



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Caracterización y evaluación de
los escurrimientos que
desembocan al Golfo de
California**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniera Civil

P R E S E N T A

Vanessa Barradas Solorio

DIRECTOR DE TESIS

Dr. José Luis Aragón Hernández



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022



RESUMEN

El golfo de California es un cuerpo marino de vital importancia ambiental y turística para México, cuyo estado es resultado de las actividades antropogénicas realizadas en las cuencas cuyos afluentes recibe. Al ser una zona donde interactúan diversidad de subsistemas entre sí –económicos, sociales y ambientales- es necesario poseer una visión holística de la región que permita abordar las problemáticas de manera eficiente. Por ello la necesidad de aplicar el enfoque *de la fuente al mar*, paradigma desarrollado por Granit J. (2017) quién “reconoce la necesidad de manejar el desarrollo sustentable de una manera integrada balanceando las complejidad de las dimensiones económicas, sociales y ambientales”.

La aplicación de este paradigma se realiza mediante la integración de seis pasos: *caracterización, participación, diagnóstico, diseño, acción y adaptación*; siendo la etapa de *diseño, consistente en proponer una teoría de cambio para lograr la gestión sustentable y sostenible de los recursos*, el alcance del presente trabajo. Las primeras cuatro etapas, recopilan información disponible sobre las esferas que involucran el desarrollo sostenible: sociedad, ambiente y economía. Estos temas se abordan mediante la evaluación del caudal clave con relación al caudal ecológico y la exposición de la evolución de la dinámica poblacional en las cuencas que descargan al golfo de California, aspectos climatológicos, topográficos, orográficos, cambio de uso de suelo de acuerdo a los trabajos realizados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en 2001, 2005, 2009, 2013 y 2017; y un mapeo general de las actividades económicas que desarrolla su población.

Como resultado se obtuvieron el grado de alteración de las cuencas de acuerdo al caudal clave, el cual en su mayoría señala un nivel *medio a alto*, tendencias de crecimiento de población y usos de suelo –divididos en zonas *agrícola-pecuaria-forestal, ecológica-florística-fisionómica, agua, desprovisto de vegetación y urbanas construidas* - a corto, mediano y largo plazo donde se observa que el ritmo de crecimiento de las zonas urbanas construidas duplica el ritmo de crecimiento poblacional, así como un decremento notable en las zonas *ecológicas-florísticas-fisionómicas*. Finalmente se propone una teoría de cambio que destaca la necesidad de comunicación interdisciplinaria entre los usuarios de los recursos naturales de las cuencas y las instituciones que los gestionan.

En un futuro cercano se espera que el desarrollo de la presente metodología brinde las bases teóricas necesarias para el estudio de las cuencas del golfo de California bajo el caudal clave referente a la calidad del agua y el régimen de lluvias en las cuencas no aforadas. La aplicación de la información recopilada y las



recomendaciones realizadas en el presente forman parte del proyecto interdisciplinario PAPIIT IG100421 *Análisis de las interacciones entre aguas continentales y marinas del golfo de California bajo el enfoque de la fuente al mar como base para su gestión sustentable*, en desarrollo por el Instituto de Ingeniería, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.



ABSTRACT

The Gulf of California is such an important water body for environmental and touristic purposes for México. Its state is result of anthropogenic activities developed over the basins whose rivers discharge in the sea. Due to it is a zone where diversity of subsystems interacts with each -economic, social and environmental- it is a necessity to have a holistic vision of the region. It will allow us to approach the issues in an efficient way. That is the reason why to apply the source to sea approach is essential. The approach, developed by Granit J. (2017) "recognize the need to treat sustainable development in an integrated manner balancing complex economic, social and environmental dimensions."

The application of this approach is done by integrating the following six steps: characterize, engage, diagnose, design, act and adapt. The design step is the scope of this work, and it consists of proposing a theory of change to achieve sustainable management of the natural resources. The first four steps compile available information about the spheres involved in sustainable development: society, environment and economy. These topics are approached by evaluating the relationship of the key flow with the ecological flow and exposing the population dynamics in the basins that discharge to the gulf of California, their climatological, topographic, orographic aspects, land use change according to the works done by INEGI in 2001, 2005, 2009, 2013 and 2017, and a general mapping of the economic activities carried out by its population.

As a result, the basins alteration degree was obtained according to the key flow, which is mostly medium-high level, population grow trends and land uses -divided into agricultural-livestock-forestry, ecological-floristic-physiognomic, water, devoid of vegetation and built urban zones- in the short, medium and long term. There is observed that the built urban zones growing rhythm is the double of the population growing rhythm, as well a notable decrease in ecological-floristic-physiognomic zones. Finally it is proposed a theory of change which highlights the need of interdisciplinary communication between users of natural resources in the basins and institutions that manage them.

In the near future it is expected that this work provides the necessary theoretical basis to study the basins of the Gulf of California under the water quality and rainfall regime in the non-gauged basins perspectives. The application of the information collected and recommendations belongs to the interdisciplinary project PAPIIT IG100421 Analysis of the interactions between continental and marine waters of the Gulf of California under the source-to-sea approach as a basis for its sustainable management, in progress by the Institute of



Engineering, Institute of Marine Sciences and Limnology and the School of Engineering at the National Autonomous University of Mexico.



AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis padres por su apoyo a lo largo de toda esta aventura dentro de la facultad, por sus consejos, su apoyo, comprensión, motivación y presencia. Mamá, gracias por siempre creer en mí, incluso en los momentos donde ni yo misma lo hacía.

A mis hermanos Sheyla y Moisés, gracias por impulsarme continuamente a dar lo mejor de mí, estoy muy orgullosa de ambos y siempre estaré aquí para ustedes.

A todas las personas que estuvieron a mi lado desde que ingresé a la universidad, gracias por las experiencias, el aprendizaje y los recuerdos. Gracias por ayudarme a conocerme mejor y convertirme en mejor persona.

A los profesores de la facultad de ingeniería que compartieron conmigo su conocimiento y experiencia. A mis sinodales Dr. Enrique César Valdez, Ing. Jesús Gallegos Silva, M.I. Cristian González Reyes y M.I. Alejandro Maya Franco, por aceptar ser parte de mi jurado de titulación y brindarme de su tiempo para la revisión de este trabajo. Gracias por representar el ideal profesional al que aspiro.

Al Dr. José Luis Aragón, gracias por confiar en mí y permitirme desarrollar este trabajo. Gracias por abrirme las puertas y apoyarme en el ejercicio de mi vocación.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por arroparme desde mis 15 años hasta mi recepción profesional, por sus maravillosas bibliotecas y por cumplir mi más grande sueño.





Investigación realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM IG100421 “Análisis de las interacciones entre aguas continentales y marinas en el golfo de California bajo el enfoque de la fuente al mar como base para su gestión sustentable”. Agradezco a la DGAPA-UNAM la beca recibida.





ÍNDICE

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	v
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvi
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVOS	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO.....	3
1. ESTADO DEL ARTE.....	5
1.1 ENFOQUE “DE LA FUENTE AL MAR”	5
1.2 TRABAJOS EN EL MUNDO	8
1.2.1 COLABORACIÓN ENTRE EL RÍO DANUBIO Y EL MAR NEGRO.....	8
1.2.2 REGIÓN DEL MAR BÁLTICO	10
1.3 TRABAJOS EN LATINOAMÉRICA	12
1.3.1 GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS Y ÁREA COSTERA EN EL MAR CARIBE	12
1.4 TRABAJOS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA.....	14
1.4.1 RÍO COLORADO, SU DELTA Y ENLACE AL GOLFO DE CALIFORNIA.....	14
2. ZONA DE ESTUDIO: CUENCAS HIDROLÓGICAS QUE DESCARGAN AL GOLFO DE CALIFORNIA	17
2.1 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	17
2.1.1 DELIMITACIÓN POLÍTICA.....	19
2.1.2 CUENCAS, RÍOS Y EMBALSES.....	22
2.1.3 ACUÍFEROS.....	36
2.2 MEDICIÓN DE VARIABLES HIDROLÓGICAS	37
2.2.1 CAUDALES LÍQUIDOS Y SÓLIDOS.....	38
3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA “DE LA FUENTE AL MAR”	41
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA “DE LA FUENTE AL MAR”	42
3.2 CARACTERIZACIÓN GENERAL.....	45
3.2.1 TOPOGRAFÍA Y OROGRAFÍA.....	45



3.3	SITUACIÓN ACTUAL.....	48
3.3.1	ASPECTOS AMBIENTALES.....	48
3.3.2	ASPECTOS SOCIALES	58
3.3.3	ASPECTOS ECONÓMICOS.....	65
3.3.4	USOS DEL AGUA.....	71
3.4	EVALUACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES	74
3.4.1	CAUDALES LÍQUIDOS	74
3.4.2	CAUDALES SÓLIDOS	84
3.4.3	CAUDAL ECOLÓGICO.....	88
3.5	CARACTERIZACIÓN INTEGRAL.....	93
3.6	ESCENARIOS FUTUROS.....	96
3.6.1	TENDENCIAS ACTUALES	96
3.6.2	ACCIONES SOBRE LOS SUBSISTEMAS INVOLUCRADOS: PRONÓSTICO	124
3.6.3	PROPUESTAS DE GESTIÓN SUSTENTABLE Y RESILIENTE.....	129
4.	CONCLUSIONES.....	133
5.	REFERENCIAS	135
6.	ANEXOS.....	141
6.1	CLASIFICACIÓN DE SUELOS	141
6.2	VALIDACIÓN DE CAUDAL MEDIO ANUAL	144
6.3	ESTACIONES HIDROMÉTRICAS	145
6.4	DISPONIBILIDAD DE ACUÍFEROS	147
6.5	CAUDALES LÍQUIDOS MEDIOS ANUALES	150
6.6	VALIDACIÓN DE VOLUMEN ANUAL DE SEDIMENTOS	152
6.7	VOLUMEN ANUAL DE SEDIMENTOS	153
6.8	RÉGIMEN HIDROLÓGICO Y CAUDAL ECOLÓGICO.....	154
6.9	GRÁFICAS DE CORRELACIÓN.....	156



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Interacción entre subsistemas	6
Ilustración 2. Pilares de la fuente al mar.....	7
Ilustración 3. Teoría del Cambio de la fuente al mar	8
Ilustración 4. Localización del mar Negro.	9
Ilustración 5. Localización del mar Báltico. Fuente: EUSBSR (2021)	11
Ilustración 6. Localización del mar Caribe.....	13
Ilustración 7. Golfo de California.....	18
Ilustración 8. Regiones Hidrológico-Administrativas de la zona de estudio continental. Fuente: INEGI (2021)	18
Ilustración 9. Regiones Hidrológicas en la zona de estudio continental. Fuente: INEGI (2021)	19
Ilustración 10. Estados y municipios dentro de la zona de estudio. Fuente: INEGI (2021)	20
Ilustración 11. Cuencas hidrográficas dentro de la zona de estudio.....	22
Ilustración 12. Presas dentro de la zona de estudio en función de la altura de la cortina. Fuente: CONAGUA (2010)	23
Ilustración 13. Presas dentro de la zona de estudio en función de su capacidad de almacenamiento en hm ³ . Fuente: CONAGUA (2010).....	24
Ilustración 14. Acuíferos dentro de la zona de estudio. Fuente: CONAGUA, 2021.....	37
Ilustración 15. Estaciones hidrométricas en análisis.	38
Ilustración 16. Desarrollo sostenible.....	41
Ilustración 17. Metodología de la fuente al mar	42
Ilustración 18. Provincias fisiográficas en la zona de estudio. Fuente: INEGI (2021)	46
Ilustración 19. Modelo digital del terreno en la zona de estudio. Fuente: INEGI (2021)	47
Ilustración 20. Pendientes medias por cuenca en la zona de estudio en %.....	48
Ilustración 21. Usos de suelo en la zona de estudio. Fuente: INEGI (2021)	50
Ilustración 22. Edafología general en la zona de estudio. Fuente: INEGI (2021)	52
Ilustración 23. Tipo de suelo hidrológico en la zona de estudio Fuente: INEGI (2021).....	53
Ilustración 24. Unidades climatológicas de la zona de estudio. Fuente: INEGI (2021)	54
Ilustración 25. Temperatura media anual zona de estudio en °C. Fuente: INEGI (2021).....	55
Ilustración 26. Precipitación media anual zona de estudio, en mm. Fuente: INEGI (2021)	56
Ilustración 27. Población 2020 por Región Hidrológica. Fuente: INEGI (2021)	65
Ilustración 28. Actividades económicas principales en Baja California Sur	66
Ilustración 29. Actividades económicas principales en Baja California	66
Ilustración 30. Actividades económicas principales en Sonora	67
Ilustración 31. Actividades económicas principales en Chihuahua	68
Ilustración 32. Actividades económicas principales en Sinaloa.....	69
Ilustración 33. Actividades económicas principales en Durango	70
Ilustración 34. Actividades económicas principales en Zacatecas	70
Ilustración 35. Distritos de riego dentro de la zona de estudio. Fuente: CONAGUA (2021)	73



Ilustración 36. Gasto medio diario y gasto medio anual estación 11014.....	75
Ilustración 37. Correlación entre estaciones 10036 y 10120.....	76
Ilustración 38. Evolución temporal de las aportaciones al golfo de California.....	81
Ilustración 39. Evolución temporal de las aportaciones de la RH 9 Sonora sur al golfo de California.....	82
Ilustración 40. Evolución temporal de la RH 8 Sonora norte al golfo de California.....	82
Ilustración 41. Evolución temporal de la RH 10 Sinaloa al golfo de California	83
Ilustración 42. Evolución temporal de la RH 11 Presidio-San Pedro al golfo de California	83
Ilustración 43. Volumen medio anual de sedimentos y volumen diario de sedimentos.....	84
Ilustración 44. Evolución temporal de los sedimentos que desembocan al golfo de California	86
Ilustración 45. Evolución temporal de los usos de suelo	97
Ilustración 46. Evolución temporal de las zonas E-F-F	98
Ilustración 47. Evolución temporal de pastizales y manglares.....	99
Ilustración 48. Evolución temporal de bosques y selvas.....	99
Ilustración 49. Evolución temporal de las zonas urbanas construidas.....	100
Ilustración 50. Evolución temporal y tasa de crecimiento de la población	101
Ilustración 51. Correlación entre población- zonas urbanas (izquierda) y zonas A-P-F (derecha)	102
Ilustración 52. Evolución temporal de la superficie de los distritos de riego.....	103
Ilustración 53. Evolución temporal del consumo de agua total de los distritos de riego.....	104
Ilustración 54. Comparación entre el consumo superficial (eje izq.) y subterráneo (eje. der.) de los distritos de riego.....	104
Ilustración 55. Tendencia temporal de la estación 09063	105
Ilustración 56. Tendencia temporal de la estación 09002	106
Ilustración 57. Tendencia temporal de la estación 09017	106
Ilustración 58. Tendencia temporal de la estación 08025	106
Ilustración 59. Tendencia temporal de la estación 08018	107
Ilustración 60. Tendencia temporal de la estación 10085	107
Ilustración 61. Tendencia temporal de la estación 10120	107
Ilustración 62. Tendencia temporal de la estación 10031	108
Ilustración 63. Tendencia temporal de la estación 11016	108
Ilustración 64. Tendencia temporal de la estación 11058	108
Ilustración 65. Tendencia temporal de la estación 09089	109
Ilustración 66. Tendencia temporal de la estación 10040	109
Ilustración 67. Tendencia temporal de la estación 10083	110
Ilustración 68. Tendencia temporal de la estación 10086	111
Ilustración 69. Tendencia temporal de la estación 10070	111
Ilustración 70. Tendencia temporal de la estación 10065	111
Ilustración 71. Tendencia temporal de la estación 09040	112
Ilustración 72. Tendencia temporal de la estación 10091	112
Ilustración 73. Tendencia temporal de la estación 09028	113
Ilustración 74. Tendencia temporal de la estación 09031	113
Ilustración 75. Tendencia temporal de la estación 11071	113
Ilustración 76. Tendencia temporal de la estación 10056	114



Ilustración 77. Tendencia temporal de la estación 10023	114
Ilustración 78. Tendencia temporal de la estación 10022	114
Ilustración 79. Tendencia temporal de la estación 10061	115
Ilustración 80. Tendencia temporal de la estación 09022	115
Ilustración 81. Tendencia temporal de la aportación anual de la RH 9 al golfo de California	116
Ilustración 82. Tendencia temporal de la aportación anual de la RH 8 al golfo de California	116
Ilustración 83. Tendencia temporal de la aportación anual de la RH 10 al golfo de California	116
Ilustración 84. Tendencia temporal de la aportación anual de la RH 11 al golfo de California	117
Ilustración 85. Tendencia temporal de la aportación anual total al golfo de California.....	117
Ilustración 86. Tendencia temporal del sedimento en la estación 09063.....	118
Ilustración 87. Tendencia temporal del sedimento en la estación 09089.....	118
Ilustración 88. Tendencia temporal del sedimento en la estación 08018.....	119
Ilustración 89. Tendencia temporal del sedimento en la estación 10031.....	119
Ilustración 90. Tendencia temporal del sedimento en la estación 10012.....	119
Ilustración 91. Tendencia temporal del sedimento en la estación 10040.....	120
Ilustración 92. Tendencia temporal del sedimento en la estación 10070.....	120
Ilustración 93. Tendencia temporal del sedimento en la estación 10065.....	120
Ilustración 94. Tendencia temporal del sedimento en la estación 10083.....	121
Ilustración 95. Tendencia temporal del sedimento en la estación 10016.....	121
Ilustración 96. Tendencia temporal del sedimento en la estación 10014.....	121
Ilustración 97. Tendencia temporal del sedimento en la estación 09017.....	122
Ilustración 98. Tendencia temporal del sedimento de la RH 9	122
Ilustración 99. Tendencia temporal de sedimentos de la RH 8.....	123
Ilustración 100. Tendencia temporal de sedimentos de la RH 10.....	123
Ilustración 101. Tendencia temporal de sedimentos de la RH 11.....	123
Ilustración 102. Tendencia temporal de la aportación total de sedimentos al golfo de California	124
Ilustración 103. Correlación entre caudal y población: río Piaxtla (izquierda) y río Presidio (derecha)	125
Ilustración 104. Pronóstico de crecimiento de población (izquierda) y superficies urbanas (derecha).....	126
Ilustración 105. Pronóstico de crecimiento por uso de suelo	127
Ilustración 106. Teoría del cambio cuencas que desembocan al golfo de California	131



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Municipios dentro de la zona de estudio	21
Tabla 2. Ríos principales en la zona de estudio. Fuente: CONAGUA (2018).....	23
Tabla 3. Presas en la zona de estudio por propósito de obra (1).....	24
Tabla 4. Presas en la zona de estudio por propósito de obra (2).....	25
Tabla 5. Cuencas y subcuencas en la región hidrológica 6 Baja California sureste. Fuente: INEGI (2021).....	25
Tabla 6. Cuencas y subcuencas en la región hidrológica 5 Baja California centro este. Fuente: INEGI (2021)	26
Tabla 7. Cuencas y subcuencas en la región hidrológica 4 Baja California noreste. Fuente: INEGI (2021)	28
Tabla 8. Cuencas y subcuencas en la región hidrológica 7 río Colorado. Fuente: INEGI (2021).....	29
Tabla 9. Cuencas y subcuencas en la región hidrológica 8 Sonora Norte. Fuente: INEGI (2021).....	30
Tabla 10. Cuencas y subcuencas en la región hidrológica 9 Sonora sur. Fuente: INEGI (2021)	31
Tabla 11. Cuencas y subcuencas en la región hidrológica 10 Sinaloa. Fuente: INEGI (2021).....	33
Tabla 12. Cuencas y subcuencas en la región hidrológica 11 Presidio-San Pedro. Fuente: INEGI (2021)	35
Tabla 13. Estaciones hidrométricas en análisis.....	39
Tabla 14. Áreas por uso de suelo general	50
Tabla 15. Tipo de suelo hidrológico. Elaborada con información de García (2020) y Aparicio (1992).....	51
Tabla 16. Áreas de acuerdo a edafología general	52
Tabla 17. Áreas de acuerdo a tipos de suelo hidrológico.....	53
Tabla 18. Población 2020 en la RH 6 Baja California Sureste	59
Tabla 19. Población 2020 en la RH 5 Baja California Centro-Este	59
Tabla 20. Población 2020 en la RH 4 Baja California Noreste	59
Tabla 21. Población 2020 en la RH 7 Río Colorado	60
Tabla 22. Población 2020 en la RH 8 Sonora Norte	61
Tabla 23. Población 2020 en la RH 9 Sonora Sur	62
Tabla 24. Población 2020 en la RH 10 Sinaloa	63
Tabla 25. Población 2020 en la RH 11 Presidio-San Pedro.....	64
Tabla 26. Aportación al PIB nacional por estado.....	71
Tabla 27. Grado de presión hídrico por RHA. Fuente: CONAGUA, 2018.....	72
Tabla 28. Distritos de riego en zona de estudio. Año agrícola 2018-2019.....	72
Tabla 29. Código de colores para datos complementados.	75
Tabla 30. Serie de datos completa de la estación 10120.....	77
Tabla 31. Estaciones hidrométricas que aforan canales	78
Tabla 32. Estaciones hidrométricas que aforan ríos	79
Tabla 33. Caudal total que desemboca al golfo de California por RH	80
Tabla 34. Volumen medio anual de sedimentos.....	85
Tabla 35. Volumen de sedimentos totales que desembocan al golfo de California por RH.....	87
Tabla 36. Cálculo de caudal ecológico, método de Tennant.....	90
Tabla 37. RHN ordenado para la estación 11014.....	91



Tabla 38. Caudal ecológico por estación hidrométrica	92
Tabla 39. Grado de alteración	93
Tabla 40. Grado de alteración por estación hidrométrica	94
Tabla 41. Evolución temporal de superficie y consumo de agua de los distritos de riego	103



INTRODUCCIÓN

La República Mexicana es un país megadiverso en recursos naturales que interactúan dentro de un sistema cuyo objetivo es el equilibrio ecológico y creación de lazos simbióticos entre los agentes involucrados. Dentro de este círculo interactivo se encuentran los seres humanos, quienes a través de la explotación de dichos recursos mantienen actividades económicas y crean urbes. Un ejemplo es la agricultura, sostenida en los pilares del uso de suelo y recursos hídricos; o bien la pesca, que se sostiene en la diversidad marina del lugar.

La sobreexplotación de los recursos puede llevar a la ruptura del equilibrio que existe dentro del sistema ocasionando un desbalance que no es únicamente una consecuencia directa, sino que también lo es de afectaciones derivadas de soluciones puntuales que provocan una reacción en cadena de mayor índole. Tal es el caso del golfo de California, cuerpo marino cuyos recursos naturales, flora y fauna se ven afectados, entre otros, por el incremento de la pesca ilegal y la gestión de los recursos hídricos para consumo humano, caso de los ríos Colorado y Sonora, los cuales debido a actividades humanas como la construcción de presas, dejaron de aportar los volúmenes de agua mínimos al golfo de California.

El golfo de California es conocido por ser uno de los cuerpos de agua con mayor diversidad faunística, sin embargo, gran cantidad de las especies que alberga se encuentran en peligro de extinción debido a la pesca desmesurada. Entre las especies se encuentra la vaquita marina, especie endémica de la parte norte del golfo –alto golfo de California- clasificada en peligro crítico. El ecosistema marino y los cuerpos de agua que desembocan en él, se ven amenazados por la presencia de contaminantes químicos derivados de la minería, pesticidas y plaguicidas tanto prohibidos como permitidos debido a su cercanía a zonas agrícolas importantes como las abastecidas por el Río Colorado, el Río Yaqui y el Río Fuerte (Arias P., 2005).

El primer paso para sanar un cuerpo de este tipo es plantear un paradigma que guíe el desarrollo hacia un nuevo equilibrio dentro de los agentes que interactúan entre sí, siendo el enfoque *de la fuente al mar* aquel que toma en consideración el cuerpo marino y su relación con las actividades terrestres como un todo dentro de un sistema con límites definidos. La situación presente en el golfo de California, también conocido como Mar de Cortés, es consecuencia del estado de alteración de las cuencas que albergan los ríos que descargan al mismo.



El estado de alteración de una cuenca es resultado de la interacción entre sus recursos hídricos –río principal-, recursos naturales y usuarios, quienes modifican el uso de suelo de la cuenca para llevar cabo actividades económicas que permitan la creación de asentamientos humanos que ofrezcan satisfacción alimentaria y de seguridad los cuales evolucionan con el tiempo aumentando la población, acelerando la modificación de los usos del suelo y demandando más recursos de la cuenca que habitan.

A través de la caracterización y diagnóstico del estado de estos recursos, es posible crear un plan de gestión sostenible a futuro que construya, con base en pronósticos, un balance entre la oferta de suelo y agua y la demanda que representan los habitantes, cuyas cadenas de interacciones devuelvan la plenitud del estado del mar de Cortés, esto se puede lograr mediante la aplicación de la metodología *de la fuente al mar*.

JUSTIFICACIÓN

Para comprender el estado actual del golfo de California es necesario comprender la interacción que existe entre el medio ambiente, social y económico, debido a que estas actividades afectan el régimen hidrológico de los ríos que aportan agua al mar, desde su nacimiento hasta su descarga final. Las instituciones dedicadas a estudiar los recursos hídricos alrededor del mundo han creado metodologías para llevar el consumo de estos recursos a la sostenibilidad, una de ellas es la *de la fuente al mar*. Su desarrollo en el presente trabajo explica la correlación que existe entre estos subsistemas a través del análisis de las cuencas que rodean el golfo de California marcando una base teórica para futuros planes de gestión sostenible y resiliente de cuencas.

OBJETIVOS

- o Describir las características principales del entorno social, económico y ambiental dentro de la zona de estudio, y evaluar el estado de las cuencas hidrográficas aforadas, de acuerdo a su nivel de alteración con relación al caudal clave, siguiendo la metodología *de la fuente al mar*.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- o Cuantificar y determinar la tendencia temporal de los caudales medios que descargan al golfo de California.
- o Obtener el grado y tipo de alteración del régimen natural de los caudales con base en el caudal ecológico.
- o Identificar y localizar las actividades que alteran el comportamiento de los caudales principales.



- Determinar y ubicar los impactos ambientales, económicos y/o sociales ocasionados por el cambio de régimen en los caudales prioritarios.

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

El presente trabajo titulado *Caracterización y evaluación de los escurrimientos que desembocan al golfo de California*, está constituido por cuatro capítulos.

El capítulo uno describe el enfoque de *la fuente al mar* considerando los siete pilares que lo definen, así como los cuatro niveles necesarios para construir el esquema general de gestión sustentable de la zona de estudio. Además se muestran casos de aplicación alrededor del mundo, incluyendo Europa y América Latina, donde se menciona un caso específico implementado dentro del cuerpo transfronterizo Río Colorado en el mar de Cortés.

En el capítulo dos se delimita la zona de estudio terrestre haciendo énfasis en tres elementos definidos por la CONAGUA: regiones hidrológico-administrativas, regiones hidrológicas y las llamadas “grandes cuencas” del país. Dentro de ellas se enumeran las subcuencas que las conforman de acuerdo al Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas, SIATL (INEGI, 2021), sistema actualmente en auge que contiene la información de las redes hidrográficas de todo el país. Finalmente se menciona la base de datos a partir de la cual se obtiene la información sobre los caudales y la selección de estaciones para su análisis.

El capítulo tres constituye el más extenso de todos y en él se aborda la aplicación de la metodología de *la fuente al mar*. Se trabaja sobre la recopilación de información de tres aspectos básicos dentro de la cuenca: ambiente, sociedad y economía. El ambiente incluye información sobre climatología, flora, fauna y principalmente usos de suelo y su evolución temporal. Se expone la población actual en la zona de estudio por región hidrológica y su crecimiento en toda la zona de estudio así como sus principales ciudades de acuerdo al Sistema Urbano Nacional, información contenida en el aspecto social. Se da un breve panorama de la situación económica de los estados que integran la zona de estudio y se enfoca en la evolución de los distritos de riego, indicador de la actividad agrícola dentro de la zona y usuario mayoritario de agua aparte de la industria minera de la cual no se entra en detalle. Dentro del mismo capítulo se recopila la información de los registros históricos de caudales medios de 28 estaciones hidrométricas seleccionadas y se analiza el



caudal ecológico de las corrientes principales. A partir de la información recopilada se proponen acciones sobre los subsistemas que integren propuestas de gestión sostenible para la zona de estudio.

En el capítulo cuatro se exponen las conclusiones respecto a la información recopilada dentro del trabajo y se abre la oportunidad de realizar trabajos más detallados en el futuro dentro de la misma zona.



1. ESTADO DEL ARTE

Hoy en día es una necesidad la gestión sostenible de las cuencas hidrológicas, es por ello a lo largo de los años se han empleado técnicas para preservar los recursos de las mismas, comenzando con conceptos de sustentabilidad, a partir del cual se han desarrollado trabajos hasta llegar al concepto *de la fuente al mar*.

El objetivo del presente capítulo es proporcionar al lector una breve semblanza del estado de las investigaciones previas realizadas bajo el concepto *Source to Sea* (S2S), en español *de la fuente al mar*, propuesto por el Instituto Internacional del Agua de Estocolmo (SIWI, por sus siglas en inglés) con el objetivo de incorporar un enfoque holístico a los proyectos de gestión y gobernanza de los recursos hídricos. El enfoque *de la fuente al mar* ha sido incorporado también a la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible¹, particularmente para el alcance de los objetivos 6 Agua limpia y saneamiento, y 14 Vida submarina.

1.1 ENFOQUE “DE LA FUENTE AL MAR”

Desde la creación de los primeros asentamientos humanos, los habitantes se han visto en la necesidad de hacer uso de los recursos naturales de su alrededor y de modificar el ambiente con varios fines; de los recursos involucrados uno de los más importantes es el agua ya que, aparte de su consumo directo, permite el desarrollo agrícola, pesquero y, en años más recientes, la generación de energía eléctrica. Sin embargo, el crecimiento de estas actividades ha causado la alteración del medio ambiente afectando la biota local, el régimen de ríos, mares, e incluso, la salud humana de zonas que no necesariamente son el beneficiario de dichos servicios.

Programas y proyectos cuyo objetivo es mitigar o dar solución a este tipo de problemas ambientales han sido aplicados sin obtener los resultados deseados, debido a la presencia de un paradigma que no considera la interdependencia entre subsistemas antropológicos y ambientales para el diseño de los mismos. A partir de esta premisa nace el concepto *de la fuente al mar*, que propone considerar que las problemáticas no son

¹ Documento creado el 25 de septiembre de 2015 en la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible en Nueva York, conformado por 17 objetivos cuyo objetivo final es reducir la pobreza, la desigualdad y el cambio climático. Actualmente ha sido adoptado por 193 países miembros de las Naciones Unidas, incluyendo a México (ONU México, 2021).

locales, sino que son parte de un sistema mayor, parte de un todo en constante movimiento y adaptación; para evitar que se implementen acciones sobre un solo punto del sistema que beneficien a un sector específico comprometiendo el bienestar de sectores aguas arriba y aguas abajo del cuerpo de agua intervenido.

La metodología considera que la gestión de los recursos debe incluir los vínculos entre la superficie drenada por un sistema fluvial –la cuenca hidrológica-, su interacción con los acuíferos, y con los sistemas aguas abajo: deltas, estuarios, líneas de costa, aguas interiores y plataforma continental cuyas alteraciones sean claramente visibles (Ilustración 1).



Ilustración 1. Interacción entre subsistemas

La metodología *De la fuente al mar*, se fundamenta en siete pilares (Ilustración 2), que le permiten ser aplicado en cualquier sistema que requiera de una gestión sostenible de sus recursos: se puede incorporar a proyectos e instituciones ya existentes, prioriza los caudales donde se requiere mayor nivel de intervención, invita a la participación de todos los subsistemas que intervienen en el sistema desde la gestión estatal de los recursos, hasta los usuarios como trabajadores agrícolas. Las características de este enfoque se derivan y responden a un contexto local garantizando que las acciones no impacten negativamente otro subsistema y permite detectar a tiempo progresos o factores que impidan la obtención de los objetivos, de forma que las estrategias pueden corregir su curso efectivamente.



Ilustración 2. Pilares de la fuente al mar

El producto final del enfoque propuesto, es el diseño de una Teoría del Cambio² con cuatro niveles u órdenes, de resultados que permanecen en constante interacción, que son (Ilustración 3).

- 1° Orden Condiciones Iniciales:** Establecer las condiciones necesarias dentro de los subsistemas principales para implementar las prácticas necesarias para alcanzar el objetivo final (la sustentabilidad y resiliencia).
- 2° Orden Implementación:** Llevar a cabo los proyectos y programas dentro de las instituciones y sistemas involucrados imprescindibles para lograr una mejora en la problemática identificada.
- 3° Orden Cambio de Estado:** Alcance de los objetivos ambientales, sociales y económicos.
- 4° Orden Sustentabilidad:** Desarrollo sustentable y resiliente del sistema. Beneficios de los subsistemas derivados del cambio de prácticas y/o gestión de los recursos.

² Metodología que permite representar gráficamente el proceso causal de las condiciones que se deben presentar necesariamente para alcanzar uno o varios objetivos a largo plazo. (Taplin & Clark, 2012)

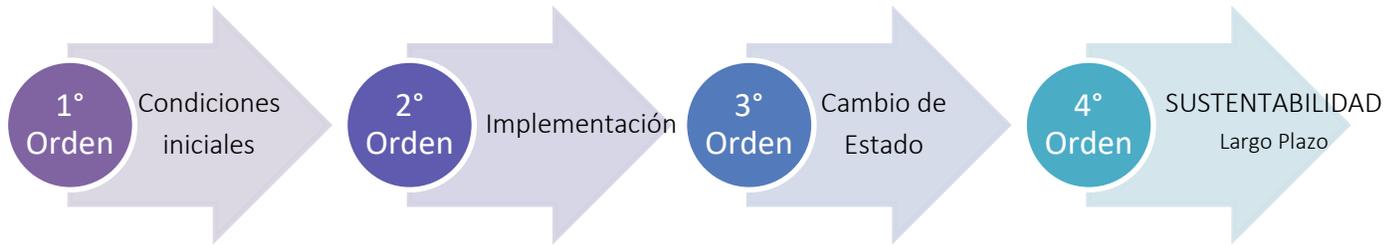


Ilustración 3. Teoría del Cambio de la fuente al mar

1.2 TRABAJOS EN EL MUNDO

El concepto *de la fuente al mar*, con su esquema de teoría de cambio, se ha aplicado en casos de estudio alrededor del mundo que buscan la sustentabilidad de sus recursos hídricos manteniendo un equilibrio no sólo con los ecosistemas, sino también con el medio social y económico. A continuación se presenta un breve resumen de cuatro casos: colaboración entre el Río Danubio y el mar Negro (Liss L. & Zavadsky, 2017) y la región del mar Báltico (Nomman & Granit, 2017) en Europa con distintos caudales clave –nutrientes y basura marina-. En el caso de Latinoamérica, la gestión integral de cuencas y área costera en el mar Caribe (Tengberg, 2017), donde existe la falta de integración transnacional; y finalmente, el caso del Río Colorado, su delta y enlace al golfo de California (Liss L. & Carvajal, The colorado river, its delta and links to the gulf of California, 2017) que, aparte de ser un caso sobre el impacto de la gestión territorial en las aguas compartidas, es también un punto de partida para el desarrollo del presente trabajo.

1.2.1 COLABORACIÓN ENTRE EL RÍO DANUBIO Y EL MAR NEGRO

El Mar negro es un cuerpo de agua con 436,402 km² de superficie ubicado entre Europa Oriental y Asia Occidental (Ilustración 4), del que el Río Danubio que recorre los países de Europa centro-oriental es el principal afluente, cuyas prácticas y sobre-explotación pesquera dieron paso a varios desastres ambientales. Tal fue el caso en 1990, que la zona noroeste fue catalogada como una zona muerta debido a que sus niveles de oxígeno eran insuficientes para soportar la vida, la pérdida de 20 especies de peces en un periodo de

veinte años, y la eutrofización causada por actividades agrícolas y desechos tanto municipales como industriales no solo en el mar, sino también en el Río Danubio reduciendo la calidad del agua para consumo humano (Liss & Zavadsky, 2017), por ejemplificar algunos.



Ilustración 4. Localización del mar Negro.

Fuente: Ahlenius, H. (2021)

La magnitud de la superficie del Mar Negro representa también un reto muy grande para su gestión ya que se trata de aguas transnacionales que incluyen a Rumanía, Georgia, Ucrania, Rusia, Bulgaria y Turquía, países con marcadas diferencias geopolíticas. Para establecer las **condiciones iniciales** de la gestión relativas al enfoque *de la fuente al mar*, en 1994 fueron creados dos comités pioneros en la protección y recuperación de estos recursos: La Convención de Bucarest y la Convención del Río Danubio. Con el apoyo de estas organizaciones y la inversión de *Global Environment Facility* (GEF), se estableció un programa de acción estratégico entre los países participantes que incluye la gestión integral de las zonas costeras y monitoreo de prácticas económicas en las zonas involucradas, orientado a la preservación de la biodiversidad en el mar Negro, reducción de la eutrofización y aseguramiento de la calidad del agua para consumo humano en los afluentes y para uso recreativo, y vida marina en la costa. Adicionalmente, la integración de más países a la Unión Europea ha colaborado con el cumplimiento de estos objetivos a través de la legislación en materia hídrica.



La **implementación** de las estrategias no fueron conformadas únicamente por políticas públicas, sino también con la participación de los usuarios finales de los recursos hídricos en programas no gubernamentales, que a la par de una continua investigación en la región del Mar Negro, presentaron después de casi 20 años de esfuerzos conjuntos la reducción de contaminantes –agricultura y exceso de nutrientes- en las cuencas y costas de ocho países, a través de la rehabilitación de cuencas y humedales.

El **cambio de estado** en las condiciones de los cuerpos de agua reportados en 2007 incluye la reducción de niveles de nitrógeno e incremento del oxígeno disuelto en el agua, lo que ha ocasionado que la zona norte del Mar Negro, catalogada como “incapaz de soportar la vida”, haya sido revocada. Además de que se ha duplicado la diversidad de indicadores de especies bentónicas, reducido la presencia de especies invasoras y los tributarios superiores del Río Danubio ya no se consideran en riesgo.

La mejoría en la calidad del agua y en la gestión de cuencas y zonas costeras en el Río Danubio y el mar Negro ha sido notoria, fruto de un reconocimiento temprano de los caudales clave e implementación de estrategias y planes de acuerdo al enfoque *de la fuente al mar*, que ha encaminado su condición hacia la **sustentabilidad**.

1.2.2 REGIÓN DEL MAR BÁLTICO

La historia ambiental del mar Báltico engloba desde derrames de petróleo hasta nubes radioactivas debido al gran accidente de Chernóbil, que se han solventado gracias a la cooperación transnacional de los países aportadores; actualmente se enfrenta al reto de la basura marina y la eutrofización. Ubicado al norte de Europa, en la parte interior de la península escandinava con una extensión de 432,800 km² donde incluye al golfo de Finlandia y al golfo de Lituania (Ilustración 5), experimenta un flujo de basura no degradable, plásticos en su mayoría, provenientes de las industrias pesqueras y desechos urbanos.

El incremento de los desechos marinos que incluyen materiales como concreto, arena etc., es también consecuencia del auge de los proyectos de infraestructura cercanos a las costas, tales como campos de energía eólica, puentes y conductos de gas, que también alteran los hábitats del ecosistema marino, sus condiciones hidrográficas, e incluso, las áreas de desove para peces.

Al ser un cuerpo de agua transnacional, establecer **las condiciones iniciales** para la implementación de un enfoque *de la fuente al mar*, requiere de un gran trabajo en la creación de comisiones de gobernanza. En el caso del mar Báltico destacan la Comisión para la Protección del Ambiente Marino en el Báltico (HELCOM),

conformada por Dinamarca, Estonia, Finlandia, Alemania, Letonia, Lituania, Polonia, Rusia y la Unión Europea, quien coopera también con la creación de la Estrategia por la Región del Mar Báltico (EUSBSR). Ambos cuerpos creadores de políticas ambientales y su respectiva coordinación y supervisión.



Ilustración 5. Localización del mar Báltico. Fuente: EUSBSR (2021)

Para lograr el cambio en el ambiente marino perteneciente al mar Báltico, la **implementación** de políticas debe realizarse en tres niveles bajo las recomendaciones de HELCOM. En primer lugar se debe concientizar a los usuarios de los afluentes de las cuencas de aportación y a la ciudadanía sobre la eutrofización, los desechos marinos y su prevención, con un enfoque principal hacia los beneficios socio-económicos de su erradicación. En segundo lugar, identificar los proyectos y programas locales necesarios para reducir las fuentes antropogénicas de fósforo, nitrógeno y desechos plásticos. En tercer lugar, la elección de la combinación óptima de medidas que sea también monetariamente efectivas a lo largo de los países tributarios al mar Báltico.

Los resultados reflejados en un **cambio de estado** en el sistema enlistan que sustancias peligrosas han sido reducidas significativamente desde su origen. Por otro lado, los contaminantes provenientes de la agricultura



y generación de energía han sido complicados de reducir debido al proceso que significa implementar un cambio de prácticas hacia la producción energética sustentable y prácticas agrícolas ecológicas.

La **sustentabilidad** del sistema y su trayecto hacia la adopción de las economías verde y azul³, es un interés principal para HELCOM, ESUSBSR y actores relacionados, que lo consideran como una oportunidad de materializar los objetivos de la Agenda 2030.

