciencias. UNESCO para América Latina y El Caribe.
- Vieux, B. E. (2004). *Distributed hydrologic modeling using GIS*. Water Science and Technology Library. Volume 48.
- Vilchis, I., Quentin, E. y Khalidou, M. (2011). *Daily rainfall estimation using a GIS with weather radar imagery*. Water Technology and Sciences. Facultad de Ingeniería, Centro Interamericano de Recursos del Agua. Universidad Autónoma del Estado de México. México. pág. 167-174.
- Villanueva, G., Osinaga, R., y Chávez, A. (2004). *El uso sustentable de los suelos (Tecnología de los suelos agrícolas) Manual*. Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales. Escuela de Agronomía.
- Ward, A. (2015). *Environmental hydrology*. CRC Press. Estados Unidos.
- Wellock, T. (2007). *Preserving the Nation: The Conservation and Environmental Movements. 1870 – 2000*. Wiley.
- Wischmeier, W. H. (1959). *A rainfall erosion index for a Universal Soil Loss Equation*. Soil Sci. Soc. Am. J. 23: 246-249. Washington D.C.
- Wischmeier, W. H. y Smith, D.D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. Agriculture Handbook No. 537. USDA/Science

and Education Administration. US. Govt. Printing Office. Washington, DC. 58 pp.

- Wolfgang, A. (1995). *Using MODFLOW combined with GIS analysis for groundwater modeling in the alluvial aquifer or the River Sieg*. Germany. Geographisches Institut. Alemania.
- Yudelson, J. (2010). *Dry Run: Preventing the Next Urban Water Crisis*. New Society Publishers.
- Z.Flores E. (1998). *Geosudcalifornia, geografía, agua y ciclones*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México, D.F. 255 pp.
- Zachary, S. (2013). *Application of the nonpoint source pollution and erosion comparison tool (NSPECT)*. World Resources Institute. Estados Unidos.
- Zevenbergen, C., y Cashman, A. (2011). *Integrated Urban Flood Management*. World Meteorological Organization.

- Zlolniski, C. (2011). *Water flowing north of the border: Export agriculture and water politics in a rural community in Baja California*. University of Texas, Arlington. United States. 45 pp.

ANEJOS



(Amalgama del pasado y futuro de nuestros rancheros sudcalifornianos.

Sierra El Novillo, Baja California Sur)

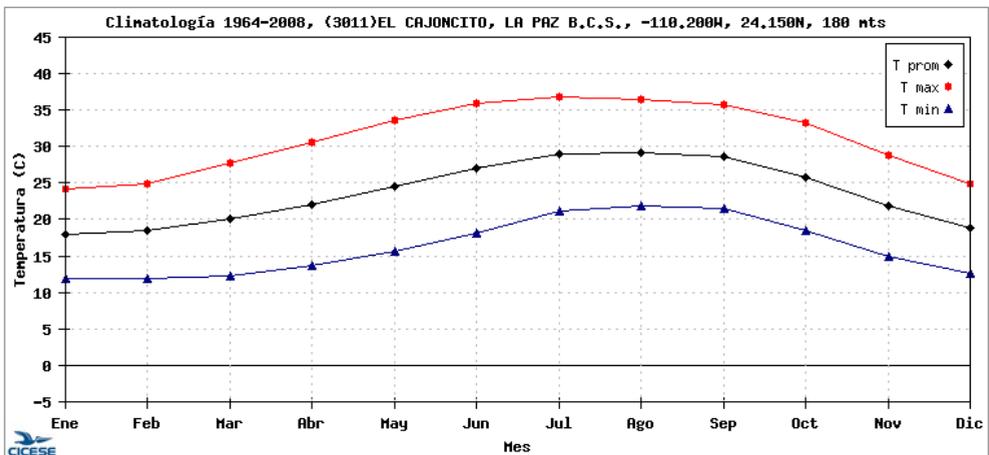
Anejos

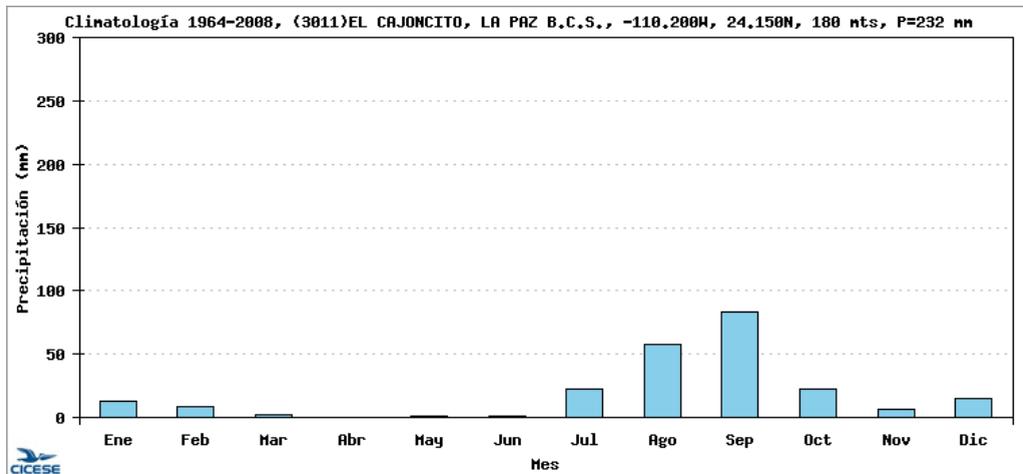
- 1. Datos meteorológicos
- 2. Datos del muestreo de suelo
- 3. Piezometría del acuífero
 - 4. Galería fotográfica

1. Datos meteorológicos

Estación El Cajoncito

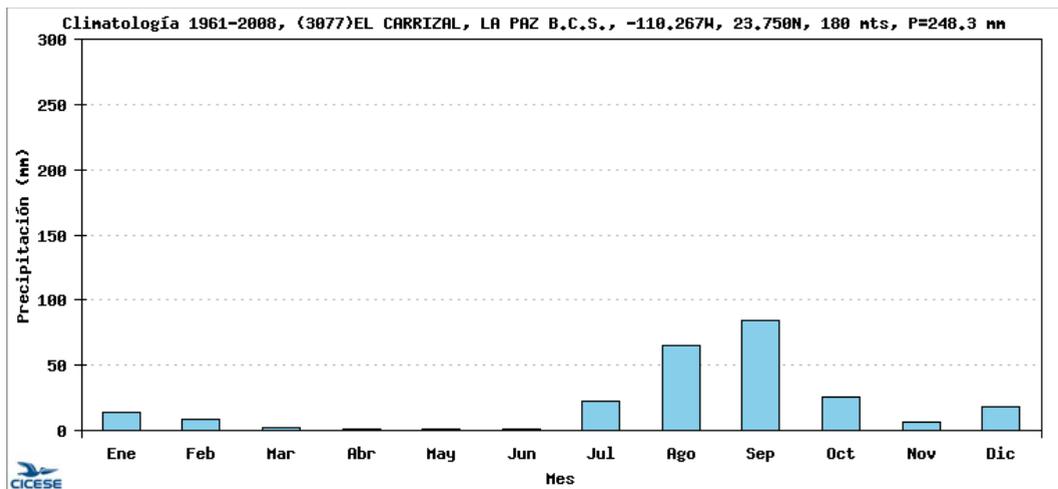
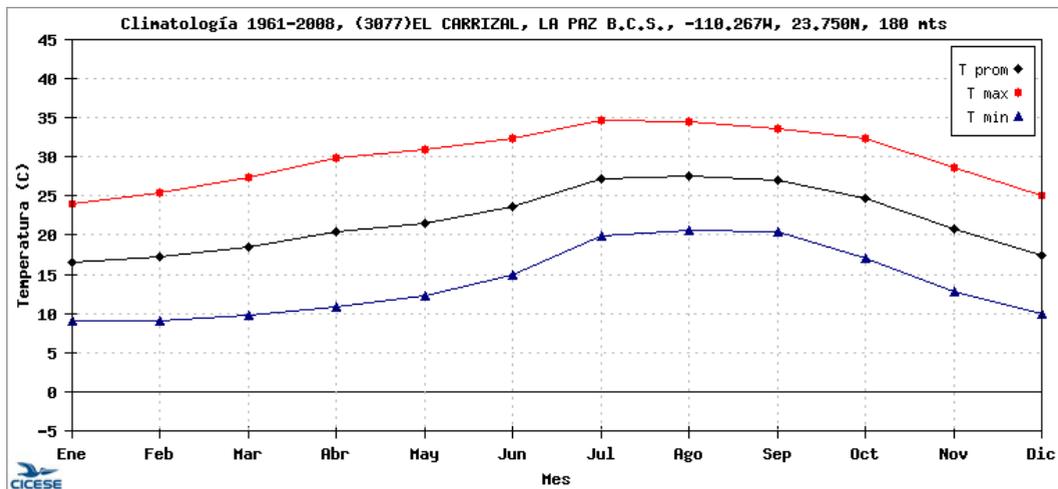
ESTACION: 00003011 EL CAJONCITO, LA PAZ			LATITUD: 24°08'45" N.			LONGITUD: 110°12'20" W.			ALTURA: 200.0 MSNM.				
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	24.4	25.2	28.0	31.0	34.1	36.8	37.6	37.1	36.1	33.2	28.4	24.8	31.4
MAXIMA MENSUAL	27.6	28.4	33.1	35.6	39.3	40.8	40.8	41.1	40.0	36.8	32.6	29.2	
AÑO DE MAXIMA	1980	1995	1984	1994	1985	1985	1983	1985	1989	1985	1985	1977	
MAXIMA DIARIA	34.0	36.0	38.0	39.5	43.5	44.0	45.0	43.5	43.5	41.0	38.0	35.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	10/1980	12/1984	21/1984	18/1987	26/1985	23/1985	02/1985	24/1985	17/1985	02/1983	06/1985	15/1973	
AÑOS CON DATOS	27	29	30	28	25	27	28	29	26	26	25	22	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	18.2	18.6	20.2	22.1	24.6	27.3	29.3	29.6	28.8	25.7	21.5	18.7	23.7
AÑOS CON DATOS	27	29	30	28	25	27	28	28	26	26	25	22	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	11.9	11.9	12.3	13.2	15.1	17.8	20.9	22.1	21.6	18.3	14.6	12.6	16.0
MINIMA MENSUAL	8.0	8.4	8.1	9.3	11.7	10.4	16.0	11.5	16.8	13.1	9.7	8.6	
AÑO DE MINIMA	1988	1988	1988	1988	1974	1972	1973	1973	1973	1989	1973	1987	
MINIMA DIARIA	3.0	5.0	6.0	6.0	8.0	7.0	9.0	9.0	12.0	9.0	3.0	5.0	
FECHA MINIMA DIARIA	30/1977	05/1974	11/1974	05/1999	03/1974	11/1972	01/1972	01/1973	04/1973	29/1989	18/1973	22/1983	
AÑOS CON DATOS	27	29	30	28	25	27	28	28	26	26	25	22	
PRECIPITACION													
NORMAL	15.6	5.6	2.1	0.3	1.7	1.6	20.9	57.1	68.8	23.1	10.1	13.8	220.7
MAXIMA MENSUAL	73.9	33.0	26.1	5.0	43.0	18.5	83.0	171.0	344.0	196.0	85.0	68.2	
AÑO DE MAXIMA	1989	1973	1983	1986	1979	1999	1990	1996	1976	1981	1974	1984	
MAXIMA DIARIA	37.2	23.0	22.7	3.8	43.0	17.0	56.0	72.5	237.5	171.0	63.0	42.2	
FECHA MAXIMA DIARIA	02/1989	29/1992	03/1983	27/1986	18/1979	26/1997	25/1978	08/1994	29/1982	07/1981	22/1972	27/1984	
AÑOS CON DATOS	27	29	30	28	25	27	28	29	26	26	25	22	