1.3 TRABAJOS EN LATINOAMÉRICA

1.3.1 GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS Y ÁREA COSTERA EN EL MAR CARIBE

El enfoque *de la fuente al mar* trabaja como caso de estudio en América Latina la gestión de los recursos hídricos por parte de las Islas del mar Caribe –ubicado al este de América Central y al norte de Venezuela y Colombia-, que se divide dentro de tres grandes rubros (Tengberg, 2017):

- I. Islas agrícolas con alta densidad poblacional y desarrollo institucional principalmente en el sector público, que incluye a Cuba, Haití, Jamaica y República Dominicana.
- II. Islas turísticas con recursos hídricos vulnerables y desarrollo institucional hacia el sector privado, que es el caso de las Bahamas y Barbados.
- III. Islas con baja densidad poblacional y desarrollo institucional limitado, rubro donde se agrupan: Antigua y Barbuda, Dominica, Granada, San Cristóbal y Nieves, Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas, y Trinidad y Tobago.

Las problemáticas identificadas dentro de estos tres grupos son el arrastre de sedimentos y exceso de nutrientes en los cuerpos de agua debido a la urbanización y malas prácticas agrícolas así como la presencia de desechos marinos, que conducen hacia la pérdida de biodiversidad, degradación de zonas costeras, calidad y disponibilidad del agua tanto superficial como subterránea. La erradicación de dichas condiciones no resulta sencilla debido a la falta de políticas ambientales, integración en la gestión de costas, cuencas y actuación conjunta entre las islas aportadoras al Mar Caribe (Ilustración 6).

³ Modelo que propone el funcionamiento de las actividades económicas sin degradar el ambiente (Piedra Miranda & Rosales Ramírez, 2019).

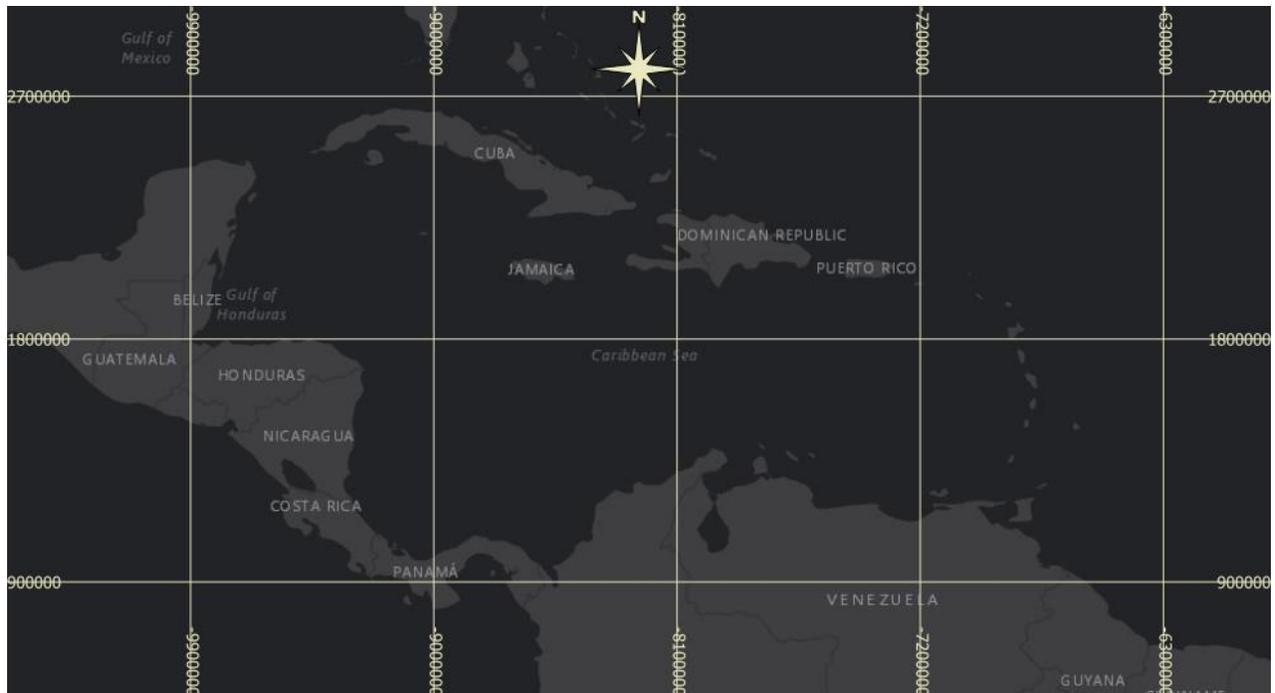


Ilustración 6. Localización del mar Caribe

Para subsanar las brechas entre las instituciones, como **condición inicial** se han implementado organizaciones regionales que permitan homogeneizar las acciones, tal como la Comunidad del Caribe (CARICOM) y la Agencia de Salud Pública del Caribe (CARPHA), quienes han participado en el desarrollo de la Convención para la Protección y Desarrollo del Ambiente Marino en la Región del Caribe, también conocida como la Convención de Cartagena, que ha impulsado junto con otras organizaciones internacionales, el proyecto de Gestión Integral de Cuencas y Zonas Costeras en las Islas del Caribe (IWCAM) para el periodo 2006-2011.

A partir del año 2011 la necesidad de un enfoque holístico se hizo presente y dio paso al proyecto de Gestión Integral del Agua, Tierra y Ecosistemas (IWEco), cuyo objetivo es la implementación de programas para la gestión sustentable de la tierra, bosques, uso eficiente del agua, zonas costeras y servicios ecosistémicos⁴.

Tanto que la **implementación** de los proyectos IWCAM e IWEco representan un progreso en la gestión sustentable de los recursos naturales, siguen enfrentando barreras debido a la falta de adhesión entre instituciones y gobiernos; sin embargo, se han logrado poner en práctica nuevas políticas de gestión de

⁴ Beneficios que el ser humano obtiene de los ecosistemas: provisión de agua y alimentos, control de inundaciones, zonas recreativas, ciclos de nutrientes que mantienen las condiciones de la vida en la Tierra, etc. (Silvestri & Kershaw, 2010)



cuencas y zonas costeras en las Bahamas, República Dominicana y Santa Lucía que ha llevado a la reducción del estrés sobre sus recursos. Por otro lado, políticas de gestión sobre uso de suelo y tratamiento de la calidad del agua se han aplicado en Jamaica, San Cristóbal y Nieves, representando un **cambio de estado** en el comportamiento del sistema de aportación hacia el mar Caribe y finalmente hacia la sustentabilidad y resiliencia a través del fortalecimiento de vínculos en el largo plazo entre instituciones regionales e internacionales.

1.4 TRABAJOS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA

1.4.1 RÍO COLORADO, SU DELTA Y ENLACE AL GOLFO DE CALIFORNIA

El Río Colorado es un cuerpo de agua dulce que fluye a través de siete estados en los Estados Unidos y desemboca al golfo de California. Al ser un cuerpo de agua transfronterizo compartido entre Estados Unidos y México, ha sufrido transformaciones a través de los años derivados de diversas acciones políticas, entre las cuales destaca el *Tratado del Río Colorado* en 1992 y el *Tratado de Aguas México-Estados Unidos* firmado por ambos países dos años más tarde. Ambos documentos abordan la distribución del caudal del Río Colorado únicamente en función de usos antropogénicos que incluye consumo humano y agricultura, derivando en la construcción de un gran número de presas (Liss L. & Carvajal, *The colorado river, its delta and links to the gulf of California*, 2017).

Como consecuencia de considerar únicamente las necesidades humanas para la asignación del recurso en los Estados Unidos, la abundancia del recurso se redujo; del volumen de 18,500 Mm³ que desembocaba al golfo de California, ahora sólo 1,850 Mm³ cruzan la frontera en condiciones de salinidad excesiva, que hace su uso para la agricultura y consumo imposible, mientras que la falta de ingreso de caudal al Mar de Cortés ha alterado los patrones de circulación de sedimentos, pérdida de zonas de desove, entre otras catástrofes ambientales.

El camino hacia la mejora del estado del Río Colorado y su conexión con el golfo de California requiere de **condiciones iniciales** que incluyan tanto el trabajo colaborativo entre los países interesados como entre los estados y municipios afectados directamente. Para ello se firmó la *Minuta 319* en 2012, cuyo propósito incluye la implementación de proyectos y medidas en cooperación entre los dos países durante un periodo



de 5 años, entre los beneficios, se realizaría inversión con capital binacional para el desarrollo de la agricultura mexicana y la desalinización del agua. A nivel regional, se creó la asociación entre la Alianza para la Sustentabilidad del Noreste Mexicano (ALCOSTA) y la Coalición por la Sustentabilidad del golfo de California.

En general, la **implementación** de las acciones y proyectos compartidos persiguen siete objetivos que permiten la regeneración del sistema: mejorar la gestión de las áreas marinas y costeras protegidas; ampliar las zonas protegidas en el golfo de California; desarrollar un plan de manejo y protección de humedales en la costa; reducir la pesca de arrastre de camarones e implementar tecnología para el desarrollo de la industria pesquera; desarrollar un plan regional para regular el uso de la tierra, costas y agua; reorientar el turismo hacia uno de menor impacto, ambientalmente sustentable y crear una visión regional común para el desarrollo e incremento de las capacidades de los involucrados para la gestión regional de sus recursos.

El cambio de comportamiento en el sistema del Río Colorado se ha visto reflejado en la reducción de la salinidad del recurso en ambos lados de la frontera, a partir de la construcción de plantas desalinizadoras y programas sobre el uso eficiente de la tierra, que ha beneficiado además a los trabajadores a través de nuevos sistemas de irrigación y gestión de recursos, control de erosión y programas de operación en las presas.

El reconocimiento de la responsabilidad compartida entre México y Estados Unidos es la clave principal hacia la **sustentabilidad** del sistema, mediante la firma de tratados y realización de proyectos en conjunto que han tenido impacto en la reducción de la salinidad del agua; sin embargo, se presenta un área de oportunidad en la regulación de la pesca de arrastre ilegal.





2. ZONA DE ESTUDIO: CUENCAS HIDROLÓGICAS QUE DESCARGAN AL GOLFO DE CALIFORNIA

La zona de estudio se refiere a los límites del sistema en el que se aplicará la metodología *de la fuente al mar*. Este sistema se define por la zona donde se encuentra el cuerpo de agua en estudio y las actividades que influyen en su degradación. En el presente capítulo se presentan las cuencas hidrológicas que desembocan hacia el golfo de California.

2.1 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El golfo de California (Ilustración 7), también conocido como mar de Cortés, es un cuerpo de agua salada con 222,761.11 km² de extensión, ubicado al norte de la República Mexicana. La delimitación de la extensión del mar varía de acuerdo con distintos autores. La Organización Hidrográfica Internacional establece que el límite sur se encuentra en la barra de Piaxtla, Sinaloa (International Hydrographic Organization, 1953); mientras que investigadores del Instituto Politécnico Nacional y la Universidad de Sonora, lo limitan al sur con Cabo Corrientes en Jalisco (Espinosa C. & Valdez H., 2007).

En el proyecto en curso se ha establecido junto con los colaboradores que el cuerpo marino colinda al este con la península de Baja California, al oeste con los estados Sonora, Sinaloa y Nayarit; y hacia el sur con una línea imaginaria que une Los Cabos en el extremo sur de Baja California con Punta Mita Nayarit, cuyas coordenadas son 20°46'37.41991"N 111°31'26.17984"O.



2. ZONA DE ESTUDIO: CUENCAS HIDROLÓGICAS QUE DESCARGAN AL GOLFO DE CALIFORNIA



Ilustración 7. Golfo de California

La zona de estudio continental está conformada por las cuencas hidrográficas cuyo sistema fluvial representa una aportación significativa al golfo de California, las cuales abarcan 390,005.206 km² de superficie y pertenece a las regiones hidrológico-administrativas: I Península de Baja California, II Noroeste y III Pacífico Norte (Ilustración 8), con un alto grado de presión sobre sus recursos y uso mayoritario dirigido hacia la industria agrícola con 81%, 90% y 93% respectivamente (CONAGUA, 2018).

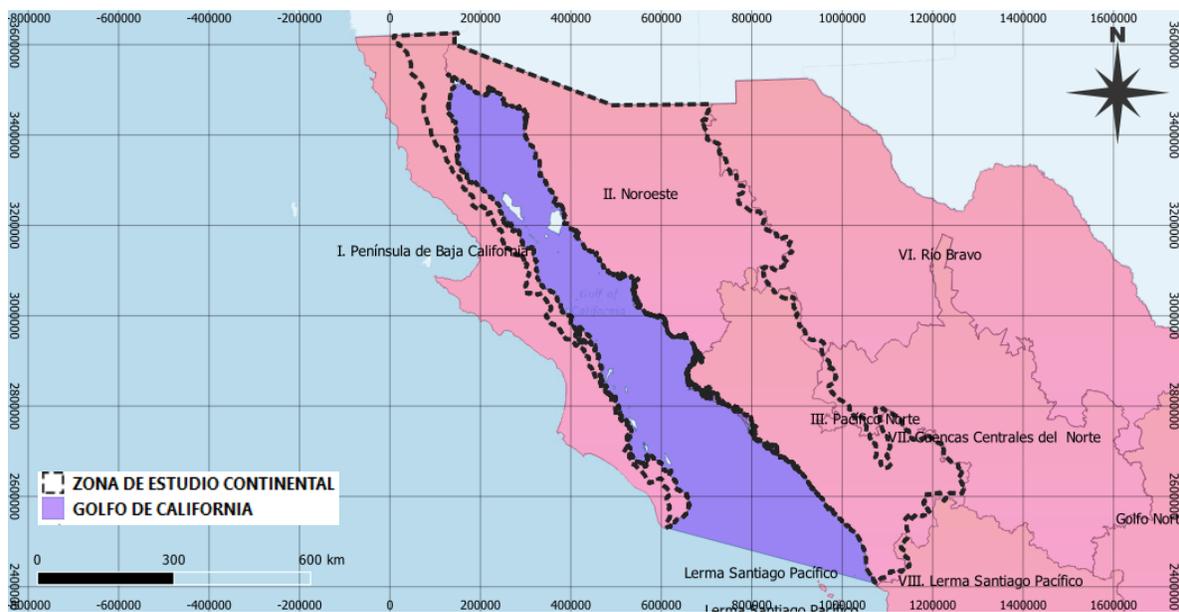


Ilustración 8. Regiones Hidrológico-Administrativas de la zona de estudio continental. Fuente: INEGI (2021)

Con el objetivo de realizar una administración eficiente del agua en el país, CONAGUA ha realizado la delimitación del territorio mexicano en unidades básicas para la gestión de los recursos hídricos dando paso a 37 regiones hidrológicas; de las cuales, en la zona de estudio se encuentra 8 de ellas (Ilustración 9): RH6 Baja California Sureste, RH 5 Baja California Centro Este, RH 4 Baja California Noroeste, RH 7 Río Colorado, RH 8 Sonora Norte, RH 9 Sonora Sur, RH 10 Sinaloa y RH 11 Presidio-San Pedro.



Ilustración 9. Regiones Hidrológicas en la zona de estudio continental. Fuente: INEGI (2021)

2.1.1 DELIMITACIÓN POLÍTICA

La zona continental abarca ocho estados del Noroeste de la República Mexicana (Ilustración 7 e Ilustración 10) incluyendo la totalidad de los 72 municipios de Sonora y 18 municipios de Sinaloa que representan el 46 % y 15 % del área de estudio respectivamente. Las cuencas hidrográficas que desembocan al golfo de California representan el 3.61 % del área en Baja California Sur. Baja California aporta 6.94 % del área total con la presencia de los municipios Ensenada y Mexicali. A comparación de los estados anteriores, Chihuahua, Durango y Zacatecas no se encuentran en la línea de costa; sin embargo, las cuencas de análisis ubicadas en las regiones Sonora Sur, Sinaloa y Presidio-San Pedro se extienden hacia estos estados. Los municipios de Chihuahua, Durango y Zacatecas representan el 14.14 %, 13.39 % y 0.66 % del área de análisis



2. ZONA DE ESTUDIO: CUENCAS HIDROLÓGICAS QUE DESCARGAN AL GOLFO DE CALIFORNIA

respectivamente. Hacia el límite oeste del golfo de California se ubica Nayarit, cuyos municipios representan en conjunto 0.35 % de la zona total (Tabla 1).



Ilustración 10. Estados y municipios dentro de la zona de estudio. Fuente: INEGI (2021)



2. ZONA DE ESTUDIO: CUENCAS HIDROLÓGICAS QUE DESCARGAN AL GOLFO DE CALIFORNIA

Tabla 1. Municipios dentro de la zona de estudio

ESTADO	MUNICIPIO	ESTADO	MUNICIPIO	ESTADO	MUNICIPIO
Baja California Sur	Comondú	Sonora	Onavas	Chihuahua	Madera
	La Paz		Opodepe		Maguarichi
	Loreto		Oquitoa		Matachí
	Los Cabos		Pitiquito		Morelos
Mulegé	Puerto Peñasco		Moris		
Baja California	Ensenada		Quiriego		Ocampo
	Mexicali		Rayón		Temósachic
Sonora	Tecate		Rosario		Urique
	Aconchi		Sahuaripa		Uruachi
	Agua Prieta		San Felipe de Jesús		Balleza
	Alamos	San Ignacio Río Muerto	Carichí		
	Altar	San Javier	Cuauhtémoc		
	Arivechi	San Luis Río Colorado	Janos		
	Arizpe	San Miguel de Horcasitas	Namiquipa		
	Atil	San Pedro de la Cueva	San Francisco de Borja		
	Bacadéhuachi	Santa Ana	Casas Grandes		
	Bacanora	Santa Cruz	Canatlán		
	Bacerac	Sáric	Canelas		
	Bacoachi	Soyopa	Durango		
	Bácum	Suaqui Grande	Guadalupe Victoria		
	Banámichi	Tepache	Mezquital		
	Baviácora	Trincheras	Nombre de Dios		
	Bavispe	Tubutama	Nuevo Ideal		
	Benito Juárez	Ures	Otáez		
	Benjamín Hill	Villa Hidalgo	Poanas		
	Caborca	Villa Pesqueira	Pueblo Nuevo		
	Cajeme	Yécora	San Dimas		
	Cananea	Ahome	Santiago Papasquiaro		
	Carbó	Angostura	Súchil		
	Cururpe	Badiraguato	Tamazula		
	Cumpas	Choix	Tepehuanes		
	Divisaderos	Concordia	Topia		
	Empalme	Cosalá	Vicente Guerrero		
	Etchojoa	Culiacán	Guanaceví		
	Fronteras	El Fuerte	Coneto de Comonfort		
	General Plutarco Elías Calles	Elota	Cuencamé		
	Granados	Escuinapa	El Oro		
	Guaymas	Guasave	Peñón Blanco		
	Hermosillo	Mazatlán	San Juan del Río		
	Huachinera	Mocorito	Nuevo Ideal		
	Huásabas	Navolato	Pánuco de Coronado		
	Huatabampo	Rosario	Chalchihuites		
	Huépac	Salvador Alvarado	Jiménez del Teul		
	Imuris	San Ignacio	Miguel Auza		
	La Colorada	Sinaloa	Sain Alto		
	Magdalena	Batopilas	Sombbrero		
	Mazatlán	Bocoyna	Acaponeta		
	Moctezuma	Chinipas	Del Nayar		
	Naco	Cusihuirachi	Huajicori		
	Nácori Chico	Guachochi	Rosamorada		
	Nacozari de García	Guadalupe y Calvo	Ruíz		
	Navojoa	Guazapares	Santiago Ixcuintla		
	Nogales	Guerrero	Tecuala		
			Tuxpan		

2.1.2 CUENCAS, RÍOS Y EMBALSES

La zona de estudio está conformada por 30 de las grandes cuencas de México definidas por CONAGUA, Ilustración 11.

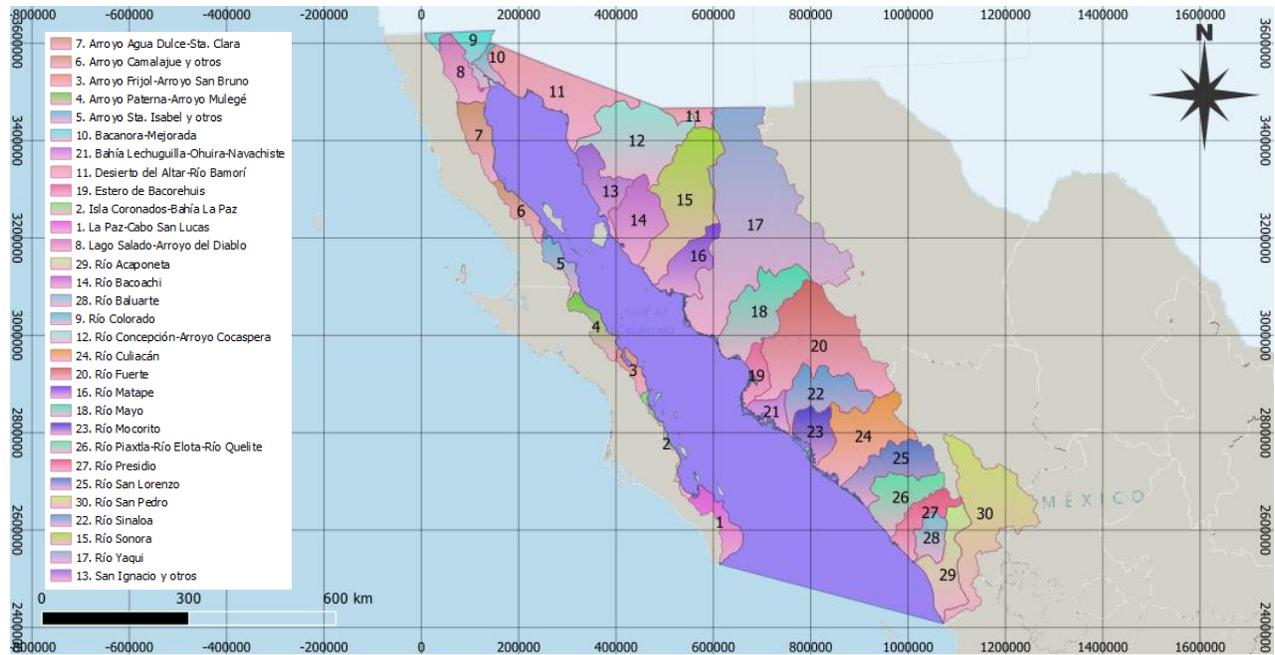


Ilustración 11. Cuencas hidrográficas dentro de la zona de estudio

Dentro de las cuencas hidrológicas que integran la zona de estudio, se encuentran 16 de los 50 ríos principales del país, entre los cuales destacan por su longitud los ríos Culiacán, El Fuerte, Sonora y Yaqui; y por su escurrimiento natural medio superficial (Tabla 2) los ríos Fuerte, San Pedro, Sinaloa y Yaqui (CONAGUA, 2018). Las regiones hidrológicas que constituyen la zona de estudio cuentan con 670 embalses en total, con 28 fuera de uso, construidos con distintos propósitos en los que figuran: almacenamiento, derivación, control de avenidas, control de azolves, depósito de jales, regulación, recarga de acuíferos, protección contra inundaciones, conducción y de almacenamiento en vaso lateral (Tabla 3 y Tabla 4). En la Ilustración 12 e Ilustración 13 se presenta la ubicación de dichos embalses clasificados en función de su altura y volumen respectivamente (CONAGUA, 2010).



Tabla 2. Ríos principales en la zona de estudio. Fuente: CONAGUA (2018)

RÍO	ESCURRIMIENTO NATURAL MEDIO SUPERFICIAL [hm ³ /año]	LONGITUD DEL RÍO [km]	REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA
Fuerte	4994.6	540	III Pacífico Norte
San Pedro	3369.3	255	III Pacífico Norte
Yaqui	3148.2	410	II Noroeste
Culiacán	3128.6	875	III Pacífico Norte
Sinaloa	2063.7	400	III Pacífico Norte
Colorado	1922	160	I Península de Baja California
Baluarte	1871.6	142	III Pacífico Norte
San Lorenzo	1624.2	315	III Pacífico Norte
Acaponeta	1438	233	III Pacífico Norte
Piactla	1416.6	220	III Pacífico Norte
Presidio	1071.3	N/D	III Pacífico Norte
Mayo	1203.6	386	II Noroeste
Elota	451.8	N/D	III Pacífico Norte
Sonora	359.7	421	II Noroeste
Concepción	119.3	335	II Noroeste
Matape	86.6	205	II Noroeste
Sonoyta	23.8	311	II Noroeste

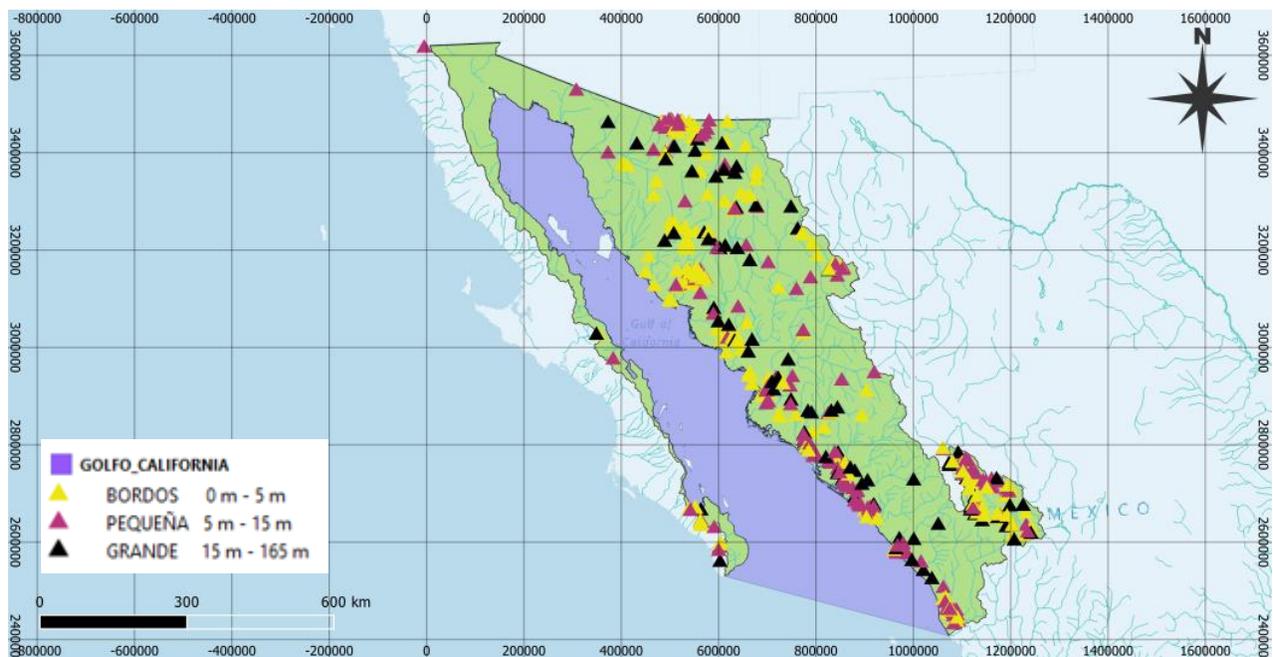


Ilustración 12. Presas dentro de la zona de estudio en función de la altura de la cortina. Fuente: CONAGUA (2010)



2. ZONA DE ESTUDIO: CUENCAS HIDROLÓGICAS QUE DESCARGAN AL GOLFO DE CALIFORNIA



Ilustración 13. Presas dentro de la zona de estudio en función de su capacidad de almacenamiento en hm^3 . Fuente: CONAGUA (2010)

Tabla 3. Presas en la zona de estudio por propósito de obra (1)

REGIÓN HIDROLÓGICA	PRESAS TOTALES	PROPÓSITO DE OBRA				
		ALMACENAMIENTO	DERIVACIÓN	CONTROL DE AVENIDAS	CONTROL DE AZOLVES	DEPÓSITO DE JALES
B.C. SURESTE	20	9	4	3	0	0
B.C. CENTRO ESTE	0	0	0	0	0	0
B.C. NORESTE	3	1	1	0	0	0
RÍO COLORADO	0	0	0	0	0	0
SONORA NORTE	43	29	2	9	1	0
SONORA SUR	256	158	23	36	0	32
SINALOA	138	104	14	16	0	3
PRESIDIO-SAN PEDRO	210	162	21	17	0	4

Tabla 4. Presas en la zona de estudio por propósito de obra (2)

REGIÓN HIDROLÓGICA	PRESAS TOTALES	PROPÓSITO DE OBRA					
		REGULACIÓN	RECARGA DE ACUÍFEROS	FUERA DE USO	PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES	CONDUCCIÓN	ALMACENAMIENTO EN VASO LATERAL
B.C. SURESTE	20	0	3	1	0	0	1
B.C. CENTRO ESTE	0	0	0	0	0	0	0
B.C. NORESTE	3	0	0	0	0	0	0
RÍO COLORADO	0	0	0	0	0	0	0
SONORA NORTE	43	0	0	1	2	0	1
SONORA SUR	256	0	0	6	4	7	4
SINALOA	138	5	1	9	0	42	2
PRESIDIO-SAN PEDRO	210	0	0	11	1	7	5

Las cuencas que conforman la zona de estudio que albergan algunos de los ríos principales del país, se conforman de sub-cuencas cuyos cauces principales corresponden a ríos tributarios de menor orden. Dicha subdivisión, de acuerdo al Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL) de INEGI (INEGI, 2021), se muestra en la siguiente sección agrupadas por región hidrológica, junto con las características fisiográficas de la cuenca como su pendiente media, orden, longitud y nombre de su cauce cuando corresponda con uno de los ríos principales de la república (Tabla 5 a Tabla 12).

RH 6 BAJA CALIFORNIA SURESTE

Tabla 5. Cuencas y subcuencas en la región hidrológica 6 Baja California sureste. Fuente: INEGI (2021)

CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
<p>1. La Paz-Cabo San Lucas (RH06A) Área: 5,691.37 km² Subcuencas: A. Datilar, La Paz, Las Palmas, A. Santiago, R. San José, Cabo de San Lucas Pendiente media: 15.62 %</p>	



2. ZONA DE ESTUDIO: CUENCAS HIDROLÓGICAS QUE DESCARGAN AL GOLFO DE CALIFORNIA

<p>2. Isla Coronados-Bahía La Paz (RH06B) Área: 1, 546.97 km² Subcuencas: Loreto (Isla Coronados), Isla Santa Cruz, Bahía La Paz Pendiente media: 24.28 %</p>	
<p>3. Arroyo Frijol-Arroyo San Bruno (RH06C) Área: 2,401.17 km² Subcuencas: A. Frijol, A. Santa Rosalía, A. San Nicolás, A. Gombedor, A. San Bruno Pendiente media: 23.48 %</p>	

RH 5 BAJA CALIFORNIA CENTRO ESTE

Tabla 6. Cuencas y subcuencas en la región hidrológica 5 Baja California centro este. Fuente: INEGI (2021)

CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
<p>4. Arroyo Paterna-Arroyo Mulegé (RH05A) Área: 4, 448.31 km² Subcuencas: A. La Trinidad, A. Santa Ana, Santa Rosalía, A. Providencia, A. Magdalena, Sin Nombre, A. Mulegé Pendiente media: 28.40 %</p>	



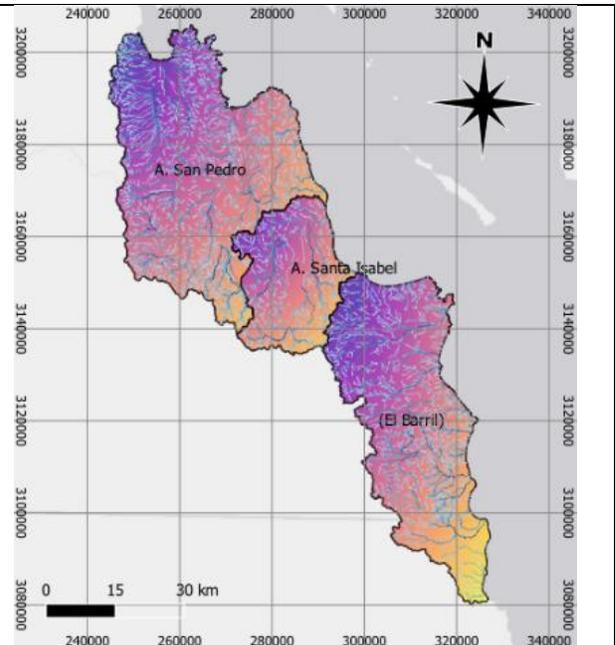
2. ZONA DE ESTUDIO: CUENCAS HIDROLÓGICAS QUE DESCARGAN AL GOLFO DE CALIFORNIA

5. Arroyo Sta. Isabel y otros (RH05B)

Área: 3,744.74 km²

Subcuencas: A. San Pedro, A. Santa Isabel, El Barril

Pendiente media: 25.30 %

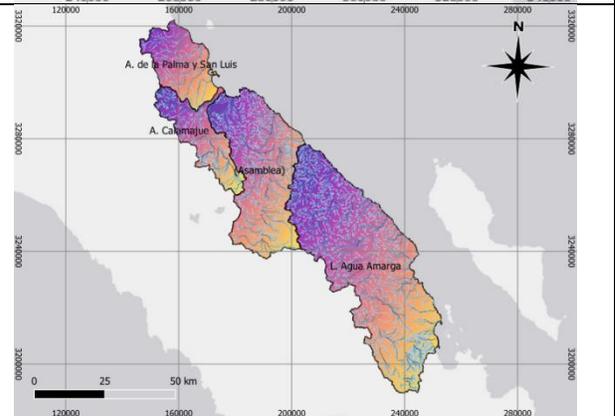


6. Arroyo Camalajue y otros (RH05C)

Área: 3,940.82 km²

Subcuencas: A. de la Palma y San Luis, A. Camalajue, Asamblea, L. Agua Amarga

Pendiente media: 25.39 %



RH4 BAJA CALIFORNIA NORESTE

Tabla 7. Cuencas y subcuencas en la región hidrológica 4 Baja California noreste. Fuente: INEGI (2021)

CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
<p>7. Arroyo Agua Dulce-Sta. Clara (RH04A) Área: 7,137.68 km² Subcuencas: Santa Clara, San Felipe, A. Huatamote, San Fermín, A. Agua Dulce Pendiente media: 20.71 %</p>	
<p>8. Lago Salado-Arroyo del Diablo (RH04B) Área: 7,003.69 km² Subcuencas: L. Salado, A. del Diablo Pendiente media: 13.69 %</p>	

RH 7 RÍO COLORADO

El Río Colorado pertenece a una de las cuencas transfronterizas más importantes del país y, como se ha expuesto en el capítulo 1.4 TRABAJOS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA, ha sido sujeto de diversos tratados entre Estados Unidos y México para la distribución de sus recursos. El área total de la cuenca entre ambos países supera los 630,000 km², la corriente tiene una extensión de 2,140 km en Estados Unidos y únicamente 160 km pertenecen a México. (CONAGUA, 2018)



2. ZONA DE ESTUDIO: CUENCAS HIDROLÓGICAS QUE DESCARGAN AL GOLFO DE CALIFORNIA

De acuerdo al Tratado de Aguas México-Estados Unidos de 1944, México tiene asignado un volumen anual de 1,850 Mm³, de los cuales 90 % se reciben mediante la presa Morelos y el 10 % en el Canal Sánchez Mejorada, a partir de los cuales el 85 % se utiliza en la agricultura del distrito de riego 014 – Río Colorado, mientras que el volumen restante se utiliza en consumo humano e industrial en Baja California y parte de Sonora.

Tabla 8. Cuencas y subcuencas en la región hidrológica 7 río Colorado. Fuente: INEGI (2021)

CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
<p>9. Río Colorado (RH07B) Área: 5,252.40 km² Subcuencas: C. Cerro Prieto, R. Hardy, C. del Álamo, R. las Abejas, R. Pescadores, R. Colorado. Pendiente media: 3.54 % Cauce: Río Colorado Longitud: 160 km Orden: 6</p>	
<p>10. Bacanora-Mejorada (RH07A) Área: 1,812.64 km² Subcuencas: C. Sánchez - Mejorada Pendiente media: 0.77 %</p>	

RH 8 SONORA NORTE

Tabla 9. Cuencas y subcuencas en la región hidrológica 8 Sonora Norte. Fuente: INEGI (2021)

CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
<p>11. Desierto del Altar-Río Bamorí (RH08C) Área: 22,338.46 km² Subcuencas: Desierto Altar, R. Sonoyta, R. Bamorí, Costa Rica. Pendiente media: 3.94 % Cauce: Sonoyta* Longitud: 311 km Orden: 5</p>	
<p>12. Río Concepción-Arroyo Cocaspera (RH08B) Área: 24,970.30 km² Subcuencas: R. Concepción, R. Coyote, R. Seco, R. Altar, R. de los Alisos, A. Cocaspera, A. Coyotillo, A. El Álamo, R. Magdalena, A. Tesota Pendiente media: 10.61 % Cauce: Concepción Longitud: 335 km Orden: 6</p>	
<p>13. San Ignacio y otros (RH08A) Área: 8,284.79 km² Subcuencas: Puerto Libertad, R. San Ignacio, C. del Infiernillo Pendiente media: 6.78 %</p>	

*El Río Sonoyta se encuentra dentro de la cuenca Desierto del Altar-Río Bamorí cuya área se expresa en la tabla superior e incluye cuerpos de agua que no forman parte del Río Sonoyta, tal es el caso del Desierto Altar cuya área representa el 48 % de la cuenca. La subcuenca que aloja exclusivamente al Río Sonoyta y sus afluentes, posee una extensión de 7,656 km². (CONAGUA, 2018).

RH 9 SONORA SUR

Dentro de la región hidrológica Sonora Sur es importante mencionar el Río Sonora. La cuenca del Río Sonora es cuna de uno de los ríos más importantes del país, que le da el nombre y es la fuente de abastecimiento principal para la zona metropolitana de Hermosillo. Este río, junto con el Río Bacanuchi, cuya subcuenca se encuentra al Oeste del nacimiento del Río Sonora, sufrieron un derrame de 40,000 m³ de lixiviados de sulfato de cobre acidulado provenientes de la mina Buenavista de cobre perteneciente al Grupo México. Además, debido a la creciente demanda del recurso en la zona, el Río Sonora únicamente llega al golfo de California en épocas de avenidas extremas.