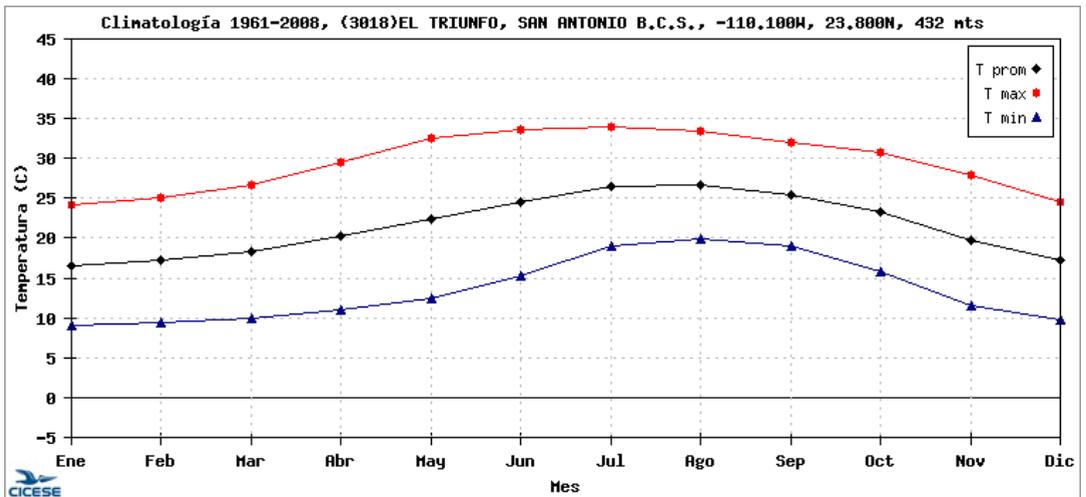
Estación El Carrizal

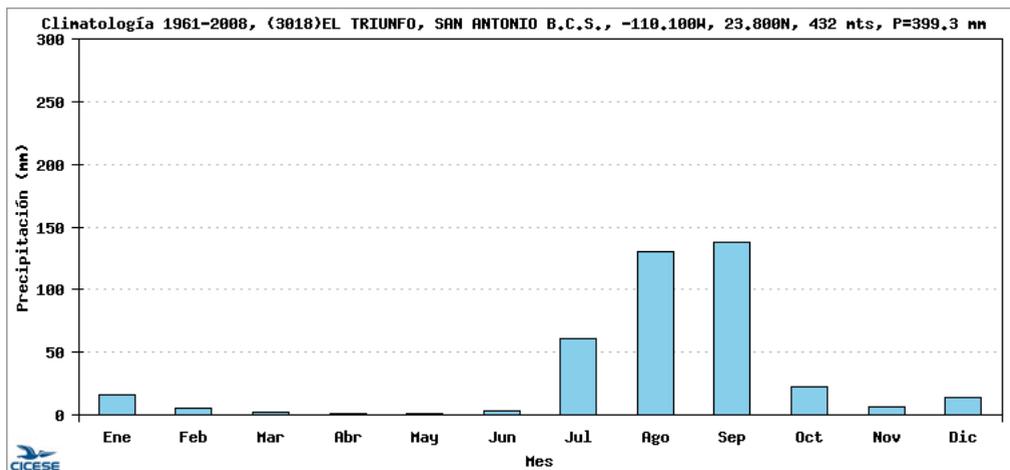
ESTACION: 00003077 EL CARRIZAL, LA PAZ													LATITUD: 23°45'20" N.	LONGITUD: 110°16'14" W.	ALTURA: 180.0 MSNM.
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL		
TEMPERATURA MAXIMA															
NORMAL	24.1	25.9	27.6	30.0	30.8	32.5	34.5	34.5	33.9	32.5	28.4	25.0	30.0		
MAXIMA MENSUAL	28.7	30.1	30.8	33.3	36.1	38.6	39.1	38.0	36.4	35.2	31.6	28.4			
AÑO DE MAXIMA	1998	1996	1995	1982	1998	1998	1997	1997	1997	1998	1995	1977			
MAXIMA DIARIA	32.0	37.0	38.0	42.0	42.0	42.0	42.5	41.5	40.5	38.0	36.5	34.0			
FECHA MAXIMA DIARIA	31/1987	20/1986	23/1998	08/1989	18/1998	17/1998	06/1997	14/1997	09/1987	09/1988	04/1997	13/1981			
AÑOS CON DATOS	29	29	29	29	27	28	28	28	29	27	28	27			
TEMPERATURA MEDIA															
NORMAL	16.7	17.5	18.7	20.6	21.6	24.1	27.4	27.9	27.3	24.9	20.6	17.5	22.1		
AÑOS CON DATOS	29	29	29	29	27	28	28	28	29	27	28	27			
TEMPERATURA MINIMA															
NORMAL	9.3	9.2	9.8	11.1	12.4	15.6	20.3	21.3	20.7	17.2	12.7	10.0	14.1		
MINIMA MENSUAL	7.7	6.8	7.7	8.2	9.5	13.3	16.7	19.5	17.8	15.5	10.1	8.0			
AÑO DE MINIMA	1976	1998	1998	1998	2000	1975	1991	1998	1998	1998	2000	1974			
MINIMA DIARIA	2.0	1.0	3.0	4.0	6.0	8.0	11.3	11.0	12.0	9.0	4.5	3.0			
FECHA MINIMA DIARIA	25/1996	11/1989	14/2000	03/1998	01/1989	22/1987	16/1971	17/1983	08/1987	31/2000	25/1988	30/2000			
AÑOS CON DATOS	29	29	29	29	27	28	28	28	29	27	28	27			
PRECIPITACION															
NORMAL	17.1	4.9	2.8	1.0	1.2	0.6	22.9	68.3	79.2	19.9	10.2	18.8	246.9		
MAXIMA MENSUAL	71.1	30.0	47.1	21.5	28.0	9.0	93.9	223.0	183.0	110.9	89.0	69.2			
AÑO DE MAXIMA	1992	1992	1983	1987	1979	1980	1987	1996	1976	1972	1974	1982			
MAXIMA DIARIA	41.5	25.0	39.4	19.0	28.0	9.0	46.4	80.0	165.0	90.5	52.0	68.2			
FECHA MAXIMA DIARIA	01/1989	02/1992	03/1983	17/1987	18/1979	29/1980	17/1987	31/1996	01/1998	08/2000	06/1974	08/1982			
AÑOS CON DATOS	29	29	29	29	27	28	28	28	29	27	28	27			



Estación El Triunfo

ESTACION: 00003018 EL TRIUNFO, SAN ANTONIO		LATITUD: 23°48'08" N.						LONGITUD: 110°06'33" W.				ALTURA: 432.0 MSNM.	
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	24.1	25.0	26.5	29.1	31.8	33.5	33.8	33.5	32.1	30.7	27.3	24.4	29.3
MAXIMA MENSUAL	31.3	32.5	34.7	38.7	37.9	38.6	36.5	37.2	35.5	34.7	30.3	28.6	
AÑO DE MAXIMA	1986	1986	1986	1986	1986	1986	1977	1987	1980	1979	1995	1985	
MAXIMA DIARIA	37.0	37.0	39.0	42.0	40.0	41.0	40.0	40.0	38.0	38.0	36.0	35.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	24/1986	22/1986	29/1986	22/1986	01/1986	15/1986	31/1996	07/1987	18/1972	08/1979	10/1999	27/1985	
AÑOS CON DATOS	25	27	27	25	24	25	26	25	25	24	23	25	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	16.6	17.3	18.4	20.1	22.1	24.4	26.0	26.5	25.3	23.1	19.2	17.1	21.3
AÑOS CON DATOS	25	27	27	25	24	25	26	25	25	24	23	25	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	9.0	9.6	10.4	11.1	12.4	15.3	18.3	19.5	18.6	15.6	11.2	9.7	13.4
MINIMA MENSUAL	5.8	6.4	6.9	8.3	9.2	8.8	12.0	16.4	13.4	13.1	6.6	6.6	
AÑO DE MINIMA	1989	1991	1988	1989	1991	1991	1989	1989	1990	1982	1989	1973	
MINIMA DIARIA	2.0	3.0	2.0	5.0	5.0	5.0	8.0	11.0	10.0	5.0	1.0	2.0	
FECHA MINIMA DIARIA	26/1974	11/1991	14/1973	02/1988	02/1974	12/1991	24/1990	02/1978	12/1990	25/1986	24/2000	11/1988	
AÑOS CON DATOS	25	27	27	25	24	25	26	25	25	24	23	25	
PRECIPITACION													
NORMAL	20.2	3.6	2.0	1.0	1.5	4.0	67.9	140.9	142.8	21.0	10.6	11.6	427.1
MAXIMA MENSUAL	116.0	42.0	31.0	21.0	27.0	55.0	420.0	304.0	436.0	110.0	66.0	61.0	
AÑO DE MAXIMA	1993	1973	1983	1986	1979	1984	1990	1996	1976	1972	1974	1982	
MAXIMA DIARIA	96.0	23.0	28.0	11.0	27.0	33.0	120.0	123.0	259.0	64.0	44.0	61.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	04/1993	21/1973	03/1983	28/1986	18/1979	15/1984	17/1987	26/1989	30/1976	27/1972	07/1974	08/1982	
AÑOS CON DATOS	25	27	27	25	24	25	26	25	25	24	23	25	

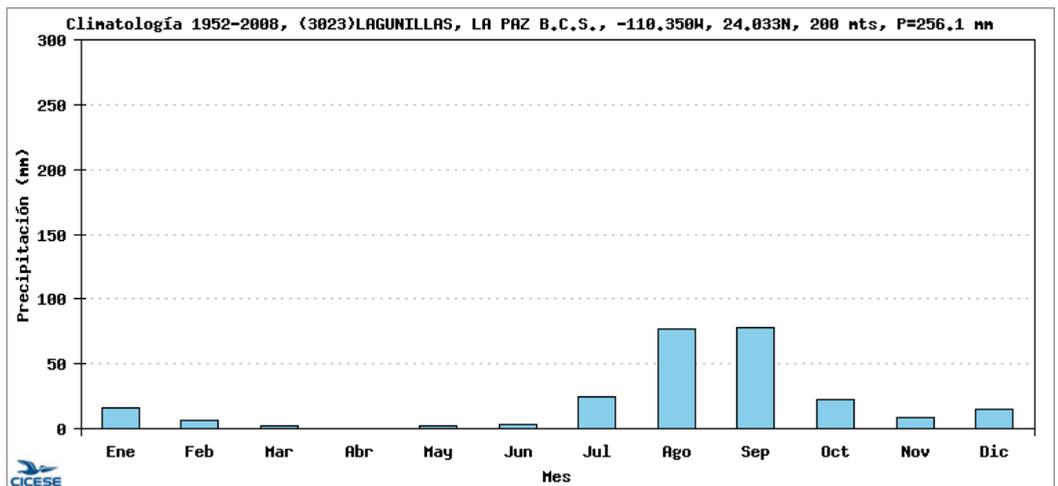
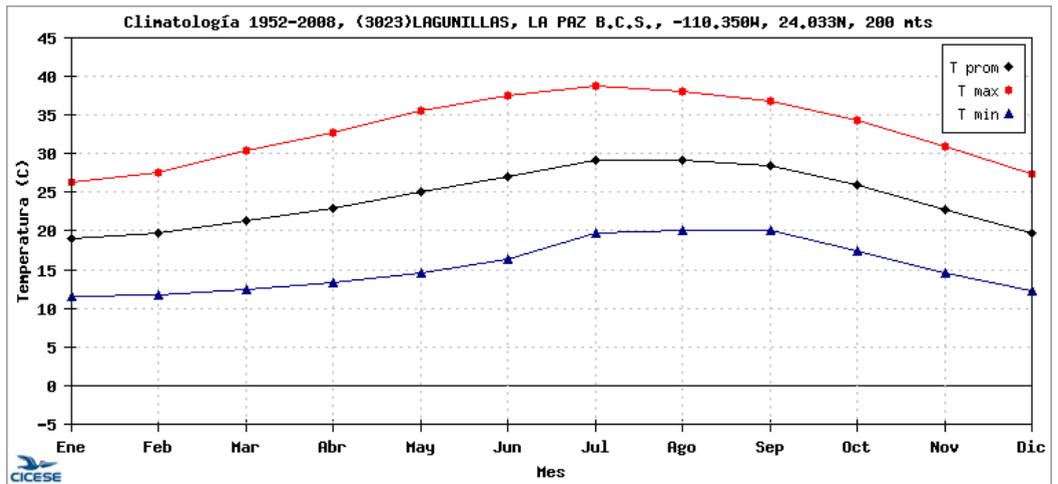




Estación Lagunillas

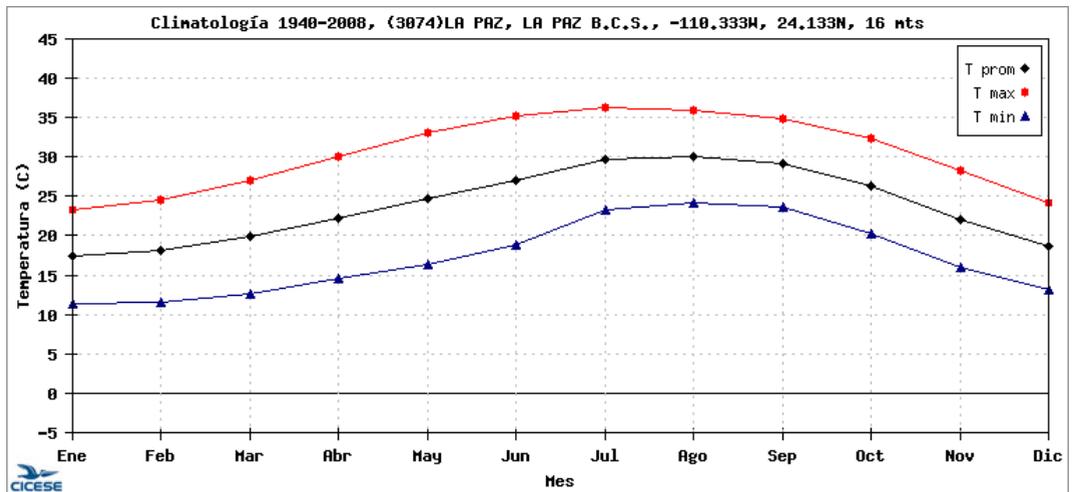
ESTACION: 00003023 LAGUNILLAS, LA PAZ LATITUD: 24°00'50" N. LONGITUD: 110°21'20" W. ALTURA: 200.0 MSNM.

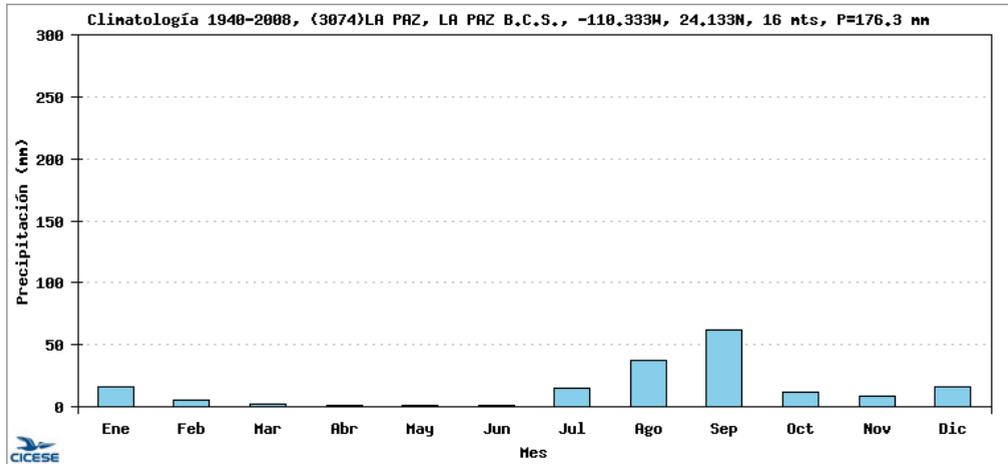
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	28.4	29.1	32.3	33.7	35.9	38.5	39.2	38.4	37.4	35.4	32.2	29.6	34.2
MAXIMA MENSUAL	35.4	34.3	37.2	39.0	41.2	43.2	43.4	43.0	41.9	40.8	36.6	33.7	
AÑO DE MAXIMA	1973	1974	1986	1986	1984	1983	1983	1985	1985	1987	1987	1983	
MAXIMA DIARIA	38.0	39.0	42.0	44.0	46.0	47.0	46.0	46.0	45.0	44.0	43.0	38.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	16/1973	28/1986	24/1986	23/1986	23/1983	19/1983	02/1983	23/1985	16/1985	06/1985	11/1986	10/1983	
AÑOS CON DATOS	17	16	17	17	16	15	16	16	17	16	17	16	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	20.5	21.0	22.7	23.8	25.0	27.0	27.7	27.4	27.0	25.7	23.4	21.5	24.4
AÑOS CON DATOS	17	16	17	17	16	15	16	16	17	16	17	16	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	12.6	12.8	13.2	13.9	14.1	15.5	16.2	16.4	16.7	16.0	14.6	13.4	14.6
MINIMA MENSUAL	6.9	7.5	9.2	8.2	11.0	11.4	10.8	10.8	10.8	11.7	12.0	7.3	
AÑO DE MINIMA	1988	1983	1987	1987	1987	1981	1981	1974	1974	1972	1973	1987	
MINIMA DIARIA	4.0	4.0	5.0	5.0	6.0	8.0	10.0	9.0	9.0	9.0	7.0	4.0	
FECHA MINIMA DIARIA	16/1975	23/1987	20/1987	02/1987	22/1987	05/1987	29/1973	28/1972	15/1972	29/1986	28/1987	01/1987	
AÑOS CON DATOS	17	16	17	17	16	15	16	16	17	16	17	16	
PRECIPITACION													
NORMAL	18.2	4.1	2.5	0.9	3.9	2.6	38.2	76.1	90.7	28.8	12.8	17.1	295.9
MAXIMA MENSUAL	53.0	25.0	29.0	7.0	61.0	35.0	132.0	288.0	225.0	180.5	79.0	69.0	
AÑO DE MAXIMA	1981	1979	1983	1986	1979	1985	1983	1984	1982	1972	1974	1984	
MAXIMA DIARIA	37.0	23.5	21.0	7.0	61.0	35.0	73.0	80.0	220.0	92.0	63.0	45.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	02/1972	02/1979	03/1983	28/1986	18/1979	30/1985	17/1987	17/1984	28/1982	27/1972	06/1974	08/1982	
AÑOS CON DATOS	17	17	17	17	16	15	16	16	17	16	17	16	