Tabla 10. Cuencas y subcuencas en la región hidrológica 9 Sonora sur. Fuente: INEGI (2021)

CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
<p>14. Río Bacoachi (RH09E) Área: 12,541.53 km² Subcuencas: R. Bacoachi, L. Playa Noriega, A. Los Pápagos, A. La Manga Pendiente media: 4.73 %</p>	
<p>15. Río Sonora (RH09D) Área: 27,346.84 km² Subcuencas: R. Bacanuchi, R. Sonora-Arispe, R. San Miguel, R. Sonora-Banamichi, R. Zanjón, A. La Junta, R. Sonora-Hermosillo, A. La Poza, A. El Bajío, A. La Bandera Pendiente media: 16.23 % Cauce: Río Sonora Longitud: 421 km Orden: 5</p>	



2. ZONA DE ESTUDIO: CUENCAS HIDROLÓGICAS QUE DESCARGAN AL GOLFO DE CALIFORNIA

<p>16. Río Matape (RH09C) Área: 8, 957.80 km² Subcuencas: Matepe-P.Punta de Agua, R. Mátate-Empalme, A. Chicuroso, A. Tetacbiate, Guaymas, A. Guaymas Pendiente media: 12.44 % Cauce: Río Matape Longitud: 205 km Orden: 4</p>	
<p>17. Río Yaqui (RH09B) Área: 70, 950.87 km² Subcuencas: A. Ánimas, R. Agua Prieta, R. Batepito, R. Moctezuma, R. Bavispe Bajo, R. Bavispe-La Angostura, A. Coronado, R. Nacori, R. Yaqui-P.P.E. Calles, R. Bacanora, R. Sahuaripa, R. Papigochic o Aros, R. Mulatos, R. Tutuaca, R. Tomachic, R. Carpio, R. Tecoripa, R. Yaqui-P. Álvaro Obregón, R. Chico, R. Sahuaral, R. Yaqui-Vicam. Pendiente media: 28.12 % Cauce: Río Yaqui Longitud: 410 km Orden: 6</p>	
<p>18. Río Mayo (RH09A) Área: 17,810.38 km² Subcuencas: R. Candameña, R. Moris, R. Babanori, A. Guajaray, R. Mayo-P. Adolfo Ruíz Cortínez, A. Cedro, A. Cocoraque, R. Mayo-Navojoa Pendiente media: 27.49 % Cauce: Río Mayo Longitud: 386 km Orden: 5</p>	

RH 10 SINALOA

Tabla 11. Cuencas y subcuencas en la región hidrológica 10 Sinaloa. Fuente: INEGI (2021)

CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
<p>19. Estero de Bacorehuis (RH10H) Área: 4,353.19 km² Subcuencas: A. de Masiaca, A. Camahuiroa, Estero de Bacorehuis. Pendiente media: 6.38 %</p>	
<p>20. Río Fuerte (RH10G) Área: 34,152.94 km² Subcuencas: R. Fuerte-San Miguel, R. Fuerte-P. Miguel Hidalgo, R. de Choix, R. Reforma, R. San Miguel, R. Las Loera, R. Chinatu, R. Verde, R. Batopilas, R. Urique, R. Oteros, R. Tepochique, R. Septentrión, A. Álamos. Pendiente media: 37.22 % Cauce: Río Fuerte Longitud: 540 km Orden: 6</p>	
<p>21. Bahía Lechiguilla-Ohuira-Navachiste (RH10F) Área: 3,706.74 km² Subcuencas: B. Lechuguilla, B. Ohuira, B. Navachiste Pendiente media: 2.98 %</p>	

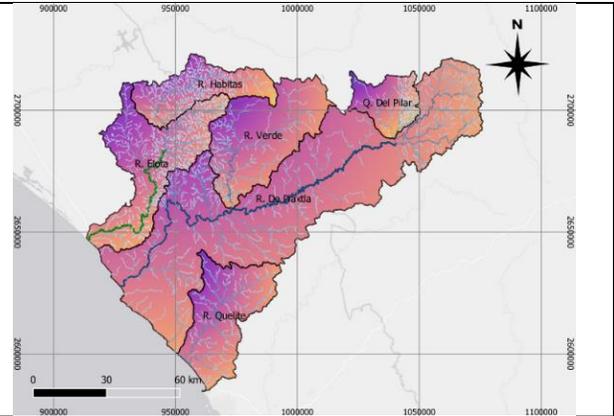


2. ZONA DE ESTUDIO: CUENCAS HIDROLÓGICAS QUE DESCARGAN AL GOLFO DE CALIFORNIA

<p>22. Río Sinaloa (RH10E) Área: 12,527.40 km² Subcuencas: R. Mohinora, R. Basonopita, R. Petatlán, A. Calabacitas, R. Sinaloa, A. Ocoroni, A. Cabrera Pendiente media: 34.53 % Cauce: Río Sinaloa Longitud: 400 km Orden: 5</p>	
<p>23. Río Mocerito (RH10D) Área: 6,588.43 km² Subcuencas: A. Mezquitillo, R. Mocerito, R. Pericos, B. Santa María. Pendiente media: 8.18 %</p>	
<p>24. Río Culiacán (RH10C) Área: 18,820.92 km² Subcuencas: R. Colorado, R. de los Lobos, A. de Bamopa, R. Humaya, A. Palmarito, Q. de Topia, R. Badiraguato, A. San José del Oro, R. Humaya-P.A. López Mateos, R. Tamazula, R. Culiacán Pendiente media: 32.34 % Cauce: Río Culiacán Longitud: 875 km Orden: 5</p>	
<p>25. Río San Lorenzo (RH10B) Área: 11,737.66 km² Subcuencas: Q. de las Vueltas, R. de los Remedios, Q. de San Gregorio, Q. de San Juan, R. San Lorenzo, A. de Tocuchamora Pendiente media: 35.26 % Cauce: Río San Lorenzo Longitud: 315 km Orden: 5</p>	



26. Río Piaxtla-río Elota-río Quelite (RH10A)
Área: 10,922.56 km²
Subcuencas: R. Habitas, R. Elota, R. Verde, Q. Del Pilar, R. De Piaxtla, R. Quelite
Pendiente media: 35.70 %
Cauce 1: Río Elota
Longitud: 540 km
Orden: 4
Cauce 2: Río Piaxtla
Longitud: 220 km
Orden: 5

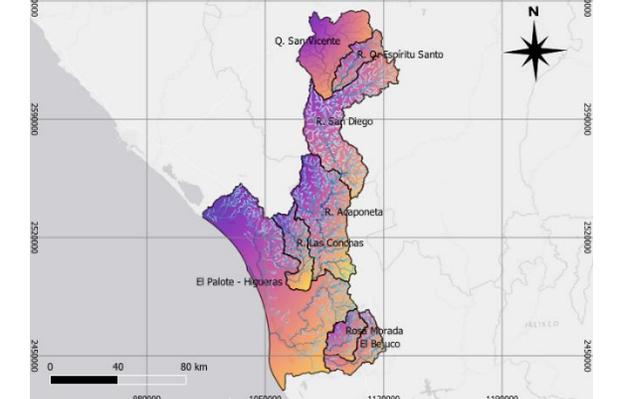
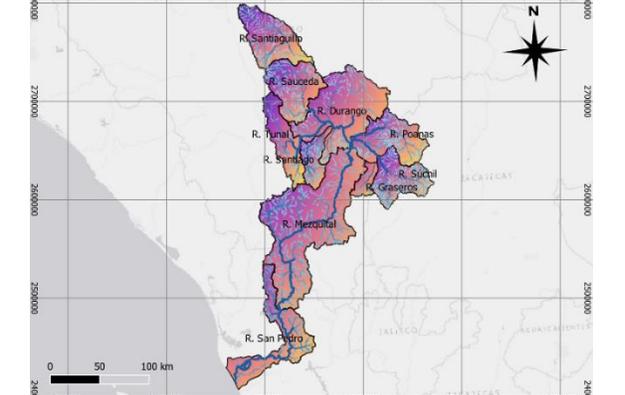


RH 11 PRESIDIO-SAN PEDRO

Tabla 12. Cuencas y subcuencas en la región hidrológica 11 Presidio-San Pedro. Fuente: INEGI (2021)

CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
<p>27. Río Presidio (RH11D) Área: 7,088.22 km² Subcuencas: A. Arenales, A. El Jaral, A. El Salto, R. Q. La Ventana, R. Presidio, Mazatlán y Caimanera Pendiente media: 30.43 % Cauce: Río Presidio Longitud: 220 km Orden: 4</p>	
<p>28. Río Baluarte (RH11C) Área: 4,986.02 km² Subcuencas: Q. Guadalupe, R. Baluarte, R. Pánuco, R. Matatán, R. Espíritu Santo Pendiente media: 45.20 % Cauce: Río Baluarte Longitud: 142 km Orden: 5</p>	



<p>29. Río Acaponeta (RH11B) Área: 11,131.79 km² Subcuencas: Q. San Vicente, R. Q. Espíritu Santo, R. San Diego, R. Acaponeta, R. Las Conchas, Rosa Morada, El Bejuco, El Palote-Higueras Pendiente media: 26.38 % Cauce: Río Acaponeta Longitud: 233 km Orden: 5</p>	
<p>30. Río San Pedro (RH11A) Área: 27,808.59 km² Subcuencas: R. Santiaguillo, R. Saucedá, R. Durango, R. Poanas, R. Tunal, R. Santiago, R. Mezquital, R. San Pedro, R. Graseros, R. Súchil Pendiente media: 26.62 % Cauce: Río San Pedro Longitud: 255 km Orden: 6</p>	

2.1.3 ACUÍFEROS

Para la gestión del agua subterránea el país se divide en 653 acuíferos (CONAGUA, 2018), de los cuales 125 se encuentran dentro de la zona de estudio (Ilustración 14), cuya disponibilidad se reporta periódicamente desde el año 2003. Al 2020 hay 47 acuíferos sin disponibilidad dentro del área en análisis (CONAGUA, 2021) ubicados principalmente dentro de las regiones hidrológicas Sonora Norte, Sonora Sur, Río Colorado y Presidio San Pedro; representan el 42 % del área total de acuíferos, cuyos datos pueden consultarse en el anexo 6.4. Los acuíferos laguna Salada, valle de Mexicali, los Planes y Agua Amarga, todos dentro de la península de Baja California presentan salinización, consecuencia de la sobreexplotación en los Planes y laguna Salada.

De los 47 acuíferos sin disponibilidad 28 se consideran sobre-explotados, esto de acuerdo a la relación entre extracción y recarga mayor a 1.10 hm³ (CONAGUA, 2021), y 8 ubicados en Sonora y Baja California Sur presentan intrusión salina.



Ilustración 14. Acuíferos dentro de la zona de estudio. Fuente: CONAGUA, 2021

2.2 MEDICIÓN DE VARIABLES HIDROLÓGICAS

El ciclo hidrológico es el centro de estudio de la hidrología, que de acuerdo a Aparicio (1992) es la ciencia que estudia el agua, su circulación, distribución y relación con el medio ambiente. El escurrimiento superficial en un río es una de las variables más importantes. Dada su naturaleza cambiante, para su estudio es necesario contar con información de datos medidos sobre el cauce que se desee analizar. La estimación de esta variable hidrológica se realiza mediante estaciones hidrométricas que la CONAGUA (CONAGUA, 2021) a un tipo de estas, las describe como reglas graduadas, conocidas como limnímetros, que miden las variaciones del tirante en cuerpos de agua. A partir del registro de estos niveles y la curva elevaciones-gastos del cauce se determina el caudal que pasa por la corriente (Aparicio M., 1992). En México, CONAGUA y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) trabajan en conjunto para el manejo de la Banco Nacional de Aguas Superficiales (BANDAS) que integra la red hidrométrica nacional. Al 2016 se cuenta con 861 estaciones hidrométricas en el país.



2.2.1 CAUDALES LÍQUIDOS Y SÓLIDOS

La medición de los caudales tanto sólidos como líquidos es el eje principal del presente trabajo, ya que son los escurrimientos que confluyen al golfo de California y por tanto su cantidad y calidad afecta directamente a este cuerpo marino. Dado que la extensión de la zona de estudio es bastante grande, la caracterización de estos escurrimientos se realizará mediante las mediciones de 28 estaciones hidrométricas ubicadas lo más cercano a las costas dentro de las cuencas de la zona de estudio, instaladas tanto en ríos y arroyos como canales (Ilustración 15 y Tabla 13).



Ilustración 15. Estaciones hidrométricas en análisis.



2. ZONA DE ESTUDIO: CUENCAS HIDROLÓGICAS QUE DESCARGAN AL GOLFO DE CALIFORNIA

Tabla 13. Estaciones hidrométricas en análisis

CLAVE	NOMBRE	COORDENADAS		CORRIENTE	CUENCA	RH	RHA	ESTADO
		LATITUD [N]	LONGITUD [O]					
09063	PUNTA DE AGUA	28°25'30"	110°24'30"	ARROYO MATAPE	ARROYO MATAPE	SONORA SUR	NOROESTE	SONORA
09022	HORNOS	27°44'30"	109°54'00"	CANAL BAJO	RIO YAQUI	SONORA SUR	NOROESTE	SONORA
09089	COCORAQUE	27°24'54"	109°37'42"	ARROYO COCORAQUE	ARROYO COCORAQUE	SONORA SUR	NOROESTE	SONORA
09002	NAVOJOA	27°06'15"	109°26'20"	RIO MAYO	RIO MAYO	SONORA SUR	NOROESTE	SONORA
09040	SAN PEDRO	27°01'40"	109°31'30"	CANAL SAN PEDRO	RIO MAYO	SONORA SUR	NOROESTE	SONORA
09017	EL OREGANO	29°14'00"	110°42'15"	RIO SONORA	RIO SONORA	SONORA SUR	NOROESTE	SONORA
09028	CHANATE	29°04'00"	110°55'30"	CANAL CHANATE	RIO SONORA	SONORA SUR	NOROESTE	SONORA
09031	SERIS	29°03'30"	110°55'45"	CANAL VIEJO DE SERIS	RIO SONORA	SONORA SUR	NOROESTE	SONORA
08025	SONOITA II	31°52'00"	112°50'48"	RIO SONOITA	RIO SONOITA	SONORA NORTE	NOROESTE	SONORA
08018	PITIQUITO II	30°41'30"	112°06'00"	RIO DE LA ASUNCIÓN	RIO DE LA CONCEPCIÓN	SONORA NORTE	NOROESTE	SONORA
10085	SAN MIGUEL Z	25°57'15"	109°03'15"	RIO FUERTE	RIO FUERTE	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA
10056	KM. 46+780	25°54'30"	109°08'00"	CANAL SICAE	RIO FUERTE	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA
10120	GUASAVE PUENTE CARRETERA	25°34'36"	108°27'24"	RIO SINALOA	RIO SINALOA	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA
10031	GUAMUCHIL	25°28'10"	108°05'30"	RIO MOCORITO	RIO MOCORITO	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA
10086	PERICOS	25°05'35"	107°41'40"	ARROYO PERICOS	LAGUNA CAIMANERO	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA
10023	PUENTE NUEVO	24°48'20"	107°25'00"	CANAL ROSALES MARGEN DERECHA	RIO CULIACAN	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA
10022	BOCATOMA	24°47'55"	107°24'45"	CANAL CAÑEDO	RIO CULIACAN	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA
10091	KM. 0+700	24°47'50"	107°24'25"	CANAL PRINCIPAL MARGEN IZQUIERDA	RIO CULIACAN	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA
10061	PUENTE DREN	24°47'20"	107°25'35"	CANAL PRINCIPAL MARGEN IZQUIERDA	RIO CULIACAN	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA
10040	SANTA CRUZ	24°29'05"	106°57'10"	RIO SAN LORENZO	RIO SAN LORENZO	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA
10070	ACATITAN	24°02'50"	106°39'15"	RIO ELOTA	RIO ELOTA	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA
10065	IXPALINO	23°57'20"	106°35'45"	RIO PIAXTLA	RIO PIAXTLA	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA
10083	EL QUELITE	23°30'45"	106°29'00"	RIO QUELITE	RIO QUELITE	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA
11016	BALUARTE II	22°59'00"	105°50'30"	RIO BALUARTE	RIO BALUARTE	PRESIDIO-SAN PEDRO	PACIFICO NORTE	SINALOA
11071	BALUARTE	22°58'30"	105°51'00"	CANAL BALUARTE MARGEN IZQUIERDA	RIO BALUARTE	PRESIDIO-SAN PEDRO	PACIFICO NORTE	SINALOA
11014	ACAPONETA	22°29'00"	105°20'30"	RIO ACAPONETA	RIO ACAPONETA	PRESIDIO-SAN PEDRO	PACIFICO NORTE	NAYARIT
11012	SAN PEDRO	21°58'00"	105°09'00"	RIO SAN PEDRO	RIO SAN PEDRO	PRESIDIO-SAN PEDRO	PACIFICO NORTE	NAYARIT
11058	SIQUEROS	23°00'30"	106°15'00"	RÍO PRESIDIO	RÍO PRESIDIO	PRESIDIO-SAN PEDRO	PACIFICO NORTE	SINALOA

Canales



Dentro de la zona de estudio existen cuencas que no cuentan con estaciones hidrométricas, tal es el caso de las cuencas ubicadas en la península de Baja California y las ubicadas al interior de cuatro regiones hidrológicas:

- ✚ Sonora Norte: San Ignacio y otros.
- ✚ Sonora Sur: Río Bacoachi.
- ✚ Sinaloa: Bahía Lechiguilla-Ohuira-Navachiste, Estero de Bacorehuis.

Para estos casos específicos sería necesario recurrir a las estaciones climatológicas con influencia en las cuencas, esto con el objetivo de inferir los escurrimientos que se presentan en sus ríos a partir del régimen de precipitación de la zona. Esta actividad forma parte de otro trabajo de tesis, el cual se encuentra en desarrollo.

Dado que algunas de las estaciones hidrométricas más cercanas a la costa, se encuentran alejadas varios kilómetros de la misma, y en este espacio existen ciertas demandas (agrícola, urbana), sería necesario intentar evaluarlas para realizar el balance correspondiente y ajustar los registros de las estaciones hidrométricas. Estas actividades no forman parte de este trabajo.

3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA “DE LA FUENTE AL MAR”

El objetivo principal del enfoque de *la fuente al mar* es contribuir a determinar los cursos de acción apropiados para atender la alteración de los recursos hídricos dentro de un sistema a través del análisis de los *caudales clave* (Mathews, 2019) y la incorporación de seis pasos al diseño, planeación e implementación de proyectos y programas para la gestión sostenible de los recursos que resulte en beneficios ambientales, económicos y sociales (Ilustración 16). El presente capítulo aborda la aplicación de esta metodología al estado actual de los ríos principales que desembocan al golfo de California, tomando en consideración como caudal clave la variación del gasto dentro de los registros hidrométricos.



Ilustración 16. Desarrollo sostenible

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA “DE LA FUENTE AL MAR”

El enfoque *de la fuente al mar* pretende integrar una visión holística a la práctica, que busca la reducción del estado de alteración de los recursos hídricos, considerando los vínculos que existen entre recurso-usuario-gobernanza. El producto final del estudio de estas interacciones es una teoría de cambio que guíe el diseño e implementación de futuros programas y proyectos hacia la sustentabilidad y resiliencia del sistema.

La metodología se integra de 6 pasos: *caracterización, participación, diagnóstico, diseño, acción y adaptación*; los cuales pueden agruparse en dos etapas, análisis e implementación. (Ilustración 17)



Ilustración 17. Metodología de la fuente al mar

La etapa de **análisis** se conforma por la *caracterización, participación y diagnóstico*, las cuales requieren del estudio de los recursos y usuarios dentro de la zona circundante al cuerpo de agua del que se desea disminuir su nivel de alteración.

La segunda etapa, **implementación**, la integran el *diseño, acción y adaptación*, pasos orientados hacia la creación de planes de acción y alianzas con las partes interesadas en la mejora en el cuerpo de agua en análisis: gobierno, instituciones y usuarios. Se trata de una etapa diplomática y de negociación con las instituciones que gestionan los recursos de la zona.



Según Mathews (2019), de manera general el primer paso de la metodología, **caracterización**, tiene por objetivo seleccionar los caudales prioritarios y determinar los límites del sistema. **Participación**, incluye el primer mapeo de la zona de análisis, elección del público e instituciones interesadas y preparación de un plan de participación entre los mismos. El **diagnóstico** analiza el sistema de gobernanza y las prácticas relacionadas con los caudales prioritarios para dar paso al diseño. En el **diseño** se desarrolla la teoría del cambio compuesta por cuatro niveles (Ilustración 3) y se identifican las estrategias de intervención; con las estrategias ya definidas se buscan los fondos o inversionistas para llevarlas a cabo y se implementan las acciones, a esta etapa se le conoce como **acción**. La metodología concluye con un proceso cíclico, la **adaptación**, donde se monitorean los resultados de las acciones implementadas, se registra y comparten aprendizajes para que la administración de los programas y acciones se adecuó a las necesidades actuales que deriven en un éxito continuo.

Dada la amplitud de la visión que propone *de la fuente al mar*, los límites del presente trabajo atienden la etapa de *análisis*, donde se presta especial atención a la caracterización de la zona de estudio (ver capítulo 2) y la descripción de los recursos y actividades principales (diagnóstico) que se desarrollan dentro de ésta (apartado 3.2-3.5). Además dentro de la etapa de implementación, abarca solamente y de forma general la etapa de diseño (apartado 3.6.3).

Dentro de la exposición de los objetivos de la etapa **caracterización** en la metodología se ha mencionado el concepto de *caudal prioritario* o *caudal clave*, este concepto fue creado para la metodología de la fuente al mar. Mathews (2019) junto con otros colaboradores establecen que son los caudales que definen los atributos del sistema en análisis y sus características determinan el estado de alteración del mismo. Existen seis tipos de caudales clave: agua, sedimento, biota, contaminantes, materiales y servicios ecosistémicos.

El *flujo de agua* como caudal prioritario, se refiere al análisis de la alteración del régimen de caudal debido a actividades económicas, usos de suelo u operaciones de presas y embalses. Los *sedimentos*, también conocidos como caudales sólidos, brindan información sobre la degradación del suelo y la erosión, ya que estos incrementan la cantidad de sedimentos en los cuerpos de agua. Estos dos tipos de caudales son los caudales prioritarios en análisis durante el presente capítulo, debido a su relación directa con los usuarios de los recursos de las cuencas dentro del límite del sistema.

Los cuatro tipos de flujo restantes se orientan a las propiedades químicas del agua y a su interacción con la flora y fauna. La *biota* se refiere a la vida marina dentro de los cuerpos de agua y su análisis se orienta al cambio en el hábitat de estas especies y las consecuencias de éste, un ejemplo es la construcción de



embalses, los cuales interrumpen el movimiento de los peces y reducen la conectividad entre ecosistemas, o bien, afectan patrones de migración (Mathews, 2019).

Los *contaminantes* y *materiales* se refieren a la calidad del agua. Los contaminantes consiste en analizar la variación de las propiedades físicas como temperatura; químicas como pH, nutrientes, elementos patógenos; y sedimentos tanto sólidos disueltos como suspendidos. Los materiales se refieren a los desechos arrojados a los cuerpos marinos. Los *servicios ecosistémicos* fueron definidos en el capítulo 1.

A partir del análisis de los recursos dentro de la zona de estudio –usos de suelo, régimen de flujo, población, actividades económicas-, la caracterización concluye al conocer el grado de alteración de los caudales prioritarios e identificar las actividades que los han llevado a este estado, de las cuales debe de conocerse su localización y otros impactos sociales, ambientales y económicos.

La segunda y tercera etapa, **participación** y **diagnóstico**, se trabajan de forma paralela pues se integran de la identificación de participantes primarios y dirigentes, y reconocimiento de problemáticas dentro del sistema de gestión de recursos actual. Por *participantes primarios* se entiende el grupo de personas afectadas por la alteración del caudal prioritario y que deben ser los beneficiados de la implementación de programas y estrategias de intervención. Por otro lado, los *participantes dirigentes* usualmente son las instituciones que gestionan la asignación y explotación de recursos, ya que son los actores cuyas prácticas alteran el estado de los caudales prioritarios y cuyas actividades se ven afectadas por las estrategias de intervención (Mathews, 2019).

Con la información recopilada se crea una línea base de análisis que preste atención al impacto de los caudales prioritarios, participantes primarios y dirigentes. Al identificarles es posible establecer una oportunidad de creación de trabajo coordinado entre ambos, donde se analicen las prácticas actuales y necesidades a partir de las cuales de establezcan las condiciones imprescindibles para mejorar los sistemas de gobernanza del lugar.

Al integrar lo expuesto anteriormente se llega al diagnóstico, donde se crean los cuatro niveles de la teoría de cambio, definida en el capítulo 1.



3.2 CARACTERIZACIÓN GENERAL

Las cuencas hidrográficas que conforman la parte terrestre de la zona de estudio poseen características físicas, ambientales y sociales que moldean el comportamiento que presentan ante eventos de precipitación y caudal en sus sistemas fluviales. Para lograr comprender el comportamiento de estas cuencas como un todo, es primordial poseer un conocimiento integral de cada una de las piezas que conforman este sistema.

Las características que se expondrán pertenecen a tres sub-sistemas de la zona de estudio que inciden directamente en la aplicación de la metodología *de la fuente al mar*: ambiental, donde se agrupan las propiedades físicas, patrones de lluvia y caudal, y la existencia de flora y fauna; económico, donde principalmente se tomarán en cuenta los sectores económicos y las actividades con mayor demanda de usos hídricos; y finalmente la esfera social, que engloba centros urbanos y población, ya que de su conocimiento dependerá un diseño e implementación adecuado de programas que lleven al sistema en análisis a la sostenibilidad.

3.2.1 TOPOGRAFÍA Y OROGRAFÍA

Tanto la topografía como la orografía son técnicas orientadas al estudio de la morfología del terreno, comúnmente conocido como relieve. La regionalización para el estudio de éstas características se realiza mediante las *provincias fisiográficas*, las cuales el INEGI (INEGI, 2021) define como “unidades morfológicas superficiales de características distintivas; de origen y morfología propias.” Las características distintivas a las que hace referencia son un origen geológico unitario mayoritario y morfología propia y distintiva. A partir de esta definición, la República Mexicana está constituida por 15 provincias fisiográficas, que a su vez pueden ser discretizadas en regiones con características más particulares y dar paso a las subprovincias fisiográficas.

La zona de estudio se encuentra ubicada sobre cuatro de las principales provincias fisiográficas de México: la península de Baja California, la llanura Sonorense, la sierra madre occidental y la llanura costera del Pacífico (Ilustración 18).



Ilustración 18. Provincias fisiográficas en la zona de estudio. Fuente: INEGI (2021)

La península de Baja California en el área que pertenece a la zona de estudio, posee como subprovincias fisiográficas la Sierra de La Giganta y las Sierras de Baja California Norte. La Sierra de La Giganta posee una superficie de 3,198 km² y sus tres series de montañas; el pico más alto corresponde a una elevación de 1,490 m.s.n.m. Las principales elevaciones de las Sierras de Baja California Norte son la Sierra San Miguel (1,770 m.s.n.m.), Cerro La Sandía (1,780 m.s.n.m.), Sierra Juárez (1,980 m.s.n.m) y Sierra San Pedro Mártir (3,050 m.s.n.m.).

La Llanura Sonorense se integra por las subprovincias Desierto de Altar constituido principalmente por dunas, Sierra del Pinacate (1,190 m.s.n.m.) y Sierras y Llanuras Sonorenses.

La Sierra Madre Occidental define los puntos más altos de los parteaguas de las cuencas que se encuentran dentro de la zona de estudio con elevaciones de hasta 3,000 m.s.n.m. Las subprovincias fisiográficas que lo conforman son las Sierras y Valles del Norte, Sierras y Cañadas del Norte, La Gran Meseta y Cañones de Chihuahua, Gran Meseta y Cañadas Duranguenses, Sierras y Llanuras de Durango, Sierras y Llanuras Tarahumaras, y el Pie de la Sierra.

Por último se encuentra la provincia de la Llanura Costera del Pacífico, la cual se divide en tres subprovincias: Llanura Costera y Deltas de Sonora y Sinaloa, Llanura Costera de Mazatlán y Delta del Río Grande de Santiago, cuyo cuerpo de agua queda fuera de la zona de estudio, en donde se forman los deltas de los ríos Yaqui y Fuerte.

El terreno del área de estudio continental es principalmente plano en la península de Baja California y en la costa del golfo de California. Conforme se avanza al este el terreno comienza a adquirir elevaciones mayores, que llegan a la Sierra Madre Occidental, y generan una red hidrográfica de grandes dimensiones, como se observa en la Ilustración 19.

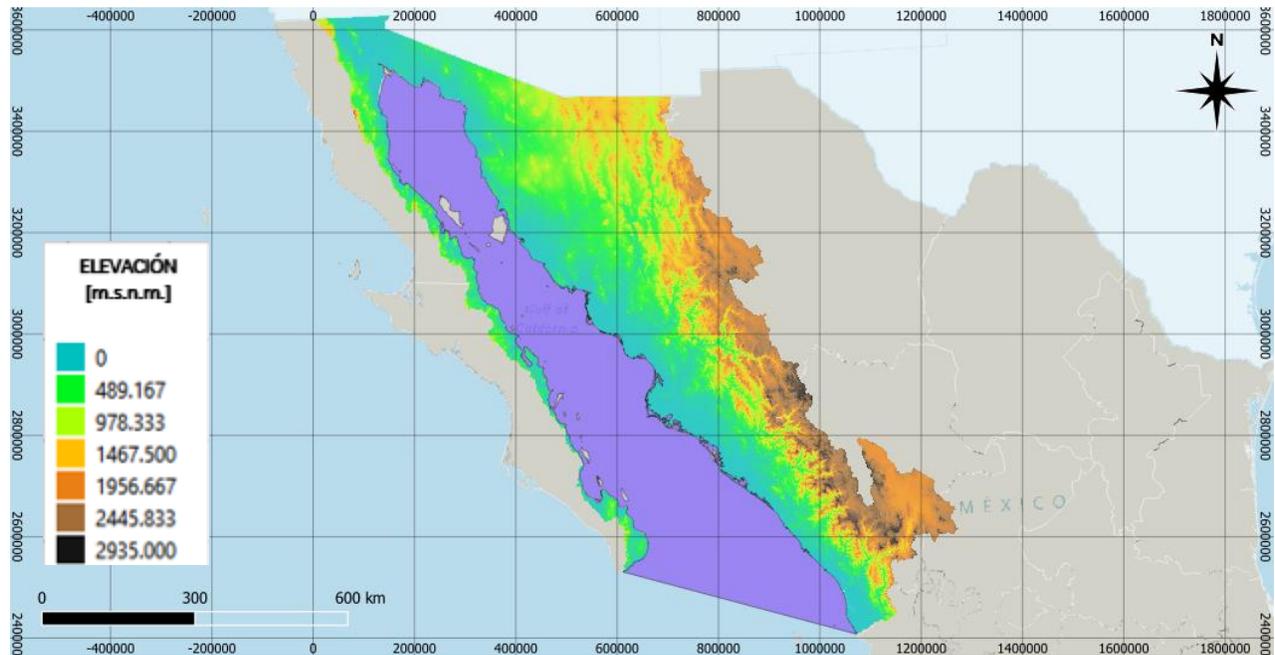


Ilustración 19. Modelo digital del terreno en la zona de estudio. Fuente: INEGI (2021)

Las pendientes de la zona de estudio presentan una distribución constante, es decir, se observa con claridad grupos de zonas con pendientes planas, medias y altas y su tendencia de crecimiento. En la península de Baja California se presentan pendientes medias, en su mayoría entre 19 % y 28 %. En Sonora hasta la cuenca del Río Sonora, se presentan pendientes muy bajas, que corresponde a zonas particularmente bajas como son los desiertos de la Llanura Sonorense, donde el mayor valor de pendiente es de 11.42 %. A partir de esta zona hacia Nayarit, las pendientes de las cuencas –que no corresponden a bahías ni esteros-, reflejan un comportamiento ascendente, siendo las cuencas de los Río Fuerte y Río Baluarte aquellas con pendiente más pronunciada dentro de un rango de 36.76 % a 45.2 % (Ilustración 20).

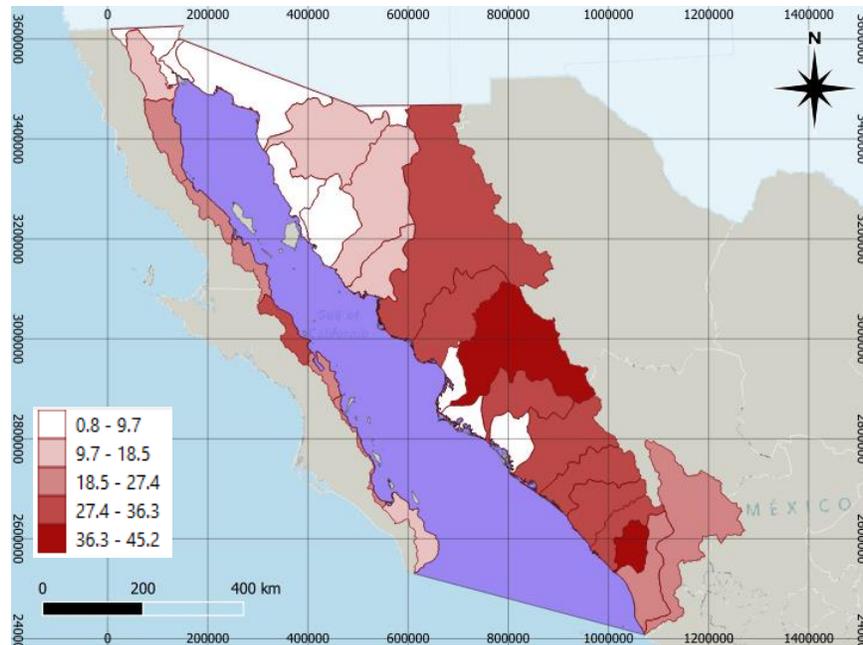


Ilustración 20. Pendientes medias por cuenca en la zona de estudio en %

3.3 SITUACIÓN ACTUAL

El análisis de la situación actual se integra de la recopilación de información, especialmente del INEGI, de los tres aspectos sobre las que se aplica la metodología *de la fuente al mar*: social, económico y ambiental. Dentro de los aspectos en estudio, el uso de suelo y la población presentan una evolución temporal con más frecuencia que otros aspectos descritos a continuación, por ejemplo la climatología de la zona. Dado el tamaño de la zona de estudio, mucha de la información analizada se hace a nivel de región hidrológica o de toda la zona, aunque lo idóneo sería hacerlo a nivel de cuenca hidrológica, con la finalidad de hacer una mejor caracterización de la zona de estudio. Lo anterior se realiza como estudios de caso particulares.

3.3.1 ASPECTOS AMBIENTALES

Los aspectos ambientales se integran por la climatología del lugar y los usos de suelo. La climatología de la zona de estudio es diversa y se pueden observar tanto zonas donde la unidad climática predominante corresponde a *muy seco cálido* hacia el norte, como zonas más cercanas a la sierra madre, donde predomina



la unidad *templado subhúmedo*. En los tipos de suelo se exponen los usos y dos clasificaciones para los tipos de suelo: clasificación edafológica e hidrológica.

3.3.1.1 USO DE SUELO Y COBERTURA VEGETAL

El uso y tipo de suelo son parámetros importantes para analizar el comportamiento hidrológico e hidráulico de una zona, ya que tanto la cobertura vegetal como la porosidad del suelo influyen de primera mano en el escurrimiento directo de las redes fluviales ante un evento de precipitación. En México, las características del suelo son recolectadas a través del INEGI. Para analizar los tipos y usos de suelo presentes en la zona de estudio fueron utilizados como base los mapas: Usos del suelo y vegetación, escala 1:250,000 serie VI del 2017 y el Conjunto de datos vectorial edafológico, escala 1:250,000 Serie II del 2007.

La zona de estudio cuenta con más de 80 usos de suelo, los cuales pueden agruparse de manera general en 16 rubros (Tabla 14):

En la península de Baja California y Baja California Sur, predominan los matorrales y las zonas urbanas. El sur de la península está cubierto de selva. Hacia el noreste del golfo de California continúan predominando los matorrales y la vegetación desértica se intercala con mezquites, pastizales y zonas urbanas. Conforme se recorre la zona hacia Chihuahua, Sinaloa y Durango, las zonas con mayor altitud registran la presencia de bosques y selvas mientras que hacia la costa se encuentran los asentamientos urbanos, zonas agrícolas, acuícolas y manglares (Ilustración 21).

Tabla 14. Áreas por uso de suelo general

USO DE SUELO	ÁREA [km2]
ACUÍCOLA	1,116.80
AGRICULTURA	47,473.08
AGUA	1,707.44
BOSQUE	89,120.24
CHAPARRAL	1,250.94
MANGLAR	1,569.43
MATORRAL	98,569.25
PASTIZAL	32,093.55
ÁREA DESPROVISTA DE VEGETACIÓN	104.20
SABANOIDE	130.11
SELVA	38,025.55
SIN VEGETACIÓN APARENTE	4,709.47
TULAR	95.15
URBANO CONSTRUIDO	2,338.45
VEGETACIÓN DE DESIERTOS ARENOSOS	28,051.83
VEGETACION SECUNDARIA	56,209.81

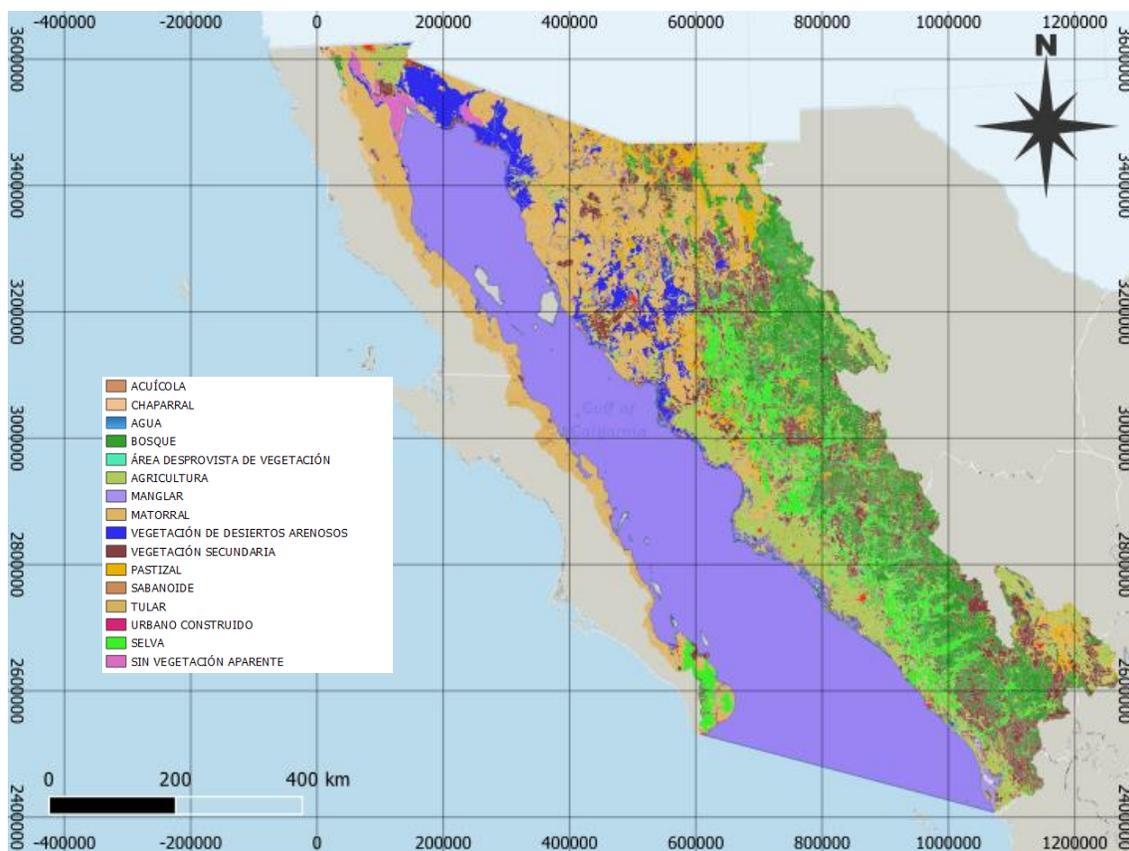


Ilustración 21. Usos de suelo en la zona de estudio. Fuente: INEGI (2021)



3.3.1.2 TIPO DE SUELO

En cuanto a la edafología en la zona de estudio, la península de Baja California junto con las cuencas del estado de Sonora son predominantes en la presencia de fluvisoles, litosoles, leptosoles y gipsisoles conocidos como xerosoles y yermosoles (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007), los cuales de acuerdo a García (2020) y Aparicio (1992) pueden correlacionarse con los tipos de suelo hidrológico (Tabla 15), y corresponden en su mayoría al TIPO B, que incluye suelos desérticos, arenas y suelos permeables. Hacia la costa de la región hidrológica Presidio-San Pedro y en el límite entre Sonora y Chihuahua que comprende especialmente a la cuenca del Río Yaqui, predominan suelos TIPO D, cuya característica principal es su alto contenido de arcilla y fertilidad los cuales abarcan feozem, luvisoles y vertisoles (Ilustración 22 e Ilustración 23 y Tabla 16 y Tabla 17).