Estación La Paz

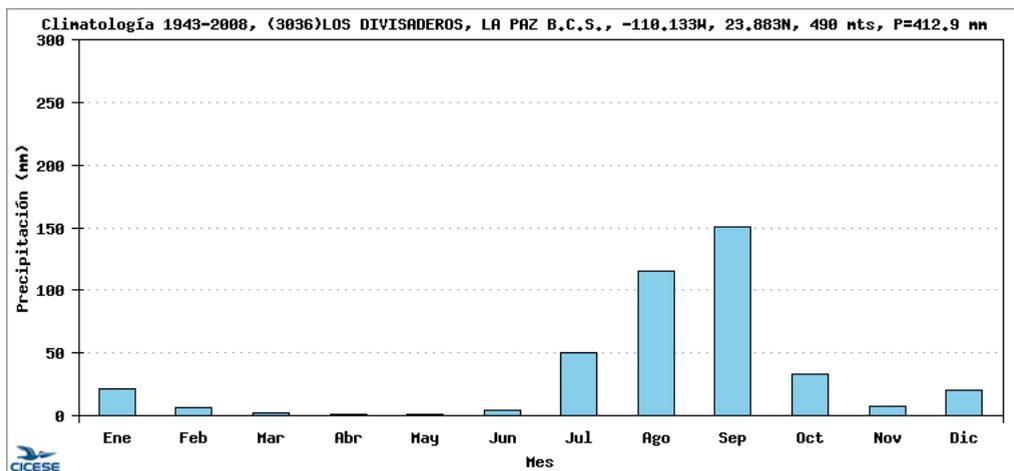
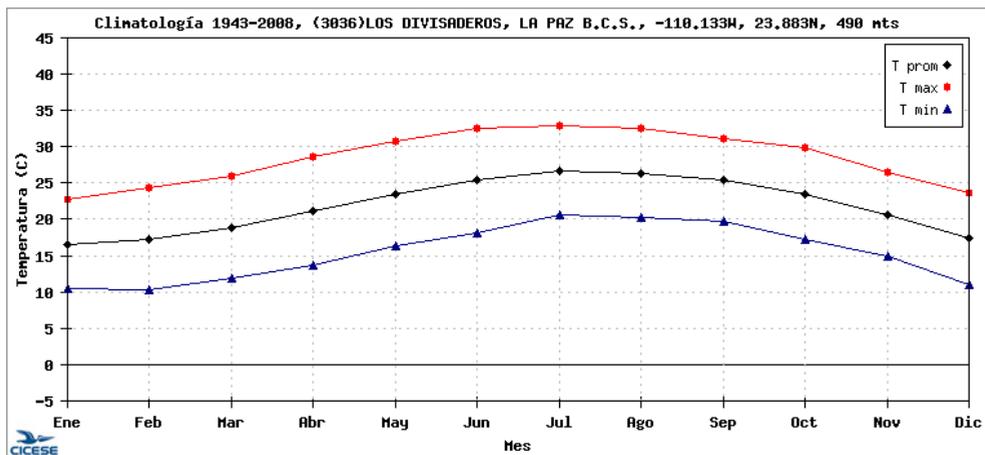
ESTACION: 00003074 LA PAZ, LA PAZ		LATITUD: 24°08'05" N.						LONGITUD: 110°20'10" W.				ALTURA: 16.0 MSNM.	
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	23.3	24.9	27.2	30.3	33.0	35.9	36.5	36.1	34.7	32.5	27.8	24.0	30.5
MAXIMA MENSUAL	27.5	28.1	29.9	33.2	37.0	39.0	39.6	38.3	36.7	35.9	31.4	26.8	
AÑO DE MAXIMA	2000	1996	1997	1989	1997	1998	1994	1995	1992	1999	1999	1977	
MAXIMA DIARIA	32.5	34.0	37.0	41.0	41.0	43.0	42.6	42.5	42.5	40.0	35.8	32.5	
FECHA MAXIMA DIARIA	16/1996	22/1996	24/1998	23/1993	27/1999	16/1998	10/1998	04/1995	06/1973	06/1994	05/1999	01/1989	
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	30	29	30	30	30	29	30	30	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	16.5	17.5	19.2	21.6	24.0	27.2	29.6	30.0	28.8	25.8	21.2	17.7	23.3
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	30	29	30	30	30	29	30	30	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	9.7	10.2	11.2	12.9	15.1	18.5	22.7	23.8	22.9	19.1	14.6	11.5	16.0
MINIMA MENSUAL	7.3	6.7	8.9	10.8	12.3	15.9	20.1	22.1	20.4	16.3	10.8	7.6	
AÑO DE MINIMA	1976	1974	1991	1975	1975	1975	1991	1988	1973	1984	1984	1973	
MINIMA DIARIA	2.0	2.5	3.0	4.5	8.5	10.0	11.5	17.0	16.5	10.0	6.5	2.0	
FECHA MINIMA DIARIA	16/1975	01/1974	04/1977	01/1975	14/1982	09/1981	12/1979	06/1988	01/1991	29/1984	21/1973	27/1973	
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	30	29	30	30	30	29	30	30	
PRECIPITACION													
NORMAL	16.7	4.0	1.6	0.6	1.6	0.6	16.0	44.1	55.4	11.9	13.3	16.8	182.6
MAXIMA MENSUAL	85.2	21.6	20.7	11.7	41.0	6.0	85.7	216.8	296.5	126.2	80.0	66.9	
AÑO DE MAXIMA	1981	1979	1983	1986	1979	1996	1982	1984	1976	1972	1972	1994	
MAXIMA DIARIA	42.0	21.0	15.0	6.2	37.5	6.0	46.0	98.4	137.0	44.0	80.0	56.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	05/1981	01/1989	03/1983	27/1986	18/1979	29/1996	21/1982	06/1998	30/1976	27/1972	22/1972	17/1989	
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	30	29	30	30	30	29	30	30	





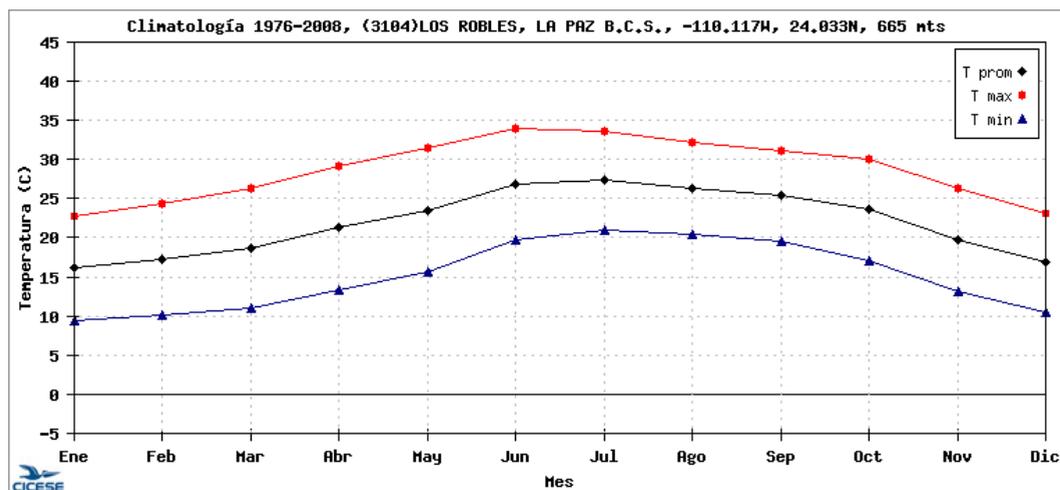
Estación Los Divisaderos

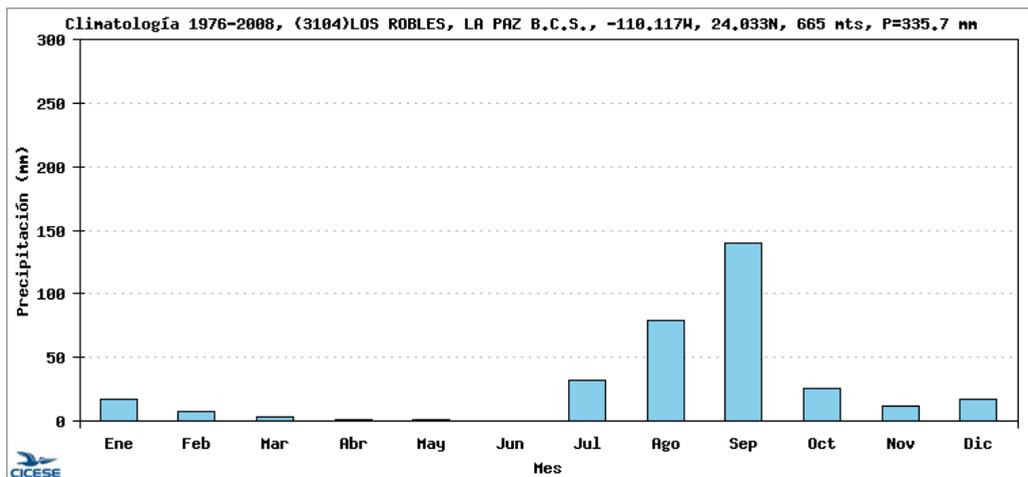
ESTACION: 00003036 LOS DIVISADEROS, LA PAZ			LATITUD: 23°53'35" N.			LONGITUD: 110°08'35" W.			ALTURA: 490.0 MSNM.				
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	22.3	23.9	25.5	28.3	30.1	32.6	32.4	31.9	30.9	29.5	25.6	22.7	28.0
MAXIMA MENSUAL	25.9	27.7	27.9	31.3	33.0	34.6	34.0	33.7	34.7	32.6	29.3	25.6	
AÑO DE MAXIMA	2000	1999	1997	1972	1996	1993	2000	1988	1983	1999	1999	2000	
MAXIMA DIARIA	32.0	33.0	37.0	36.0	39.0	42.0	40.0	37.0	37.0	36.0	34.0	31.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	24/1999	26/1986	26/2000	06/1972	19/1998	28/1979	30/1996	31/1983	29/1972	05/1999	02/1999	23/1971	
AÑOS CON DATOS	30	30	30	30	30	30	30	30	30	29	29	29	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	16.5	17.5	19.3	21.9	23.7	26.0	26.7	26.4	25.6	24.0	20.7	17.4	22.1
AÑOS CON DATOS	30	30	30	30	30	30	30	30	30	29	29	29	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	10.6	11.1	13.0	15.4	17.2	19.4	21.1	21.0	20.3	18.5	15.7	12.1	16.3
MINIMA MENSUAL	7.2	7.7	10.0	10.4	14.6	13.6	19.4	17.9	17.3	15.3	9.7	7.7	
AÑO DE MINIMA	1992	1975	2000	1971	2000	1972	1976	1971	1972	1971	1972	1997	
MINIMA DIARIA	3.0	3.0	3.0	4.0	7.0	10.0	14.0	13.0	14.0	10.0	6.0	4.0	
FECHA MINIMA DIARIA	14/1989	25/1971	01/1987	04/1999	07/1974	10/1972	18/1992	23/1999	30/1982	20/1971	27/1973	27/1973	
AÑOS CON DATOS	30	30	30	30	30	30	30	30	30	29	29	29	
PRECIPITACION													
NORMAL	18.9	5.5	3.0	0.7	1.1	2.3	54.5	113.9	141.0	35.9	12.9	17.0	406.7
MAXIMA MENSUAL	77.0	46.2	67.4	14.2	30.5	19.4	197.6	268.1	395.7	152.0	70.0	57.0	
AÑO DE MAXIMA	1984	1973	1983	1986	1979	1984	1990	1996	1976	1981	1974	1982	
MAXIMA DIARIA	43.0	21.0	58.0	10.0	30.5	15.8	82.0	97.0	240.4	82.0	47.0	55.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	01/1989	22/1973	03/1983	28/1986	18/1979	25/1971	19/1998	13/1983	30/1976	06/1981	12/1997	08/1982	
AÑOS CON DATOS	30	30	30	30	30	30	30	30	30	29	29	29	



Estación Los Robles

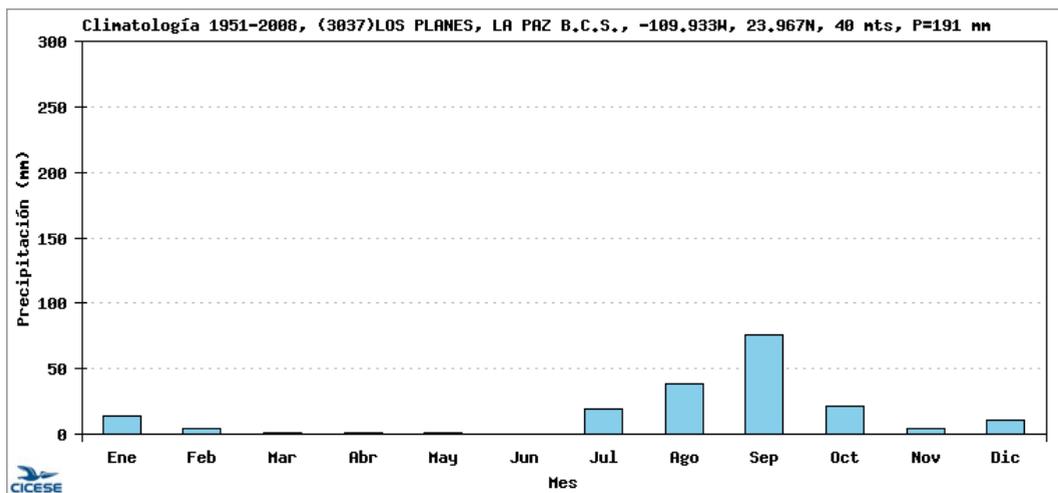
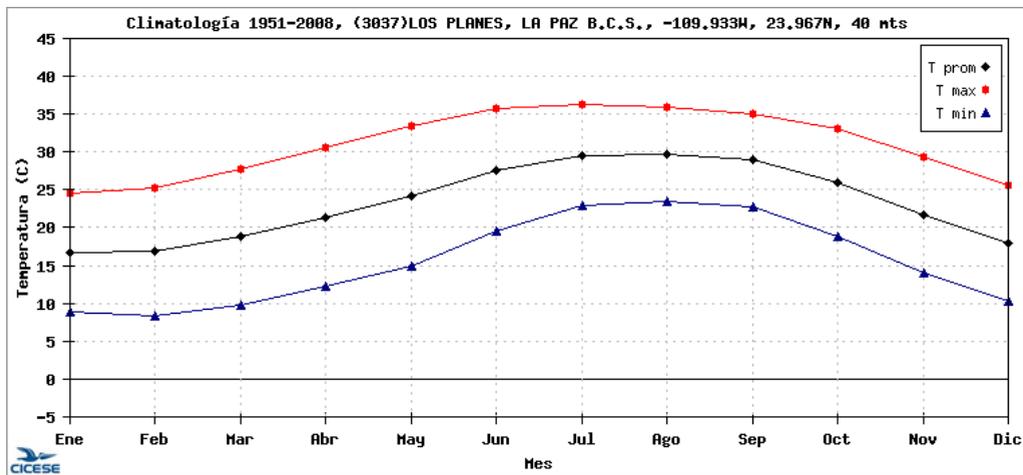
ESTACION: 00003104 LOS ROBLES, LA PAZ		LATITUD: 24°02'10" N.				LONGITUD: 110°07'30" W.				ALTURA: 665.0 MSNM.			
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	21.9	23.6	25.5	28.5	30.6	33.4	32.9	31.8	30.8	29.7	25.6	22.7	28.1
MAXIMA MENSUAL	31.4	31.3	31.9	37.2	38.8	38.1	39.0	37.4	36.9	38.6	35.0	29.5	
AÑO DE MAXIMA	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1999	2000	1999	1999	2000	
MAXIMA DIARIA	36.0	37.0	39.0	42.0	43.0	43.0	43.0	42.0	41.0	41.0	38.0	35.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	16/2000	09/2000	26/2000	27/2000	25/1999	04/2000	30/1999	02/1999	05/1999	08/1998	01/1999	02/1999	
AÑOS CON DATOS	24	24	24	24	24	23	23	24	24	23	24	24	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	15.8	17.0	18.3	21.1	23.2	26.7	27.0	26.2	25.2	23.4	19.4	16.6	21.7
AÑOS CON DATOS	24	24	24	24	24	23	23	24	24	23	24	24	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	9.7	10.4	11.1	13.8	15.7	20.1	21.0	20.6	19.7	17.1	13.1	10.6	15.2
MINIMA MENSUAL	8.1	7.8	9.1	10.3	13.5	17.3	19.5	19.6	17.5	15.0	10.0	7.6	
AÑO DE MINIMA	1995	1998	1998	1998	1988	1981	1993	1990	1996	1984	2000	1999	
MINIMA DIARIA	0.5	3.0	5.0	5.0	2.5	10.5	14.0	10.5	11.0	9.0	6.0	2.0	
FECHA MINIMA DIARIA	13/1989	04/1990	16/1991	05/1997	26/1988	05/1986	06/1991	26/1996	21/1988	31/1999	09/2000	27/1986	
AÑOS CON DATOS	24	24	24	24	24	23	23	24	24	23	24	24	
PRECIPITACION													
NORMAL	17.0	5.5	3.2	0.9	0.9	0.4	31.2	79.8	114.8	30.7	15.9	21.4	321.7
MAXIMA MENSUAL	62.2	25.0	41.0	9.5	21.2	8.5	198.1	315.6	430.9	144.0	104.5	141.0	
AÑO DE MAXIMA	1981	1979	1983	1986	1979	1984	1990	1996	1982	1981	1993	1994	
MAXIMA DIARIA	37.5	17.2	35.5	9.0	21.2	8.5	95.0	106.5	298.0	89.0	98.0	64.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	01/1989	01/1989	03/1983	28/1986	18/1979	23/1984	15/1990	21/2000	30/1976	07/1981	03/1993	21/1994	
AÑOS CON DATOS	24	24	24	24	24	23	23	24	24	23	24	24	