Tabla 15. Tipo de suelo hidrológico. Elaborada con información de García (2020) y Aparicio (1992)

A	B	C	D
Arenas con poco limo y arcilla	Arenas finas y limos	Arcilla abundante, arenas muy finas y limos.	Arcilla
Andosol Arenosol Fluvisol Histosol	Xerosol Rendzina Ranker Calcisol Gipsisol Leptosol Litosol Regosol Sonlonchak	Solonetz Chernozem Kastañozem Nitosol Feozem Umbrisol	Acrisol Alisol Cambisol Gleysol Lixisol Luvisol Planosol Plintosol Vertisol

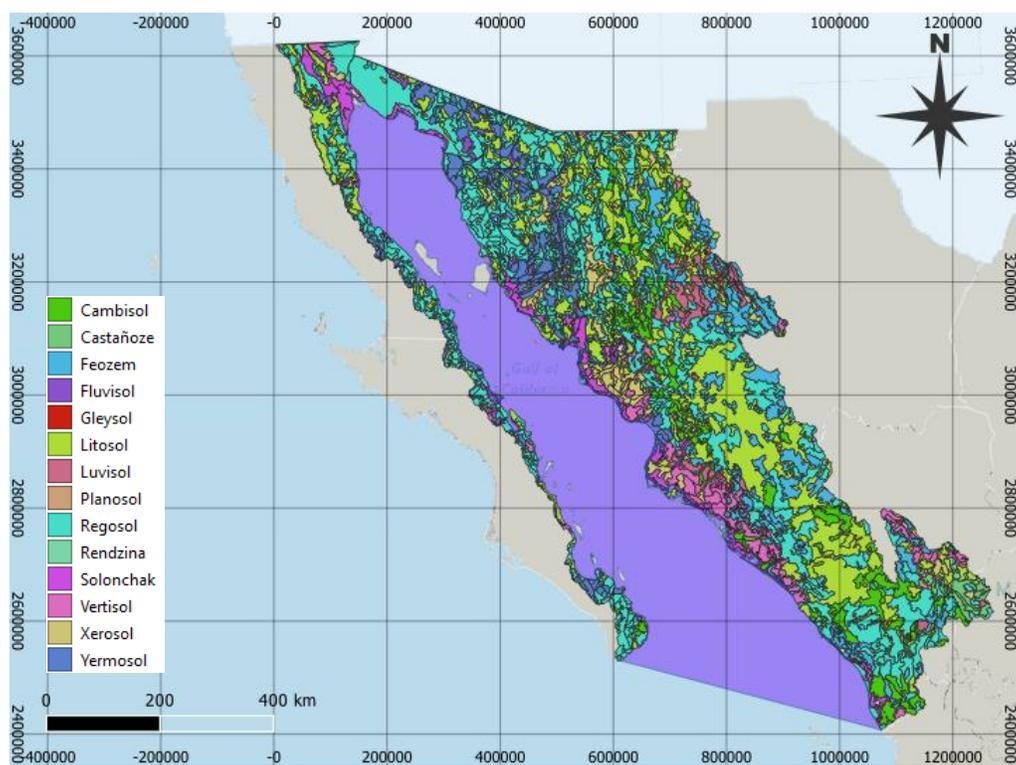


Ilustración 22. Edafología general en la zona de estudio. Fuente: INEGI (2021)

Tabla 16. Áreas de acuerdo a edafología general

TIPOS DE SUELO	ÁREA [km ²]
CAMBISOL	30,595.94
CASTAÑOZE	4,064.83
FEOZEM	36,248.13
FLUVISOL	4,378.31
GLEYSOL	11.36
LITOSOL	96,488.01
LUVISOL	9,879.38
PLANOSOL	519.88
REGOSOL	140,781.20
RENDZINA	735.23
SOLONCHAK	13,731.29
VERTISOL	18,216.96
XEROSOL	16,346.15
YERMOSOL	26,357.43

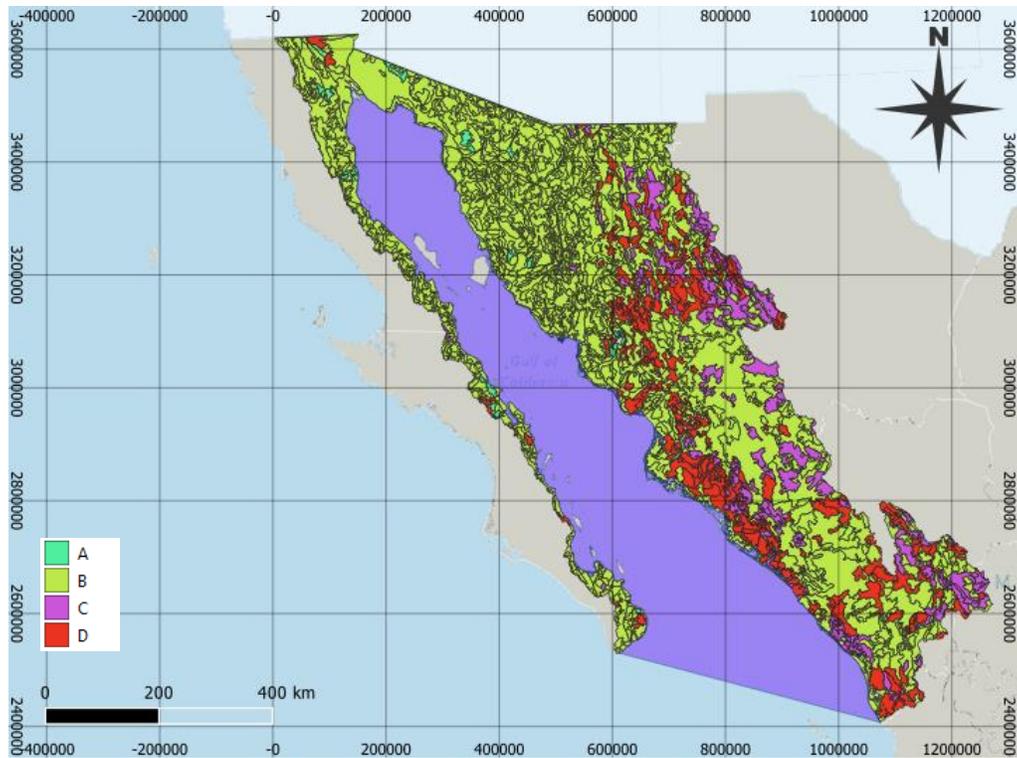


Ilustración 23. Tipo de suelo hidrológico en la zona de estudio Fuente: INEGI (2021)

Tabla 17. Áreas de acuerdo a tipos de suelo hidrológico

TIPO DE SUELO HIDROLÓGICO	ÁREA [km ²]
A	4,378.31
B	294,439.30
C	40,312.96
D	59,223.53

3.3.1.3 CLIMATOLOGÍA

De acuerdo a la clasificación por tipo de climas del INEGI, que se basa en el sistema propuesto por Koppen y modificado por Enriqueta García (CONAGUA, 2021), en las cuencas que conforman la zona de estudio que se encuentra en los estados Baja California Sur, Baja California, Sonora y Chihuahua, predomina el clima muy seco. Hacia el sur predomina el clima sub-húmedo. Aunque Sinaloa presenta clima seco y semi-seco hacia la costa, en cotas más altas presenta un clima cálido sub-húmedo, que conforme se adentra en Durango se convierte en templado subhúmedo. Las cuencas ubicadas en Nayarit presentan un clima cálido sub-húmedo, hacia Zacatecas las cuencas presentan clima templado subhúmedo (Ilustración 24).



Ilustración 24. Unidades climatológicas de la zona de estudio. Fuente: INEGI (2021)

La temperatura media anual en la península de Baja California, Sonora y Chihuahua se encuentra en un rango desde los 17° C hasta los 22° C, mientras que la temperatura anual más baja es de 5°C y se presenta en enero. La temperatura más alta se presenta en diversas épocas del año; en julio y agosto la temperatura en Baja California Sur asciende hasta 35°C, 30°C en Baja California en los meses de mayo a septiembre y en algunos casos se han presentado temperaturas de 45°C en Mexicali en Agosto. En junio y julio, Sonora presenta su temperatura máxima promedio de 38°C y Chihuahua presenta temperaturas de 30°C de mayo a agosto. En Sinaloa y Nayarit se presentan temperaturas de 25°C mientras que en Durango y Zacatecas es de 17° C. Los estados menos fríos son Sinaloa y Nayarit cuya temperatura mínima se presenta en enero con valores de 10.5°C a 12°C, respectivamente. Durango y Zacatecas son los estados más fríos, la temperatura más baja se presenta en la misma temporada con 1.7 °C y 3°C. Durante los meses de mayo a julio se presenta la temperatura máxima anual de 35°C en Sinaloa y Nayarit, de mayo a junio se presenta en Durango y Zacatecas de 31°C (Ilustración 25).

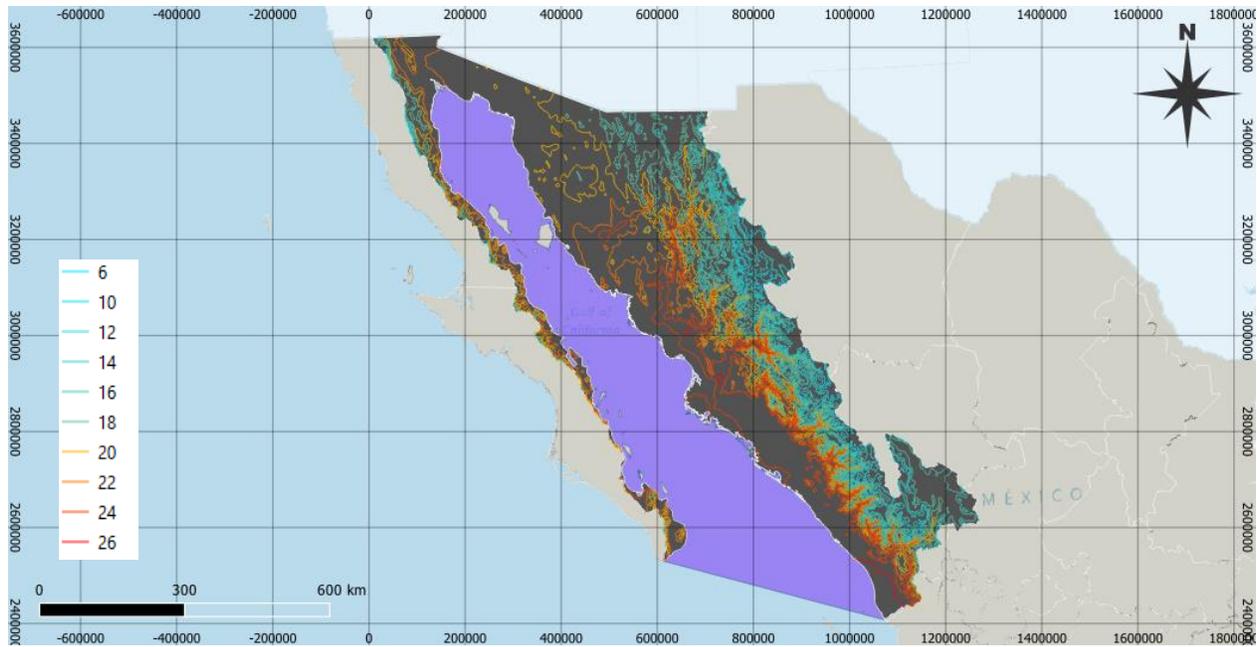


Ilustración 25. Temperatura media anual zona de estudio en °C. Fuente: INEGI (2021)

La presencia de lluvia es escasa en toda la zona, en verano la precipitación media anual de Sonora y Chihuahua es de 450 mm y 500 mm, respectivamente. Baja California Sur presenta lluvias más escasas con una precipitación media anual de menos de 200 mm, mientras que la precipitación media anual de Baja California es de sólo 50 mm al año.

El régimen de lluvias entre Durango y Zacatecas es bastante similar con una precipitación media anual de 500 mm y 510 mm respectivamente, en el periodo de junio a septiembre. Lluvias más abundantes se presentan en las costas de Nayarit, durante mayo a septiembre de 1,000 mm a 1,100 mm anuales. De julio a septiembre se presenta la temporada de lluvias en Sinaloa, donde llueve en promedio 790 mm al año (Ilustración 26).

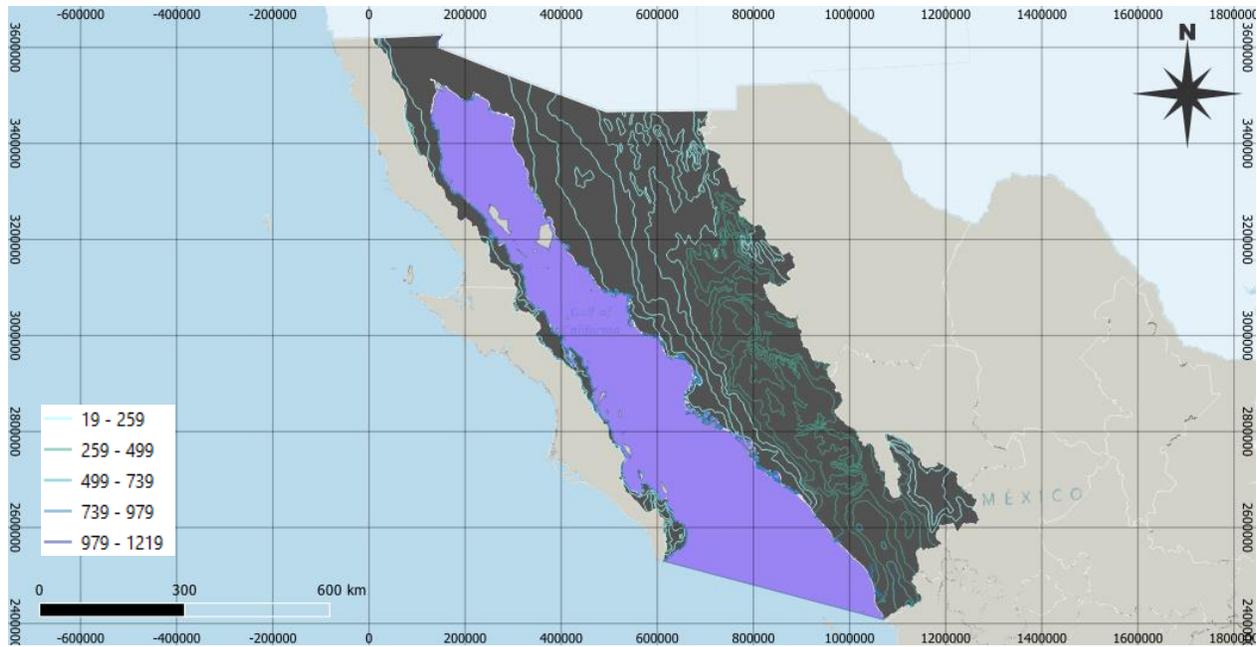


Ilustración 26. Precipitación media anual zona de estudio, en mm. Fuente: INEGI (2021)

3.3.1.4 FAUNA TERRESTRE Y MARINA

TERRESTRE

La diversidad de fauna terrestre en la zona de estudio es muy amplia, comenzando por las zonas secas de la península de Baja California (INEGI, 2021), se encuentran correccaminos, zorros del desierto, borregos cimarrón, tlacoyotes, aves alcas, topos ciegos, cacomixtles y algunas especies de víboras como cascabel. En las zonas boscosas habitan ratones de Monserrat y de San Lorenzo, murciélagos, ardillas, zorros grises, musarañas, gatos monteses, pumas, tlacoyotes y venados bura. Dentro de la zona se puede encontrar otra especie de venado, los venados cola blanca en el estado de Nayarit.

Conforme se adentra a las regiones hidrológicas de Sonora, Sinaloa y Presidio-San Pedro, que se encuentran al pie de la Sierra Madre Occidental, se encuentran más variedad de víboras que incluyen no sólo la cascabel, también la serpiente real, boa, culebras hocico de puerco, ojo de gato, listonada cuello negro, suelera y coralillo o coral ratonera. Continuando con la fauna dentro de la zona se presentan lobos, borregos cimarrón, liebres, musarañas, tortugas, sapos, salamandras, ranas, ratones, ratas de bosque, zorrillos pigmeo, lagartos escorpiones, armadillos y jabalíes de collar.



En las zonas de manglares de los estados de Sinaloa y Nayarit se pueden encontrar cocodrilos, iguanas, martines pescador, garzas, murciélagos, halcones y búhos.

Lamentablemente, muchos de los ejemplares que forman parte de la diversidad de la zona, y de México en general, se encuentran en peligro de extinción, tal es el caso del oso negro, el lobo mexicano, tigrillo, ocelote, puerco espín, tayra, perrito de la pradera, jaguar, berrendo o antílope mexicano, y rata canguro de San Quintín.

MARINA

El golfo de California o mar de Cortés, de acuerdo al Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF por su siglas en inglés), alberga 36 especies marítimas de mamíferos, 31 especies de cetáceos, más de 700 especies de peces que incluyen tiburones y macro invertebrados. En el caso particular de este trabajo se expondrán las especies que tienen una mayor interrelación con los ejemplares en peligro de extinción: los mamíferos marinos y las tortugas.

Entre los animales no mamíferos del golfo se encuentran corales, caracol gorrito, concha nácar y sardinilla peninsular.

Los mamíferos marinos del golfo son el lobo marino de california, foca común –principalmente avistada al sur de Baja California Sur, cerca de Los Cabos-, elefante marino del norte, ballena Minke, ballena de Bryde, ballena Jorobada, ballena Gris, vaquita marina –sus 200 ejemplares se distribuyen en la Reserva de la biosfera alto golfo y Delta del Río Colorado al norte del golfo de California por su estado de peligro crítico-delfín común, delfín de Risso, ballena Piloto, orca, orca falsa, delfín de dientes rugosos, tonina, zífido de Baird, mesoplodonte y zífido de Cuvier.

Dentro de los animales marinos en peligro de extinción, además de la vaquita marina, se encuentra la nutria marina, lobo marino de Guadalupe, ballena franca, ballena azul -600 ejemplares visitan anualmente el mar de Cortés entre diciembre y mayo-, ballena de aleta, y las cinco especies de tortuga marina: Carey, caguama, laúd, golfina y prieta. El cachalote es considerado una especie vulnerable. El golfo de California alberga 104 de las 500 especies de tiburones del país, entre los que se encuentran bajo amenaza el tiburón blanco y tiburón ballena debido a su baja tasa de fecundidad y demora en alcanzar la madurez sexual (WWF, 2021).

Actividades realizadas en la costa como pesca excesiva, arrastre de fondo debido a la flota pesquera industrial, desarrollo urbano y turístico desmedido, acuicultura, pesca deportiva no regulada y el cambio



climático son algunas de las amenazas principales para la fauna de la zona de estudio y la calidad de esteros, deltas y manglares.

3.3.2 ASPECTOS SOCIALES

Los aspectos sociales incluyen la clasificación de las *ciudades* y la población actual dentro de la zona de estudio por municipio dentro de cada región hidrológica que lo conforma. La población se obtuvo del Censo de Población y Vivienda realizado por el INEGI en el año 2020 (Censo de Población y Vivienda, 2020). A partir de los datos municipales y la superficie de estos se obtuvo la densidad de población. Con la densidad de población y el área dentro de las regiones hidrológicas de los municipios, se calculó la población al 2020 en la zona de estudio. En el capítulo 2 se encuentran las cuencas hidrográficas que corresponden a cada región hidrológica.

3.3.2.1 CIUDADES Y POBLACIÓN

El Sistema Urbano Nacional (SUN), es un proyecto elaborado por la colaboración entre el Consejo Nacional de Población, CONAPO, y la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, SEDATU; el cual tiene como objetivo principal crear una base de datos de las *ciudades* en el país clasificándolas de acuerdo a características propias que incluyen área, población, y factores sociodemográficos. La clasificación desarrollada por el SUN es de interés para el presente trabajo, corresponde a las tres formas de identificación de las *ciudades* (CONAPO, 2018):

-  Zonas Urbanas (ZM): Corresponden a ciudades de un gran tamaño e interrelación entre localidades. Su población es mayor que las conurbaciones y centros urbanos, por lo que pueden definirse a partir de 250 mil habitantes.
-  Conurbaciones (C): Se delimitan por la continuidad entre dos o más localidades a partir de los 15 mil habitantes.
-  Centros Urbanos o Centros de Población (CU): Localidades individuales que pueden superar los 15 mil habitantes pero no cubren las características para ser consideradas dentro de los dos rubros antes expuestos.



Para facilitar la muestra de información del área de estudio, tanto la población como la presencia de estas ciudades serán mostradas por Región Hidrológica. Las *ciudades* corresponden a la actualización del SUN en 2018, mientras que la población reúne todas las localidades censadas por el INEGI en 2020.

RH 6 Baja California Sureste

La región se conforma de la ZM *La Paz*, y tres CU *Loreto*, *Cabo San Lucas* y *San José del Cabo*. Dentro se ubican los municipios Comondú, Mulegé, La Paz, Los Cabos y Loreto que en conjunto poseen una población actual total de 415,211 habitantes (Tabla 18).

Tabla 18. Población 2020 en la RH 6 Baja California Sureste

MUNICIPIO	ÁREA RH [km ²]	POB. 2020 [hab]
Comondú	283.37	1,129
La Paz	4,743.71	87,530
Loreto	2,308.30	9,003
Los Cabos	3,371.99	315,587
Mulegé	982.77	1,963
	Σ=	415,211

RH 5 Baja California Centro Este

Se encuentra únicamente un CU definido por el SUN: Santa Rosalía en Mulegé, que también ocupa un área dentro de la región hidrológica en cuestión junto con Ensenada, y en total albergan una población de 74,702 habitantes (Tabla 19).

Tabla 19. Población 2020 en la RH 5 Baja California Centro-Este

MUNICIPIO	ÁREA RH [km ²]	POB. 2020 [hab]
Ensenada	7,757.95	64,835
Mulegé	4,941.17	9,867
	Σ=	74,702

RH 4 Baja California Noreste

De acuerdo al SUN, dentro de la región no se encuentra algún punto que haga referencia a alguna ciudad, ya sea ZM, CU o C, no obstante se muestra a continuación la población de sus municipios, que incluyen Mexicali además de áreas de los municipios de Ensenada y Tecate, de forma que la población total de la región es 697,276 habitantes (Tabla 20).

Tabla 20. Población 2020 en la RH 4 Baja California Noreste

MUNICIPIO	ÁREA RH [km ²]	POB. 2020 [hab]
Mexicali	9,622.19	646,050
Tecate	81.86	3,112
Ensenada	5,757.15	48,114
	Σ=	697,276



RH 7 Río Colorado

En la región hidrológica se encuentra la zona urbana de *Mexicali* y el CU *San Luis Río Colorado*. Su superficie se conforma de la participación de los municipios San Luis Río Colorado (Sonora), Ensenada, Tecate y Mexicali, con una población total de 391,263 habitantes (Tabla 21).

Tabla 21. Población 2020 en la RH 7 Río Colorado

MUNICIPIO	ÁREA RH [km ²]	POB. 2020 [hab]
Mexicali	4,921.99	330,471
Tecate	721.11	27,414
Ensenada	23.67	198
San Luis Río Colorado	1,479.99	33,181
	Σ=	391,263

RH 8 Sonora Norte

Debido a la amplia superficie de esta región a comparación de las anteriores, se encuentra una distribución más amplia de *ciudades*. Se presenta la ZM de *Nogales* y los CU *Puerto Peñasco*, *Sonoyta*, *Heroica Caborca*, *Magdalena de Kino*, y parte de la *Heroica Ciudad de Cananea*. La población total en la región es 732,367, derivada de los municipios que la integran los cuales se muestran en la Tabla 22.



Tabla 22. Población 2020 en la RH 8 Sonora Norte

MUNICIPIO	ÁREA RH [km ²]	POB. 2020 [hab]
Altar	4,457.68	9,492
Atil	300.43	626
Benjamín Hill	1,226.63	4,333
Caborca	10,670.39	89,111
Cananea	1,221.83	20,811
Carbó	21.08	40
Cucurpe	52.00	28
Hermosillo	468.22	25,855
Imuris	1,880.49	10,863
Magdalena	1,237.14	32,988
Naco	599.40	2,795
Nogales	1,756.15	264,720
Opodepe	67.80	74
Oquitoa	916.38	496
Pitiquito	8,082.48	7,508
Puerto Peñasco	6,186.23	62,616
San Luis Río Colorado	7,378.47	165,424
Santa Ana	1,303.33	14,302
Santa Cruz	1,001.20	1,835
Sáric	1,353.58	2,058
Trincheras	2,817.07	1,292
Tubutama	1,725.42	1,473
General Plutarco Elías Calles	3,656.16	13,625
	Σ=	732,367

RH 9 Sonora Sur

En la región Sonora Sur se encuentran las otras dos ZM del estado de Sonora, *Guaymas* y *Hermosillo*, además de las C *Ciudad Obregón* y *Esperanza*, y las CU *Pueblo Yaqui*, *Villa Suárez*, *Navojoa*, *Huatabampo*, *Madera* (Chihuahua), *Agua Prieta*, y la superficie restante de *Heroica Ciudad de Cananea*. La población total de la región asciende a 2,111,306 habitantes, como resultado de la integración de los 77 municipios enumerados a continuación, de los cuales 16 pertenecen a Chihuahua y los restantes a Sonora (Tabla 23).



Tabla 23. Población 2020 en la RH 9 Sonora Sur

MUNICIPIO	ÁREA RH [km ²]	POB. 2020 [hab]	MUNICIPIO	ÁREA RH [km ²]	POB. 2020 [hab]
Bocoyna	117.39	1,013	Fronteras	2,616.35	9,041
Carichí	223.94	699	Granados	363.89	1,009
Casas Grandes	569.57	1,792	Guaymas	7,896.02	155,784
Cuahtémoc	127.26	6,352	Hermosillo	15,219.56	840,424
Cusihuirachi	759.56	2,408	Huachinera	1,197.56	1,186
Chínipas	249.88	781	Huásabas	821.74	888
Guerrero	5,508.20	34,102	Huatabampo	937.33	38,212
Janos	328.87	488	Huépac	420.82	943
Madera	7,543.09	21,707	Imuris	289.52	1,673
Matachí	632.26	2,384	Magdalena	2.28	61
Moris	1,807.08	4,447	Mazatán	683.01	1,101
Namiquipa	9.38	407	Moctezuma	1,877.53	5,173
Ocampo	1,350.74	6,113	Naco	637.94	2,974
San Francisco de Borja	8.49	14	Nácori Chico	2,832.66	1,531
Temósachic	4,027.83	5,013	Nacozari de García	1,735.76	14,369
Uruachi	1,937.75	4,746	Onavas	534.16	365
Aconchi	368.16	2,563	Opodepe	2,156.47	2,364
Agua Prieta	3,605.01	83,974	Pitiquito	1,725.94	1,603
Alamos	3,082.42	11,986	Quiriego	3,780.56	3,090
Arivechi	726.31	1,177	Rayón	879.05	1,496
Arizpe	3,071.96	2,788	Rosario	3,519.77	4,830
Bacadéhuachi	1,065.99	979	Sahuaripa	5,003.75	5,257
Bacanora	1,128.94	759	San Felipe de Jesús	151.34	369
Bacerac	1,343.02	1,220	San Javier	535.93	537
Bacoachi	1,230.95	1,475	San Miguel de Horcasitas	1,115.65	10,729
Bácum	1,581.86	23,130	San Pedro de la Cueva	2,229.53	1,458
Banámichi	808.08	1,825	Santa Ana	173.26	1,901
Baviácora	842.52	3,191	Soyopa	1,716.76	1,368
Bavispe	1,718.75	1,167	Suaqui Grande	914.79	1,114
Benjamín Hill	185.57	655	Tepache	778.66	1,178
Cananea	1,094.36	18,640	Trincheras	193.38	89
Carbó	2,560.73	4,906	Ures	3,088.06	8,548
La Colorada	4,122.09	1,848	Villa Hidalgo	1,471.49	1,429
Cucurpe	1,525.88	835	Villa Pesqueira	1,123.24	1,043
Cumpas	2,010.05	5,829	Yécora	2,667.67	4,793
Divisaderos	385.70	753	Benito Juárez	327.85	19,249
Empalme	592.55	51,377	San Ignacio Río Muerto	1,234.22	12,738
Etchojoa	931.58	60,206	Cajeme	4,853.12	434,409
			Navojoa	2,447.29	143,233
				Σ=	2,111,306

RH 10 Sinaloa

La región de Sinaloa contiene dos zonas urbanas según el SUN, *Mazatlán* y *Culiacán*; cinco conurbaciones, *Los Mochis*, *Juan José Ríos*, *Guasave*, *Guamúchil*, y *Navolato*; y tres centros de población *Licenciado Benito Juárez (Campo Gobierno)*, *Gabriel Leyva Lozano (Benito Juárez)*, y *La Cruz*. La población total de la región es de 2,866,456 habitantes y obedece a la integración de 41 municipios de Sinaloa, Chihuahua y Durango, los cuales se muestran a continuación en la Tabla 24.



Tabla 24. Población 2020 en la RH 10 Sinaloa

MUNICIPIO	ÁREA RH [km ²]	POB. 2020 [hab]
Balleza	1,113.72	3,409
Batopilas	2,137.12	11,270
Bocoyna	997.71	8,610
Chínipas	1,740.02	5,441
Guachochi	5,844.54	42,063
Guadalupe y Calvo	9,619.04	50,514
Guazapares	1,822.88	8,196
Guerrero	0.53	3
Maguarichi	1,006.43	1,302
Morelos	2,183.01	7,266
Ocampo	444.96	2,014
Urique	3,301.73	17,043
Uruachi	721.21	1,766
Canatlán	147.09	1,325
Canelas	892.56	4,321
Durango	0.19	14
Guanaceví	1,372.98	2,470
Otáez	1,709.90	4,924
San Dimas	4,029.92	12,739
Santiago Papasquiaro	2,977.34	22,881
Tamazula	5,800.70	26,300
Tepehuánes	2,824.15	5,295
Topia	1,627.65	9,320
Ahome	3,995.36	459,310
Angostura	1,905.66	44,093
Badiraguato	4,836.33	26,542
Cosalá	2,172.05	17,012
Culiacán	6,063.23	965,048
Choix	3,214.65	29,334
Elota	1,632.36	54,969
El Fuerte	4,169.82	96,593
Guasave	2,938.17	289,370
Mazatlán	1,018.34	201,626
Mocorito	2,800.56	40,358
Salvador Alvarado	773.55	79,492
San Ignacio	4,890.23	18,813
Sinaloa	6,325.76	78,670
Navolato	2,330.69	149,122
Alamos	3,340.39	12,990
Huatabampo	821.13	33,475
Navojoa	361.44	21,154
	Σ=	2,866,456

RH 11 Presidio-San Pedro

Dentro de la RH 11 Presidio-San Pedro se encuentra la ZM *Durango*, de acuerdo a la base de datos del SUN 2018, las conurbaciones *Acaponeta* y *Tuxpan*, y los centros de población *Guadalupe Victoria*, *El Salto*, *Vicente*



Guerrero, Ruíz, Tecuala, Sombrerete, El Rosario, San Vicente y Escuinapa de Hidalgo. La región acoge a 36 municipios tanto de Nayarit como de Durango y Zacatecas, entre los cuales destaca la capital del segundo, Durango, de forma que la totalidad de habitantes en esta región es 1, 576,813 personas (Tabla 25).

Tabla 25. Población 2020 en la RH 11 Presidio-San Pedro

MUNICIPIO	ÁREA RH [km ²]	POB. 2020 [hab]
Canatlán	2,374.44	21,388
Coneto de Comonfort	15.72	60
Cuencamé	289.61	1,892
Durango	8,613.90	638,893
Guadalupe Victoria	989.37	27,564
Mezquital	4,993.21	28,971
Nombre de Dios	1,185.88	19,060
El Oro	0.01	1
Pánuco de Coronado	641.64	7,913
Peñón Blanco	2.69	18
Poanas	1,127.47	25,623
Pueblo Nuevo	6,944.34	51,269
San Dimas	1,247.02	3,942
San Juan del Río	30.96	266
Santiago Papasquiaro	416.62	3,202
Súchil	898.19	4,231
Vicente Guerrero	369.71	23,476
Nuevo Ideal	1,632.92	24,676
Acaponeta	1,427.25	37,232
Huajicori	2,237.42	47,550
Del Nayar	1,222.22	2,907
Rosamorada	1,840.64	33,567
Ruíz	455.25	21,072
Santiago Ixcuintla	970.32	52,754
Tecuala	1,044.25	37,116
Tuxpan	313.93	30,064
Concordia	2,167.28	24,899
Escuinapa	1,553.43	59,942
Mazatlán	1,510.77	299,126
Rosario	2,632.78	3,613
San Ignacio	176.55	679
Chalchihuites	649.24	7,269
Jiménez del Teul	4.82	18
Miguel Auza	41.62	892
Sain Alto	0.41	6
Sombrerete	2,035.04	35,662
	Σ=	1,576,813

La región hidrológica con mayor población es Sinaloa, seguida de Sonora Sur cuya población supera los 1, 100,000 habitantes. Dentro de estas regiones se encuentran las cuencas más grandes de la zona de estudio: Río Yaqui, Río Sonora, Río Fuerte y Río Culiacán, por ejemplo (Ilustración 27).

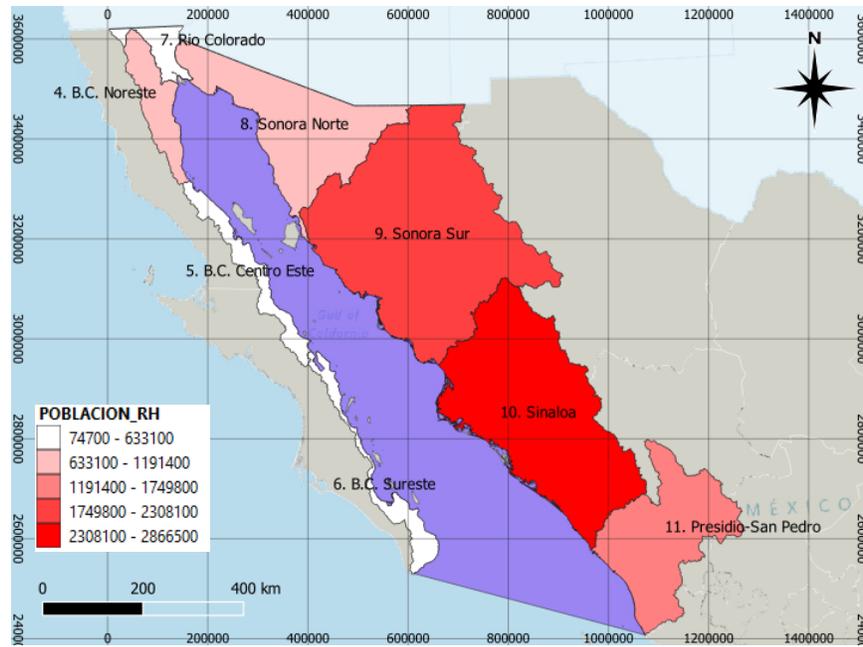


Ilustración 27. Población 2020 por Región Hidrológica. Fuente: INEGI (2021)

3.3.3 ASPECTOS ECONÓMICOS

Al recorrer en sentido horario la zona de estudio, Baja California Sur es el primer estado de interés, de acuerdo con el Sistema de Cuentas Nacionales (Secretaría de Economía, 2021), las actividades económicas con mayor participación son el sector secundario y terciario, que aportan al PIB estatal 28.2 % y 67.7 % respectivamente. El sector primario aporta únicamente el 4.1 % que proviene de actividades como la agricultura, cuya producción se orienta principalmente al pasto tapete, fresas y garbanzos; en captura pesquera ocupa el primer lugar a nivel nacional en la captura de almeja, cabrilla, langosta y raya, y es el segundo lugar en la pesca de calamar; dentro de este sector, la extracción minera del estado ocupa el primer lugar en sal, yeso y fosforita.

Dentro de los sectores estratégicos en el estado, de acuerdo con la Secretaría de Economía, se encuentra el procesamiento, industrialización y empaque de productos agropecuarios, acuicultura intensiva y maricultivos; turismo, rutas de cruceros y turismo náutico; turismo de nicho, prestación de servicios generales y reparaciones a embarcaciones turísticas y de recreo, servicios y negocios. Por consiguiente, las principales actividades son los servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas (15.6 %), comercio (16.1 %), construcción (15.6 %), servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles (10.5 %) y transportes, correos y almacenamiento (6.6 %) (Ilustración 28).

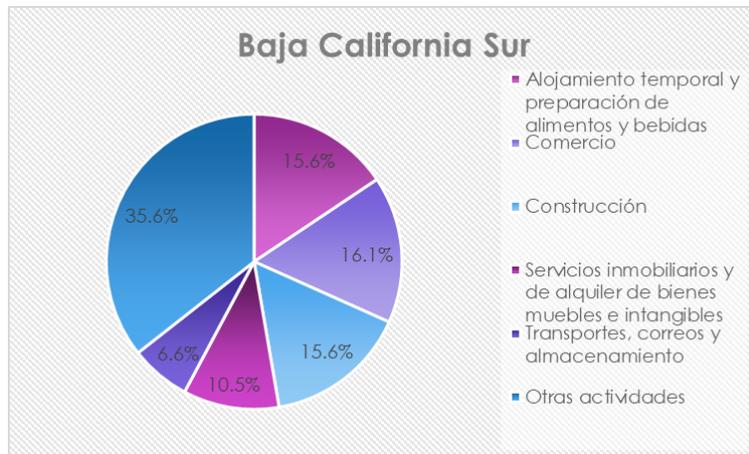


Ilustración 28. Actividades económicas principales en Baja California Sur

La distribución de los sectores económicos en Baja California es similar, las actividades terciarias aportan al PIB estatal 55.5 % (Secretaría de Economía, 2021), las secundarias 41.7 % y las actividades primarias 2.8 %. La producción agrícola del estado destaca en productos como cebolla, frambuesa, jitomate, algodón hueso, dátil, uva y espárrago; en la captura pesquera destaca el erizo, anchoveta, corvina, berrugata, bonita, sardina y calamar; la minería sólo se hace presente en el estado en la extracción de zinc, del cual produce el 30.7 % a nivel nacional, ocupando el segundo lugar.

En los sectores secundario y terciario, las principales actividades son el comercio (16.2 %), servicios inmobiliarios y de alquiler (14.2 %), construcción (11.0 %), fabricación de maquinaria y equipo (8.0 %) y otros (50.6 %). Los sectores estratégicos del estado son electrónicos, electrodomésticos, productos médicos, transporte y vitivinícola (Ilustración 29).

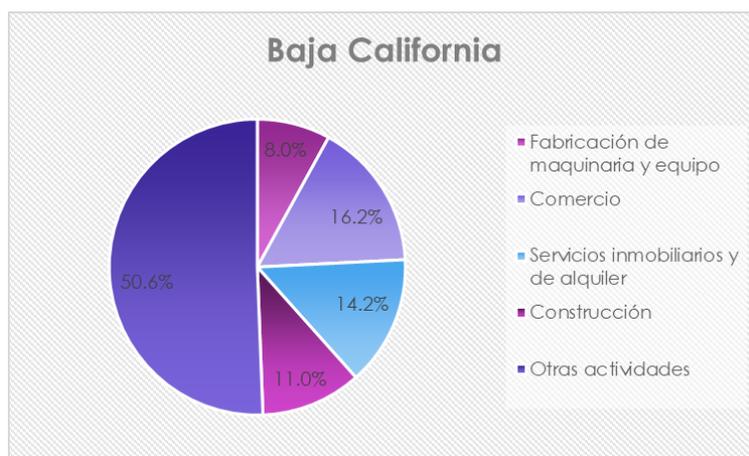


Ilustración 29. Actividades económicas principales en Baja California



La distribución de la aportación al PIB estatal de Sonora es 46.1 % del sector terciario, 47.8 % del sector secundario y 6.1 % del sector primario (Secretaría de Economía, 2021). Es el primer productor agrícola a nivel nacional de trigo, papa, sandía, uva, espárrago y dátil, pero también produce calabacita, garbanzo y nuez. Es también líder en la captura pesquera de sardina, camarón, calamar, corvina, sierra y berrugata; otras especies que también se encuentran en su producción es la jaiba, anchoveta y la almeja. Es el productor nacional principal de productos pecuarios porcinos (carne en canal). Sonora es también un estado minero y ocupa el primer lugar en la extracción de cobre, y oro que representa el 67.7 % y 32.3 % a nivel nacional respectivamente.

Los sectores estratégicos del estado son la minería, industria alimentaria, química, fabricación de productos metálicos, maquinaria y equipo, equipo de transporte, electrónicos y equipo de medición. Las actividades que principalmente se desarrollan en el estado son la minería no petrolera (12.7 %), comercio (15.8 %), servicios inmobiliarios y de alquiler (9.8 %), fabricación de maquinaria y equipo (9.8 %) y otras (51.9 %) (Ilustración 30).

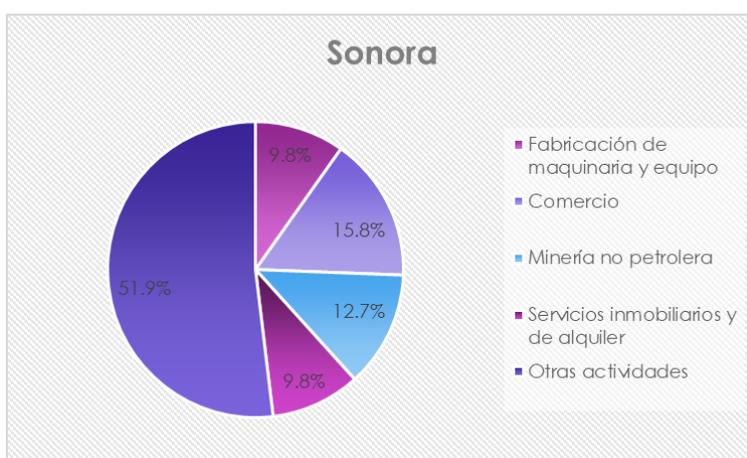


Ilustración 30. Actividades económicas principales en Sonora

Algunas de las cuencas que pertenecen a Sonora inician en Chihuahua, el cual es un estado cuyos sectores económicos de mayor aportación al PIB estatal son las actividades secundarias (43.7 %) y terciarias (49.6 %). Se desarrollan también actividades primarias (6.7 %), como la producción agrícola, extracción minera y producción forestal. Es el productor principal nacional de avena, chile verde, algodón hueso, manzana, nuez y membrillo, adicionalmente produce cebolla y alfalfa verde. Es el segundo productor nacional de zinc, plata y oro, y el primero de plomo aportando el 37 % de este bien. Como productor forestal se encuentra a nivel nacional en el segundo lugar de producción de encino, y tercero de pino.

Los sectores económicos estratégicos del estado son el turismo, la minería, agroindustria, automotriz y autopartes, eléctrico y electrónico. Las principales actividades entonces son la construcción (7.6 %), servicios inmobiliarios y de alquiler (14.7 %), comercio (15.5 %), fabricación de maquinaria y equipo (11.2 %) y otras actividades (51.0 %) (Ilustración 31).

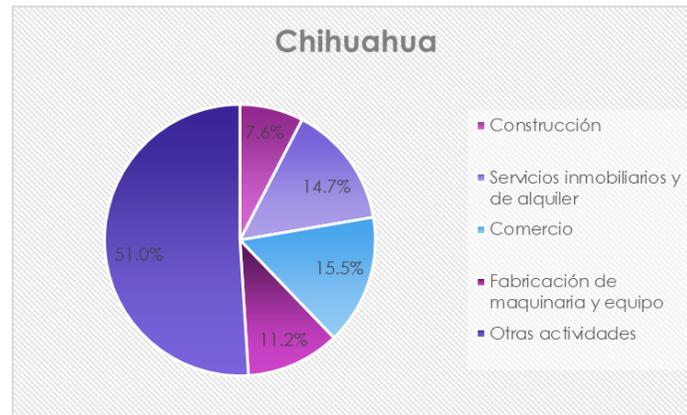


Ilustración 31. Actividades económicas principales en Chihuahua

Otro estado importante en la línea de costa con el golfo de California es Sinaloa que, a comparación de los estados expuestos previamente, presenta una aportación a su PIB por las actividades relacionadas con el sector primario del 12 % especialmente por producción agrícola y pesquera, de acuerdo a datos del INEGI. A nivel nacional es el productor principal de maíz, jitomate, pepino, tomate verde, calabacita y garbanzo; produce además chile verde, papa, frijol y sorgo. En cuanto a la captura pesquera lidera la producción de atún, barrilete, jaiba, bonito y tiburón; es el segundo lugar nacional en la pesca de sardina y camarón.