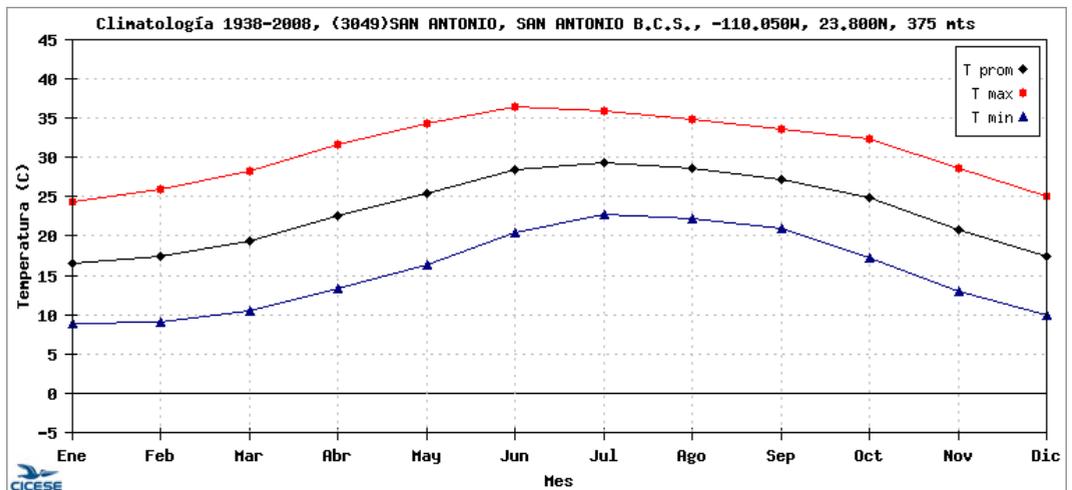
Estación Los Planes

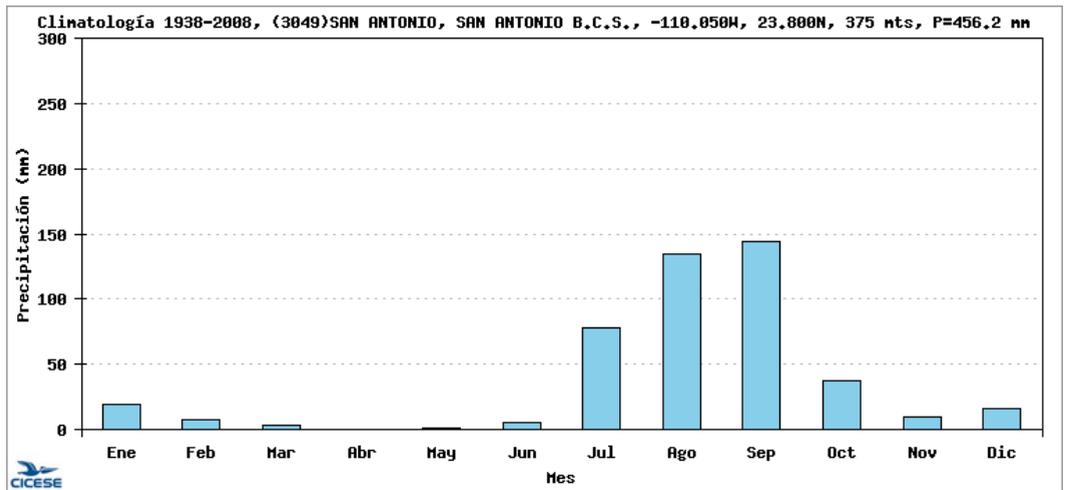
ESTACION: 00003037 LOS PLANES, LA PAZ			LATITUD: 23°58'05" N.				LONGITUD: 109°56'10" W.				ALTURA: 40.0 MSNM.		
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	24.7	25.4	28.0	30.6	32.8	35.6	36.1	35.5	34.9	33.0	28.9	25.9	31.0
MAXIMA MENSUAL	27.9	28.1	30.5	33.9	36.1	40.6	42.0	36.9	37.5	38.7	30.3	29.3	
AÑO DE MAXIMA	1978	1986	1990	1974	1994	1983	1983	1982	1980	1998	1977	1977	
MAXIMA DIARIA	34.0	36.0	37.0	39.0	40.0	45.5	45.0	42.0	45.0	42.0	37.0	36.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	14/1978	21/1979	27/1986	11/1986	29/1997	17/1983	04/1983	30/1980	17/1980	04/1998	11/1980	06/2000	
AÑOS CON DATOS	23	25	24	22	21	25	25	24	22	22	21	22	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	17.0	17.0	19.3	21.6	24.0	27.5	29.1	29.3	28.6	25.9	21.5	18.1	23.2
AÑOS CON DATOS	23	25	24	22	21	25	25	24	22	22	21	22	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	9.4	8.6	10.5	12.6	15.0	19.3	22.2	23.1	22.3	18.9	14.1	10.4	15.5
MINIMA MENSUAL	6.4	6.4	7.7	8.7	11.0	12.6	15.1	18.7	12.3	12.2	11.6	7.8	
AÑO DE MINIMA	1988	1974	1971	1975	1971	1971	1983	1997	1997	1997	1973	1973	
MINIMA DIARIA	2.0	2.0	0.4	4.0	6.0	8.0	10.0	11.0	11.0	8.0	5.0	4.0	
FECHA MINIMA DIARIA	18/1975	03/1982	01/1971	05/1971	14/1982	05/1971	07/1983	07/1983	05/1997	28/1986	30/1980	10/1971	
AÑOS CON DATOS	23	25	24	22	22	25	25	24	22	22	21	22	
PRECIPITACION													
NORMAL	14.0	3.0	0.3	1.1	1.9	0.0	10.2	33.9	62.8	23.1	7.7	7.1	165.1
MAXIMA MENSUAL	55.0	24.0	6.0	24.5	24.0	0.0	48.0	158.5	326.0	111.7	37.5	60.5	
AÑO DE MAXIMA	1993	1975	1981	1986	1979	1971	1972	1983	1976	1987	1997	1984	
MAXIMA DIARIA	35.0	15.0	5.0	14.5	24.0	0.0	28.4	43.0	160.0	68.7	37.5	31.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	03/1993	01/1975	02/1981	27/1986	18/1979	01/1971	31/1987	13/1983	30/1976	01/1987	12/1997	08/1982	
AÑOS CON DATOS	24	25	24	22	22	25	25	24	22	22	21	22	



Estación San Antonio Sur

ESTACION: 00003049 SAN ANTONIO, LA PAZ		LATITUD: 23°48'25" N.					LONGITUD: 110°03'30" W.					ALTURA: 375.0 MSNM.	
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	24.3	26.1	28.3	31.4	33.9	36.5	35.7	34.8	33.6	32.5	28.3	24.8	30.9
MAXIMA MENSUAL	28.5	29.1	30.7	35.9	36.8	38.5	37.5	36.9	35.4	35.7	31.1	28.4	
AÑO DE MAXIMA	1986	2000	1986	1989	1997	1998	2000	1999	2000	1999	1999	1977	
MAXIMA DIARIA	37.5	35.0	37.0	40.0	41.0	42.0	42.0	41.0	40.5	39.0	37.0	33.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	05/1986	25/1982	31/1986	20/1999	15/2000	25/1982	10/1998	18/1999	10/1987	05/1999	07/1996	03/1973	
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	29	29	30	30	30	29	29	27	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	16.6	17.5	19.4	22.4	25.0	28.5	29.1	28.5	27.2	24.9	20.5	17.2	23.1
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	29	29	30	30	30	29	29	27	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	8.9	9.0	10.6	13.3	16.1	20.4	22.6	22.1	20.8	17.3	12.7	9.6	15.3
MINIMA MENSUAL	6.7	7.0	8.9	10.6	14.0	18.1	21.4	21.0	19.6	15.3	10.9	7.7	
AÑO DE MINIMA	1999	1974	1992	1973	1987	1975	1986	1990	1996	1975	2000	1999	
MINIMA DIARIA	1.0	3.5	3.5	5.0	8.5	6.5	13.0	13.0	12.5	9.5	6.0	3.0	
FECHA MINIMA DIARIA	25/1990	04/1974	05/1977	05/1997	14/1982	05/1975	01/1982	15/1987	28/1982	31/1993	29/1980	27/1973	
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	29	29	30	30	30	29	29	27	
PRECIPITACION													
NORMAL	19.5	5.1	2.5	0.5	1.0	6.0	78.1	138.7	137.7	36.3	13.2	16.9	455.5
MAXIMA MENSUAL	96.9	39.9	46.3	13.7	27.3	50.0	203.0	217.9	508.3	184.7	88.2	95.7	
AÑO DE MAXIMA	1981	1973	1983	1986	1979	1999	1983	1973	1976	1972	1974	1992	
MAXIMA DIARIA	59.0	20.0	42.2	9.4	27.3	49.2	73.6	115.8	239.2	119.2	56.8	91.4	
FECHA MAXIMA DIARIA	05/1981	21/1973	03/1983	28/1986	18/1979	21/1999	19/1995	13/1983	30/1976	06/1981	06/1974	04/1992	
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	29	29	30	30	30	29	29	27	

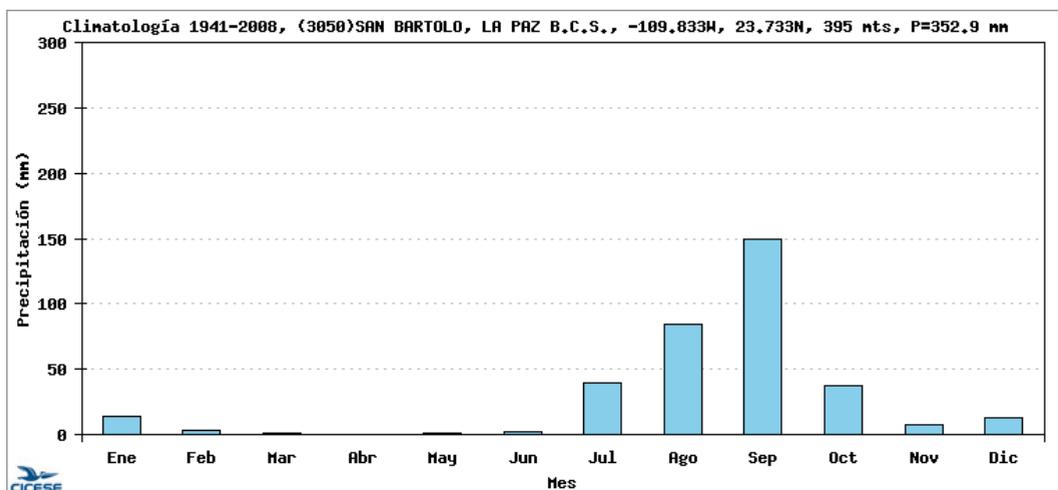
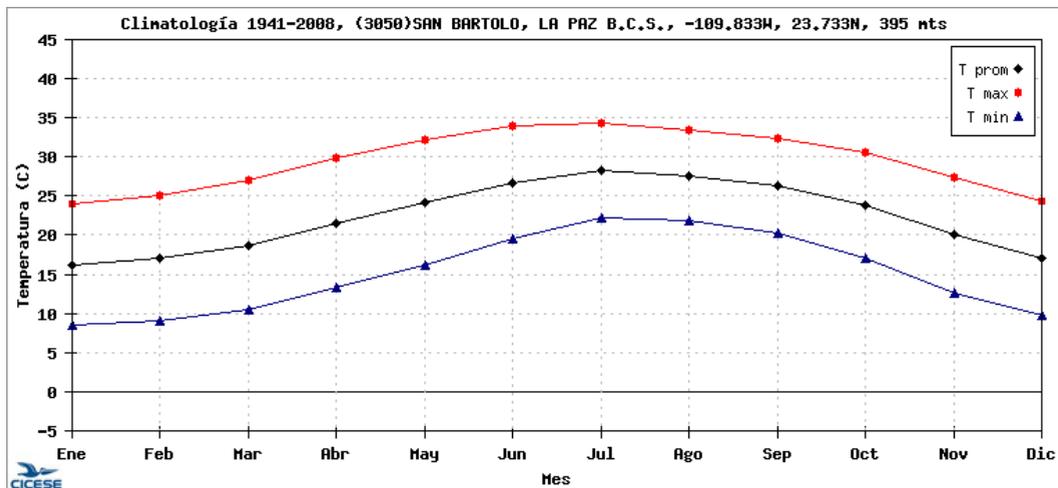




Estación San Bartolo

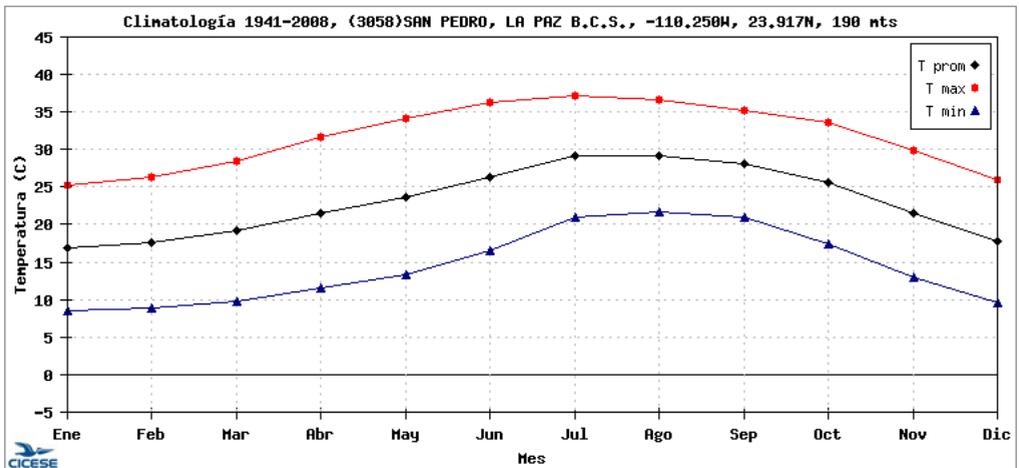
ESTACION: 00003050 SAN BARTOLO, LA PAZ LATITUD: 23°44'30" N. LONGITUD: 109°50'25" W. ALTURA: 395.0 MSNM.

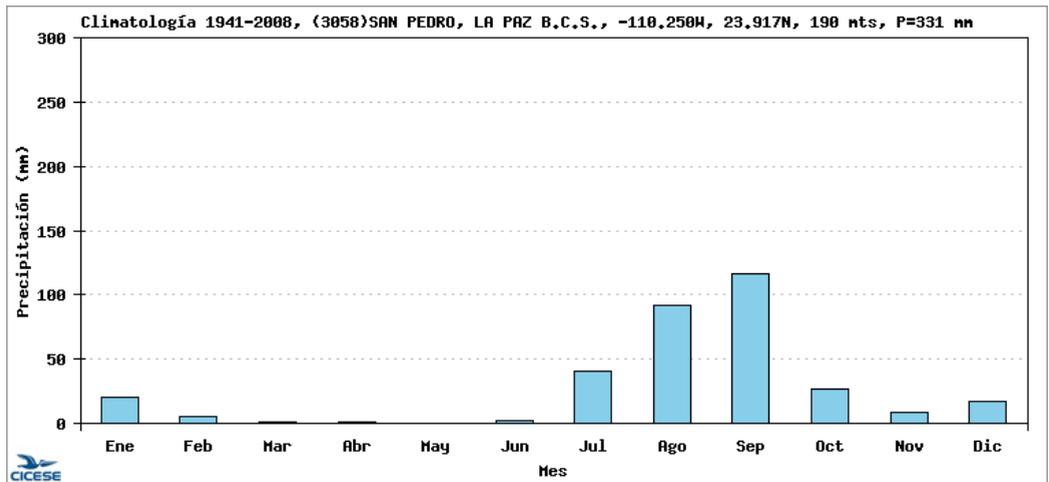
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	23.4	24.8	27.1	29.8	32.1	34.1	34.3	33.1	32.4	30.7	26.2	23.3	29.3
MAXIMA MENSUAL	27.7	29.0	30.7	32.7	34.5	38.1	37.8	35.2	35.0	34.2	30.4	28.1	
AÑO DE MAXIMA	2000	2000	1972	2000	1978	1980	1980	1982	1982	1993	1999	1983	
MAXIMA DIARIA	34.0	34.0	37.0	38.0	40.0	42.0	42.0	40.0	40.0	39.0	36.0	34.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	04/1997	21/1972	27/2000	07/1972	26/1980	16/1980	09/1998	21/1979	20/1980	18/1992	02/1997	17/1983	
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	29	27	28	27	28	28	29	29	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	16.3	17.4	19.6	22.3	24.9	27.3	28.4	27.7	26.6	24.3	19.7	16.7	22.6
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	29	27	28	27	28	28	29	29	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	9.2	10.0	12.0	14.8	17.7	20.4	22.5	22.2	20.7	17.9	13.2	10.2	15.9
MINIMA MENSUAL	6.3	7.4	9.4	9.1	12.9	11.3	12.3	15.7	17.1	15.2	10.7	6.7	
AÑO DE MINIMA	1999	1993	1999	1993	1993	1993	1993	1993	1993	1984	1984	2000	
MINIMA DIARIA	2.0	4.0	4.0	6.0	7.0	7.0	9.0	8.0	11.0	10.0	5.0	2.0	
FECHA MINIMA DIARIA	15/1989	09/1972	02/1987	06/1973	28/1980	08/1993	06/1993	01/1992	08/1974	29/1984	29/1971	31/1976	
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	29	27	28	27	28	28	29	29	
PRECIPITACION													
NORMAL	13.6	3.0	0.6	0.2	2.8	1.3	34.7	87.0	142.1	29.8	14.6	12.1	341.8
MAXIMA MENSUAL	96.0	43.5	11.0	7.0	44.0	15.0	140.5	241.5	637.5	160.0	85.0	79.5	
AÑO DE MAXIMA	1992	1992	1983	1986	1979	1999	1990	1977	1982	1981	1993	1982	
MAXIMA DIARIA	49.0	40.0	9.0	7.0	44.0	15.0	66.5	135.0	425.0	156.0	58.0	74.5	
FECHA MAXIMA DIARIA	25/1992	01/1992	04/1983	28/1986	18/1979	27/1999	13/1972	15/1977	30/1976	06/1981	04/1993	08/1982	
AÑOS CON DATOS	29	30	30	30	29	27	28	29	28	29	29	29	



Estación San Pedro

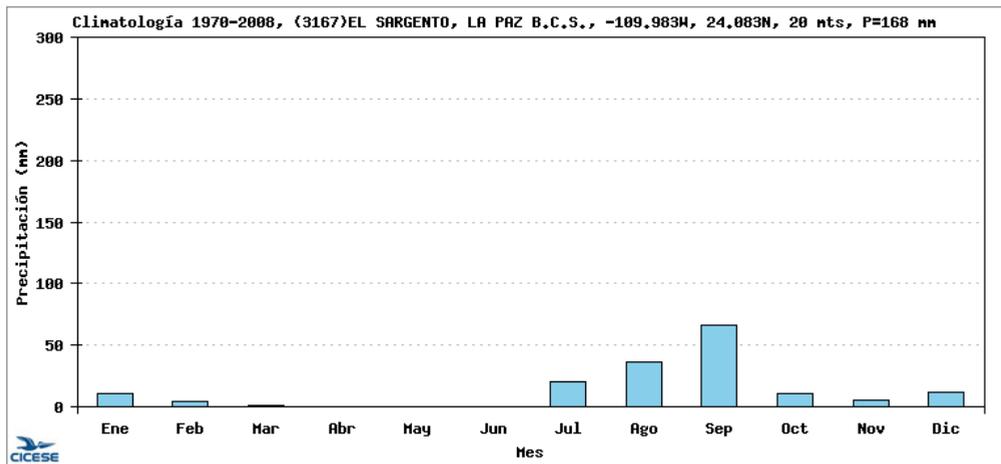
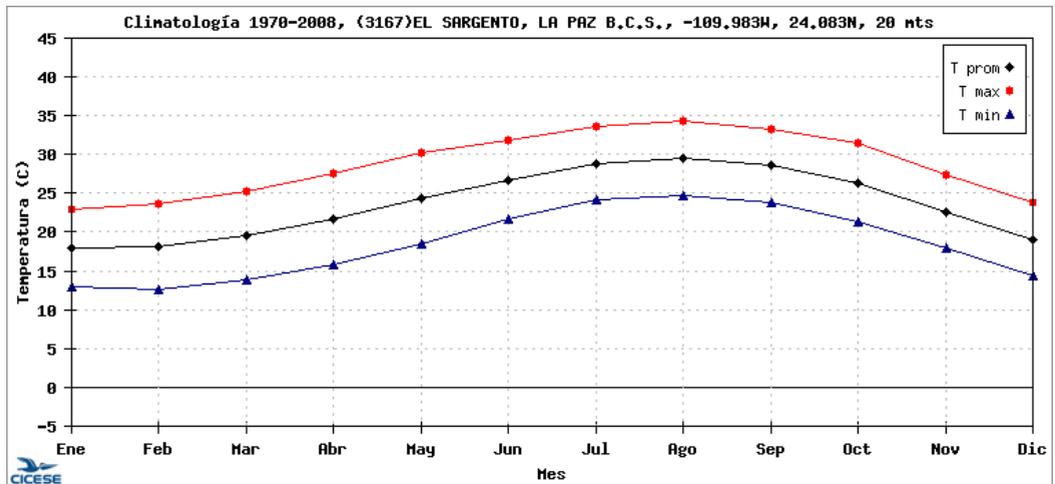
ESTACION: 00003058 SAN PEDRO, LA PAZ		LATITUD: 23°55'30" N.						LONGITUD: 110°15'50" W.				ALTURA: 190.0 MSNM.	
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	24.8	26.3	28.6	31.6	33.9	36.5	37.2	36.5	35.1	33.6	28.9	25.3	31.5
MAXIMA MENSUAL	27.7	30.0	30.8	35.0	37.6	39.2	39.4	38.4	37.0	36.0	31.5	29.1	
AÑO DE MAXIMA	2000	2000	1972	1989	1997	1992	1972	1987	1977	1992	1999	1977	
MAXIMA DIARIA	33.0	35.0	38.0	40.5	42.0	43.0	45.0	42.5	42.0	40.0	38.0	33.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	28/1987	03/1971	26/1988	15/1990	09/1997	27/1972	30/1972	03/1993	22/1973	05/1994	01/1980	26/1971	
AÑOS CON DATOS	30	29	28	29	30	30	30	30	28	27	29	29	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	16.7	17.6	19.4	21.7	23.8	26.8	29.2	29.3	28.2	25.6	20.9	17.5	23.1
AÑOS CON DATOS	30	29	28	29	30	30	30	30	28	27	29	29	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	8.6	8.8	10.1	11.7	13.6	17.1	21.2	22.2	21.3	17.6	12.9	9.7	14.6
MINIMA MENSUAL	5.6	6.6	7.8	9.5	10.6	11.9	16.0	16.4	17.8	15.2	9.5	5.7	
AÑO DE MINIMA	1999	1999	1999	1971	1975	1975	1979	1979	1979	1995	2000	2000	
MINIMA DIARIA	0.0	0.0	1.0	4.5	6.5	10.0	11.0	11.0	10.0	9.0	5.0	2.0	
FECHA MINIMA DIARIA	15/1989	04/1990	17/1984	02/1988	03/1988	02/1971	16/1980	04/1979	25/1973	01/1995	26/2000	28/1988	
AÑOS CON DATOS	30	29	28	29	30	30	30	30	28	27	29	29	
PRECIPITACION													
NORMAL	19.1	5.2	1.2	0.4	0.9	2.1	40.3	89.7	119.5	31.2	14.2	18.8	342.6
MAXIMA MENSUAL	132.2	37.0	17.8	6.2	23.4	30.2	169.1	219.8	266.2	174.5	95.2	85.2	
AÑO DE MAXIMA	1981	1973	1981	1986	1979	1984	1983	1976	1982	1972	1974	1984	
MAXIMA DIARIA	34.4	21.0	14.0	3.5	23.4	23.5	77.3	83.9	169.6	72.2	68.1	61.5	
FECHA MAXIMA DIARIA	29/1984	21/1973	02/1981	18/1987	18/1987	24/1984	21/1983	18/1986	29/1982	08/2000	11/1994	08/1988	
AÑOS CON DATOS	30	29	28	29	30	30	30	30	28	27	29	29	





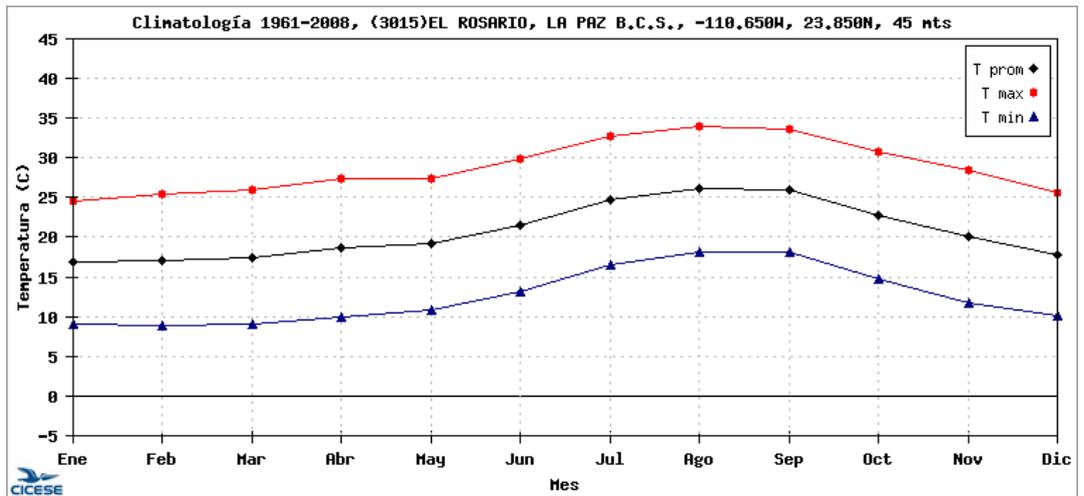
Estación El Sargento

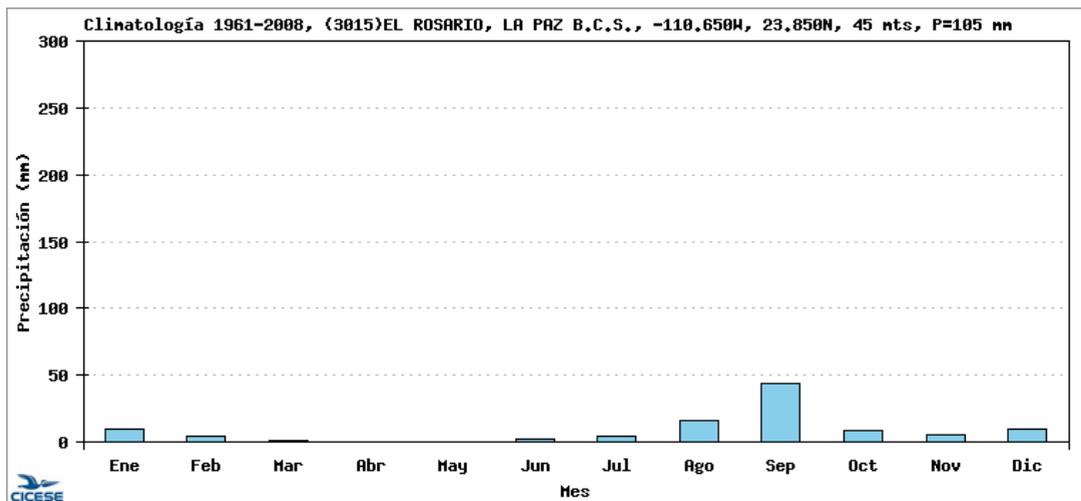
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
ESTACION: 00003167 EL SARGENTO, LA PAZ													
LATITUD: 24°04'15" N.													
LONGITUD: 109°50'30" W.													
ALTURA: 20.0 MSNM.													
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	23.2	23.7	25.3	27.7	30.4	32.1	33.9	34.2	33.4	31.4	27.1	24.0	28.9
MAXIMA MENSUAL	33.5	30.4	33.6	36.3	38.5	38.8	40.8	41.0	39.6	38.4	31.4	29.6	
AÑO DE MAXIMA	1986	1986	1986	1986	1986	1986	1998	1998	1998	1998	1998	1985	
MAXIMA DIARIA	37.0	38.0	41.0	42.0	42.0	43.0	43.0	43.0	42.0	40.0	36.0	38.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	24/1986	18/1986	24/1986	14/1986	02/1986	19/1986	02/1986	02/1998	03/1998	01/1998	05/1992	31/1985	
AÑOS CON DATOS	19	19	19	18	16	16	17	16	17	16	15	14	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	18.2	18.3	19.7	21.8	24.5	27.0	29.1	29.6	28.7	26.5	22.6	19.4	23.8
AÑOS CON DATOS	19	19	19	18	16	16	17	16	17	16	15	14	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	13.2	12.8	14.2	15.9	18.5	21.8	24.3	25.0	24.0	21.5	18.2	14.8	18.7
MINIMA MENSUAL	10.8	10.0	12.5	13.7	16.5	18.6	21.1	23.2	20.1	19.6	15.9	12.6	
AÑO DE MINIMA	1989	1985	1987	1995	1995	1995	1992	1992	1986	1984	2000	2000	
MINIMA DIARIA	7.0	5.0	9.5	10.0	11.0	14.0	15.0	13.0	15.0	11.0	7.0	9.0	
FECHA MINIMA DIARIA	04/1989	25/1985	31/1994	09/1982	07/1982	16/1995	04/1991	01/1986	21/1986	29/1984	29/1999	22/1999	
AÑOS CON DATOS	19	19	19	18	16	16	17	16	17	16	15	14	
PRECIPITACION													
NORMAL	10.1	2.6	0.9	0.8	0.0	0.0	5.9	41.2	46.0	8.1	8.7	15.4	139.7
MAXIMA MENSUAL	46.0	20.0	17.0	12.5	0.0	0.0	44.0	150.0	241.5	40.0	34.3	58.5	
AÑO DE MAXIMA	1989	1998	1983	1986	1982	1982	1984	1996	1982	1985	1994	1994	
MAXIMA DIARIA	40.0	20.0	17.0	8.0	0.0	0.0	18.0	60.0	113.5	40.0	23.5	43.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	01/1989	13/1998	03/1983	27/1986	01/1982	01/1982	12/1986	30/1983	29/1982	08/1985	12/1994	08/1982	
AÑOS CON DATOS	19	19	19	18	16	16	17	16	17	16	15	15	