En lo que concierne a las actividades secundarias, aportan el 21 % del PIB estatal y 67 % las actividades terciarias. Los sectores que se desarrollan principalmente en el estado son la agricultura, construcción, industria alimentaria, minería, industria química, alimentos y bebidas y fabricación de maquinaria y equipo. Las principales actividades realizadas en el estado a partir de estos sectores son el comercio (22.4 %), servicios inmobiliarios y de alquiler (13.9 %), agricultura, aprovechamiento forestal, pesca y caza (10.3 %), industria alimentaria (6.9 %), construcción (8.8 %) y otros (37.7 %) (Ilustración 32).

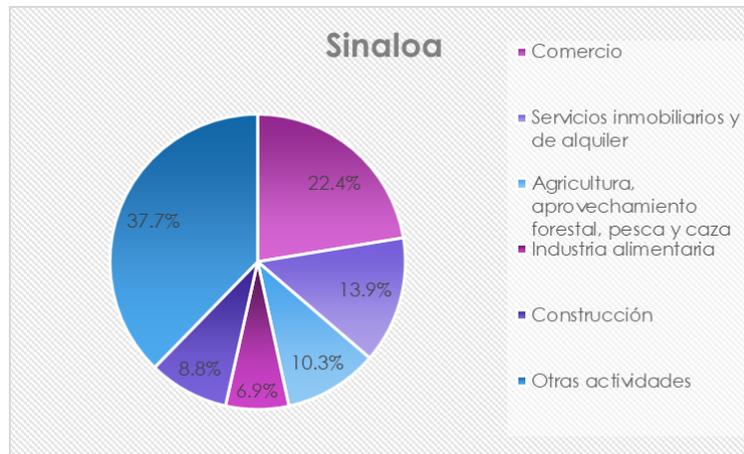


Ilustración 32. Actividades económicas principales en Sinaloa

La aportación al PIB estatal de Nayarit por sector económico es 72.1 % por actividades terciarias, 20.6 % por actividades secundarias y 7.3 % por actividades primarias, de las cuales es el primer lugar en producción nacional de jícama y tabaco, además de producir agave y aguacate. En la captura pesquera, ocupa el tercer lugar en la producción de lisa.

Los principales sectores activos en el estado son la agroindustria, turismo, industria y micro plantas mineras de oro y plata. Las actividades económicas con mayor frecuencia son el comercio (16.9 %), servicios inmobiliarios y de alquiler (15.5 %), construcción (13.0 %), servicios de alojamiento temporal (9.1 %) y otras actividades (45.5 %).

Las cuencas hidrográficas ubicadas en el sur del golfo de California se extienden hasta Durango y Zacatecas. El primero distribuye su aportación al PIB estatal como 59.1 %, 31.0 % y 9.9 % de actividades terciarias, secundarias y primarias respectivamente, mientras que en Zacatecas se distribuyen como 52.2 %, 38.5 % y 9.3 % en el mismo orden. En Durango, las actividades primarias incluyen la producción agrícola de avena, maíz, sorgo, frijol y manzana; producción pesquera de lobina (1°) y bagre en los cuerpos hídricos internos, producción pecuaria de leche de caprino y bovino y carne de aves en canal; es también un estado minero donde se extrae plomo, plata y oro; y es el primer productor forestal de pino y encino.

Las principales actividades económicas en Durango son la industria alimentaria (9.9 %), comercio (14.5 %), servicios inmobiliarios y de alquiler (12.3 %), construcción (8.8 %) y otros (54.5 %), dentro de los sectores minería, metal, mecánica, productos de madera, confección y autopartes, de acuerdo a la Secretaría de Economía (Ilustración 33).

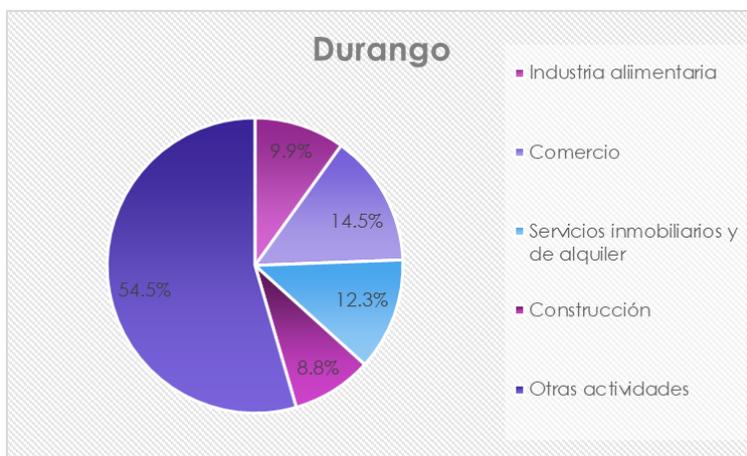


Ilustración 33. Actividades económicas principales en Durango

En contraste, Zacatecas destaca únicamente en la producción agrícola y minera, ocupa el primer lugar nacional en la producción de frijol y zanahoria, produce también tuna, durazno, uva, tomate verde y guayaba; en la extracción minera ocupa el primer lugar en la producción de plata, zinc, plomo con 46.4 %, 32.4 % y 45.8 % del total nacional respectivamente. Se extrae también cobre y oro.

En Zacatecas, los sectores económicos principales son metal, mecánica, turístico y agroindustrial, dentro de los cuales se desarrollan las actividades de minería no petrolera (21.1 %), servicios inmobiliarios y de alquiler (13.2 %), comercio (13.8 %), agricultura, cría y explotación de animales (9.5 %), construcción (8.1 %) y otras (34.3 %) (Ilustración 34).

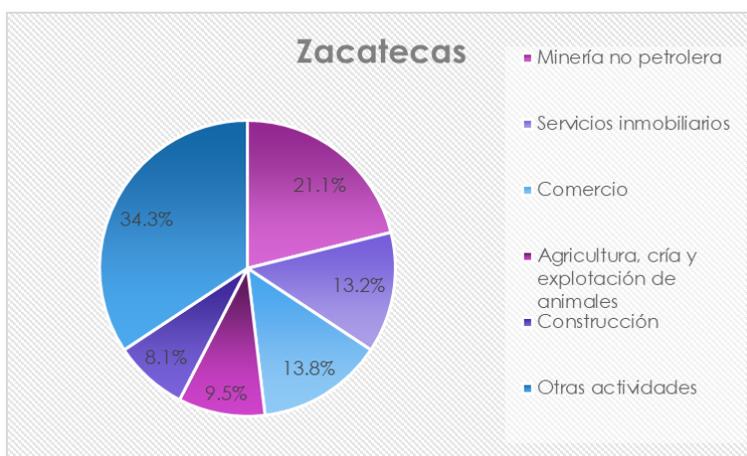


Ilustración 34. Actividades económicas principales en Zacatecas

Los estados que conforman la zona de estudio, en conjunto aportan al PIB nacional el 16.3 %. Los estados que contribuyen en mayor medida son Baja California, Chihuahua y Sonora, con 3.5 % a excepción de Sonora,



cuya aportación corresponde al 3.4 %. Los estados con menor participación son Baja California Sur, Zacatecas y Nayarit, con 0.9 %, 0.9 % y 0.7 % respectivamente. (Tabla 26)

Tabla 26. Aportación al PIB nacional por estado

ESTADO	APORTACIÓN AL PIB NACIONAL [%]	ACTIVIDADES ECONÓMICAS [%]		
		PRIMARIAS	SECUNDARIAS	TERCIARIAS
Baja California	3.5	4.1	28.2	67.7
Baja California Sur	0.9	2.8	41.7	55.5
Chihuahua	3.5	6.7	43.7	49.6
Durango	1.2	9.9	31.0	59.1
Nayarit	0.7	7.3	20.6	72.1
Sinaloa	2.2	12.0	21.0	67.0
Sonora	3.4	6.1	47.8	46.1
Zacatecas	0.9	9.3	38.5	52.2

3.3.4 USOS DEL AGUA

Los usos del agua en el país obedecen a la clasificación del Registro Público de Derechos de Agua (RePDA) que registran los volúmenes concesionados o asignados a las diversas actividades que requieran del uso del recurso hídrico. En total existen 14 rubros de clasificación en el REPDA divididos en usos consuntivos y no consuntivos. Dentro del primer rubro se encuentra el uso agrícola, agroindustrial, doméstico, acuacultura, servicios, industrial, termoeléctricas, pecuario, público urbano, múltiples, comercio, y otros; mientras que dentro del uso no consuntivo se consideran las hidroeléctricas y la conservación ecológica, que desde 2014 adiciona un volumen de 9.46 hm³/ año a nivel nacional. Para facilitar el manejo de información, el RePDA agrupó los usos consuntivos en cuatro categorías: agrícola, abastecimiento público, industrial integrado o industria autoabastecida y energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad (CONAGUA, 2018). Con los datos anteriores CONAGUA obtiene el grado de presión hídrica por región hidrológico administrativa.

El grado de presión hídrica representa la relación entre el agua empleada en usos consuntivos y el agua renovable disponible. La escala de este grado puede ser muy alto, alto, medio, bajo y sin estrés. En general cuando este porcentaje se encuentra entre 40 y 100 % se considera alto y en caso de superar el 100 % se considera muy alto (CONAGUA, 2018).

La zona de estudio continental, como se expresó en su delimitación, se encuentra dentro de tres regiones hidrológico-administrativas: I Península de Baja California, II Noroeste y III Pacífico Norte que se clasifican con



un grado de presión alto (Tabla 27), de forma que la zona en general se puede considerar se encuentra sometida a un grado elevado de estrés hídrico.

Tabla 27. Grado de presión hídrico por RHA. Fuente: CONAGUA, 2018

No. RHA	Volumen de agua concesionado 2017 [hm ³]	Agua renovable 2017 [hm ³]	Grado de presión [%]
I	3,951	4,858	81.3
II	7,007	8,274	84.7
III	10,811	26,747	40.4

DISTRITOS DE RIEGO

La agricultura, es una actividad que demanda un consumo extensivo de agua. Es por esto que su análisis es fundamental al momento de buscar un equilibrio entre la oferta y la demanda de este recurso y para obtener una visión general del comportamiento del mismo y su efecto sobre el estado general de la zona de estudio. Un análisis se puede realizar a partir de los distritos de riego registrados por CONAGUA bajo el área administrativa Subdirección General Hidroagrícola, Gerencia de Distritos de Riego. Estos datos, se encuentran disponibles en el Sistema Nacional de Información del Agua (SINA), que registra datos anuales desde el 2015-2016, hasta 2018-2019 que será el que se trabajará en este punto. Para distribuir la información de manera que sea más sencillo comprender su ubicación en relación al área de estudio, se utilizarán las regiones hidrológicas (Tabla 28).

Tabla 28. Distritos de riego en zona de estudio. Año agrícola 2018-2019

REGIÓN HIDROLÓGICA	DISTRITO DE RIEGO	NÚMERO DE USUARIOS	SUPERFICIE [ha]	V. SUPERFICIAL [m ³]	V. SUBTERRÁNEO [m ³]	V. TOTAL [m ³]
B.C. Sureste	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
B.C. Centro-Este	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
B.C. Noreste	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Río Colorado	Río Colorado	17,425	208,635.03	1,478,165,000.00	790,360,000.00	2,268,525,000.00
Sonora Norte	Altar Pitiquito	3,059	36,833.00	4,819,340.00	287,547,390.00	292,366,730.00
Sonora Sur	Costa de Hermosillo	1,040	58,871.00	0.00	391,295,990.00	391,295,990.00
	Guaymas	1,286	11,616.00	0.00	85,364,770.00	85,364,770.00
	Colonias Yaquis	2,446	23,226.85	255,288,630.00	0.00	255,288,630.00
	Río Yaqui	23,256	232,684.02	1,852,706,721.58	442,812,759.61	2,295,519,481.19
	Río Mayo	11,856	95,990.81	675,311,860.00	183,459,060.00	858,770,920.00
	Papigochic	1,042	7,651.60	35,750,850.00	0.00	35,750,850.00
Sinaloa	Valle del Carrizo	9,614	79,740.29	821,760,810.42	0.00	821,760,810.42
	Río Fuerte	26,511	231,699.47	2,618,023,318.40	0.00	2,618,023,318.40
	Guasave	14,175	109,153.83	1,011,765,170.00	163,741,370.00	1,175,506,540.00
	Mocorito	5,669	45,967.55	351,414,360.00	21,999,990.00	373,414,350.00
	Culiacán-Humaya	18,971	200,783.05	1,813,719,317.98	33,629,250.00	1,847,348,567.98
	Río San Lorenzo	8,848	70,392.26	693,788,410.00	42,804,100.00	736,592,510.00
Presidio San-Pedro	Elota-Piaxtla	2,839	31,943.79	209,835,030.00	21,289,880.00	231,124,910.00
	Baluarte-Presidio	1149	8,438.61	42,140,218.01	0.00	42,140,218.01
	Estado de Nayarit	11020	51,329.00	560,166,280.00	1,010,590.00	561,176,870.00
	Estado de Durango	4692	21,224.94	147,238,990.00	22,501,000.00	169,739,990.00
Σ=		164,898	1,526,181	12,571,894,306.40	2,487,816,149.61	15,059,710,456.01



La zona de estudio cuenta con 18 distritos de riego (Ilustración 35), que conforman una superficie total de 1,526.181 ha. Para abastecer éstos se requiere de 15,059,710,456.01 m³ anuales (477.48 m³/s), de los cuales 12,571,894,306.40 m³ (398.60 m³/s) provienen de fuentes de abastecimiento superficiales y 2,487,816,149.61 m³ (78.88 m³/s) de fuentes subterráneas. Los distritos dentro de la región RH 10 Sinaloa representan un 50.43 % de la superficie total de los mismos y 51.82 % de la demanda de agua total siendo la región con mayor influencia, mientras que la región Sonora Norte es la menor con 2.41 % de los distritos. Las regiones B.C. Sureste, B.C. Centro-Este, y B.C. Noreste no poseen distritos de riego registrados en esta base de datos.



Ilustración 35. Distritos de riego dentro de la zona de estudio. Fuente: CONAGUA (2021)



3.4 EVALUACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE CAUDALES

Se presentan los registros hidrométricos y validación de datos de las 28 estaciones hidrométricas elegidas en el capítulo 2, para el análisis de la variación del régimen de flujo de los caudales prioritarios, el proceso de complementación de datos faltantes, consideraciones, años de registro y caudal medio por año por estación. En el último apartado se calcula el caudal ecológico por métodos hidrológicos, siendo éste la referencia para evaluar el nivel de alteración del caudal líquido.

3.4.1 CAUDALES LÍQUIDOS

Los datos de las estaciones hidrométricas seleccionadas se obtuvieron de la *Base Nacional de Datos Superficiales*, por sus siglas BANDAS, la cual ofrece mediciones medias e instantáneas, éstas últimas corresponden a los *hidrogramas*, que son relaciones gráficas entre la variación del caudal respecto al tiempo. En el presente trabajo, los datos de interés corresponden a los datos medios, especialmente a los caudales anuales y diarios; estos últimos se utilizan primero para complementar datos faltantes, así como también para determinar caudales medios y volúmenes (valores promedio y acumulados) mensuales y anuales para otros propósitos del proyecto.

Los caudales medios diarios fueron procesados mediante un programa desarrollado particularmente para el proyecto, también se usan para completar datos faltantes anuales pero requieren de una validación de los mismos, a nivel de magnitud de caudal. La validación de este proceso se realizó con la estación 11014 “Acaponeta”, debido a que es una estación cuya información brindada por el BANDAS es ininterrumpida.

La estación afora el Río Acaponeta en el estado de Nayarit en las coordenadas Latitud 22°29'00" y Longitud 105°20'30" en la cuenca homónima. Se ubica sobre el Río Acaponeta, en el cruce con el ferrocarril del pacífico (CONAGUA ; IMTA, 2021), en el kilómetro 1,326 en el municipio que toma el nombre del río. Se instaló con el objetivo de conocer el régimen de las aguas para dos proyectos hidráulicos de riego en el Valle de Acaponeta y Tecuala.

La comparación entre los valores de caudal medio anual calculado a partir de los caudales medios diarios y el obtenido directamente de la base de datos, se muestra en la Ilustración 36.

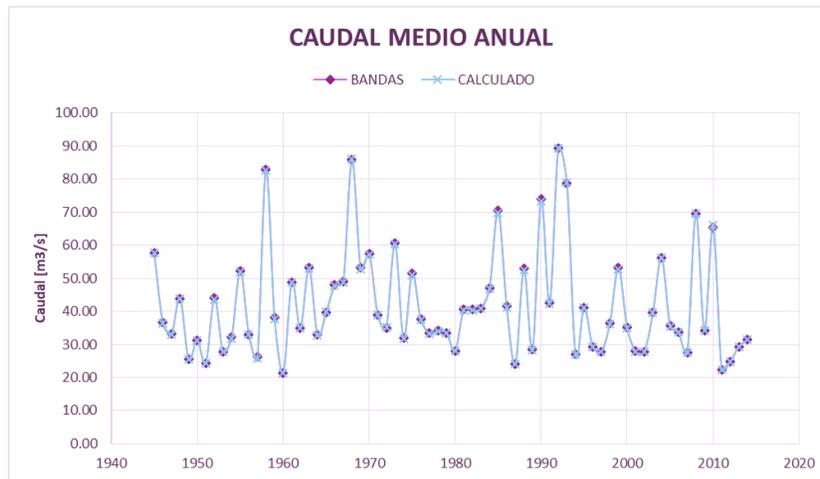


Ilustración 36. Gasto medio diario y gasto medio anual estación 11014

En la gráfica se observa que ambas series presentan el mismo comportamiento con variaciones mínimas en sus valores (ver anexo 6.2), con lo que se puede concluir que el uso del programa y de este tipo de procesamiento es válido para complementar datos faltantes en otras estaciones, cuyo tema se extenderá en párrafos subsecuentes.

Se utilizaron tres técnicas para completar datos en las estaciones que así lo requirieron: caudal medio diario, promedio de valores anteriores y correlación con estaciones vecinas (Aparicio M., 1992). Sin embargo, dadas las condiciones de datos de las estaciones y la ubicación de éstas, fue necesario realizar ciertas modificaciones a cada uno de los métodos para subsanar los casos en los que no se encontraban estaciones vecinas con correlación aceptable o eran inexistentes. Estos se muestran a través del siguiente código de colores que se encuentra en las tablas de caudales medios anuales:

Tabla 29. Código de colores para datos complementados.

Indica datos obtenidos a partir del análisis de datos diarios
Indica promedio de valores anteriores (-10%)
Indica promedio de valores anteriores (+10%)
Indica correlación con estaciones vecinas >0.50
Indica correlación con estaciones vecinas >0.80
Indica correlación con estaciones vecinas >0.20



Para ejemplificar lo anterior se muestra la estación 10120 “Guasave Puente Carretera”, cuyos 32 datos se complementaron mediante los tres métodos anteriores debido a que los años de registro de estaciones vecinas no correspondían con los años faltantes en la estación de interés.

La estación se encuentra en el estado de Sinaloa, municipio de Guasave y afuera el Río Sinaloa. Está instalada en la pila de un puente sobre la carretera No. 15 con coordenadas Latitud 25°34'36" y Longitud 108°27'24". El objetivo de su instalación es conocer el régimen de tirantes de la corriente (CONAGUA, 2020).

El primer método para complementar datos fue la correlación con la estación vecina 10036 ubicada aguas arriba de la estación de análisis, con la que comparte registro en los años de 1975 a 1995, a partir de la cual se construyó una línea de tendencia de 2° grado con $R=0.6669$, de forma que se rescataron los años 1987, 1988 y 1989 (Ilustración 37).

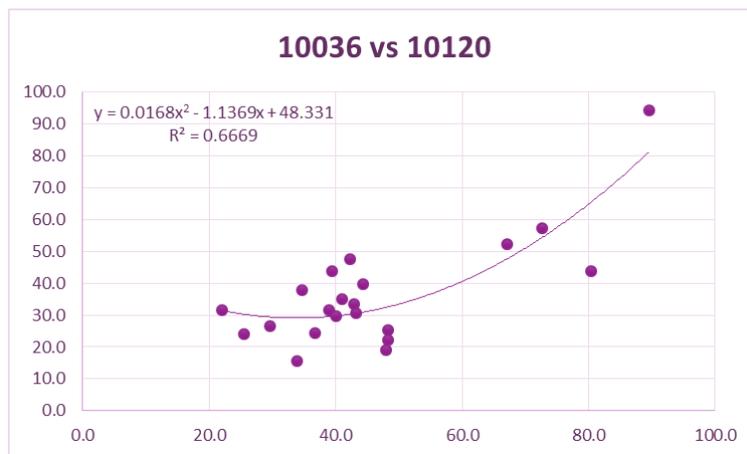


Ilustración 37. Correlación entre estaciones 10036 y 10120

El siguiente método aplicado corresponde a los caudales medios diarios, obtenidos a través del uso del programa mencionado anteriormente cuyo algoritmo consiste en obtener el gasto medio anual a partir de calcular el promedio de todos los gastos medios diarios registrados por año, en este caso, cuando faltan algunos valores de un mes, con éstos se determina el caudal promedio mensual. Con dicho método se completaron los años 1996, 2001 y 2002 para finalmente concluir la estación en los años 1993, 1997, 2003 y 2005 con promedio aritmético de valores anteriores para toda la serie. La serie de datos de la estación se muestra en la Tabla 30, para las estaciones restantes ver anexo 6.4.



Tabla 30. Serie de datos completa de la estación 10120

10120			
AÑO	CAUDAL [m ³ /s]	AÑO	CAUDAL [m ³ /s]
1975	24.084	1991	52.148
1976	43.938	1992	57.234
1977	31.548	1993	37.242
1978	34.888	1994	25.404
1979	39.649	1995	22.191
1980	26.597	1996	16.531
1981	37.807	1997	35.078
1982	15.590	1998	36.769
1983	24.310	1999	7.598
1984	94.300	2000	6.021
1985	43.879	2001	4.564
1986	19.073	2002	4.051
1987	30.5686	2003	30.921
1988	31.4525	2004	7.246
1989	29.7609	2005	30.132
1990	33.522	2006	7.866

Diez de las veintiocho estaciones aforan canales, en su mayoría provenientes de presas derivadoras. La estación 09022 “Hornos” presenta la media de mayor valor de caudal medio anual con 37.997 m³/s. Se ubica dentro de la cuenca del Río Yaqui y afora el Canal Bajo que nace de la presa derivadora “Hornos” así como algunas de las filtraciones de la presa Álvaro Obregón en Sonora.

Por otro lado, las estaciones con menores caudales medios anuales corresponden a la 09028 “Chanate” que afora el canal del mismo nombre sobre la cuenca del Río Sonora, y la estación 11071 “Baluarte” sobre el Canal Baluarte Margen Izquierda ubicado en la cuenca del Río Baluarte, Sinaloa con gastos de 0.215 m³/s y 0.245 m³/s respectivamente. El resumen de las estaciones hidrométricas que aforan canales se muestra en la Tabla 31.



Tabla 31. Estaciones hidrométricas que aforan canales

CLAVE	NOMBRE	CORRIENTE	CAUDAL LÍQUIDO	
			AÑOS	Q _{ma} [m ³ /s]
09022	HORNOS	CANAL BAJO	45	37.997
09040	SAN PEDRO	CANAL SAN PEDRO	9	1.417
09028	CHANATE	CANAL CHANATE	31	0.215
09031	SERIS	CANAL VIEJO DE SERIS	29	0.312
10056	KM. 46+780	CANAL SICAE	7	1.023
10023	PUENTE NUEVO	CANAL ROSALES MARGEN DERECHA	60	12.778
10022	BOCATOMA	CANAL CAÑEDO	19	3.390
10091	KM. 0+700	CANAL PRINCIPAL MARGEN IZQUIERDA	13	36.535
10061	PUENTE DREN	CANAL PRINCIPAL MARGEN IZQUIERDA	13	24.247
11071	BALUARTE	CANAL BALUARTE MARGEN IZQUIERDA	12	0.245

Las estaciones restantes se encuentran instaladas en ríos con objetivos diversos, ya sea para obtener la magnitud de los escurrimientos provenientes de presas ubicadas aguas arriba de la estación, aportaciones a los embalses aguas abajo o con el objetivo de monitorear el régimen de las aguas para futuros proyectos hidráulicos. Entre ellas, las estaciones con valores extremos son 11012 “San Pedro” –máximo-, y 08025 “Sonoita II” –mínimo-.

La primera se ubica en el estado de Nayarit sobre el Río San Pedro en la cuenca del mismo nombre, y su media es de 83.876 m³/s, obtenida a partir de 71 años de registros. En contraste, la estación 08025 se encuentra en el norte de la zona de estudio, en el estado de Sonora sobre el Río Sonoita –también se acepta *Sonoyta*-, en la subcuenca del mismo nombre dentro de la cuenca Desierto del Altar-Río Bamorí. Su media corresponde a 0.342 m³/s, de un registro de 38 años (Tabla 32).

A continuación se muestra una tabla resumen de las 18 estaciones que aforan corrientes de ríos. Información adicional sobre las estaciones como presas cercanas y observaciones se encuentra en el anexo 6.3.



Tabla 32. Estaciones hidrométricas que aforan ríos

CLAVE	NOMBRE	CORRIENTE	CAUDAL LÍQUIDO	
			AÑOS	Q _{ma} [m ³ /s]
09063	PUNTA DE AGUA	ARROYO MATAPE	15	1.344
09089	COCORAQUE	ARROYO COCORAQUE	46	0.433
09002	NAVOJOA	RIO MAYO	5	32.337
09017	ELOREGANO	RIO SONORA	71	3.135
08025	SONOITA II	RIO SONOITA	38	0.342
08018	PITIQUITO II	RIO DE LA ASUNCIÓN	50	1.349
10085	SAN MIGUEL Z	RIO FUERTE	30	37.817
10120	GUASAVE PUENTE CARRETERA	RIO SINALOA	32	29.436
10031	GUAMUCHIL	RIO MOCORITO	61	2.445
10086	PERICOS	ARROYO PERICOS	33	1.464
10040	SANTA CRUZ	RIO SAN LORENZO	71	49.413
10070	ACATITAN	RIO ELOTA	54	13.962
10065	IXPALINO	RIO PIAXTLA	63	71.773
10083	EL QUELITE	RIO QUELITE	55	4.467
11016	BALUARTE II	RIO BALUARTE	67	48.893
11014	ACAPONETA	RIO ACAPONETA	70	42.105
11012	SAN PEDRO	RIO SAN PEDRO	71	83.876
11058	SIQUEROS	RIO PRESIDIO	56	30.967

En las estaciones que se encuentran aguas arriba de una presa será necesario realizar un cálculo adicional para estimar el volumen de agua que se utiliza en los usos de la misma. Esta actividad no forma parte de este trabajo, pero se realizará con miras a obtener valores más precisos como parte de las actividades del proyecto.

Con el objetivo de inferir la cantidad total de agua que desemboca al golfo de California y su variación anual, se realizó la suma de los caudales medios anuales por región hidrológica y en conjunto tal se observa en la Tabla 33.



Tabla 33. Caudal total que desemboca al golfo de California por RH

AÑO	SONORA SUR		SONORA NORTE		SINALOA		PRESIDIO-SAN PEDRO		CAUDAL TOTAL [m³/s]
	CAUDAL TOTAL [m³/s]	# ESTACIONES							
1939	50.696	1	N/A	0	4.278	1	N/A	0	54.974
1940	18.053	1	N/A	0	1.674	1	N/A	0	19.726
1941	27.642	2	N/A	0	1.849	1	N/A	0	29.491
1942	37.848	2	N/A	0	2.894	1	N/A	0	40.742
1943	36.793	2	N/A	0	14.709	1	N/A	0	51.502
1944	2.021	1	N/A	0	52.042	2	128.500	1	182.562
1945	2.885	1	N/A	0	41.252	2	127.852	2	171.989
1946	5.082	1	N/A	0	25.707	2	115.977	2	146.767
1947	0.849	1	N/A	0	57.607	2	112.291	2	170.748
1948	2.863	1	N/A	0	57.406	2	227.677	3	287.946
1949	3.739	1	N/A	0	55.187	2	136.639	3	195.565
1950	2.592	1	N/A	0	44.103	2	129.669	3	176.364
1951	4.755	1	N/A	0	22.252	2	94.466	3	121.473
1952	3.143	1	N/A	0	34.827	3	140.714	3	178.684
1953	2.755	1	N/A	0	60.869	3	129.698	3	193.323
1954	4.364	1	N/A	0	75.886	3	122.954	3	203.204
1955	4.839	1	N/A	0	138.123	4	210.221	3	353.183
1956	2.074	1	N/A	0	52.650	4	123.448	4	178.172
1957	5.251	2	N/A	0	30.860	4	97.742	4	133.853
1958	8.011	2	N/A	0	161.581	4	402.930	4	572.522
1959	2.067	2	N/A	0	92.283	4	185.295	4	279.645
1960	3.375	2	3.424	1	116.843	7	114.526	4	238.168
1961	2.663	2	0.798	1	233.598	7	208.030	4	445.089
1962	1.547	2	0.321	1	103.825	7	157.001	4	262.693
1963	4.955	2	2.669	1	235.078	7	250.262	4	492.964
1964	6.012	2	2.732	1	176.748	7	202.328	4	387.819
1965	1.866	2	1.568	1	75.071	7	194.726	4	273.231
1966	10.983	2	1.993	1	260.353	7	251.779	4	525.108
1967	6.484	2	2.976	1	155.657	7	251.932	4	417.049
1968	4.126	2	0.295	1	380.729	7	426.981	4	812.130
1969	4.193	3	0.598	1	94.239	7	270.701	4	369.731
1970	6.166	3	0.810	1	134.970	7	316.397	4	458.344
1971	6.559	3	1.537	1	142.953	7	226.387	4	377.436
1972	0.901	2	0.744	1	203.187	7	178.122	4	382.954
1973	1.663	2	0.487	2	204.222	7	313.683	4	520.055
1974	2.013	2	1.734	2	157.158	7	194.766	4	355.671
1975	1.591	2	1.743	2	127.564	8	240.516	4	371.414
1976	2.176	2	0.936	2	153.739	8	230.229	4	387.081
1977	4.105	2	2.097	2	142.853	8	176.281	4	325.335
1978	4.067	2	3.444	2	147.013	8	186.574	4	341.098
1979	8.147	2	5.147	2	186.046	8	160.259	4	359.599
1980	3.735	2	0.636	2	159.560	8	171.797	4	335.728
1981	2.062	2	0.863	2	277.254	8	262.764	4	542.943
1982	1.463	2	1.491	2	141.101	8	111.995	4	256.050
1983	11.203	2	9.512	2	168.625	8	252.409	4	441.749
1984	11.300	2	2.905	2	343.338	8	286.085	4	643.627
1985	7.106	2	0.978	2	277.904	8	337.589	4	623.577
1986	7.428	2	0.709	2	205.771	8	210.152	4	424.059
1987	1.642	2	0.762	2	172.055	8	170.183	4	344.642
1988	4.093	2	0.757	2	175.458	8	287.863	4	468.172
1989	3.059	2	2.347	2	130.250	8	149.684	4	285.340
1990	7.094	2	0.837	2	140.697	7	316.368	4	464.996
1991	3.899	2	0.660	2	200.158	7	223.938	4	428.654
1992	3.930	2	1.055	2	248.740	7	357.414	4	611.138
1993	3.902	2	5.415	2	195.036	6	265.411	4	469.765
1994	4.093	2	1.754	2	125.596	6	227.707	4	359.150
1995	7.138	2	0.680	2	108.557	6	165.885	4	282.260
1996	2.576	2	1.476	2	107.774	6	235.695	4	347.521
1997	1.007	2	1.476	2	189.136	6	140.680	4	332.300
1998	4.006	2	0.517	2	215.887	6	172.019	4	392.429
1999	1.042	2	0.499	2	157.663	6	191.769	4	350.973
2000	3.224	2	1.906	2	90.762	5	127.971	4	223.863
2001	1.270	2	0.146	2	94.076	5	101.225	4	196.718
2002	0.331	2	0.206	2	105.138	5	108.679	4	214.354
2003	1.132	2	1.498	2	129.702	5	250.637	4	382.969
2004	2.670	2	1.499	2	109.114	5	276.535	4	389.818
2005	0.976	2	1.450	2	127.075	5	84.435	4	213.937
2006	4.180	2	0.446	2	113.533	5	155.627	4	273.786
2007	3.386	2	0.350	2	101.713	4	139.151	4	244.600
2008	1.333	2	0.198	2	277.049	4	341.995	4	620.575
2009	0.469	2	1.349	2	77.469	3	131.989	4	211.276
2010	1.057	2	0.000	1	377.516	3	266.703	4	645.276
2011	0.281	2	N/A	0	339.516	3	102.094	4	441.891
2012	0.020	1	N/A	0	408.356	3	68.424	3	476.800
2013	0.281	1	N/A	0	361.471	3	101.127	3	462.879
2014	0.054	1	N/A	0	390.575	3	80.949	3	471.578



Se utiliza el término *inferir* debido a que no existe un periodo de tiempo en el cual todas las estaciones hidrométricas que aforan los ríos, coincidan en sus valores. El periodo más cercano a que esto ocurra abarca 15 años entre 1975 y 1989, donde las únicas estaciones que no participan son la 09063, que afora el arroyo Matape, y la estación 09002, que afora el Río Mayo. En la Ilustración 38 este periodo se representa mediante marcadores de color rojo.

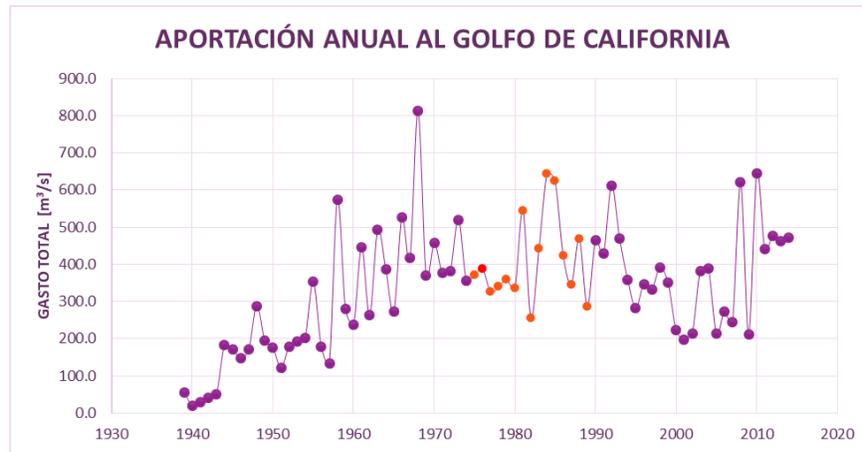


Ilustración 38. Evolución temporal de las aportaciones al golfo de California

Esta aportación puede desglosarse por región hidrológica, como se muestra de la Ilustración 39 a la Ilustración 42. La primera gráfica se construyó con información de tres estaciones que se encuentran dentro de la RH 9 cuyos datos coinciden en el periodo del 1969 a 1971, la distribución en los años restantes se encuentra en la tercera columna de la Tabla 33. Durante los primeros años, 1939 a 1943, presenta la mayor cantidad de aportación, la cual se ve reducida drásticamente a partir del año subsecuente, en donde se observa que los datos oscilan alrededor de la media de $3.6 \text{ m}^3/\text{s}$. La diferencia se debe a que la estación que registra el mayor caudal es 09002 ubicada sobre el Río Mayo cuyas mediciones cesan en 1943.

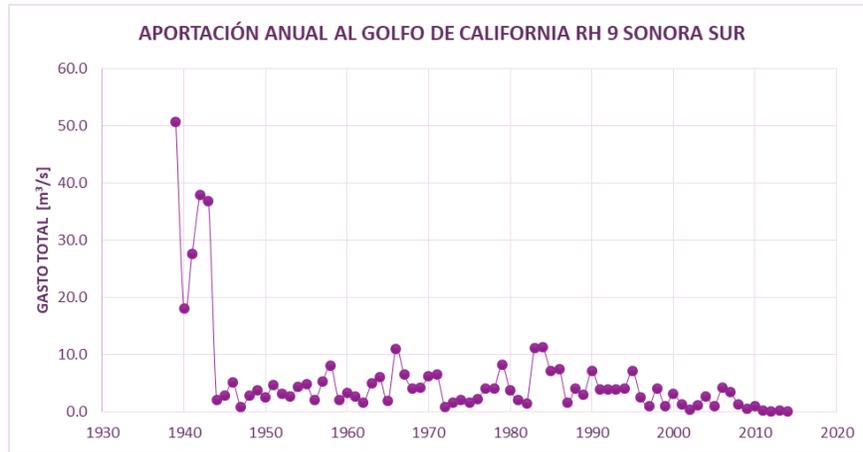


Ilustración 39. Evolución temporal de las aportaciones de la RH 9 Sonora sur al golfo de California

La evolución temporal de las aportaciones que provienen de la RH 8 (Ilustración 40) muestra la suma de los registros de dos estaciones, cuyos datos coinciden durante 37 años (1973-2009) que representa el 74 % de la línea temporal en análisis. El comportamiento presenta un único pico en 1983 debido a una caudal por encima de la media registrado por la estación 08018 de 6.9 m³/s, relacionada con una lluvia extraordinaria en la zona de 487 mm, según la estación 26096 de la base de datos CLICOM.

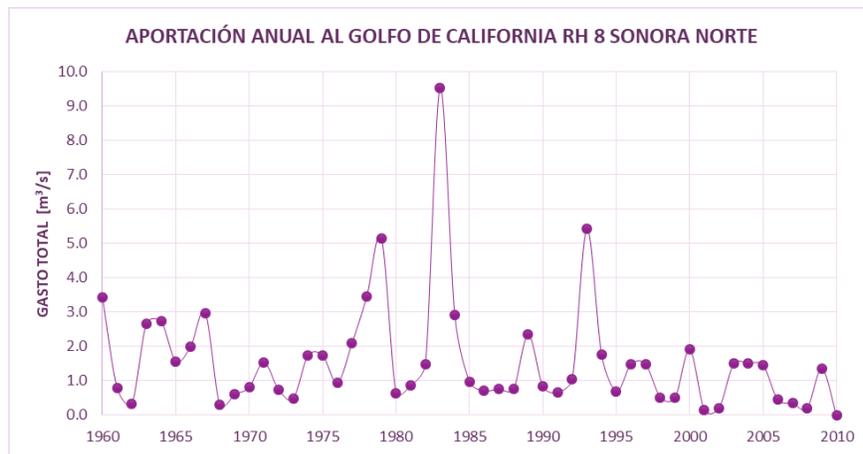


Ilustración 40. Evolución temporal de la RH 8 Sonora norte al golfo de California

La aportación anual al golfo de California por parte de la RH 10 (Ilustración 41) presenta una tendencia a incrementar especialmente a partir del año 2010 debido a los datos registrados por la estación 10065 que afora el Río Piaxtla, la cual durante el periodo de 2010 al 2014 presenta gastos de 273.3 m³/s a 379.8 m³/s. Durante este periodo no se registran lluvias extraordinarias en las estaciones cercanas a la zona según



CLICOM. La evolución temporal de las aportaciones se realizó con información de 8 estaciones cuyos datos coinciden de 1975 a 1989, la distribución durante los años restantes se encuentra en la séptima columna de la Tabla 33.

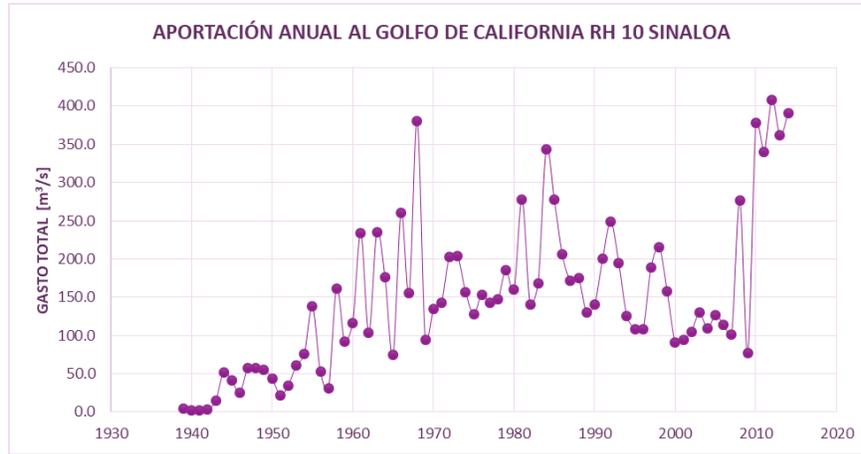


Ilustración 41. Evolución temporal de la RH 10 Sinaloa al golfo de California

Dentro de las regiones hidrológicas de las cuales se muestra la evolución temporal de las aportaciones anuales al golfo de California, la que presenta comportamiento estable es la RH 11 (Ilustración 42), ya que se observa que posee una media clara sin picos significativos de 195.9 m³/s. Dicha evolución se construyó con los datos de 4 estaciones dentro de la región, cuyos años coinciden de 1956 al 2011 que representa el 78.9 % de la línea temporal en análisis.