Estación El Rosario

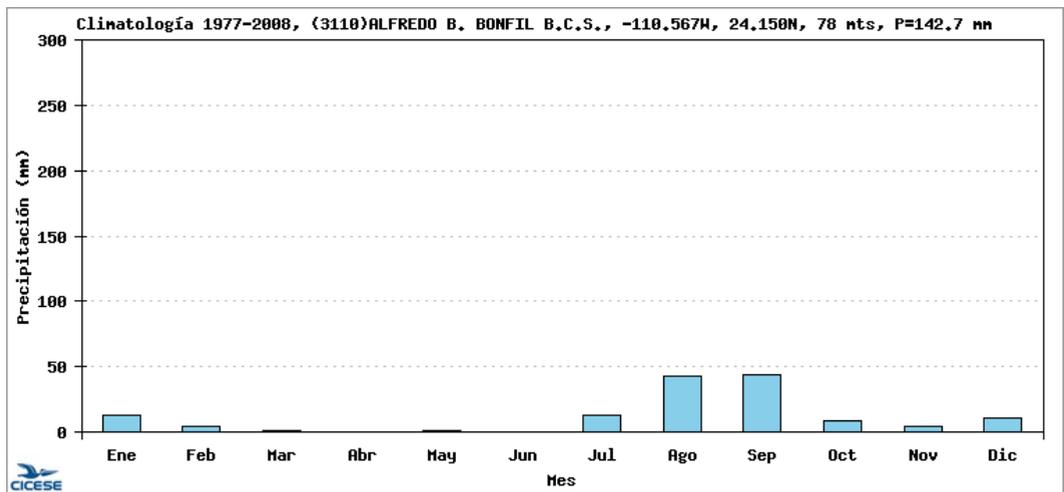
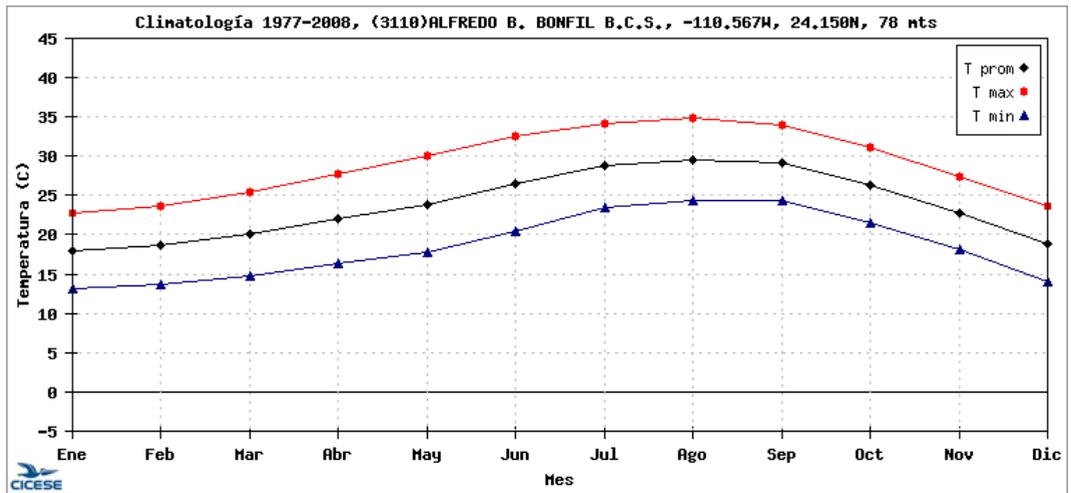
ESTACION: 00003015 EL ROSARIO, LA PAZ		LATITUD: 23°51'40" N.						LONGITUD: 110°39'20" W.				ALTIURA: 45.0 MSNM.	
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MÁXIMA													
NORMAL	24.6	25.9	26.1	27.4	26.9	28.8	31.5	33.2	32.7	30.8	28.2	25.8	28.5
MÁXIMA MENSUAL	27.9	30.2	31.1	31.4	31.5	33.8	36.9	39.6	37.3	34.3	33.3	31.1	
AÑO DE MÁXIMA	1978	1991	1995	1986	1973	1998	1998	1998	1998	1987	1981	1981	
MÁXIMA DIARIA	37.0	34.0	37.0	39.0	39.0	39.0	41.0	42.5	40.0	39.0	38.0	34.0	
FECHA MÁXIMA DIARIA	27/1972	26/1986	16/1995	23/1986	03/1992	23/1997	05/1998	23/1990	09/1997	09/1988	02/1985	09/1979	
AÑOS CON DATOS	27	30	29	30	27	28	28	27	28	26	26	26	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	16.8	17.3	17.5	18.6	18.7	21.0	24.4	26.0	25.8	23.1	20.0	17.9	20.6
AÑOS CON DATOS	27	30	29	30	27	28	28	27	28	26	26	26	
TEMPERATURA MÍNIMA													
NORMAL	9.0	8.7	8.9	9.8	10.5	13.2	17.2	18.8	18.9	15.4	11.9	9.9	12.7
MÍNIMA MENSUAL	4.9	4.9	4.4	4.6	6.0	8.4	11.4	13.6	12.9	10.7	7.0	4.3	
AÑO DE MÍNIMA	1976	1974	1974	1973	1971	1975	1997	1997	1973	1975	1975	1973	
MÍNIMA DIARIA	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0	9.0	9.0	8.0	7.0	2.0	2.0	
FECHA MÍNIMA DIARIA	21/1973	13/1973	14/1973	19/1971	05/1971	01/1971	05/1995	16/1975	23/1973	13/1973	20/1975	06/1971	
AÑOS CON DATOS	27	30	29	30	27	28	28	27	28	26	26	26	
PRECIPITACION													
NORMAL	15.0	2.4	1.2	0.0	0.7	3.9	5.8	17.1	31.4	9.5	9.0	9.6	105.6
MÁXIMA MENSUAL	60.6	13.0	23.0	0.0	20.0	110.0	38.0	86.0	128.0	91.0	100.0	59.0	
AÑO DE MÁXIMA	1992	1973	1983	1971	1979	1980	1983	1993	1979	1972	1974	1994	
MÁXIMA DIARIA	44.0	13.0	15.0	0.0	20.0	110.0	35.0	66.0	121.0	64.0	80.0	54.0	
FECHA MÁXIMA DIARIA	02/1972	03/1979	02/1983	01/1971	18/1979	27/1980	29/1979	24/1993	12/1996	28/1972	07/1974	22/1994	
AÑOS CON DATOS	27	30	29	30	27	28	28	28	29	26	26	26	





Estación Alfredo B. Bonfil

ESTACION: 00003110 ALFREDO B. BONFIL		LATITUD: 24°09'55" N.						LONGITUD: 110°26'00" W.				ALTURA: 78.0 MSNM.	
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	23.0	24.2	26.3	29.0	31.7	34.1	35.4	35.6	35.0	32.3	28.1	23.9	29.9
MAXIMA MENSUAL	25.6	28.7	32.1	33.8	35.5	36.5	38.0	37.3	37.2	34.8	30.9	26.4	
AÑO DE MAXIMA	1982	1995	1993	1989	1996	1990	1994	1991	1994	1991	1977	1977	
MAXIMA DIARIA	33.0	34.0	36.0	39.0	40.0	42.0	41.0	41.0	40.0	39.0	36.0	34.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	30/1987	28/1986	30/1986	08/1989	10/1984	15/1987	05/1983	23/1983	01/1982	19/1983	01/1987	12/1981	
AÑOS CON DATOS	23	23	23	23	23	23	23	22	24	23	23	23	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	18.1	18.9	20.5	22.7	24.8	27.7	29.8	30.2	29.8	27.1	23.1	19.0	24.3
AÑOS CON DATOS	23	23	23	23	23	23	23	22	24	23	23	23	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	13.2	13.6	14.6	16.3	17.9	21.2	24.1	24.7	24.6	21.8	18.1	14.0	18.7
MINIMA MENSUAL	9.8	11.6	12.2	14.6	15.7	19.2	22.0	23.1	23.0	18.4	14.7	11.1	
AÑO DE MINIMA	1992	1992	1981	1985	1982	1989	1991	1989	1984	1981	1982	1984	
MINIMA DIARIA	7.0	10.0	8.0	10.0	11.0	12.0	17.0	16.0	18.0	13.0	10.0	8.0	
FECHA MINIMA DIARIA	26/1985	12/1978	15/1981	04/1997	09/1982	05/1984	21/1979	01/1984	17/1996	12/1981	13/1982	21/1984	
AÑOS CON DATOS	23	23	23	23	23	23	23	22	24	23	23	23	
PRECIPITACION													
NORMAL	13.3	3.6	1.3	0.1	0.9	0.4	14.7	50.8	37.6	8.0	5.3	13.5	149.5
MAXIMA MENSUAL	81.2	30.0	22.0	3.0	21.0	10.0	108.0	255.0	148.0	48.0	33.0	77.0	
AÑO DE MAXIMA	1992	1979	1983	1987	1979	1999	1983	1983	1996	1981	1982	1984	
MAXIMA DIARIA	38.0	18.0	20.0	3.0	19.0	10.0	47.0	173.0	120.0	44.0	20.0	60.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	04/1992	02/1979	02/1983	18/1987	18/1979	22/1999	30/1983	13/1983	13/1996	07/1981	25/1982	22/1994	
AÑOS CON DATOS	23	23	23	23	23	23	23	22	24	23	23	23	



2. Datos del muestreo de suelo en la zona de estudio

Tabla 47. Datos de suelo para el cálculo del factor K en los 115 puntos de muestreo

No.	% Arena fina	% Limo	% Arcilla	% Materia org.	Permeabilidad	Estructura del suelo	Factor K (t m ² hora/ J cm ha)
1	67	18.9	14.1	0	1	3	0.499
2	40.6	47.3	12.1	0	1	2	0.341
3	72.6	18.1	9.3	1	1	3	0.565
4	64	29.9	6.1	1	2	3	0.611
5	26.6	38.1	35.3	0	1	2	0.268
6	67.8	26.5	5.7	0	1	3	0.684
7	46.3	45.5	5.7	2.5	1	2	0.453
8	47.9	46.3	5.8	0	1	2	0.466
9	47.8	12.9	39.3	0	1	1	0.128
10	37.9	56.3	5.8	1	1	3	0.682
11	73.9	0.3	25.8	1	2	2	0.232
12	75.3	7.7	17	1	1	3	0.636
13	79.3	1.7	19	0	2	3	0.554
14	95.3	3.7	1	1	1	3	0.689
15	93.3	1.7	5	1	2	3	0.865

No.	% Arena fina	% Limo	% Arcilla	% Materia org.	Permeabilidad	Estructura del suelo	Factor K (t m ² hora/ J cm ha)
16	84.2	11.4	4.1	0.3	2	3	0.860
17	85.3	5.7	9	0	2	3	0.630
18	87.3	0.7	11	1	1	3	0.678
19	85.3	5.7	9	0	1	3	0.723
20	72.5	10	15	2.5	2	3	0.521
21	65.3	9.7	25	1	1	2	0.336
22	83.3	7.7	9	1	2	3	0.784
23	75.8	10.9	13.3	0	2	3	0.647
24	82.2	12.4	5.4	0	1	3	0.857
25	65.8	10.9	23.3	0	1	2	0.292
26	71.8	14.9	13.3	1	1	3	0.647
27	79.3	11.7	9	0	1	3	0.723
28	77.3	5.7	17	0	2	3	0.511
29	77.3	5.7	17	1	2	3	0.636
30	81.3	9.7	9	0	2	3	0.569
31	72.2	20	7.8	0	1	3	0.808
32	80.2	14.4	5.4	0	1	3	0.857

No.	% Arena fina	% Limo	% Arcilla	% Materia org.	Permeabilidad	Estructura del suelo	Factor K (t m ² hora/ J cm ha)
33	82.2	12.4	5.4	1	1	3	0.689
34	53.9	40.3	5.8	1	1	3	0.682
35	78.2	16	5.8	0	1	3	0.782
36	83.3	9.7	7	0	1	3	0.759
37	75.3	15.7	9	1	1	3	0.569
38	82.2	12.4	5.4	0	1	3	0.857
39	85.9	8.3	5.8	1	2	3	0.848
40	78.6	14.1	7.3	1	1	3	0.593
41	52.2	38	9.8	0	2	2	0.512
42	66	28	5.4	0.6	1	3	0.810
43	75.9	18.3	5.8	1	1	3	0.682
44	83.9	12.3	3.8	1	1	3	0.820
45	69.9	24	6.1	1	1	3	0.677
46	58.2	18	23.8	1	1	2	0.349
47	77.8	16.5	5.7	0	1	3	0.684
48	69.9	24.3	5.8	0	1	3	0.848
49	82.2	12.4	5.4	1	2	3	0.857

No.	% Arena fina	% Limo	% Arcilla	% Materia org.	Permeabilidad	Estructura del suelo	Factor K (t m ² hora/ J cm ha)
50	68.6	18.1	13.3	1	2	3	0.647
51	84.6	12.1	3.3	0	2	3	0.653
52	82.6	14.1	3.3	0	2	3	0.901
53	56.2	38.4	5.4	1	1	3	0.789
54	60.3	17.4	22.3	0	2	2	0.407
55	79.3	11.7	9	1	2	3	0.723
56	81.9	10.3	7.8	1	2	3	0.586
57	62.2	33.7	4.1	1	2	3	0.884
58	89.8	4.5	5.7	0	1	3	0.684
59	65.9	28.3	5.8	0	2	3	0.848
60	84.2	8	7.8	1	2	3	0.744
61	65.3	23.7	11	1	2	3	0.541
62	69.9	24.3	5.3	0.5	1	3	0.820
63	87.3	3.7	9	0	2	3	0.630
64	81.9	14.3	3.8	1	1	3	0.890
65	29.9	64.3	5.8	1	2	2	0.566
66	83.5	3.2	13.3	0	2	3	0.647

No.	% Arena fina	% Limo	% Arcilla	% Materia org.	Permeabilidad	Estructura del suelo	Factor K (t m ² hora/ J cm ha)
67	66.3	21.1	12.6	1	2	3	0.519
68	84.6	12.1	3.3	1	2	3	0.653
69	70.2	24.4	5.4	0	1	3	0.857
70	73.5	15.2	11.3	1	1	3	0.537
71	71.5	19.2	9.3	1	1	3	0.778
72	74.2	20.4	5.4	0	1	3	0.621
73	76.2	18.4	5.4	1	1	3	0.857
74	57.9	38	4.1	0	2	3	0.710
75	30.6	64	5.4	1	1	3	0.621
76	66.6	28	5.4	0	2	3	0.857
77	50.2	44	5.8	0	2	3	0.682
78	78.2	16.4	5.4	0	1	3	0.789
79	74.2	20.4	5.4	0	2	3	0.789
80	80.2	14.4	4.9	0.5	1	3	0.828
81	75.3	9.7	15	1	2	3	0.487
82	84.3	4	11.7	1	2	3	0.531
83	80.6	6.1	13.3	1	2	3	0.564