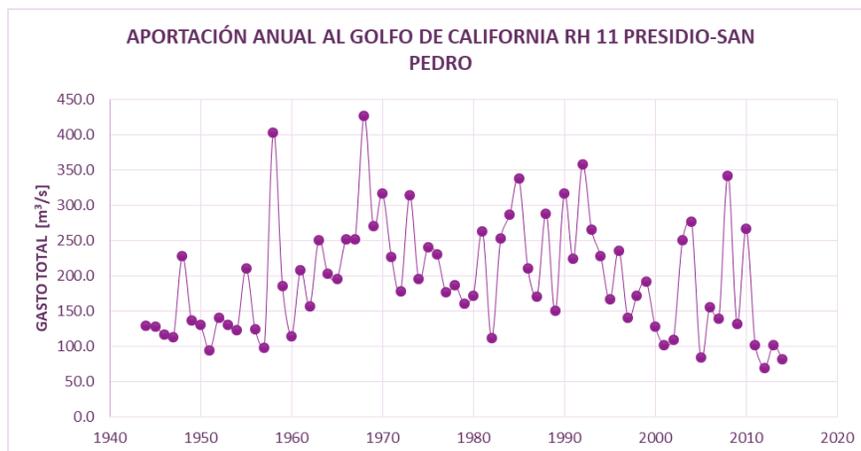


Ilustración 42. Evolución temporal de la RH 11 Presidio-San Pedro al golfo de California

3.4.2 CAUDALES SÓLIDOS

De las 18 estaciones hidrométricas que aforan corrientes de ríos 12 estaciones poseen registros de sedimentos en suspensión en los cauces que aforan y representa el 66.7 % del total de estaciones. Los registros de sedimentos, también conocidos como caudal sólido, se obtienen a partir de lecturas diarias que se pueden llevar a cabo de una a cuatro veces por día y registran el porcentaje de sedimento en relación al caudal líquido medio que fluye por la sección de aforo. Dichos datos se encuentran disponibles en el BANDAS, además del antes descrito se encuentra disponible el volumen de sedimentos anual, los cuales deben pasar por un proceso de validación para asegurar en el caso que se utilice directamente el porcentaje de sedimento para completar datos faltantes y detectar posibles errores en los valores de la base de datos.

Para validar los datos de sedimentos, especialmente los volúmenes de sedimentos anuales, se calcularon a partir de los datos disponibles de datos de sedimentos diarios y los gastos medios anuales/diarios disponibles en el BANDAS (ver anexo 6.6) de la estación 08018 “PITIQUITO II”, la cual se ubica en el estado de Sonora y afora el Río de la Asunción. Posee 42 años de registro de sedimentos con una media de 872,181 m³. El comportamiento y comparación de los valores obtenidos se muestran en la Ilustración 43, en la cual se observa que los datos coinciden con un porcentaje de error promedio de 22 % y presentan un comportamiento y tendencia similar, por lo que el uso directo de los volúmenes medios anuales de sedimentos se aceptará únicamente en casos donde no se cuente con otros métodos confiables para completar los datos.

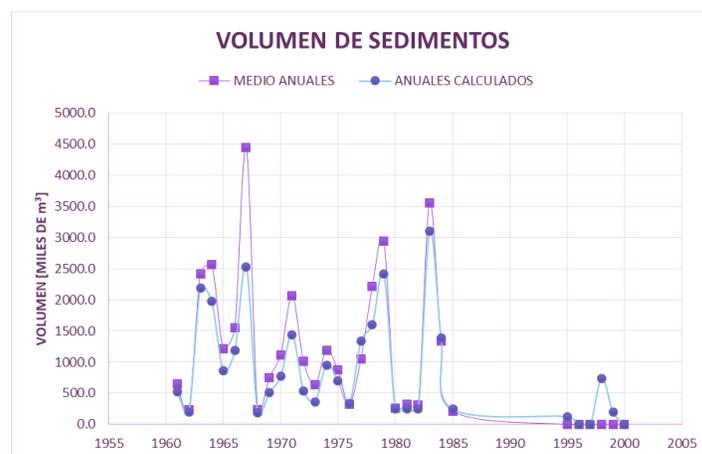


Ilustración 43. Volumen medio anual de sedimentos y volumen diario de sedimentos



Los métodos para inferir los datos faltantes en las estaciones que así lo requirieron coinciden con los aplicados para los caudales líquidos y el anexo 6.7 sigue el mismo código de colores. A continuación en la Tabla 34 se muestra un resumen de las estaciones con información de caudal sólido que además incluye los años de registro y el volumen medio anual en miles de metros cúbicos.

Tabla 34. Volumen medio anual de sedimentos

CLAVE	NOMBRE	CORRIENTE	CAUDAL SÓLIDO	
			AÑOS	Vol. Sed. Med. An. [1000m ³]
09063	PUNTA DE AGUA	ARROYO MATAPE	9	389.672
09089	COCORAQUE	ARROYO COCORAQUE	19	151.739
09017	EL OREGANO	RIO SONORA	8	1135.461
08018	PITIQUITO II	RIO DE LA ASUNCIÓN	42	872.181
10031	GUAMUCHIL	RIO MOCORITO	5	942.000
10040	SANTA CRUZ	RIO SAN LORENZO	37	2078.038
10070	ACATITAN	RIO ELOTA	26	761.463
10065	IXPALINO	RIO PIAXTLA	28	2952.776
10083	EL QUELITE	RIO QUELITE	28	164.769
11016	BALUARTE II	RIO BALUARTE	35	1100.067
11014	ACAPONETA	RIO ACAPONETA	31	823.680
11012	SAN PEDRO	RIO SAN PEDRO	28	2146.7840

La obtención del volumen total que desemboca al golfo de California presenta el mismo inconveniente que el caso del caudal líquido, las series de datos no corresponden al mismo periodo temporal. Debido a eso al graficar al evolución temporal del volumen anual (Ilustración 44 y Tabla 35) se crea una forma de campana, esto no significa que durante el periodo de 1960 a 1980 haya existido un pico real en el volumen de sedimentos, sino que es el periodo en el cual coinciden la mayor cantidad de estaciones hidrométricas con datos de volumen de sedimentos. Las series anuales de sedimento en suspensión por región hidrológica pueden revisarse más a detalle en la sección TENDENCIAS ACTUALES.

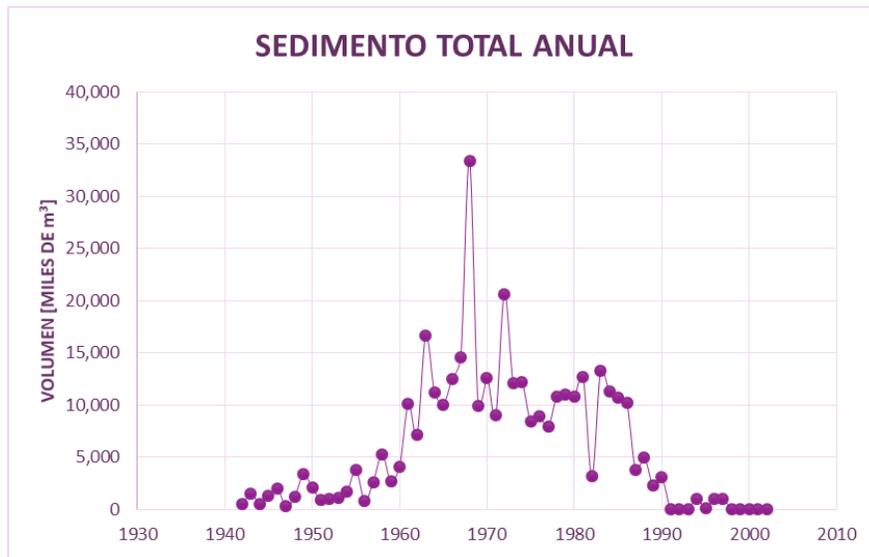


Ilustración 44. Evolución temporal de los sedimentos que desembocan al golfo de California



Tabla 35. Volumen de sedimentos totales que desembocan al golfo de California por RH

AÑO	SONORA SUR		SONORA NORTE		SINALOA		PRESIDIO-SAN PEDRO		VOLUMEN TOTAL [1000m ³]
	VOLUMEN TOTAL [1000m ³]	# ESTACIONES	VOLUMEN TOTAL [1000m ³]	# ESTACIONES	VOLUMEN TOTAL [1000m ³]	# ESTACIONES	VOLUMEN TOTAL [1000m ³]	# ESTACIONES	
1942	465	1	N/A	0	N/A	0	N/A	0	465
1943	1,472	1	N/A	0	N/A	0	N/A	0	1,472
1944	532	1	N/A	0	N/A	0	N/A	0	532
1945	1,251	1	N/A	0	N/A	0	N/A	0	1,251
1946	1,992	1	N/A	0	N/A	0	N/A	0	1,992
1947	297	1	N/A	0	N/A	0	N/A	0	297
1948	1,173	1	N/A	0	N/A	0	N/A	0	1,173
1949	1,902	1	N/A	0	1,426	1	N/A	0	3,327
1950	N/A	0	N/A	0	2,096	1	N/A	0	2,096
1951	N/A	0	N/A	0	860	1	N/A	0	860
1952	N/A	0	N/A	0	1,033	1	N/A	0	1,033
1953	N/A	0	N/A	0	1,110	1	N/A	0	1,110
1954	N/A	0	N/A	0	1,652	1	N/A	0	1,652
1955	N/A	0	N/A	0	3,767	1	N/A	0	3,767
1956	N/A	0	N/A	0	828	1	N/A	0	828
1957	N/A	0	N/A	0	1,596	1	1,022	1	2,619
1958	N/A	0	N/A	0	1,596	1	3,666	2	5,262
1959	N/A	0	N/A	0	1,931	1	738	2	2,669
1960	N/A	0	N/A	0	3,459	3	586	2	4,044
1961	368	1	648	1	7,810	4	1,252	2	10,078
1962	440	1	237	1	4,171	4	2,303	3	7,151
1963	646	1	2,417	1	8,492	4	5,101	3	16,655
1964	458	1	2,560	1	3,978	5	4,225	3	11,221
1965	303	1	1,211	1	3,582	5	4,961	3	10,056
1966	754	1	1,547	1	6,874	4	3,278	3	12,454
1967	88	1	4,439	1	6,209	4	3,803	3	14,539
1968	79	1	240	1	25,843	4	7,239	3	33,402
1969	371	1	751	1	3,178	4	5,606	3	9,907
1970	115	1	1,117	1	6,550	4	4,851	3	12,634
1971	452	1	2,060	1	4,195	4	2,287	3	8,995
1972	90	1	1,009	1	12,999	4	6,556	3	20,655
1973	60	1	634	1	6,015	4	5,382	3	12,091
1974	107	1	1,191	1	8,895	4	2,045	3	12,238
1975	16	1	874	1	3,274	4	4,283	3	8,448
1976	84	1	327	1	4,246	4	4,254	3	8,910
1977	62	1	1,055	1	4,891	4	1,880	3	7,889
1978	306	1	2,208	1	5,161	4	3,110	3	10,785
1979	93	1	2,935	1	4,877	4	3,079	3	10,984
1980	527	1	265	1	6,683	4	3,331	3	10,806
1981	134	1	322	1	8,043	4	4,167	3	12,666
1982	166	1	313	1	757	4	1,915	3	3,152
1983	377	1	3,550	1	6,442	4	2,888	3	13,257
1984	178	1	1,333	1	4,002	4	5,767	3	11,281
1985	0	1	217	1	4,962	4	5,529	3	10,707
1986	94	1	0	1	3,335	2	6,821	3	10,249
1987	21	1	0	1	1,284	2	2,470	3	3,774
1988	0	1	0	1	183	1	4,750	2	4,933
1989	N/A	0	0	1	199	1	2,111	2	2,310
1990	N/A	0	0	1	184	1	2,890	1	3,074
1991	N/A	0	0	1	18	1	0	1	18
1992	N/A	0	0	1	N/A	0	0	1	0
1993	N/A	0	0	1	N/A	0	N/A	0	0
1994	N/A	0	1,014	1	N/A	0	N/A	0	1,014
1995	N/A	0	101	1	N/A	0	N/A	0	101
1996	N/A	0	988	1	N/A	0	N/A	0	988
1997	N/A	0	988	1	N/A	0	N/A	0	988
1998	N/A	0	50	1	N/A	0	N/A	0	50
1999	N/A	0	30	1	N/A	0	N/A	0	30
2000	N/A	0	0	1	N/A	0	N/A	0	0
2001	N/A	0	0	1	N/A	0	N/A	0	0
2002	N/A	0	0	1	N/A	0	N/A	0	0



3.4.3 CAUDAL ECOLÓGICO

El caudal ecológico se define como el agua mínima necesaria para preservar los valores ecológicos de un cauce: hábitats naturales de flora y fauna, función de dilución de contaminantes, parámetros climatológicos e hidrológicos, paisajísticos y antropogénicos (ENDESA , 2011). En 2012, a través del Diario Oficial de la Federación, la Secretaría de Economía publica la norma NMX-AA-159-SCFI-2012 “Que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas”, que responde a la necesidad de mantener un equilibrio ecológico entre los elementos naturales de las cuencas hidrológicas ante la problemática nacional de disminución de flujo de agua en los cauces.

En dicha norma, el caudal ecológico se define como “la cantidad, calidad y variación del gasto o de los niveles de agua reservada para preservar servicios ambientales, componentes, funciones, procesos y la resiliencia de ecosistemas acuáticos y terrestres que dependen de procesos hidrológicos, geomorfológicos, ecológicos y sociales.” Existen diversas metodologías para el cálculo del caudal ecológico: hidrológicos, hidráulicos, de simulación de hábitat y holísticos. La diferencia entre los métodos reside en las variables que integran su estudio; para los métodos hidrológicos se requiere del análisis de registros históricos con más de 20 años de datos o la aplicación del método de Tennant desarrollado en 1976, el cual establece que un hábitat comienza a degradarse cuando el flujo es menor al 10 % del caudal medio anual asociado a una velocidad media de 0.25 m/s y una profundidad media de 0.3 m, mientras que los métodos de simulación de hábitat suelen ser los más complejos, ya que se analiza la interacción entre las condiciones de flujo e información hidrológica, hidráulica, biológica y en algunos casos geomorfológica, un ejemplo de esta metodología es *Instream Flow Incremental Methodology* (IFM) desarrollado por el *US Fish and Wildlife Service* (ENDESA , 2011).

El caudal ecológico como base para la determinación del grado de alteración de los caudales prioritarios será calculado mediante los métodos de Tennant, también conocido como método de Montana, y el apéndice normativo B de la norma NMX-AA-159-SCFI-2012: Procedimiento para la determinación de la alteración del régimen hidrológico natural en una corriente por la presencia de infraestructura.

El segundo método citado es aplicable bajo dos criterios. El primero se aplica cuando sobre el cauce en análisis existe una obra hidráulica, ya sea una gran obra como presas o bien tomas de agua para riego o consumo. El segundo criterio indica que la serie de registros completa debe contar con al menos 40 años distribuidos de la siguiente manera: 20 años mínimos de datos sobre el régimen hidrológico natural (RHN) y 20 años mínimos de régimen hidrológico alterado (RHA), es decir, se ha instalado una obra de



aprovechamiento. El resultado que ofrece el método es un intervalo donde se considera que el régimen hidrológico no es alterado. El intervalo se obtiene al calcular el porcentaje de datos de la serie RHA que se encuentran entre los percentiles 10 y 90 de la serie RHN. El caudal ecológico mínimo corresponde al percentil 10 de la primera serie de datos (RHN).

Con los criterios anteriores, de los datos de los 18 cauces naturales el segundo método es aplicable a únicamente 12 de ellos que cuentan con zonas urbanas cercanas que hacen uso de sus recursos y más de 40 años de registro.

Se utilizarán las estaciones 10120 y 11014 presentadas al principio del subtema para ejemplificar la aplicación de ambas metodologías. La estación 10120 cuenta con 32 años de registro por lo que el caudal ecológico se obtendrá mediante el método de Tennant, mientras que el método propuesto por la norma NMX-AA-159-SCFI-2012 será aplicado en la estación 11014 que cuenta con 70 años de registro.

MÉTODO DE TENNANT

De la serie de datos de gastos medios anuales de la estación 10120 se obtiene la media aritmética como medida de tendencia central. El valor obtenido, $29.436 \text{ m}^3/\text{s}$, corresponde al gasto medio anual promedio (Q_{m_m}), el 10% de este valor es el caudal ecológico (CE) de la estación 10120, $2.944 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabla 36).



Tabla 36. Cálculo de caudal ecológico, método de Tennant

10120			
AÑO	CAUDAL [m ³ /s]	AÑO	CAUDAL [m ³ /s]
1975	24.084	1991	52.148
1976	43.938	1992	57.234
1977	31.548	1993	37.242
1978	34.888	1994	25.404
1979	39.649	1995	22.191
1980	26.597	1996	16.531
1981	37.807	1997	35.078
1982	15.590	1998	36.769
1983	24.310	1999	7.598
1984	94.300	2000	6.021
1985	43.879	2001	4.564
1986	19.073	2002	4.051
1987	30.5686	2003	30.921
1988	31.4525	2004	7.246
1989	29.7609	2005	30.132
1990	33.522	2006	7.866

Σ=	941.963
AÑOS=	32
Qm _m [m ³ /s]=	29.436
CE [m ³ /s]=	2.944

PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ALTERACIÓN DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO NATURAL EN UNA CORRIENTE POR LA PRESENCIA DE INFRAESTRUCTURA. (Apéndice B NMX-AA-159-SCFI-2012)

De la serie de datos completa de los años 1941 al 2014 se separan los registros del RHN, que consta de los primeros 25 años, y del RHA. La serie RHN se ordena de manera creciente para calcular los percentiles 10 y 90 tal como lo muestra la Tabla 37.

Un percentil es una medida de posición estadística que representa el valor para el cual un número de registros en una serie de datos es menor o igual a éste. (Gutiérrez G. & Vladimirovna P., 2014)

$$P_{\text{percentil}} = \frac{x_p + x_{p+1}}{2}; \quad p = nP$$

Donde n es el número de elementos de la serie, P es el percentil y p la posición en la serie ordenada.



Tabla 37. RHN ordenado para la estación 11014

RHN	
AÑO	CAUDAL
1960	21.447
1951	24.394
1949	25.636
1957	26.197
1953	27.772
1950	31.344
1954	32.158
1964	32.852
1956	33.080
1947	33.102
1962	35.042
1946	36.692
1959	38.079
1965	39.731
1948	43.920
1952	43.984
1966	47.941
1961	48.890
1967	49.138
1955	52.359
1963	53.247
1969	53.346
1945	57.654
1958	82.870
1968	85.834

De forma que $P_{10} = 25.139 \frac{m^3}{s}$ y $P_{90} = 67.740 \frac{m^3}{s}$

El caudal ecológico para la estación 11014 es el valor mínimo del intervalo, esto es $25.139 \text{ m}^3/\text{s}$. Los métodos utilizados por cada estación y su caudal ecológico asociado se muestran en la Tabla 38.



Tabla 38. Caudal ecológico por estación hidrométrica

CLAVE	NOMBRE	CORRIENTE	CAUDAL LÍQUIDO		MÉTODO APLICABLE		CAUDAL ECOLÓGICO	
			PERIODO	Q _{ma} [m ³ /s]	Tennant	NMX-AA-159	Tennant [m ³ /s]	NMX-AA-159 [m ³ /s]
09063	PUNTA DE AGUA	ARROYO MATAPE	1957-1971	1.344			0.134	N/A
09089	COCORAQUE	ARROYO COCORAQUE	1969-2014	0.433			0.043	0.192
09002	NAVOJOA	RIO MAYO	1939-1943	32.337			3.234	N/A
09017	EL OREGANO	RIO SONORA	1941-2001	3.135			0.314	1.031
08025	SONOITA II	RIO SONOITA	1973-2010	0.342			0.034	N/A
08018	PITIQUITO II	RIO DE LA ASUNCIÓN	1960-2009	1.349			0.135	0.362
10085	SAN MIGUEL Z	RIO FUERTE	1960-1989	37.817			3.782	N/A
10120	GUASAVE PUENTE CARRETERA	RIO SINALOA	1975-2006	29.436			2.944	N/A
10031	GUAMUCHIL	RIO MOCORITO	1939-1999	2.445			0.244	1.542
10086	PERICOS	ARROYO PERICOS	1960-1992	1.464			0.146	N/A
10040	SANTA CRUZ	RIO SAN LORENZO	1944-2014	49.413			4.941	21.490
10070	ACATITAN	RIO ELOTA	1955-2008	13.962			1.396	6.259
10065	IXPALINO	RIO PIAXTLA	1952-2014	71.773			7.177	16.198
10083	EL QUELITE	RIO QUELITE	1960-2014	4.467			0.447	0.881
11016	BALUARTE II	RIO BALUARTE	1948-2014	48.893			4.889	27.229
11014	ACAPONETA	RIO ACAPONETA	1945-2014	42.105			4.210	25.139
11012	SAN PEDRO	RIO SAN PEDRO	1944-2014	83.876			8.388	44.202
11058	SIQUEROS	RÍO PRESIDIO	1956-2011	30.967			3.097	17.083



3.5 CARACTERIZACIÓN INTEGRAL

El grado de alteración del régimen hidrológico de los caudales en el punto de análisis se toma en función de la frecuencia, en porcentaje, con que los datos del registro son superiores al caudal ecológico para el método de Tennant y entre el intervalo de los percentiles P10 y P90 del RHA para la metodología propuesta por la norma NMX-AA-159-SCFI-2012, esto con el objetivo de evaluar todas las estaciones con la misma escala, mostradas en la Tabla 39. Aunque en general el 39 % de las estaciones indican un grado de alteración *bajo*, 33 % *nulo*, es necesario considerar la ubicación de las estaciones para interpretar los resultados.

Tabla 39. Grado de alteración

FRECUENCIA [%]	GRADO DE ALTERACIÓN
0-20	MUY ALTO
20-40	ALTO
40-60	MEDIO
60-80	BAJO
80-100	NULO

Por ejemplo, la estación 09017 que afora el Río Sonora indica un grado de alteración *medio* (Tabla 40). La estación se ubica aguas arriba de una de las presas más grandes de la cuenca, Ing. Rodolfo Félix Valdés, embalse ubicado sobre el cauce posterior a la presa Abelardo Rodríguez Luján. El grado de alteración *medio* del régimen hidrológico del cauce indica que el caudal subsecuente a la presa Abelardo Rodríguez Luján es apto para aprovechamiento y es por ello que la presa Ing. Rodolfo Félix Valdés es ampliamente utilizada para consumo humano y riego, entre otros usos. Pero aguas abajo, el caudal ya no es suficiente para que el río desemboque al mar por lo que el estado de alteración de la cuenca es *muy alto*, pues el caudal mínimo es 1.031 m³/s.



Tabla 40. Grado de alteración por estación hidrométrica

CLAVE	NOMBRE	CORRIENTE	CAUDAL ECOLÓGICO		FRECUENCIA		GRADO DE ALTERACION
			Tennant [m ³ /s]	NMX-AA-159 [m ³ /s]	Tennant	NMX-AA-159	
09063	PUNTA DE AGUA	ARROYO MATAPE	0.134	N/A	100%	N/A	NULO
09089	COCORAQUE	ARROYO COCORAQUE	0.043	0.192	91%	52%	MEDIO
09002	NAVOJOA	RIO MAYO	3.234	N/A	100%	N/A	NULO
09017	EL OREGANO	RIO SONORA	0.314	1.031	97%	57%	MEDIO
08025	SONOITA II	RIO SONOITA	0.034	N/A	71%	N/A	BAJO
08018	PITIQUITO II	RIO DE LA ASUNCIÓN	0.135	0.362	88%	56%	MEDIO
10085	SAN MIGUEL Z	RIO FUERTE	3.782	N/A	73%	N/A	BAJO
10120	GUASAVE PUENTE CARRETERA	RIO SINALOA	2.944	N/A	97%	N/A	NULO
10031	GUAMUCHIL	RIO MOCORITO	0.244	1.542	62%	28%	ALTO
10086	PERICOS	ARROYO PERICOS	0.146	N/A	70%	N/A	BAJO
10040	SANTA CRUZ	RIO SAN LORENZO	4.941	21.490	100%	93%	BAJO
10070	ACATITAN	RIO ELOTA	1.396	6.259	93%	31%	ALTO
10065	IXPALINO	RIO PIAXTLA	7.177	16.198	98%	61%	BAJO
10083	EL QUELITE	RIO QUELITE	0.447	0.881	100%	90%	NULO
11016	BALUARTE II	RIO BALUARTE	4.889	27.229	99%	71%	BAJO
11014	ACAPONETA	RIO ACAPONETA	4.210	25.139	100%	82%	NULO
11012	SAN PEDRO	RIO SAN PEDRO	8.388	44.202	100%	83%	NULO
11058	SIQUEROS	RÍO PRESIDIO	3.097	17.083	100%	68%	BAJO



La cuenca del Río Mayo, que incluye las subcuenas del arroyo Cocoraque y el río homónimo registra un grado de alteración *medio*, debido a que el abastecimiento de su distrito de riego con 95,990.81 [ha] (2018-2019) recibe aproximadamente 80 % del recurso hídrico mediante fuentes superficiales. El Río Fuerte indica un grado de alteración *bajo*, respecto al caudal ecológico obtenido mediante el método de Tennant. No obstante, es notorio que el grado de alteración es mayor debido a la presencia del distrito de riego de 231,699.47 [ha] (2018-2019) cuyo consumo proviene en su totalidad de fuentes superficiales. El promedio de las diferencias que se presentan entre los métodos de Tennant y el propuesto por la norma es del 28 %, por tanto el grado de alteración es *medio*, al disminuir la frecuencia de 73 % a 45 %. El mismo caso se presenta para la cuenca del Río Sinaloa, cuyo distrito de riego posee un área de 109,153.83 [ha] (2018-2019); aplicando las consideraciones anteriores, el grado de alteración de la cuenca aumenta un nivel, de *nulo* a *bajo*.

Por otro lado, las cuencas ubicadas en el sur de la zona de estudio, hacia el estado de Nayarit y el sur de Sinaloa, en la región hidrológica Presidio-San Pedro, son cuencas con poca alteración: embalses pequeños y distritos de riego con áreas pequeñas. Esto se refleja en que los ríos Piaxtla, Quelite, Baluarte, Acaponeta, San Pedro y Presidio registren niveles de alteración bajos o nulos. Sucede también en las cuencas Desierto del Altar-Río Bamorí y Río Concepción-Arroyo Cocaspera, representado por los ríos Sonoyta y de la Concepción con grados *medio* y *bajo*, respectivamente. La cuenca Río Mocerito en la zona de estudio se afora por las estaciones 10031 y 10086; recibe su grado de alteración por la estación 10031 cercana al distrito de riego del mismo nombre.

Los aspectos relacionados con mayor alteración del régimen hidrológico de los caudales principales son los distritos de riego y los asentamientos urbanos. De estos, aquellos cuya extensión es de mayor tamaño se concentran en los estados de Sonora y Sinaloa, específicamente las regiones hidrológicas Sonora Sur y Sinaloa, de la cuenca del Río Sonora a la cuenca del Río Fuerte. Dentro de la zona de estudio, los distritos de riego ocupan 1,199,720.52 [ha] (11,997.20 [km²]) y consumen en total 10,339,364,478.39 [m³] de agua provenientes de fuentes superficiales. En retrospectiva, los distritos representan 3.08 % del área total de la zona de estudio, aunado al 0.59 % que representan las zonas urbanas que albergan a 4, 977,762 habitantes de acuerdo al último censo del INEGI, los aspectos de alto impacto ocupan 3.67 % del total terrestre. Las cuencas involucradas concentran el 56.15 % de la población total.



3.6 ESCENARIOS FUTUROS

En escenarios futuros se incluye el desarrollo de etapas previas a la teoría del cambio, llamadas *propuestas de gestión sustentable*, y posteriores a la conclusión de la caracterización del sistema (Ver CARACTERIZACIÓN INTEGRAL). Su elaboración se conforma del análisis de la evolución histórica de aspectos sociales, población; ambientales, usos de suelo orientados a actividades económicas, recreativas y ocupación urbana; y económicos, en este caso ilustrado por los distritos de riego y su consumo de agua; además de pronósticos de su relación con los caudales prioritarios y comportamiento para los años 2050 y 2100.

3.6.1 TENDENCIAS ACTUALES

ASPECTOS AMBIENTALES

Los usos de suelo que se han expuesto en puntos anteriores pueden agruparse fácilmente en cinco rubros que muestran la evolución ambiental de la zona de estudio a través de los años 2001 al 2017 con base en el uso de suelo publicado por INEGI cada cuatro años (SII-SVI). Estos rubros son: agua, agrícola-pecuario-forestal, área desprovista de vegetación, urbano construido y ecológica-florística-fisonómica.

Las zonas que pertenecen a la clasificación **agrícola-pecuaria-forestal** (A-P-F) incluyen, además de los distritos y unidades de riego, zonas que se explotan con un fin económico mediante la pesca y la tala de árboles para producción de madera y otros bienes. De esta forma, la creación de esta etiqueta se orienta a observar la evolución de los recursos de la cuenca relacionados con las actividades económicas. Muestra que el comportamiento de estas actividades en la cuenca, es proporcional al crecimiento económico de la zona y sus afectaciones.

Las áreas **ecológicas-florísticas-fisonómicas** (E-F-F), se refieren a zonas ocupadas por vegetación, ya sean bosques, selvas o matorrales, que no necesariamente son explotados y tienen un valor ecológico y recreativo en la zona y se asocian con cuencas sanas. Por otro lado, las **áreas desprovistas de vegetación**, hacen referencia a aquellas zonas de vegetación que se han perdido ya sea por una sobreexplotación de recursos u otros eventos naturales y antropogénicos, relacionándose con la degradación de la zona de estudio. Otra etiqueta relacionada con los recursos naturales dentro de la zona de estudio es **“agua”**, la cual toma en cuenta los espejos de agua en los cuerpos de todo tipo: lagos, lagunas, ríos, esteros, etc. El comportamiento que se presenta en el registro de estas áreas es consecuencia, en mayor medida, del régimen de lluvias.

Dentro de las zonas **urbanas construidas**, se incluyen todos los tipos de ciudades de acuerdo al SUN y localidades y poblados de menor tamaño, quienes principalmente se ubican cercanos a zonas de tipos A-P-F, conformadas principalmente por agricultura en zonas bajas. La evolución temporal de la zona de estudio bajo el análisis de estos cinco criterios se muestra en la Ilustración 45.

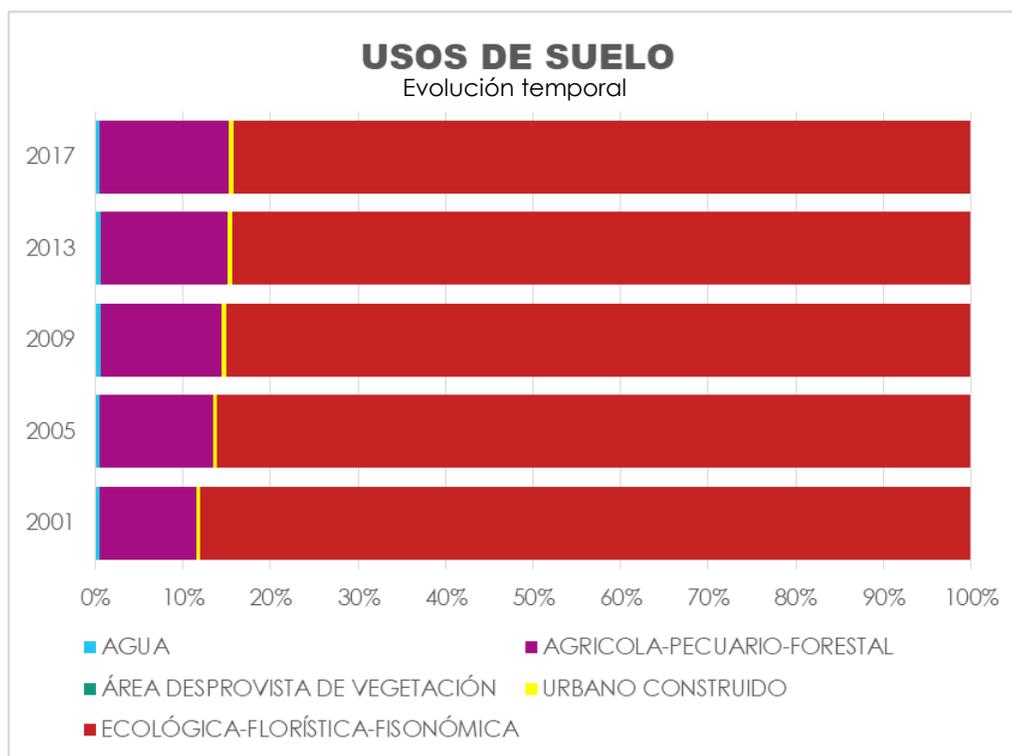


Ilustración 45. Evolución temporal de los usos de suelo

En la Ilustración 45 se observa con claridad la tendencia hacia el crecimiento de áreas dedicadas a la economía de la zona de estudio, que a partir del 2001 se ha ido incrementando. El porcentaje mayor de crecimiento se encuentra entre los años 2001 al 2005 y corresponde al 1.94 %, mientras que hacia los últimos años se presenta una tendencia estable sin cambios significativos en 4 años: en 2013 las zonas A-P-F representaban el 14.56 % y en el 2017 14.66 %, aumentando únicamente 0.10 % durante ese lapso de tiempo. Esta tendencia suave a la alza hace referencia a que no se presenta, en general, un crecimiento desmedido de zonas económicas y explotación de recursos, por lo que el ejercicio de explotación de recursos, especialmente agrícolas y forestales, con un enfoque sustentable puede llevarse a cabo en la zona de estudio.

Complementariamente se encuentran las áreas E-F-F, que muestran una disminución clara entre los años 2001 al 2009, estabilizándose hacia los años 2013 y 2017 (Ilustración 46). De forma paralela a las zonas

económicas, las áreas de vegetación en 2013 correspondían al 84.32 % de la zona total que disminuyó a 84.21 % hacia el 2017, de forma que no existe una deforestación desmedida en la zona de estudio y da paso nuevamente a una posibilidad latente de gestión sustentable de la vegetación de las cuencas que integran la costa del golfo de California. Este comportamiento bajo y estable se presenta también dentro de las zonas catalogadas como áreas desprovistas de vegetación, las cuales no son notables en el gráfico pero que desde 2001 al 2017 han aumentado únicamente 0.03 %.

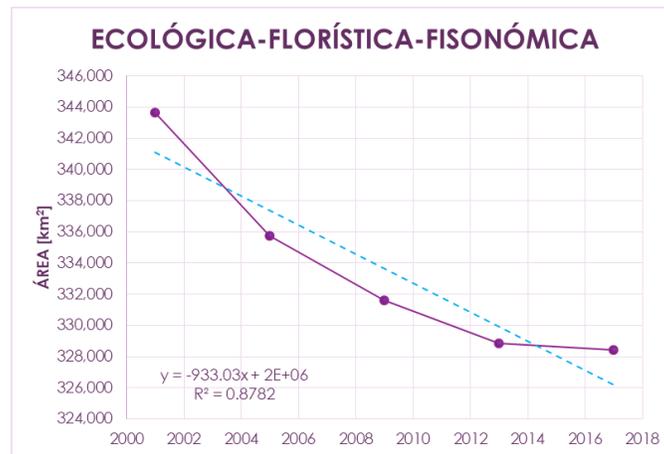


Ilustración 46. Evolución temporal de las zonas E-F-F

Dentro de esta categoría, cuya tendencia es a la baja, sus componentes presentan distintos comportamientos. Tal es el caso del pastizal y manglar, cuya superficie tiende a subir como resultado del aumento en la ganadería y la aplicación de programas como los realizados por la WWF para la protección de manglares, que en 2021 recibió una donación por parte de *Bezos Earth Fund* para la protección de Marismas Nacionales en Nayarit (Ilustración 47). Por otro lado, las zonas de bosque y selva, representativos de las regiones hidrológicas Sonora Sur, Sinaloa y Presidio-San Pedro, mantienen un comportamiento paralelo a la clasificación que los contiene (Ilustración 48).



Ilustración 47. Evolución temporal de pastizales y manglares



Ilustración 48. Evolución temporal de bosques y selvas

Como se ha mencionado antes, los espejos de agua dependen especialmente del régimen de lluvias en la zona y a través de los cuatro bloques de evolución su variación no ha superado una oscilación en los datos del 2 %, siendo el año con mayor reflejo de los cuerpos de agua el 2013 donde representaban el 0.55 % del área total de la zona de estudio, y el menor 0.51 % en el 2001 (Ilustración 45).

El último rubro que se presenta en el gráfico corresponde a las zonas urbanas cuya tendencia de crecimiento es a la alza considerando la totalidad de las localidades dentro de la zona de estudio, que durante los años del 2001 al 2017 han pasado de representar el 0.36 % al 0.59 % de la zona total, siendo los últimos años 2013-2017 en los que el crecimiento se ha estabilizado incrementando únicamente 4 %. (Ilustración 49).

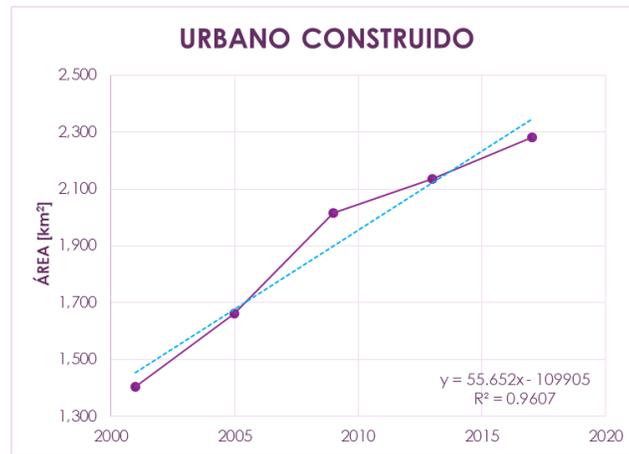


Ilustración 49. Evolución temporal de las zonas urbanas construidas

Las tendencias anteriores muestran que en conjunto las cuencas que conforman la zona de estudio, están abiertas a una gestión sustentable de sus recursos que evite la sobre-explotación del suelo con resultados exitosos que puedan representar un beneficio en el volumen de agua presente en los ríos que descargan hacia el mar de Cortés, así como a la población que depende de ellos. Un equilibrio entre el buen estado ecológico y económico de la zona es posible.

ASPECTOS SOCIALES

El crecimiento de la población de la zona de estudio se relaciona con la evolución de los factores ambientales y económicos que se presentan dentro de las cuencas de análisis. A partir del gráfico sobre la evolución de los usos de suelo (Ilustración 49) dentro de la zona de estudio se puede inferir el comportamiento del crecimiento poblacional: las áreas urbanas crecen, entonces la población debe hacerlo también ya que a mayor gente, mayor demanda de servicios y oportunidades. La población dentro de la zona de estudio de acuerdo a los censos realizados por el INEGI desde 1990 al 2020, ha aumentado de 5,878,695 habitantes en 1990 a 8,865,395 habitantes en 2020 que representa un crecimiento de 2,986,700 habitantes en 30 años, cuya tendencia sigue a la alza de acuerdo a la Ilustración 50.

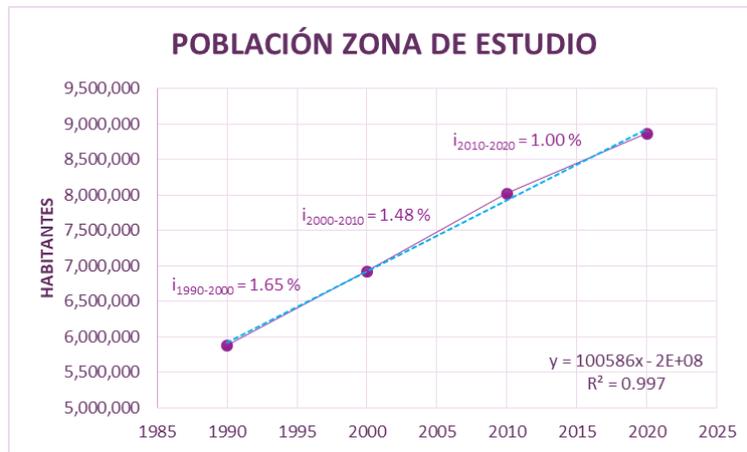


Ilustración 50. Evolución temporal y tasa de crecimiento de la población

En contraste, la tasa de crecimiento de la población calculada ha ido en decremento, en el periodo de 1990 a 2000 se tiene una tasa de 1.65 % mientras que en el periodo de 2000 a 2010 y de este último al 2020 se tienen tasas de 1.48 % y 1.00 % respectivamente, lo que indica al igual que la Ilustración 50 - y muy similar a la situación de las zonas urbanas- que la población tiende a crecer pero a un menor ritmo.

Dentro de las regiones hidrológicas que integran la zona de estudio, la región Sinaloa es la que presenta un mayor incremento de población con 716,684 habitantes más en 2020 que en 1990. Esto es porque dentro de esta región se encuentran dos de las urbes más grandes en la zona: Mazatlán y Culiacán.

La degradación ambiental y el comportamiento de la población son agentes íntimamente relacionados entre sí, por lo que si la población aumenta su ritmo de crecimiento es ampliamente probable que exista un aumento en las zonas urbanas y las zonas A-P-F. Para demostrar el punto anterior se crearon dos gráficos de dispersión en los cuales se observa el nivel de correlación que tiene la población con el crecimiento de las zonas ya mencionadas. En la Ilustración 51 se observa que ambas variables se correlacionan en más del 85 % para ambos casos, de forma que se acepta la relación causal de la población sobre el crecimiento de las zonas urbanas (96 %) y demanda de actividades económicas (87 %).