No.	% Arena fina	% Limo	% Arcilla	% Materia org.	Permeabilidad	Estructura del suelo	Factor K (t m ² hora/ J cm ha)
84	74.6	16.1	9.3	0	2	3	0.778
85	74.6	16.1	9.3	1	1	3	0.778
86	82.2	10.4	7.4	1	1	3	0.592
87	78.6	14.1	7.3	1	2	3	0.657
88	80.2	14.4	5.4	0	1	3	0.689
89	86.2	8.4	5.4	0	2	3	0.789
90	85.8	8.5	5.7	0	1	3	0.784
91	76.6	10.1	13.3	0	1	3	0.509
92	71.8	22.5	5.7	0	2	3	0.684
93	78.8	10.5	8.7	2	2	3	0.498
94	77.9	14	8.1	1	2	3	0.802
95	84.2	8	7.8	1	2	3	0.808
96	74.6	16.1	9.3	1	1	3	0.717
97	83.9	10.3	5.8	0	2	3	0.848
98	77.9	16.3	5.8	0	2	3	0.782
99	69.8	24.5	5.7	1	2	3	0.784
100	87	6.9	6.1	1	1	3	0.611

No.	% Arena fina	% Limo	% Arcilla	% Materia org.	Permeabilidad	Estructura del suelo	Factor K (t m ² hora/ J cm ha)
101	67.9	28.3	3.8	0	1	3	0.890
102	78.6	12.1	9.3	0	2	3	0.626
103	76.6	16.1	7.3	1	2	3	0.754
104	75.9	18.3	5.8	0	2	3	0.848
105	43	22.9	34.1	1	1	2	0.280
106	85	10.9	4.1	1	1	3	0.710
107	89.8	4.5	5.7	1	1	3	0.617
108	75.8	12.9	11.3	0	1	3	0.595
109	65.8	10.9	23.3	0	2	2	0.250
110	77.8	10.9	11.3	0	2	3	0.537
111	81.9	12.3	5.8	1	1	3	0.682
112	84.2	10.4	5.4	1	2	3	0.621
113	91.3	5.7	3	0	1	3	0.729
114	75.5	13.2	11.3	0	1	3	0.595
115	74.2	16	7.8	2	2	3	0.510

Fuente: Elaboración propia

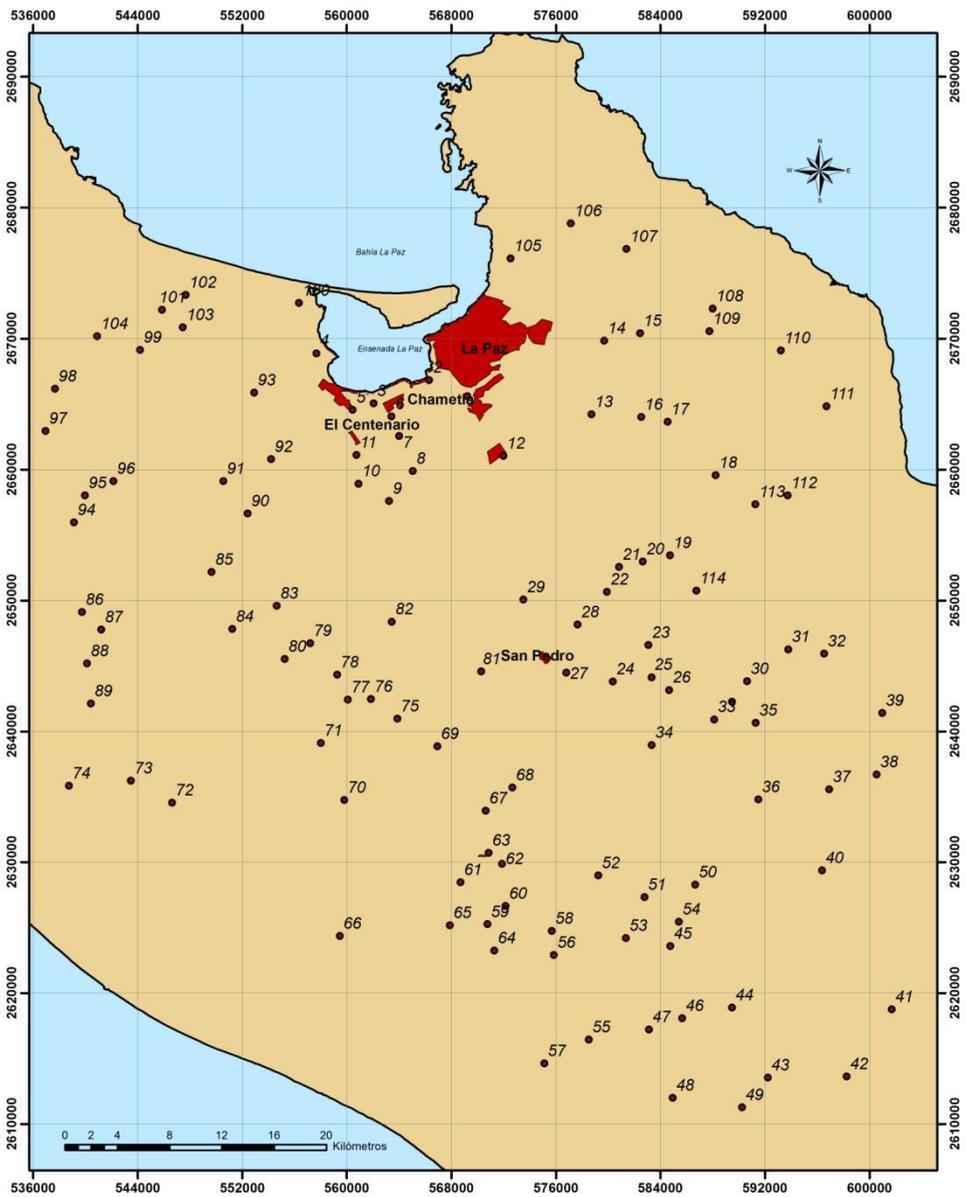


Figura 132. Ubicación de los puntos de muestreo de suelo para la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

3. Piezometría acuífero La Paz

Tabla 48. Pozos en el acuífero La Paz

No	USUARIO	X UTM	Y UTM	M.S. N.M.	NE 2009	NE 2010
1	HNOS. SCHOLNICK ROMERO	56986 1.65	266433 0.89	36.00	47.04	40.55
2	UABCS	56942 3.92	266529 8.69	26.00	29.10	29.35
3	ENRIQUE HERNANDEZ PONS	56912 8.86	266116 2.86	51.00	XXX	60.53
4	MARÍA ELENA ALVAREZ DE HDEZ.	56847 3.11	265967 1.60	50.00	59.89	60.36
5	ENRIQUE HERNANDEZ PONS TORRES	56767 7.36	265980 0.67	42.00	48.00	48.45
6	ANA MARÍA DEL POZO BRAMBILA	56854 1.68	266635 5.15	18.00	16.30	16.52
7	ENRIQUE TROYO	56870 4.40	266590 9.72	20.00	19.75	20.35
8	BEATRIZ VONBORSTEL DE PINO	56855 2.99	266548 2.71	22.00	XXX	XXX
9	EDUARDO PINO VONBORTEL	56977 0.71	266452 0.15	28.00	XXX	34.67
10	MIGUEL E. PINO VONBORSTEL	56869 0.95	266427 0.95	36.00	34.20	31.88
11	BEATRIZ VONBORSTEL DE PINO	56928 8.74	266404 2.43	37.00	XXX	XXX
12	EJ. CHAMETLA	56798 7.96	266418 4.54	28.00	28.25	28.50
13	NORMAN LUPIO TRACY	56857 6.57	266374 8.90	29.83	XXX	XXX
14	AGROEXPORTADORA DEL NOROESTE, SA DE CV	56547 6.20	265775 9.79	36.27	47.30	43.20
15	RAÚL ESTRADA CANSECO Y SOC.	56789 5.21	266380 9.86	27.00	32.57	28.32
16	JUAN MANUEL Y CARLOS MORENO PAZ	56777 8.57	266332 7.66	21.59	XXX	NPS
17	EJ. CHAMETLA	56837 2.47	266221 6.62	37.00	XXX	NPS
18	ASOC. DE COLONOS Y PROPIETARIOS DEL FRACC. VILLAS DE LA PAZ, A.C.	56780 7.35	266047 6.69	38.00	45.54	44.20
19	ANGELINA ÁGUILA MICHEL	56676 2.03	266071 7.58	25.00	XXX	31.42
20	SILVIA MENDOZA DE POLONI	56633 7.20	266090 0.50	21.09	XXX	29.04
21	JOSEFINA DÍAZ VIRGEN	56669 2.31	266345 4.30	16.00	29.90	20.08
22	EJ. CHAMETLA	566188. 33	2662529. 64	17.00	16.45	21.35

No	USUARIO	X UTM	Y UTM	M.S. N.M.	NE 2009	NE 2010
23	ESTEBAN TALAMANTES	56562 1.59	266308 0.64	14.00	17.09	17.50
24	ARMIDA TALAMANTES AVILES	56598 3.58	266415 8.52	13.00	15.23	15.90
25	EJ. CHAMETLA	56600 8.32	266474 3.25	12.00	13.43	13.83
26	EJ. CHAMETLA	56744 6.70	266514 9.69	19.00	XXX	XXX
27	MARÍA CRUZ ALDABA DE YEE	56580 9.72	266505 0.14	10.00	10.91	11.61
28	EDUARDO SEPULVEDA ARREOLA	56578 0.12	266529 5.81	9.00	10.60	10.56
29	EJ. CHAMETLA	56397 8.66	266402 6.49	13.00	13.73	13.82
30	HNOS. DUARTE	56364 1.14	266381 0.18	13.00	13.82	13.82
31	EJ. CHAMETLA	56382 9.25	266288 7.60	14.00	XXX	XXX
32	EJ. EL CENTENARIO	56401 6.50	266193 5.13	22.00	NPS	22.84
33	EJ. EL CENTENARIO	56376 9.62	266030 4.20	25.00	29.17	29.42
34	EJ. EL CENTENARIO	56515 3.39	266031 0.45	25.00	30.45	33.40
35	EJ. CHAMETLA	56532 7.68	265932 6.93	30.00	NPS	38.35
36	EJ. EL CENTENARIO	56416 9.96	265922 9.78	29.00	NPS	NPS
37	EJ. CHAMETLA	56465 3.65	265840 1.55	32.00	38.08	39.15
38	EJ. CHAMETLA	56405 9.85	265861 3.68	33.00	37.40	38.13
39	AGROEXPORTADORA DEL NOROESTE, SA DE CV	56541 7.28	265818 9.12	33.00	43.80	40.49
40	Ma. ELENA PEÑA PALACIOS	56420 6.72	265738 4.23	38.00	43.85	44.64
41	EJ. EL CENTENARIO	56264 3.94	265940 7.92	35.00	NPS	NPS
42	EJ. CHAMETLA	56264 6.24	265888 4.22	38.00	41.65	41.47
43	EJ. EL CENTENARIO	56266 8.77	266023 8.44	30.00	NPS	33.21
44	EJ. EL CENTENARIO	56328 1.78	266278 4.41	15.00	16.55	XXX
45	GUADALUPE LUCERO ALVAREZ	56296 1.24	266423 7.87	10.00	10.24	10.54
46	EJ. EL CENTENARIO	56110 3.49	266296 8.68	11.00	13.30	13.74
47	GRUPO AGUAS NEGRAS	56042 9.50	266201 2.51	30.00	XXX	NPS

No	USUARIO	X UTM	Y UTM	M.S. N.M.	NE 2009	NE 2010
48	EJ. EL CENTENARIO	56019 7.72	266345 6.44	20.00	20.54	21.09
49	EJ. EL CENTENARIO	56016 7.70	266382 6.12	17.00	16.64	17.26
50	EJ. EL CENTENARIO	56008 1.52	266425 5.35	14.00	14.40	14.95
51	EJ. EL CENTENARIO	55911 6.14	266566 6.33	11.00	12.72	12.25
52	EJ. EL CENTENARIO	55925 8.81	266532 9.23	13.00	13.70	13.92
53	EJ. EL CENTENARIO	55903 9.80	266348 2.60	34.00	35.79	36.29
54	EJ. EL CENTENARIO	55958 2.54	266203 8.84	39.00	40.05	40.45
55	EJ. EL CENTENARIO	55986 8.12	266133 3.64	38.00	40.20	41.00
56	EJ. CHAMETLA	56099 0.14	265641 6.85	66.00	XXX	70.52
57	MANUEL PAZ PAREDES	56124 8.35	266213 8.89	19.00	20.78	21.06
58	MARGARITA GONZALEZ GARCIA	56200 8.61	265608 3.53	55.00	61.89	NPS
59	EJ. EL CENTENARIO	56095 6.02	266441 2.96	7.00	7.16	7.49
60	RUBEN JAIME YUEN	56827 6.14	266683 6.63	13.00	12.80	13.98
61	BEBIDAS PURIFICADAS S.A DE C.V.	57198 5.80	266640 2.02	40.00	43.10	NPS
62	COMPAÑÍA EMBOTELLADORA DE B.C.S.	57121 5.73	266796 7.11	45.00	45.00	41.40
63	BASE ÁREA MILITAR No.9	56434 2.45	266382 5.51	15.00	15.08	15.87
64	JOSE GABRIEL CASTRO MACIAS	56113 3.28	266266 1.00	18.00	17.16	17.34
65		56075 8.31	266453 5.02	8.00	7.63	XXX
66	JOSE DE JESUS CASTILLO VILLASEÑOR	56827 1.10	265811 0.56	59.00	XXX	XXX
67	JAIME MURILLO AISPURU	57578 3.96	264659 6.65	198.0 0	18.70	19.05
68	FERNANDO CHAVEZ ARREDONDO	57535 1.58	264695 4.22	194.0 0	20.90	22.51
69	MATEO OJEDA	56372 6.03	265753 5.98	38.00	42.02	NPS
70	LEOPOLDO GONZALEZ	56208 9.90	265703 7.19	51.00	54.30	54.17
71	GUILLERMO GONZALEZ	56279 4.86	265722 4.06	42.00	46.87	NPS
72	EJIDO CHAMETLA	56114 1.57	266072 3.42	32.00	34.25	XXX