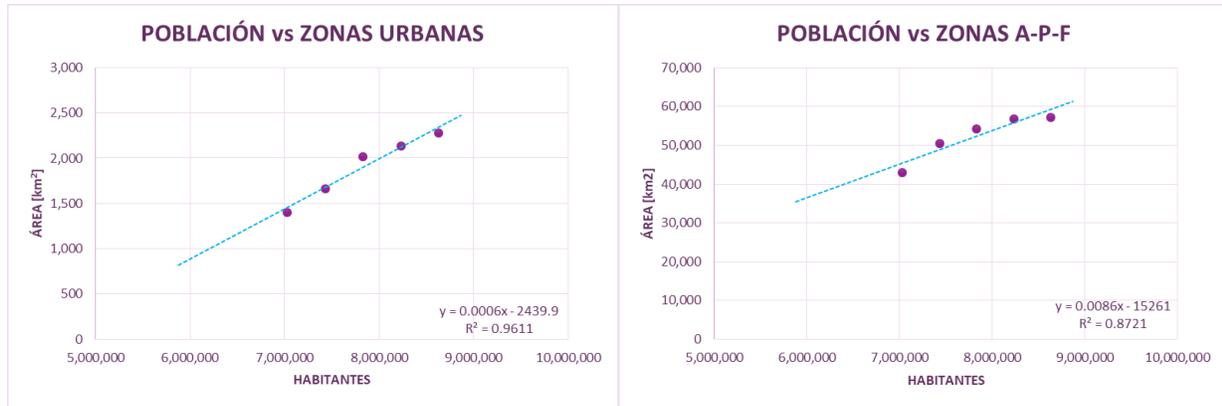


Ilustración 51. Correlación entre población- zonas urbanas (izquierda) y zonas A-P-F (derecha)

Es por ello que se presenta la estabilidad en el último periodo de análisis del crecimiento de los dos rubros mencionados, ya que dicho periodo se encuentra dentro del 2010 al 2020 donde se da el decremento de la tasa de crecimiento poblacional.

Es decir, que la estabilidad y por tanto la disminución del ritmo de degradación ambiental de las cuencas es posible mientras que se mantenga la tendencia a la baja de la tasa de crecimiento de la población. Si por algún motivo, la tasa de crecimiento poblacional se incrementara lo harían también las zonas A-P-F y urbanas a través de la disminución de las zonas ecológicas y vegetación, afectando a las especies a través de la pérdida de su hábitat y los cuerpos de agua por el incremento de la demanda para riego y consumo humano.

ASPECTOS ECONÓMICOS

Dentro de las zonas A-P-F se encuentran los distritos y unidades de riego junto con zonas locales independientes de menor producción dedicadas a la agricultura, de estas últimas no se cuenta con registro de su consumo de agua, siendo las primeras las que cuentan con mayor proporción de superficie dentro de estas zonas. De acuerdo al SINA (CONAGUA, 2021), los distritos de riego fueron creados en 1926 a través de un proyecto del Gobierno Federal. Los distritos de riego cuentan con gran infraestructura hidráulica para llevar a cabo el ejercicio agrícola, entre las cuales destacan presas derivadoras y canales para la irrigación por fuentes superficiales y pozos con plantas de bombeo para la extracción del recurso subterráneo. La presencia de infraestructura permite conocer el volumen de agua destinado a esta actividad. Las unidades de riego, en cambio, son similares a las zonas de producción independiente ya que son operadas por ejidatarios organizados.

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LOS DISTRITOS DE RIEGO

El área reportada a CONAGUA junto con el volumen de agua consumido varía de acuerdo al nivel de producción agrícola en el distrito (Tabla 41). La variación en el incremento o disminución del total de la superficie de los distritos de riego en los cuatro periodos de análisis no supera el 2 %, siendo 1.34 % la tasa de cambio mayor y corresponde a la disminución de aproximadamente 20,000 [ha] entre los periodos agrícolas de 2016-2017 al 2017-2018. Esta disminución significativa es también clara en la Ilustración 52, se presenta previamente un ligero incremento en la sección que corresponde al periodo final de la gráfica y es el fenómeno que marca la tendencia general a la baja de la superficie de los distritos de riego.

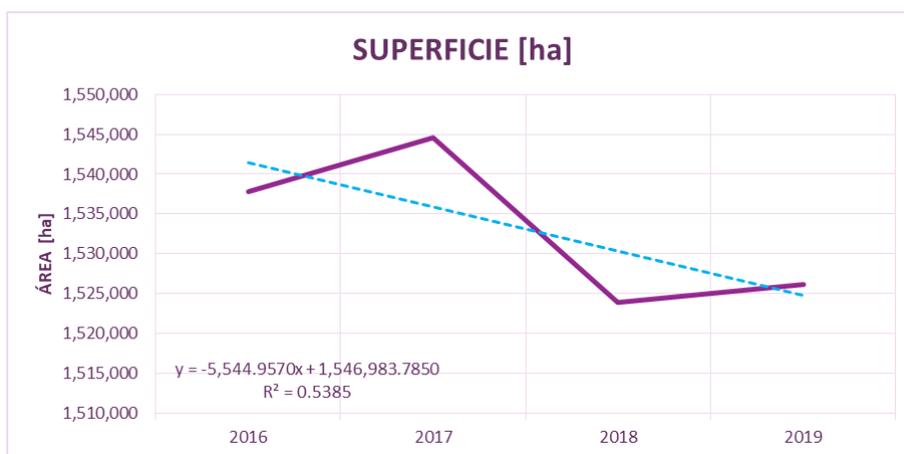


Ilustración 52. Evolución temporal de la superficie de los distritos de riego

Tabla 41. Evolución temporal de superficie y consumo de agua de los distritos de riego

PERIODO	SUPERFICIE [ha]	V. TOTAL [1000m ³]	V. SUPERFICIAL [m ³]	V. SUBTERRÁNEO [m ³]
2015-2016	1,537,785.01	15,936,405.54	13,470,128,531.04	2,466,277,012.00
2016-2017	1,544,578.65	16,461,999.71	14,085,411,217.59	2,376,588,490.68
2017-2018	1,523,940.81	15,432,808.31	12,757,080,492.61	2,675,727,818.41
2018-2019	1,526,181.10	15,059,710.46	12,571,894,306.40	2,487,816,149.61

El decremento de la superficie de los distritos muestra también un comportamiento proporcional al volumen total de agua utilizado, que también experimenta una tendencia a decrecer a partir del periodo 2016-2017 (Ilustración 53).

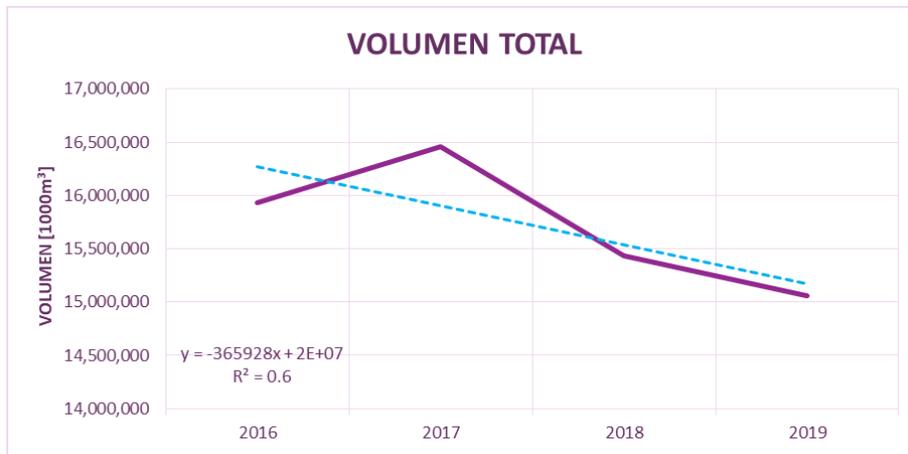


Ilustración 53. Evolución temporal del consumo de agua total de los distritos de riego

Dentro del volumen total de agua utilizado en los distritos de riego, se identifican dos fuentes de abastecimiento: subterránea y superficial. Si bien el volumen total utilizado tiende a disminuir siguiendo el patrón de reducción de la superficie de los distritos, no indica que el consumo de agua de riego se haga de forma sustentable sino que representa el déficit de agua de las presas derivadoras. Al graficar por separado tanto el consumo superficial como subterráneo se observa que mientras el uso superficial decrece el volumen de agua subterráneo presenta un comportamiento en espejo, es decir, crece (Ilustración 54). El hecho de que en los últimos dos años agrícolas ambas corrientes expresen una tendencia a la baja ejemplifica el déficit de disponibilidad de agua en la zona de estudio y la necesidad de implementación de políticas sustentables para el manejo de sus recursos hídricos.

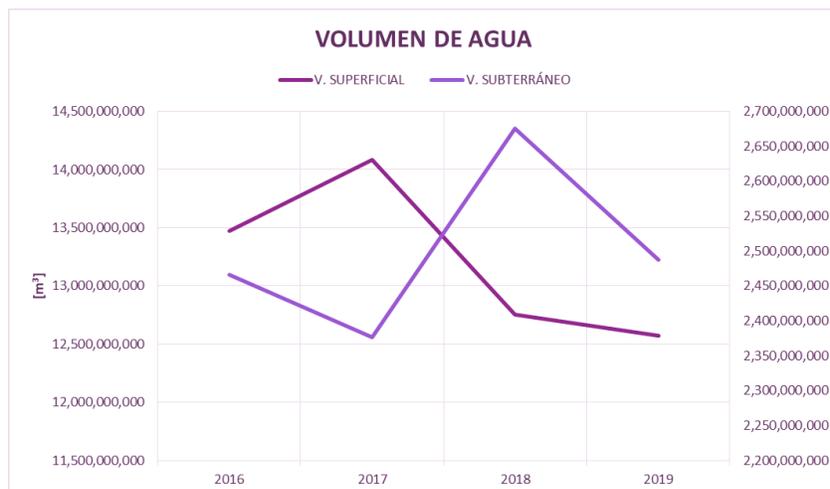


Ilustración 54. Comparación entre el consumo superficial (eje izq.) y subterráneo (eje der.) de los distritos de riego

EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES LÍQUIDOS Y SÓLIDOS

La tendencia de las estaciones hidrométricas que aforan los cuerpos superficiales de agua en la zona de estudio es predominantemente a la baja en 10 de 18 estaciones, las cuales pueden observarse de la Ilustración 55 a la Ilustración 64. Entre estas estaciones no se presentan pendientes pronunciadas y en su mayoría se ubican aguas abajo de alguna presa derivadora por lo que la operación de estas obras hidráulicas afectan directamente a la estación. Un ejemplo es la estación 08025. Esta tendencia se presenta también en los canales. Por otro lado existen estaciones que cesan sus registros antes de la construcción de una obra de este tipo, por lo que su comportamiento refleja el estado natural del río, un ejemplo es la estación 09063.

El régimen hidrológico de la estación 09063 (Ilustración 55) posee una tendencia a la baja y afora el arroyo Matape, sobre el cual se encuentra la presa Ignacio L. Alatorre (Punta de agua) de uso agrícola, cuya inauguración corresponde al año 1972. La estación cesa información un año antes, en 1971.

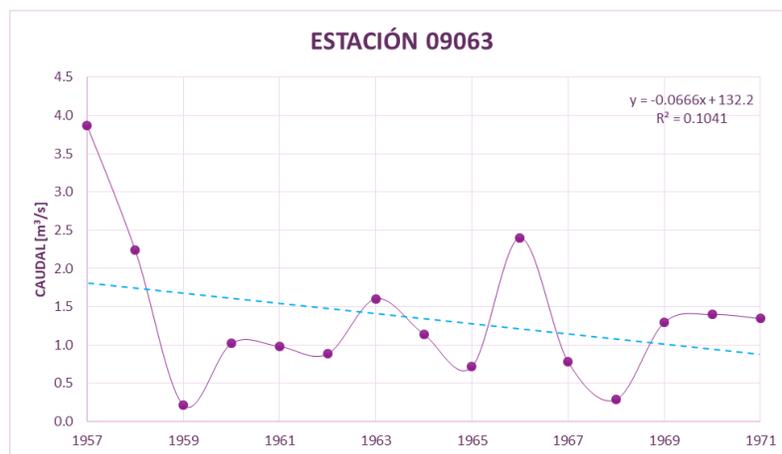


Ilustración 55. Tendencia temporal de la estación 09063



Ilustración 56. Tendencia temporal de la estación 09002

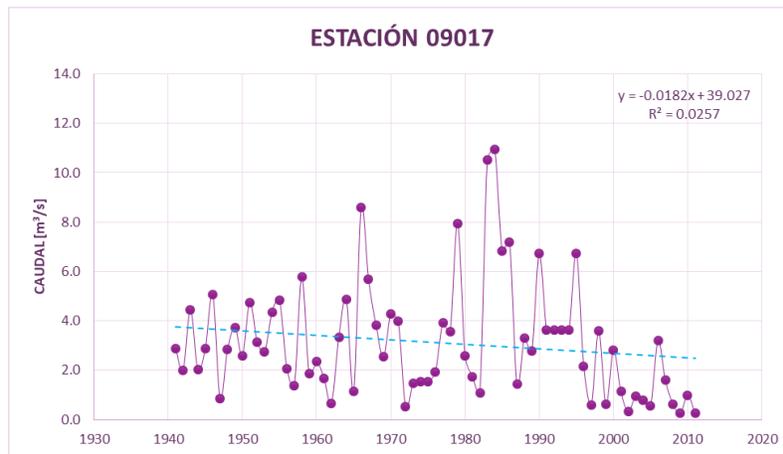


Ilustración 57. Tendencia temporal de la estación 09017

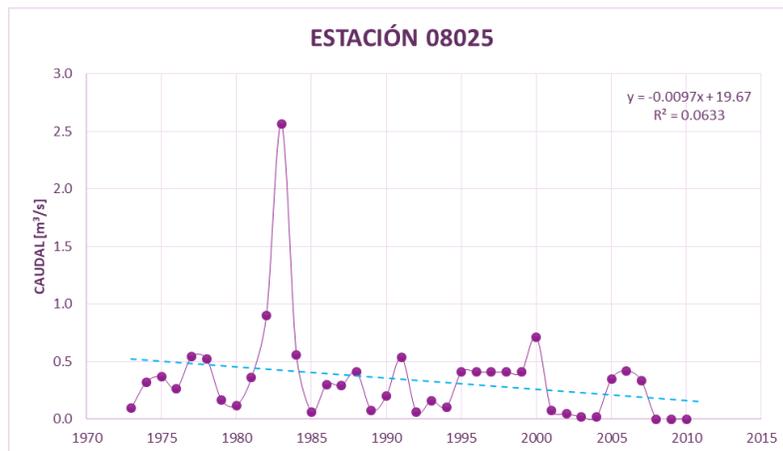


Ilustración 58. Tendencia temporal de la estación 08025

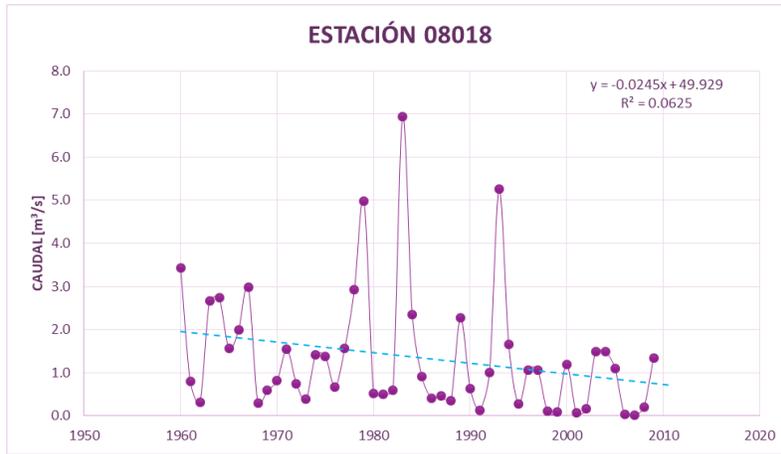


Ilustración 59. Tendencia temporal de la estación 08018

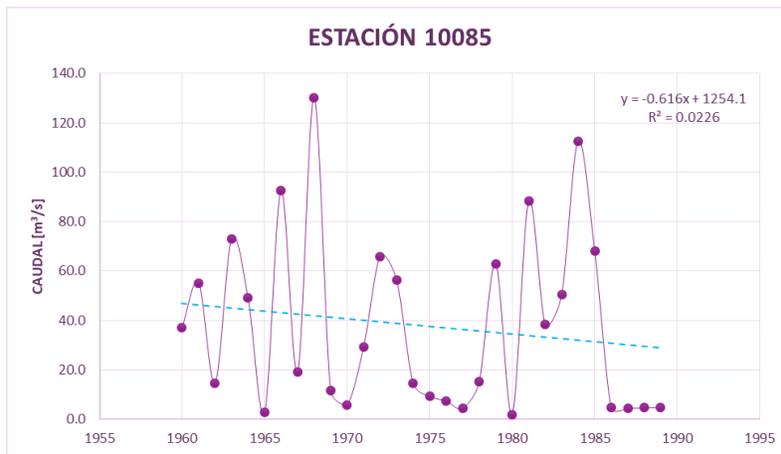


Ilustración 60. Tendencia temporal de la estación 10085



Ilustración 61. Tendencia temporal de la estación 10120



Ilustración 62. Tendencia temporal de la estación 10031

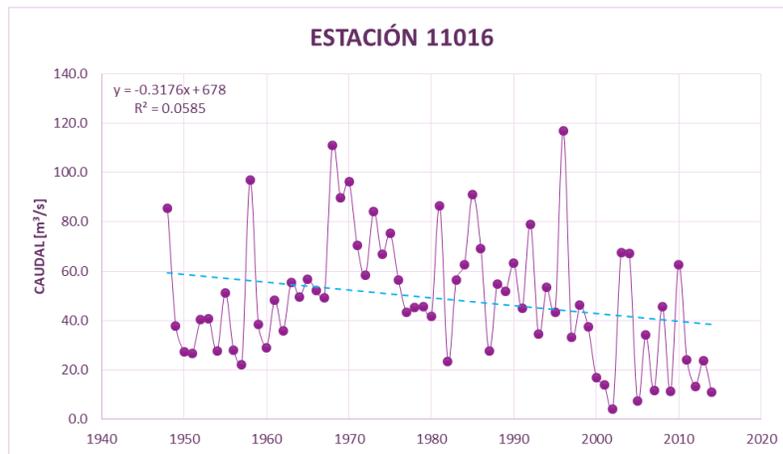


Ilustración 63. Tendencia temporal de la estación 11016

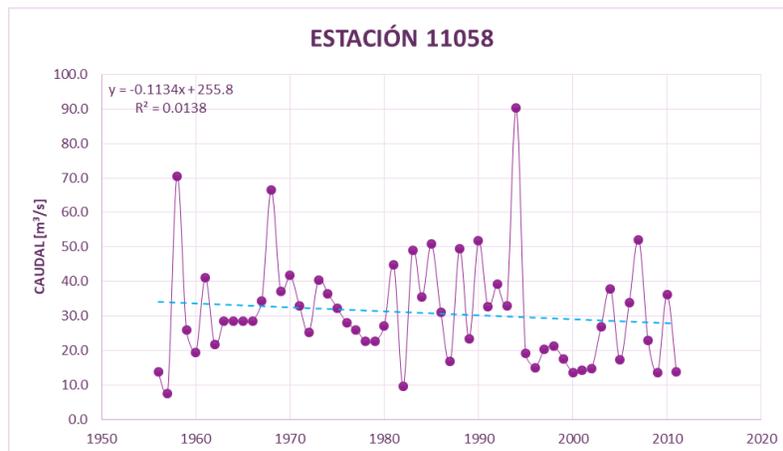


Ilustración 64. Tendencia temporal de la estación 11058



Tres estaciones presentan un comportamiento estable a lo largo de todo el tiempo de registro, es el caso de las estaciones 09089, 10040 y 10083. En esta última es relevante la presencia de un huracán categoría 1 llamado “Roslyn” en 1986 (Ilustración 67) con viento de 120 km/hr, no hay información disponible sobre la precipitación acumulada en 24 horas y duró del 15 al 22 de octubre (Sistema Meteorológico Nacional, 2021). Afectó los estados de Nayarit y Sinaloa. La estación está en el Río Quelite, en Sinaloa cerca de Nayarit y es el único pico que se presenta en la estación.



Ilustración 65. Tendencia temporal de la estación 09089

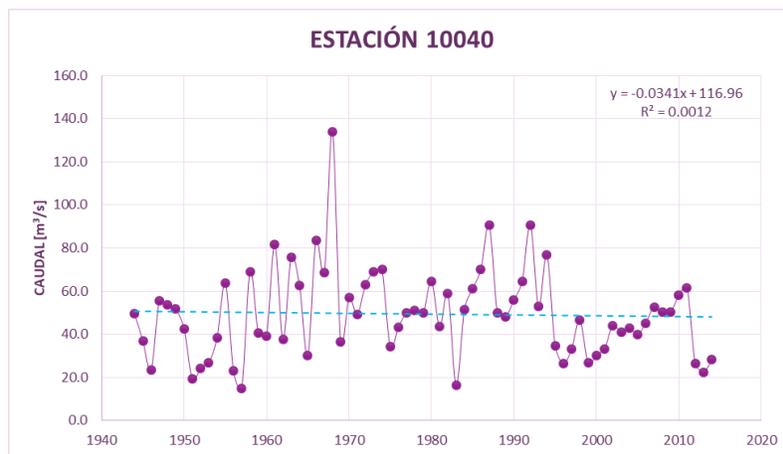


Ilustración 66. Tendencia temporal de la estación 10040



Ilustración 67. Tendencia temporal de la estación 10083

Las estaciones restantes presentan una tendencia al crecimiento, la cual es origen de la presencia de fenómenos meteorológicos en sus últimos años de registro. Un caso particular se presenta en la estación 10086 (Ilustración 68) que registra una inundación en 1990 (Arriaga F., 2017) sin la presencia de algún ciclón de acuerdo a las estaciones climatológicas cercanas.

En 2008 para la estación 10070 (Ilustración 69), que coincide con el último registro de la estación, se presentó la tormenta tropical Lowell que afectó a los estados de Sinaloa, Nayarit, Baja California Sur y Sonora. Duró 120 horas del 6 al 11 de septiembre, con vientos máximos de 45 km/hr y una acumulación de lluvia en 24 horas de 160 mm (Hernández U., 2021).

El último caso que presenta un comportamiento especial es la estación 10065 (Ilustración 70) donde las estaciones climatológicas cercanas a la estación presentan lluvias mayores a 1,000 mm pero no se observa un comportamiento claro de picos en los últimos años. Estos últimos datos son directos de la base del BANDAS no son complementados, por lo que se descarta la posibilidad del método elegido para complementar datos haya dañado el comportamiento general de los registros de la estación hidrométrica.

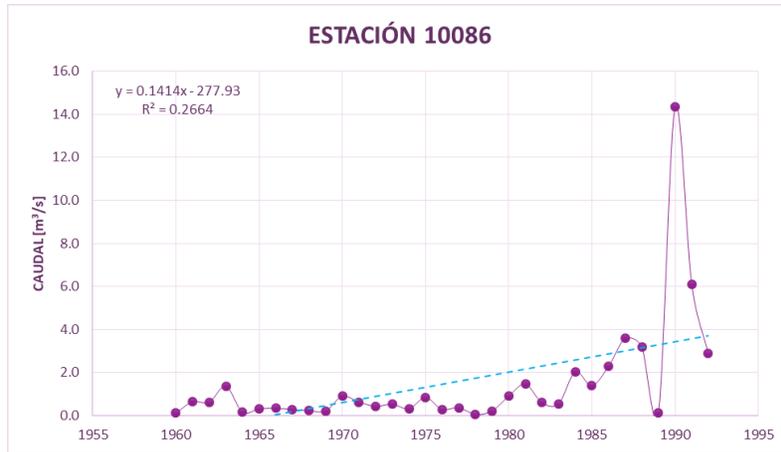


Ilustración 68. Tendencia temporal de la estación 10086

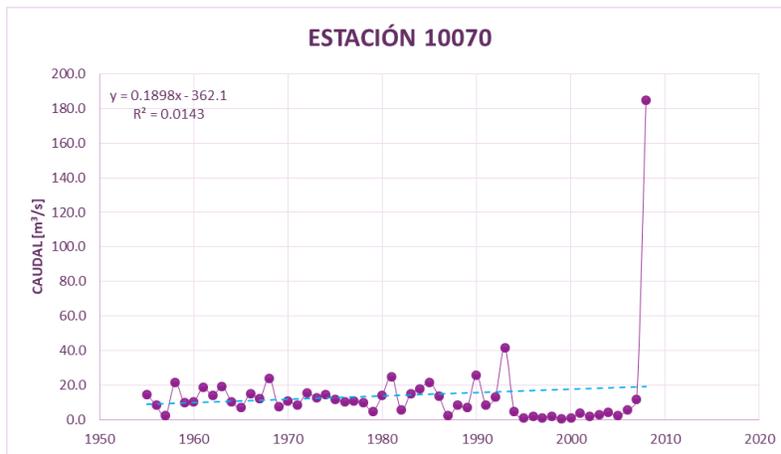


Ilustración 69. Tendencia temporal de la estación 10070

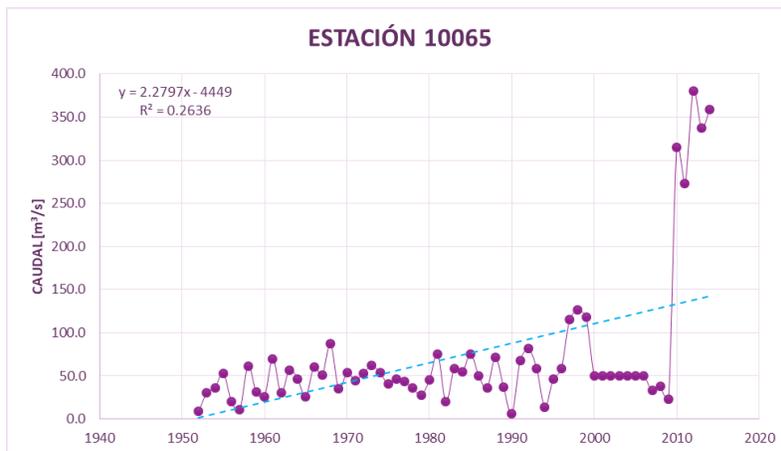


Ilustración 70. Tendencia temporal de la estación 10065



En el caso de los canales, cuyas estaciones se presentan a continuación (Ilustración 71 a Ilustración 80), se observan pendientes más pronunciadas ya sea que tiendan al crecimiento o su opuesto. En este caso, el comportamiento refleja el régimen de operación en la infraestructura de riego, especialmente pequeñas presas derivadoras, y en algunas ocasiones registra las filtraciones de grandes presas.

Este último caso se presenta en las estaciones 09028 (Ilustración 73) y 09031 (Ilustración 74) que registran un decremento en las filtraciones de la presa Abelardo L. Rodríguez sobre el Río Sonora.

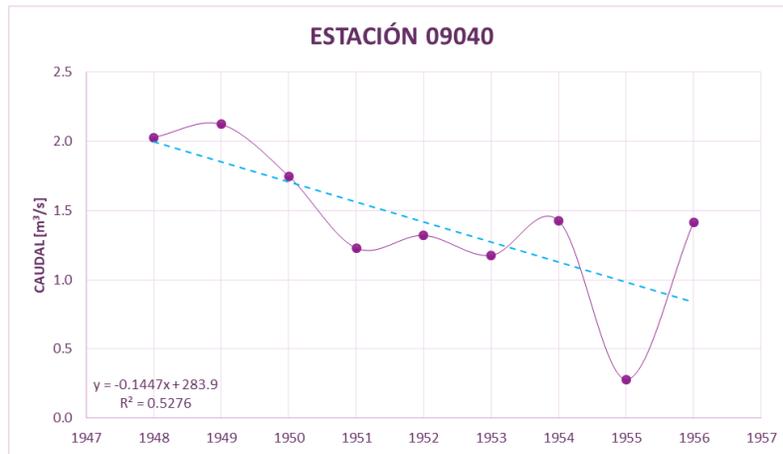


Ilustración 71. Tendencia temporal de la estación 09040

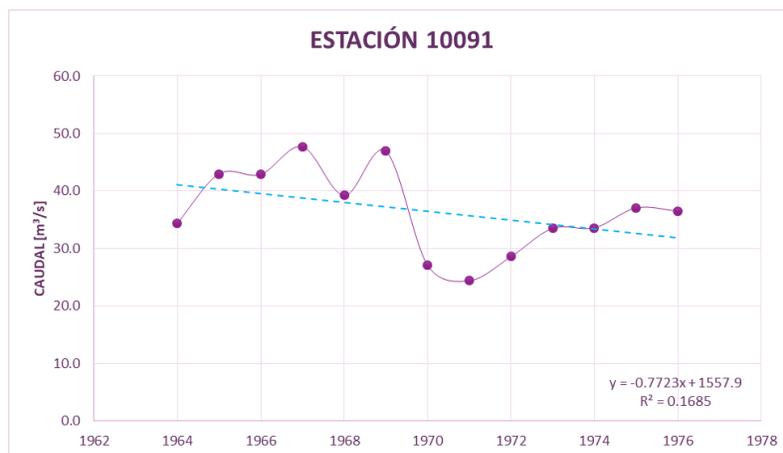


Ilustración 72. Tendencia temporal de la estación 10091

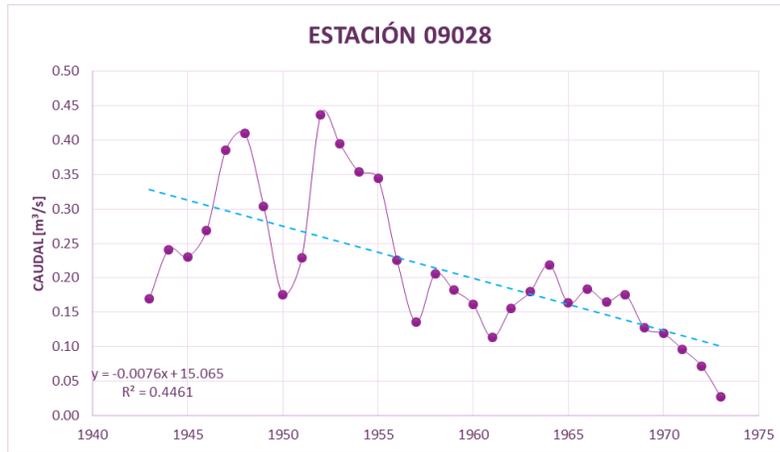


Ilustración 73. Tendencia temporal de la estación 09028

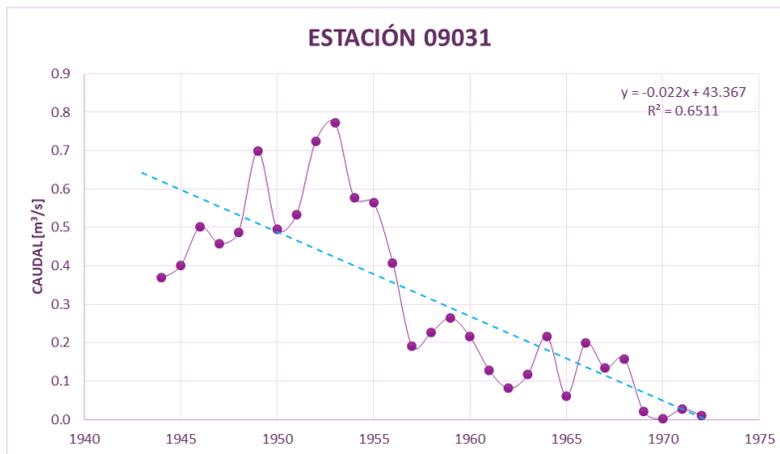


Ilustración 74. Tendencia temporal de la estación 09031



Ilustración 75. Tendencia temporal de la estación 11071

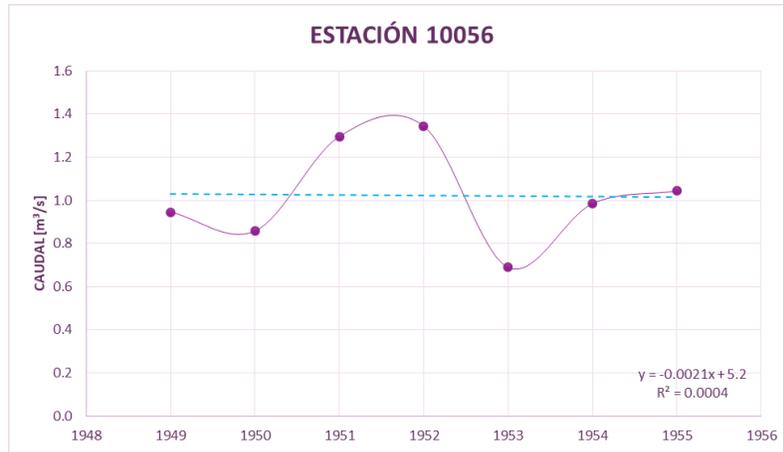


Ilustración 76. Tendencia temporal de la estación 10056

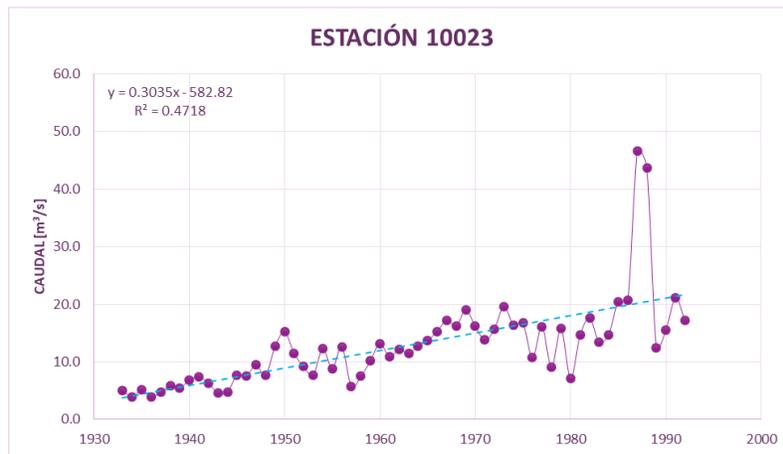


Ilustración 77. Tendencia temporal de la estación 10023

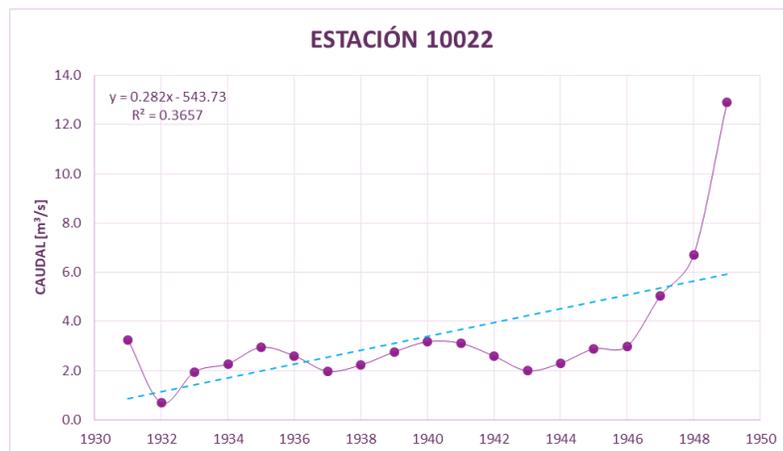


Ilustración 78. Tendencia temporal de la estación 10022

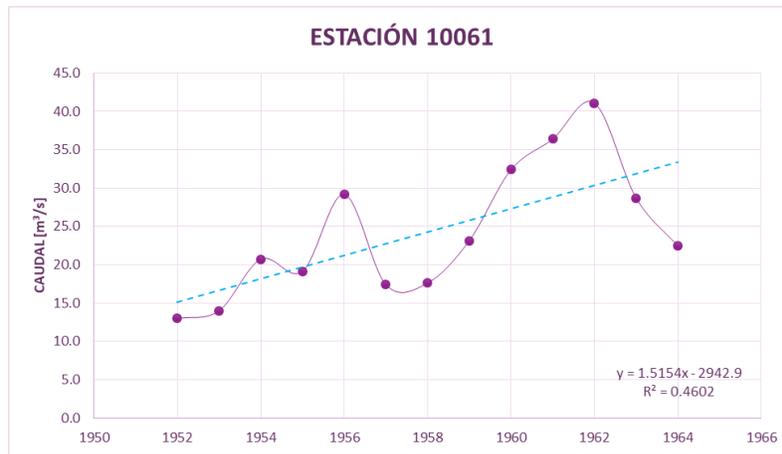


Ilustración 79. Tendencia temporal de la estación 10061

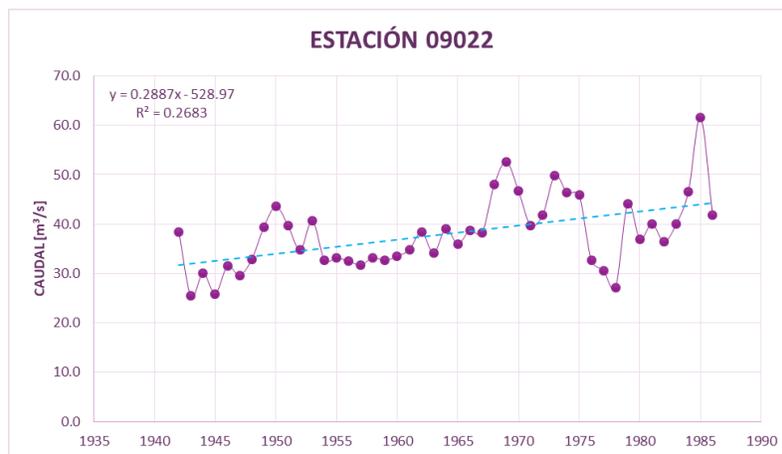


Ilustración 80. Tendencia temporal de la estación 09022

La tendencia de las aportaciones anuales al golfo de California por región hidrológica no proporciona información viable sobre los escurrimientos de la RH debido a que no coinciden todos los años de registro de las estaciones hidrométricas. Esto sobresale en las RH 9 (Ilustración 81) y RH 10 (Ilustración 83) que presentan picos en los extremos del gráfico y que presentan el comportamiento más estable en la parte central, justo donde coincide la mayor cantidad de estaciones, tal como se muestra en la Ilustración 85 resaltado con rojo.

En la RH 11 Presidio – San Pedro (Ilustración 84), se observa que la tendencia es prácticamente la media, es decir, es estable a lo largo de los años de registro. Este comportamiento se esperaba debido a que las cuencas dentro de esa región son las menos alteradas, como se observa en la Tabla 40.