No	USUARIO	X UTM	Y UTM	M.S. N.M.	NE 2009	NE 2010
73	SANTIAGO OLACHEA	56179 1.64	266063 4.32	29.00	31.49	31.96
74	RAMON ALVARADO	56112 5.11	266456 7.59	5.00	6.48	6.33
76	JORGE GONZALEZ ORTEGA CARBAJAL	56546 9.14	266551 0.29	S/D	10.00	10.62
77	RICARDO LORENZO CEVALLOS ZEPEDA	56990 7.81	266237 5.75	58.00	XXX	62.44
78	AGROEXPORTADORA DEL NOROESTE, SA DE CV	56547 6.20	265775 9.79	38.00	XXX	XXX
79	COMPAÑÍA EMBOTELLADORA DE B.C.S.			S/D	XXX	XXX
80	PATRICIO AVILES SUAREZ	57703 2.63	264723 0.47	215.0 0	17.20	17.26
81	GILBERTO CHAVEZ ARREDONDO	57518 4.71	264714 0.47	194.0 0	18.50	21.26
84	JOSE AGRUEL	56291 7.13	266156 1.54	19.00	XXX	XXX
85	SAPA-LA PAZ	57485 0.19	264669 0.30	191.0 0	XXX	XXX
86	ESPIRIDION NAVARRO ZAPIEN	57382 0.62	266653 4.31	82.00	XXX	57.45
87	JOSE MARIA GERALDO ROMERO	56075 8.31	266453 5.02	8.00	XXX	8.55
88	ANGELICA COLUNGA	56925 9.00	267065 1.00	22.00	XXX	16.91
89	ALICIA CARBALLO YEPÍZ	56925 3.00	267126 4.00	18.00	XXX	13.87
90	MARIA ESTHER COTA DE ANDA	56935 2.00	267147 2.00	18.00	XXX	14.44
91	SAPA No. 4	57034 0.17	266808 5.66	35.00		NPS
92	SAPA No.7	57168 7.41	266975 3.24	57.00		68.60
93	SAPA No.2	57086 6.00	267024 1.85	43.00		51.00
94	SAPA No.6	57039 1.61	266919 3.16	37.00		28.43 ND
95	SAPA No.12R	57039 2.46	266325 7.27	53.00		69.24
96	SAPA No.11	56916 8.28	265952 9.90	67.00	75.06	75.06
97	SAPA No.10	56961 5.09	266048 5.39	68.00		76.84
98	SAPA No.9	57006 3.16	266138 0.00	64.00		79.78

No	USUARIO	X UTM	Y UTM	M.S. N.M.	NE 2009	NE 2010
99	SAPA No.8	57048 1.69	266227 3.38	59.00	78.47	78.47
100	SAPA No.18	56644 7.16	265539 5.93	55.00		116.75 ND
101	SAPA No.17R	56830 1.48	265771 0.99	62.00		88.04
102	SAPA No.17 BIS	56821 4.01	265814 1.28	58.00		NPS
103	SAPA No.16	56970 8.15	265891 6.90	78.00	90.27	90.27
104	SAPA No.15	57102 8.70	266021 5.54	94.00	102.5 6	102.56
105	SAPA No.15 BIS	56737 4.33	265656 8.38	58.00		63.81
106	SAPA No.14R	57093 9.27	266123 0.42	79.00		83.92
107	SAPA No.26	56389 4.13	265153 8.99	75.00		XXX
108	SAPA No.25	56487 8.55	265252 7.72	65.00		70.55
109	SAPA No.24	56599 7.86	265357 2.49	63.00		XXX
110	SAPA No.23 R	56689 5.19	265441 7.03	64.00		XXX
111	SAPA No.23	56712 9.16	265462 9.60	62.00	67.76	67.76
112	SAPA No.22	56823 7.09	265564 6.83	72.00	101.7 4	101.74
113	SAPA No.21	56940 7.28	265679 4.00	82.00	104.7 1	104.71
114	SAPA No.20	57047 6.38	265778 3.55	100.0 0		XXX
115	SAPA No.19	57123 1.57	265920 1.59	102.0 0	119.6 5	119.65
116	SAPA No.19 R	57025 7.64	265614 5.99	102.0 0		XXX
117	SAPA No.2 R	56899 1.50	265506 9.16	86.00	80.18	80.18
118	SAPA No.4 R	56786 7.75	265374 1.77	76.00	79.46	79.46
119	SAPA No.6 R	56699 6.83	265269 1.36	72.00		XXX
120	SAPA San Pedro	57491 2.54	264664 0.80	190.0 0	34.47	53.75
121	SAPA Alvaro Obregón	58470 8.47	263937 5.21	415.0 0		1.30
122	SAPA Los Divisaderos	58706 5.00	264271 0.99	493.0 0	2.40	4.12

Fuente: Elaboración propia

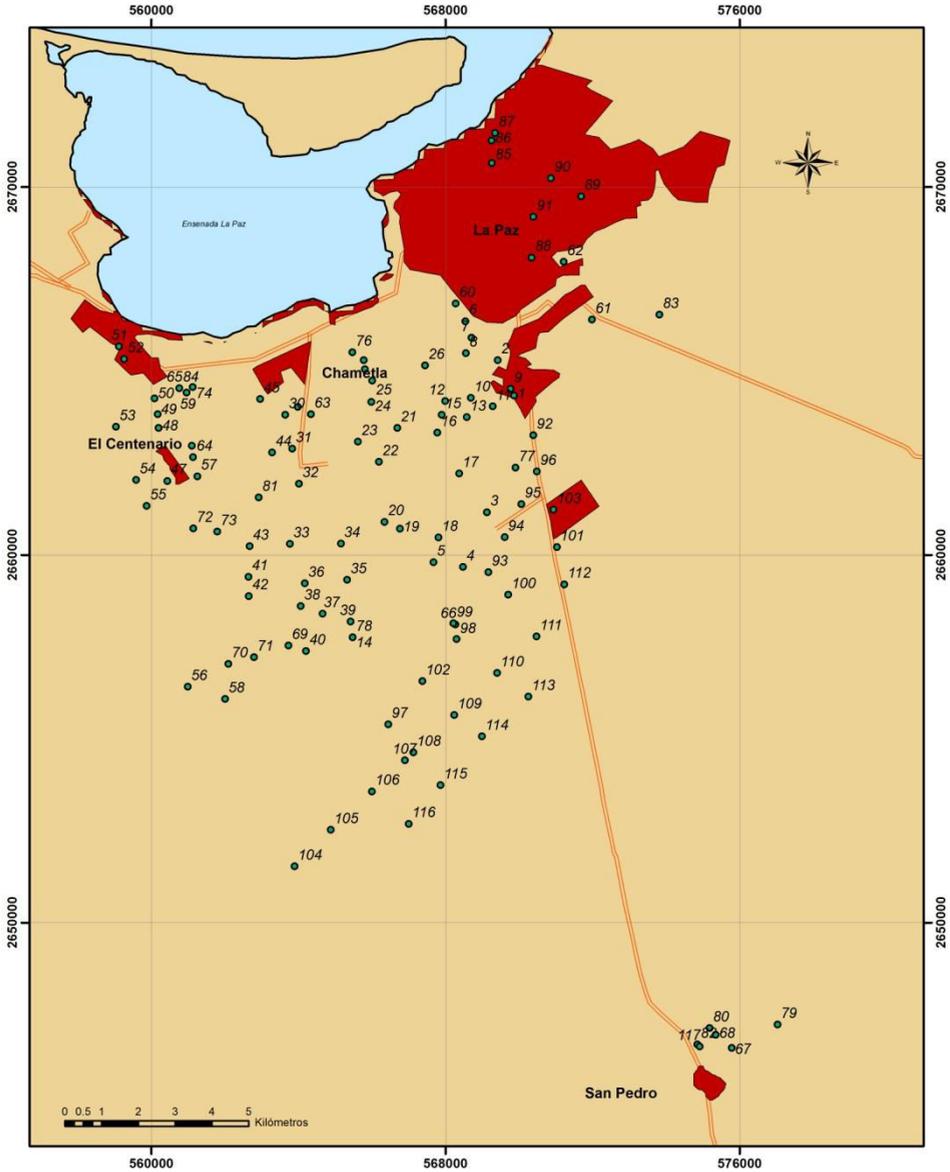


Figura 133. Ubicación de pozos en acuífero de estudio

Fuente: Elaboración propia

4. Galería fotográfica



Foto 1. Cárcava con un pequeño bordo de piedra acomodada para controlar la erosión en Sierra La Trinchera, (Cuenca El Carrizal)

Fuente: Elaboración propia



Foto 2. Terrenos erosionados, paisaje y vegetación típica en la porción oriental de la cuenca Victoria

Fuente: Elaboración propia



Foto 3. Dimensiones del Huracán Douglas, 23 de septiembre del 2003, en comparación con Baja California Sur. Imagen de satélite

Fuente: Elaboración propia



Foto 4. Carretera a Los Planes (Cuenca El Cajoncito) inhabilitada por el Huracán Marty, 23 de julio del 2001

Fuente: Elaboración propia



Foto 5. Presa El Salto en la cuenca El Carrizal, totalmente azolvada (aterrada) con sedimentos de la parte oriental de la cuenca (Sierra La Trinchera)

Fuente: Elaboración propia



Foto 6. Vista aérea de Sierra El Novillo (Cuenca El Carrizal) en primer plano, con sierra La Trinchera al fondo

Fuente: Elaboración propia



Foto 7. Vista aérea de Presa el Salto (Cuenca El Carrizal), con sierra El Novillo a la izquierda y sierra La Trinchera al fondo

Fuente: Elaboración propia

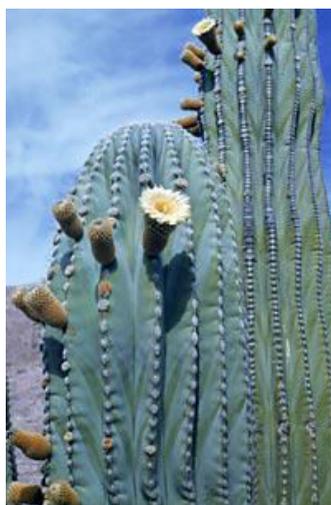


Foto 8. Cardón (Pachycereus pringlei) floreando

Fuente: Elaboración propia



Foto 9. Parteaguas (divisoria) oriental de la cuenca El Cajoncito, con la Ciudad de La Paz en primer plano

Fuente: Elaboración propia



Foto10. Vista aérea de el arroyo El Cajoncito y lagunas de oxidación al sur de la Ciudad de La Paz en la cuenca El Cajoncito

Fuente: Elaboración propia



Foto 11. Cauce del arroyo El Cajoncito en la cuenca El Cajoncito

Fuente: Elaboración propia



Foto 12. Suelos erosionados en las inmediaciones del arroyo La Huerta, en la zona este de la cuenca La Huerta

Fuente: Elaboración propia



Foto 13. Camino de terracería típico en la parte alta de la cuenca El Carrizal (Sierra El Novillo)

Fuente: Elaboración propia



Foto 14. Condiciones del ganado en Baja California Sur

Fuente: Elaboración propia



Foto 15. Comunidades típicas rurales en Baja California Sur, los ranchos

Fuente: Elaboración propia



Foto 16. Los rancheros típicos sudcalifornianos

Fuente: Elaboración propia



*Foto 17. Las chivas (*Capra aegagrus hircus*), animales sumamente comunes en el paisaje de Baja California Sur*

Fuente: Elaboración propia



Foto 18. Carretera transpeninsular en BCS

Fuente: Elaboración propia



Foto 19. Cauce del arroyo La Palma (Cuenca La Palma)

Fuente: Elaboración propia

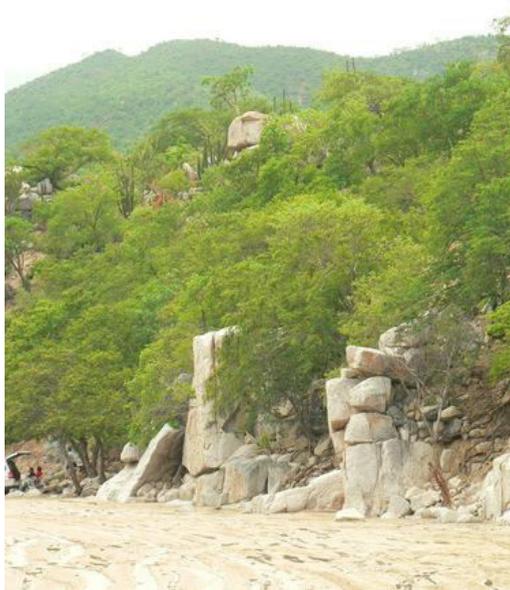


Foto 20. Arroyo Los Encinitos, parte baja de la Sierra El Novillo (Cuenca El Carrizal)

Fuente: Elaboración propia



Foto 21. Vista panorámica de la llegada al poblado El Centenario (Cuenca El Novillo)

Fuente: Elaboración propia



Foto 22. Parteaguas (divisoria) occidental de la cuenca El Novillo, en la sierra Los Filos del Treinta y Cinco

Fuente: Elaboración propia



Foto 23. Vegetación típica del Valle de La Paz, mostrando cardón (Pachycereus pringlei), lomboy(Jatropha cinerea), pitaya agria(Machaerocereus gummosus), ocotillo(Gochnatia arborescens) y torote(Bursera microphyla). También se observa el suelo típico del valle que es arenoso

Fuente: Elaboración propia

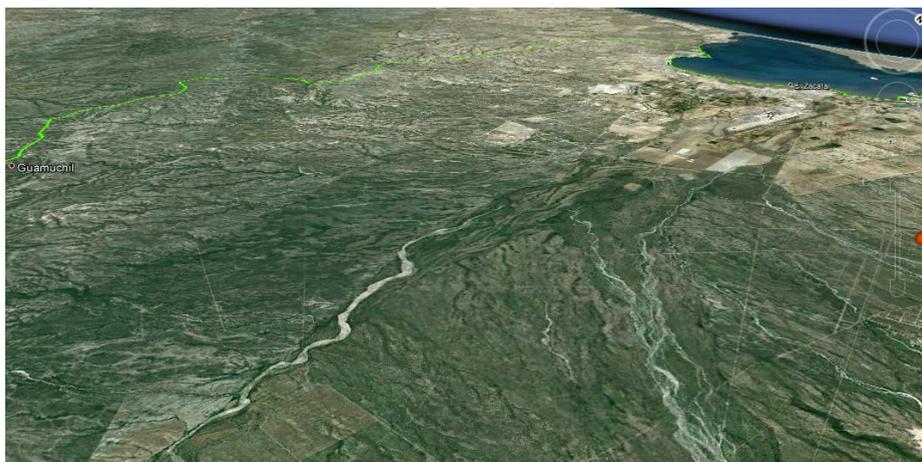


Foto 24. Curso del Arroyo El Novillo (Cuenca El Novillo), vista con orientación noreste

Fuente: Elaboración propia

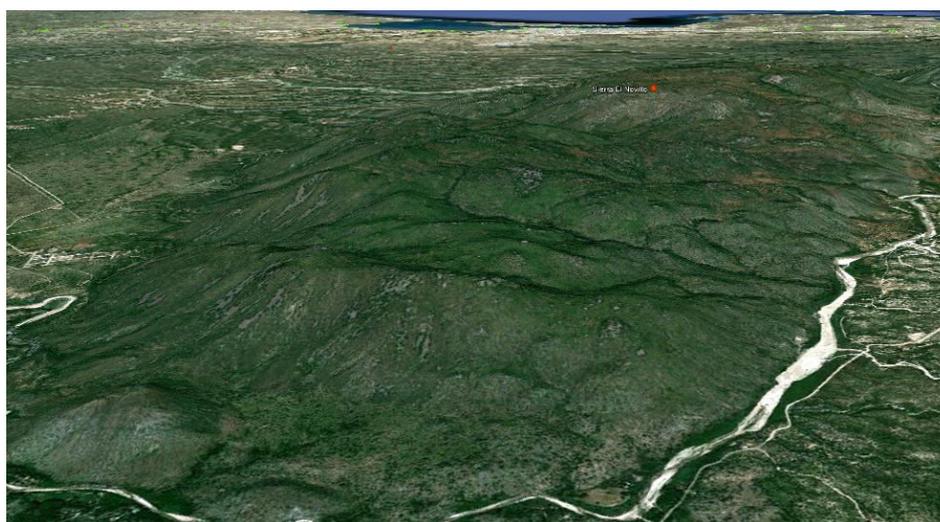


Foto 25. Vista con orientación noreste, desde la parte alta de la cuenca El Carrizal, en la Sierra El Novillo, al fondo se observa la Ensenada de La Paz

Fuente: Elaboración propia