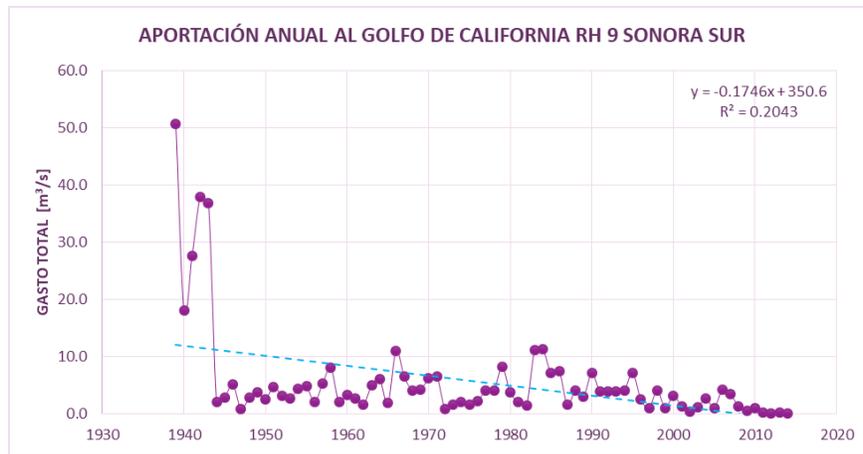


Ilustración 81. Tendencia temporal de la aportación anual de la RH 9 al golfo de California

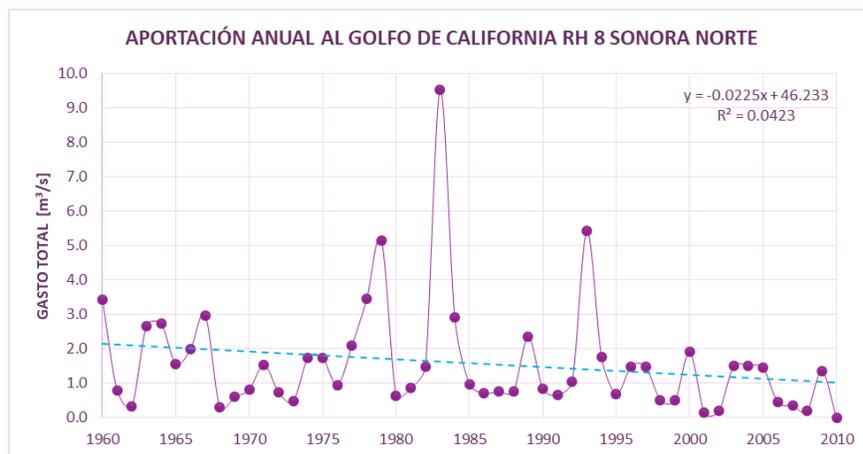


Ilustración 82. Tendencia temporal de la aportación anual de la RH 8 al golfo de California

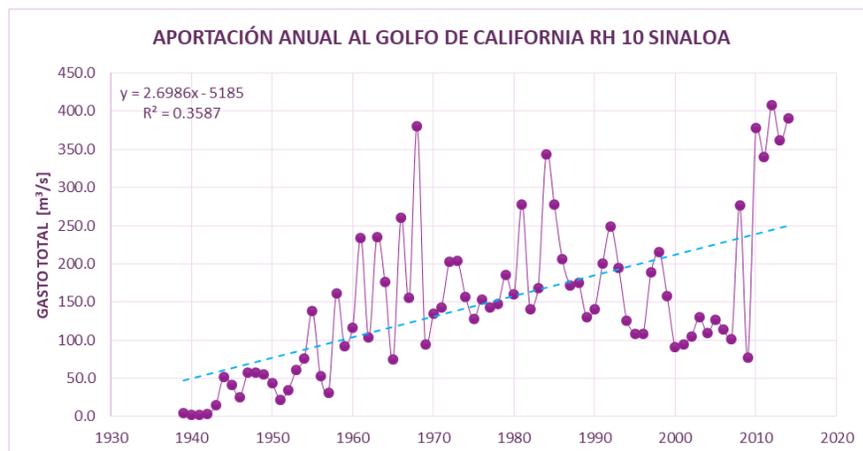


Ilustración 83. Tendencia temporal de la aportación anual de la RH 10 al golfo de California

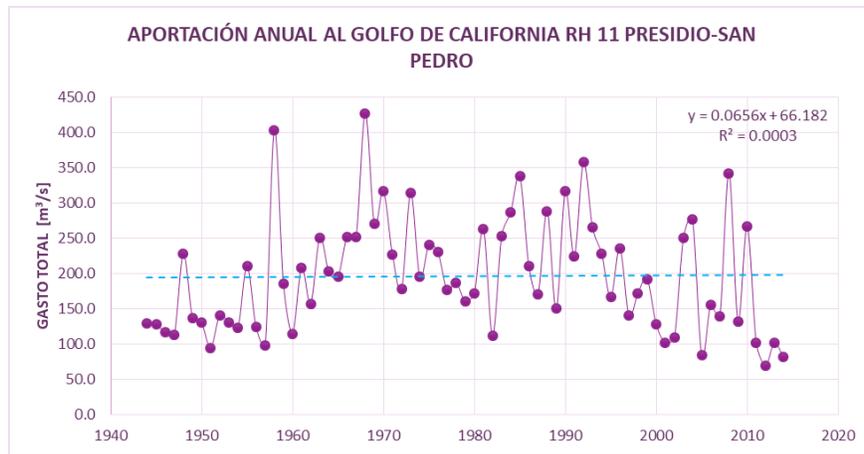


Ilustración 84. Tendencia temporal de la aportación anual de la RH 11 al golfo de California

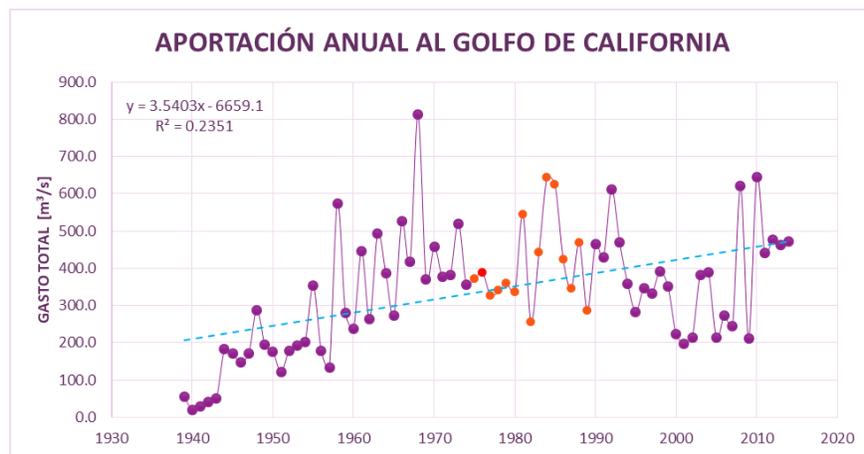


Ilustración 85. Tendencia temporal de la aportación anual total al golfo de California

La tendencia del volumen de sedimentos disponibles no difiere en demasía a los caudales líquidos. En este caso se observa que la mayor cantidad de estaciones (Ilustración 86 a Ilustración 90) tienden al decremento con los años y están relacionadas con la instalación de alguna obra hidráulica. Las estaciones 09063 (Ilustración 86) y 10031 (Ilustración 89) se encuentran cercanas a una presa, por lo que el decremento de sedimentos señala la retención de los mismos aguas arriba de las estaciones. El comportamiento es similar en la estación 08018 con cercanía a un bordo.

Ahora bien, las estaciones que no cuentan con obras de este tipo cercanas presentan una tendencia distinta. Las estaciones 10040 (Ilustración 91), 10070 (Ilustración 92), 10065 (Ilustración 93) y 10083 (Ilustración 94) se encuentran libres y tienden a mantenerse constantes. Esto indica que existe muy poca erosión del suelo de la cuenca de aportación.



Existen dos estaciones cuyo volumen de sedimentos tienden a incrementar, las estaciones 10014 (Ilustración 96) y 09017 (Ilustración 97) lo que indica que se presenta una erosión del suelo de la cuenca mayor en comparación con las estaciones mencionadas anteriormente.



Ilustración 86. Tendencia temporal del sedimento en la estación 09063

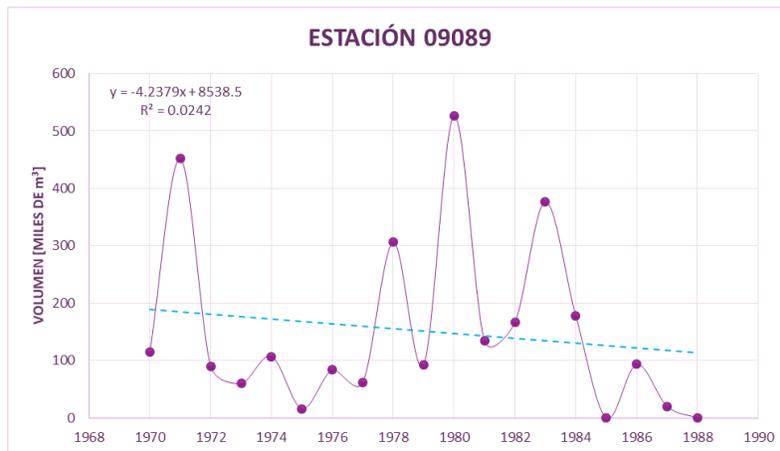


Ilustración 87. Tendencia temporal del sedimento en la estación 09089

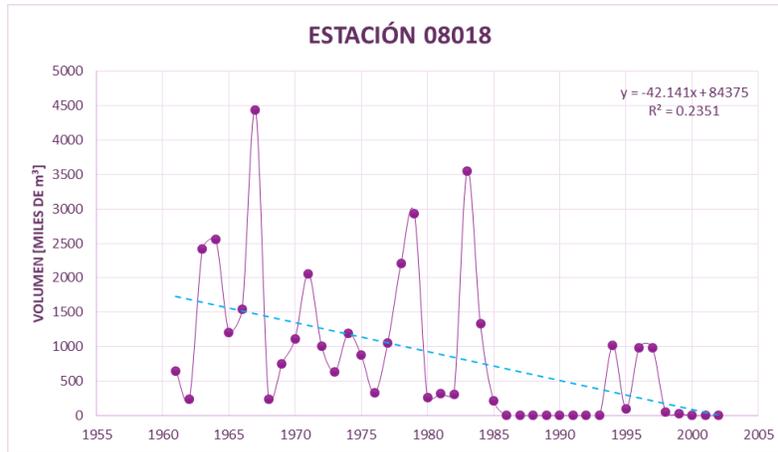


Ilustración 88. Tendencia temporal del sedimento en la estación 08018



Ilustración 89. Tendencia temporal del sedimento en la estación 10031

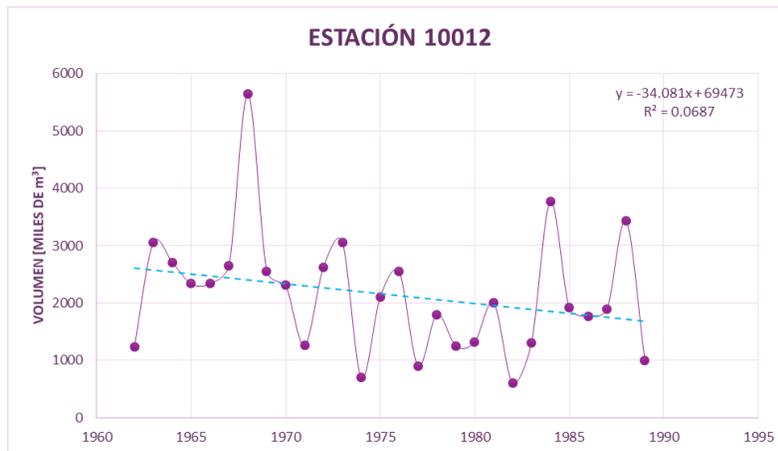


Ilustración 90. Tendencia temporal del sedimento en la estación 10012

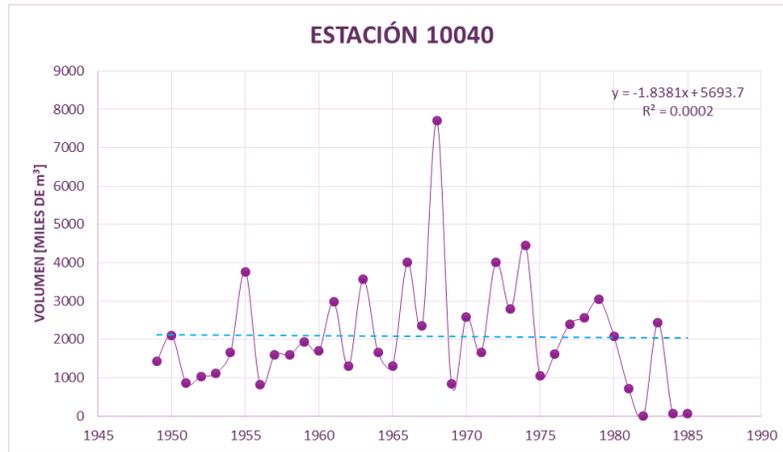


Ilustración 91. Tendencia temporal del sedimento en la estación 10040



Ilustración 92. Tendencia temporal del sedimento en la estación 10070

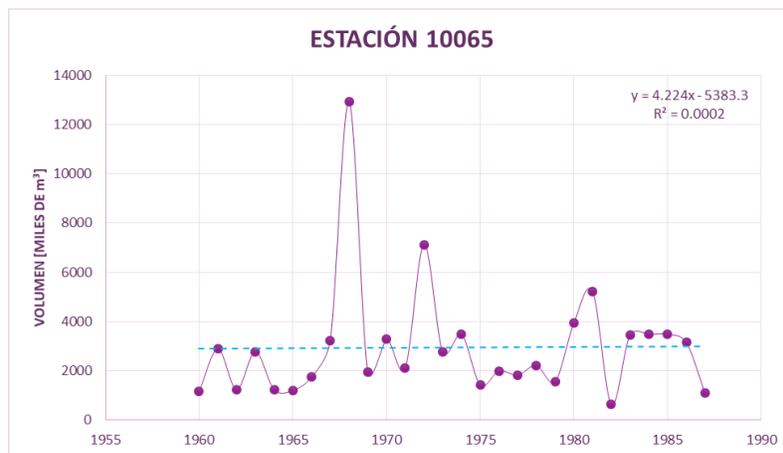


Ilustración 93. Tendencia temporal del sedimento en la estación 10065

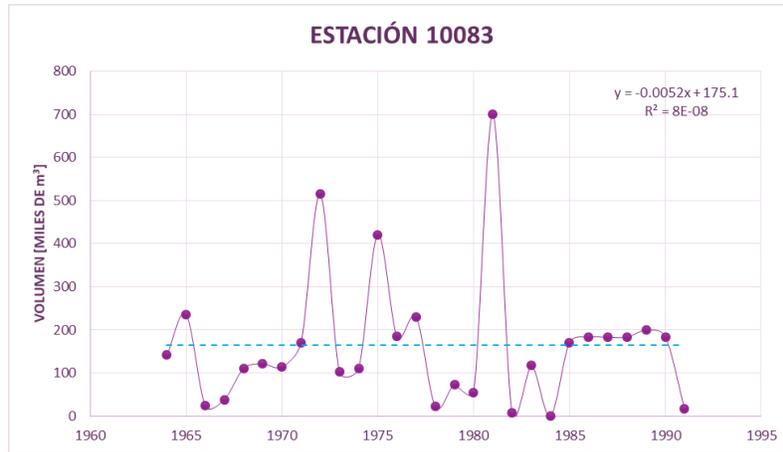


Ilustración 94. Tendencia temporal del sedimento en la estación 10083

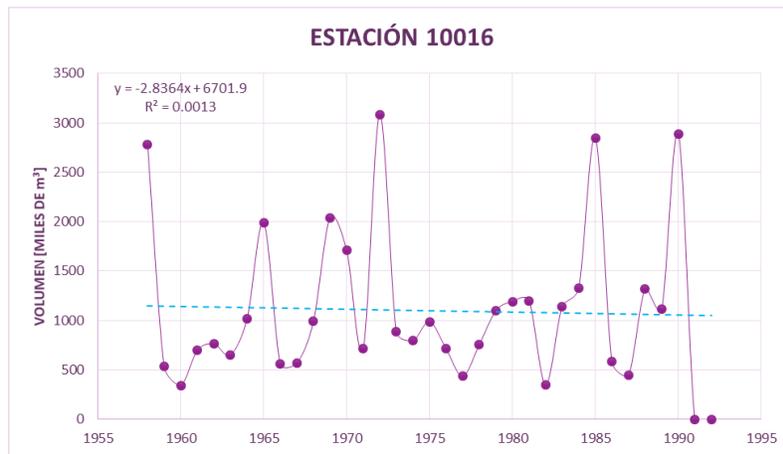


Ilustración 95. Tendencia temporal del sedimento en la estación 10016

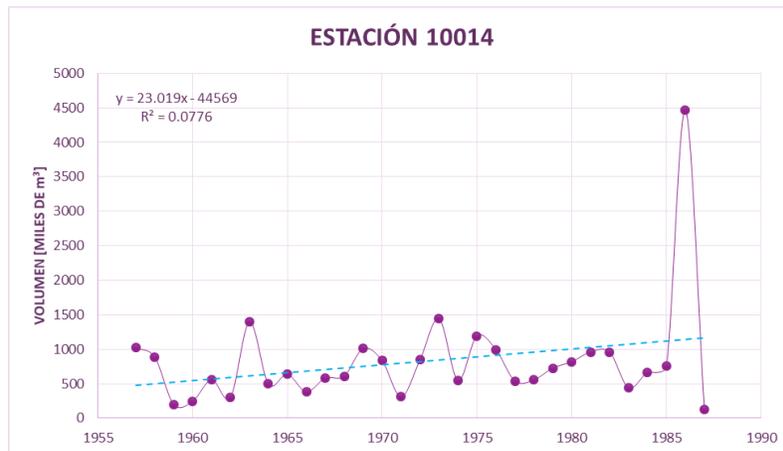


Ilustración 96. Tendencia temporal del sedimento en la estación 10014

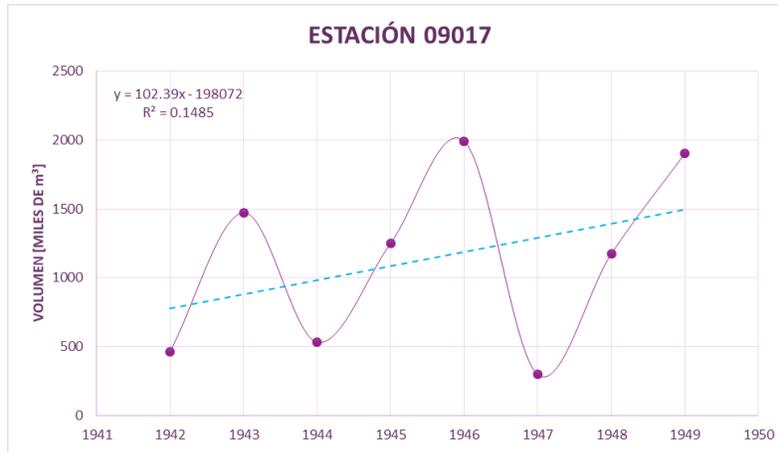


Ilustración 97. Tendencia temporal del sedimento en la estación 09017

El volumen de sedimentos por región hidrológica y total, presenta el mismo inconveniente que el descrito con anterioridad en relación al caudal líquido, sin embargo, el comportamiento expresa las consecuencias de las presas, sin connotaciones negativas.

Las presas más grandes se concentran en las RH 8, 9 y 10, las cuales, de acuerdo a la Ilustración 98, Ilustración 99 e Ilustración 100, presentan una tendencia decreciente en la aportación de sedimentos al mar de Cortés. El decremento se da por el volumen que retienen las cortinas de las obras hidráulicas.

Finalmente, las obras hidráulicas de la RH 11 (Ilustración 101) se concentran principalmente en las cotas altas, permitiendo que el sedimento fluya a lo largo de los cauces principales de las cuencas. El resultado es la ilustración cuya tendencia a la media con un leve incremento, reflejo de su trayectoria. Lo anterior proporciona una aportación anual total de sedimentos al cuerpo marino de forma estable (Ilustración 102).

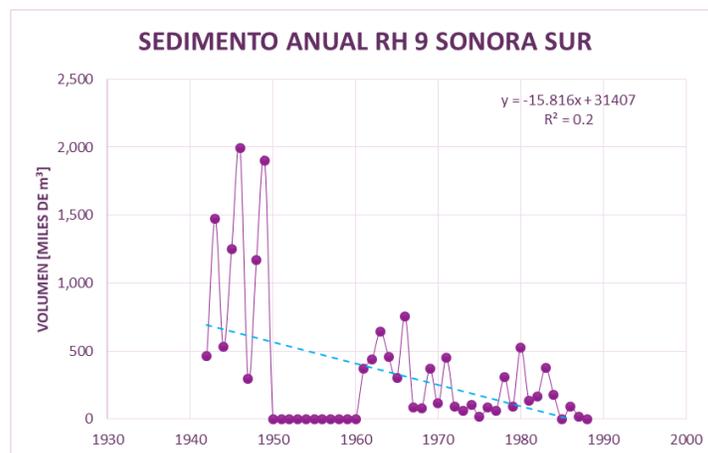


Ilustración 98. Tendencia temporal del sedimento de la RH 9

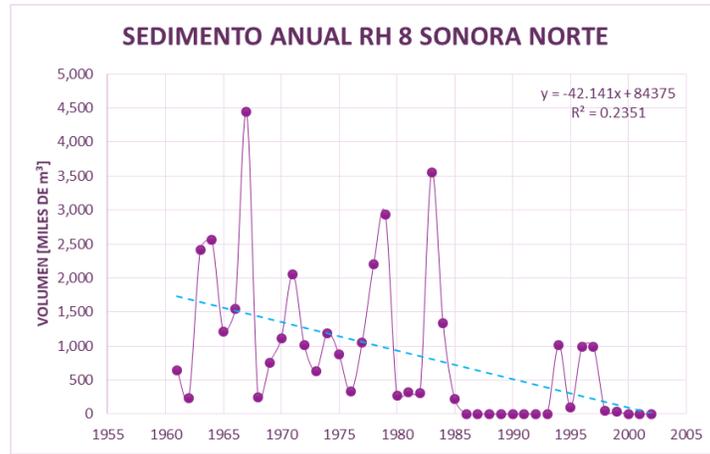


Ilustración 99. Tendencia temporal de sedimentos de la RH 8

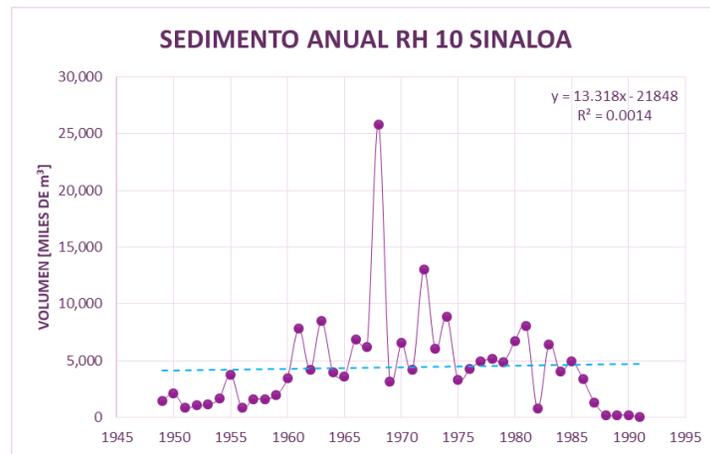


Ilustración 100. Tendencia temporal de sedimentos de la RH 10

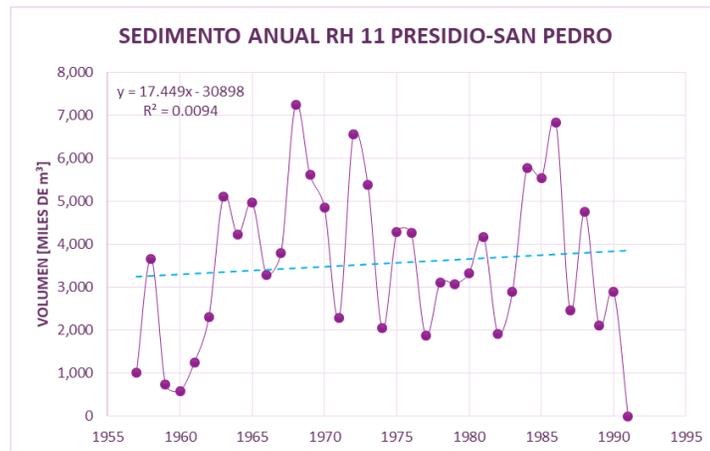


Ilustración 101. Tendencia temporal de sedimentos de la RH 11

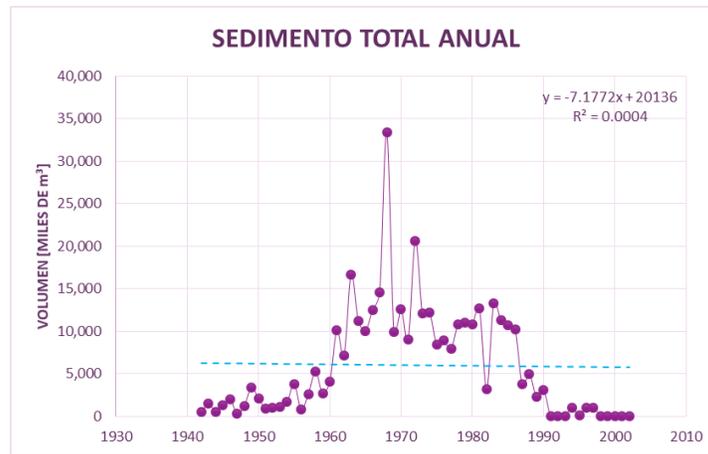


Ilustración 102. Tendencia temporal de la aportación total de sedimentos al golfo de California

3.6.2 ACCIONES SOBRE LOS SUBSISTEMAS INVOLUCRADOS: PRONÓSTICO

Dos cosas son necesarias para tener una visión amplia sobre la determinación de ejes de acción sobre los subsistemas y cómo estos afectarán el comportamiento del sistema al que pertenecen: contar con una herramienta que permita pronosticar los valores de las variables que los describen y conocer su interrelación con otras variables. El estudio del sistema que se ha definido en el capítulo 2, se realizó prestando atención a tres aspectos: económico, social y ambiental; cada uno de ellos representado por al menos una variable.

Para determinar la relación que existe entre las variables estudiadas dentro de los aspectos sociales, económicos y ambientales, se eligieron dos cuencas aforadas dentro de la zona de estudio como muestra, Río Piaxtla-Quelite-Elota y Río Presidio, cuyos años de registro en las estaciones hidrométricas coinciden con la información de usos de suelo y población, de forma que es posible evaluar su nivel de correlación.

El primer resultado de esta serie de análisis es que no existe correlación directa entre el cambio del régimen hidrológico y el crecimiento poblacional (Ilustración 103). Esto indica que el impacto que genera la población sobre los caudales naturales es indirecto y se crea a partir del cambio topográfico de los patrones de escurrimiento o bien en la gestión de recursos destinados a la explotación económica. Por tanto, la relación existente se daría con los usos de suelo, especialmente el crecimiento de las zonas urbanas.

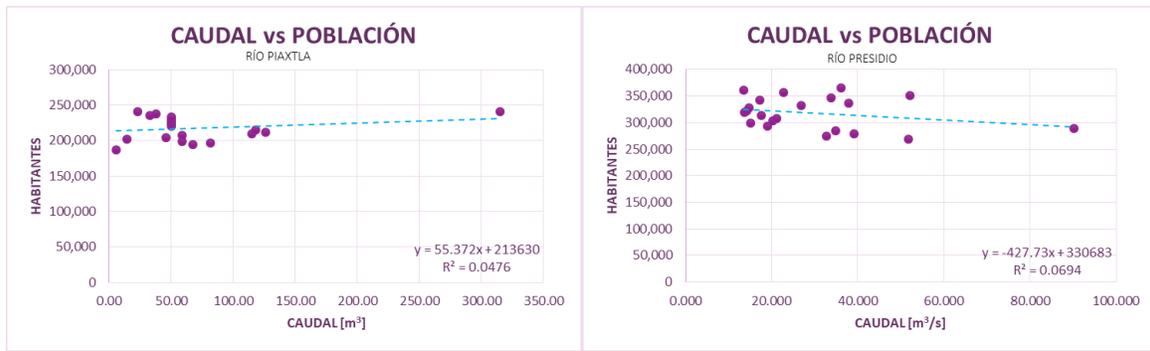


Ilustración 103. Correlación entre caudal y población: Río Piaxtla (izquierda) y Río Presidio (derecha)

Existe correlación aceptable entre los registros hidrométricos de caudal líquido y la evolución temporal de las zonas urbanas, que va desde 37.6 % en el Río Presidio hasta 68.8 % en el Río Piaxtla, de forma que se puede analizar el impacto del aspecto social en la zona de estudio mediante el crecimiento de las zonas urbanas y su relación con el crecimiento poblacional (ver anexo 6.9).

Dentro del aspecto económico, cuya variable asignada dentro de los usos de suelo corresponde a las zonas A-P-F, también se correlaciona con el régimen hidrológico de los dos cauces antes mencionados. En el Río Presidio existe un nivel de correlación del 22.7 %, mientras que en el Río Piaxtla asciende a 74.6 % (ver anexo 6.8). Finalmente la clasificación asociada con la salud ambiental de la cuenca, zonas E-F-F, cuentan con un nivel de correlación muy similar. En el Río Presidio, el ajuste del polinomio de orden 2 posee un valor de correlación de 23.6 %, y este mismo tipo de ajuste ofrece un nivel de correlación de 76 % para el Río Piaxtla (ver anexo 6.9).

Con lo anterior, es posible partir del análisis y pronóstico de estas variables, sugerir acciones que conduzcan a la sustentabilidad para cada uno de esos subsistemas: económico, social y ambiental.

El impacto del aspecto social en la zona de estudio puede medirse mediante la población futura y el crecimiento de la superficie de las ciudades, las cuales están íntimamente relacionados de acuerdo al punto 3.6.1 (Ilustración 51).

Como se ha mencionado, el pronóstico se ha realizado para tres años que permiten observar el crecimiento de la variable en estudio a corto, año 2030, mediano, año 2050, y largo plazo, año 2100. Se espera un aumento en la población de 1 millón 72 mil habitantes en el corto plazo, a la vez que las superficies urbanas aumenten de 0.59 % al 0.76 % de la zona de estudio total. En el mediano plazo, la población aumentaría 35



% respecto a la población actual y se tendrían 11 millones 949 mil habitantes. Hacia el 2050, la población prácticamente se duplicaría, pasando de 8, 865,395 habitantes a 16, 979,091. Una tendencia similar se presentaría en las superficies urbanas. Para el 2050, el área aumentaría a 4,159.73 km², 1.05 % de la superficie total en estudio, lo que indica que las zonas urbanas se duplicarían en 50 años antes que la población misma. En el año 2100, la proporción de las zonas urbanas representaría 1.74 %, es decir, los 2,344.93 km² en 2017 aumentarían a 6,854.50 km² (Ilustración 104).

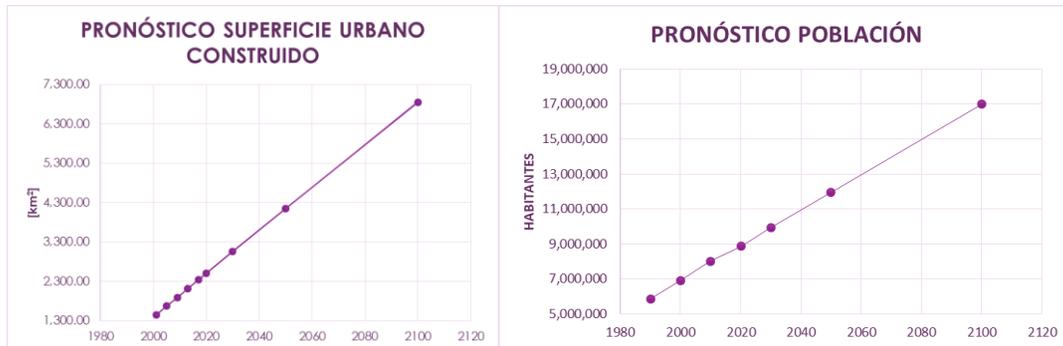


Ilustración 104. Pronóstico de crecimiento de población (izquierda) y superficies urbanas (derecha)

La rapidez del aumento de las superficies urbanas impactará directamente en el uso de los recursos hídricos, pues habrá más zonas a las cuales se les deberá de proveer de servicios, que incluyen abastecimiento de agua potable y drenaje. No es posible evitar la creciente demanda en el uso de los recursos, pero este eje abre una línea de acción sobre la calidad de la infraestructura hidráulica. Las obras de abastecimiento de agua, deberán de ser especialmente supervisadas para evitar la mayor cantidad de pérdidas posibles, así mismo, se debe incentivar a la población a hacer uso de muebles ahorradores de agua e introducir nuevos sistemas de saneamiento, un ejemplo es la introducción de mingitorios secos en baños públicos y de actividades recreativas como cines, restaurantes y escuelas. Para los servicios de saneamiento se debe incentivar a que las empresas cuenten con propias plantas de tratamiento de agua residual, con el fin de que el gobierno construya y mantenga plantas de tratamiento previo a las zonas de desecho cuyo sistema de tratamiento sea suficiente para que la calidad de descarga afecte mínimamente al cauce. Al requerir un nivel de tratamiento menor, los montos de inversión y mantenimiento de las plantas disminuyen, de ahí la importancia de la involucración de las empresas y servicios.

El pronóstico futuro del aspecto ambiental relacionado con la zona de estudio, se realiza con base en la evolución de las cinco clasificaciones de uso de suelo expuestas en el punto 3.6.1., con énfasis en las áreas desprovistas de vegetación y las zonas E-F-F y A-P-F, ya que las superficies urbanas construidas recién se

comentaron junto con la población y es difícil ofrecer un pronóstico adecuado para los espejos de agua por la naturaleza aleatoria de la precipitación (Ilustración 105).

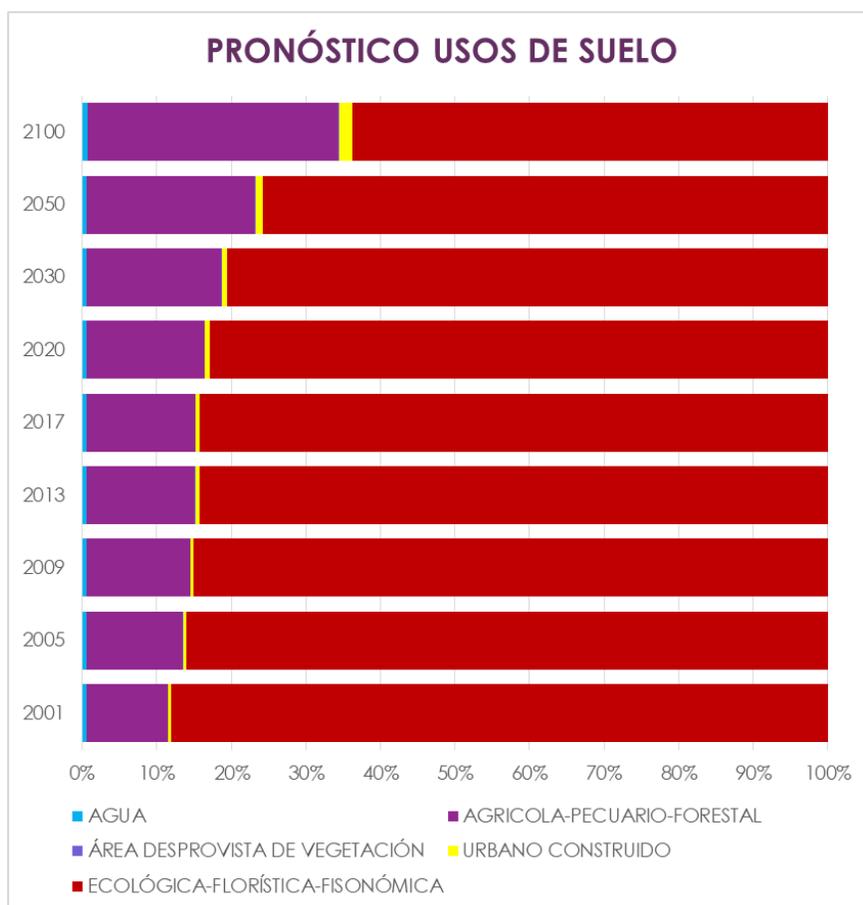


Ilustración 105. Pronóstico de crecimiento por uso de suelo

En el corto plazo, la variación de los tres rubros no supera el 2 %, mientras que en el 2050 y en 2100 se observa que duplican su superficie. Tal es el caso de las áreas desprovistas de vegetación, que del 2030 al 2050 pasan de 0.04 % a 0.07 % de la superficie total y al 2100 representan el 0.14 %. Al igual que las áreas desprovistas de vegetación, las zonas A-P-F orientadas a las actividades económicas, también crecen. Del corto al mediano plazo evolucionan de 18.09 % al 22.53 %, que representa un aumento del 25 %. En el largo plazo, presentan un crecimiento del 50 % ya que su proporción respecto a la superficie total de la zona de estudio aumenta a 33.64 %. La clasificación asociada con el bienestar ambiental presenta una disminución de valores año con año. Al 2050 su superficie representa el 75.7 %, una diferencia del 10 % comparado con el 85.6 % registrado por el INEGI en el 2009. Para el año 2100 que representa un comportamiento a largo plazo, las zonas de importancia ambiental se habrán reducido a 63.8 %.



Lo anterior indica que la línea de acción debe conducirse hacia los subsistemas de producción y vigilancia sobre sus acciones, por ejemplo, la deforestación ilegal y los incendios forestales. Al prestar atención a estas dos actividades y mejorar el sistema de extinción de incendios forestales las áreas desprovistas de vegetación pueden reducir su extensión en años futuros. Las zonas agrícolas, junto con los distritos de riego, deben de modernizar sus sistemas de irrigación y disminuir el uso de fertilizantes y plaguicidas para evitar la erosión del suelo y sedimentación de los cauces. Incorporar sistemas de riego por goteo en zonas donde el tipo de cultivo y producción esperada lo permitan. La industria pesquera es una gran amenaza a la biodiversidad marina que existe en el golfo de California, debido a la gran cantidad de especies que quedan atrapados en la red de arrastre. Por ello, se recomienda que exista una alianza entre los distintos gobiernos de zonas pesqueras y la WWF para promover técnicas de pesca sustentables.

En el caso del volumen de sedimentos no fue posible establecer una correlación con el área desprovista de vegetación, que era de especial interés para corroborar la degradación del suelo en la zona de estudio, esto debido a que los años de registro de sedimentos culminan en 2001 y la información sobre usos de suelo abarca un periodo del 2001 al 2017.

Así mismo, tampoco es posible observar el cambio de la evolución temporal en los sedimentos sobre las ilustraciones expuestas en el punto anterior, dado que los años de construcción de las presas ubicadas cerca de las estaciones no ocurren dentro de estos periodos. O bien, las estaciones cesan datos al construirse la presa o comienzan registros junto con la inauguración de la obra hidráulica, tal es el caso mencionado con anterioridad en la estación 09063 o en la estación 10031 donde la presa Eustaquio Buelna fue construida entre 1940 – 1948 y la estación comienza registros a partir de 1961.



3.6.3 PROPUESTAS DE GESTIÓN SUSTENTABLE Y RESILIENTE

Dentro del presente capítulo se aborda la etapa de *diseño* del enfoque *de la fuente al mar*, la cual consiste en la construcción de propuestas para que el sistema en estudio alcance la sustentabilidad y sostenibilidad, con base en las acciones a desarrollar por los participantes primarios y dirigentes, que al presentarse gráficamente forman la teoría de cambio (Ilustración 106).

DESARROLLO SOSTENIBLE

La aplicación de la metodología *de la fuente al mar* en cualquier proyecto o programa, tiene como objetivo conducir al sistema a la sustentabilidad y resiliencia, los cuales se entienden como el aprovechamiento de los recursos naturales para satisfacer las necesidades presentes sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras (World Commission on Environment and Development, 1987), involucrando el medio ambiente, la economía y la sociedad. Esta sustentabilidad dentro de la zona de estudio se orienta a la disminución de la explotación de los recursos hídricos, mejora en las técnicas agrícolas que requieran menos consumo de agua, implementación de nuevas técnicas y periodos en la pesca industrial, turismo responsable, y una mejora en la gestión y uso urbano del agua.

ETAPA DE PARTICIPACIÓN

Los participantes primarios dentro de la zona de estudio son los usuarios y trabajadores directos de los recursos de las cuencas. Los primeros se ven involucrados en la disponibilidad de agua dado que el acceso al agua es un derecho humano que se puede ver interrumpido por una mala gestión, distribución del recurso e incluso una sequía. Los trabajadores incluyen aquellos dedicados a la agricultura y la pesca-acuacultura. Dentro de la zona de estudio, la fuente mayoritaria de acceso al recurso son los ríos, cuyo caudal se distribuye mediante presas y embalses. También estos consumidores se ven afectados por desastres naturales relativos a la calidad del agua, como fue el caso del derrame de la presa de Jales sobre los ríos Sonora y Bacanuchi en 2014.

Entre los participantes dirigentes se consideran a los dueños de las zonas agrícolas, ganaderas, contratistas, mineros, organismos operadores y a los gobiernos tanto municipales como estatales de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Durango, Nayarit y Zacatecas. La comunicación constante entre las organizaciones con los trabajadores y usuarios directos de los recursos naturales de las cuencas es necesaria para establecer las verdaderas necesidades que existen dentro de las mismas, además de ofrecer



datos verídicos de consumo de agua. Un ejemplo de la aplicación de esta comunicación constante puede aplicarse a la pesca deportiva ilegal existente en el golfo de California, al entender las razones por las cuales se lleva a cabo, en su mayoría relativas a la ganancia económica que deriva de ellas, los gobiernos municipales pueden ofrecer otras alternativas laborales que beneficien de mejor manera a estos agentes y contribuir de esta manera a la resiliencia del golfo.

ETAPA DE DIAGNÓSTICO

La comunicación entre los dos participantes debe facilitarse a través de la elección de representantes – participantes primarios- de cada una de las actividades relacionadas con la explotación de recursos naturales, empresarios y dueños o concesionarios de estos recursos con los gobiernos municipales, cuyo objetivo será crear una comisión que los represente a nivel estatal donde expondrán las necesidades de cada uno de los participantes primarios. Mediante un *moderador* que conozca el enfoque *de la fuente al mar*, incitar a un diálogo del que nazcan propuestas que den solución a las necesidades y se desarrollen políticas, programas y proyectos que los atiendan considerando su interacción con todos los participantes.

ETAPA DE DISEÑO

La aplicación de nuevas políticas en favor de los participantes primarios deben incluir: el fomento del cuidado y uso del agua en las localidades junto con el uso de muebles sanitarios ahorradores, que además, a través de alianzas gubernamentales con los distribuidores de éstos, sean accesibles a la población general; la aplicación de nuevas técnicas de riego que disminuyan la demanda de consumo de agua, por ejemplo el riego por goteo, y el cuidado de la tierra, de forma que no sea necesario talar zonas E-F-F para aumentar las áreas agrícolas. Determinar periodos de pesca que permitan a las especies marinas reproducirse adecuadamente, erradicar la pesca deportiva ilegal mediante acuerdos con los trabajadores que la llevan a cabo, y fomentar un turismo ecológico no masivo. Brindar los recursos suficientes a los programas de cuidado y reservas naturales dirigidos a las especies en peligro de extinción. Gestionar el plan de operación de las presas de forma que aguas abajo de la misma se mantenga el caudal ecológico mínimo para su descarga libre al mar. Ofrecer información abierta y clara sobre las concesiones de agua a mineras, así como una mayor vigilancia y regulación de condiciones de trabajo e infraestructura, esto con el objetivo de evitar desastres ecológicos y que la derrama económica en la que se justifica su construcción se vea reflejada también en la mejora de la calidad de vida de los trabajadores locales y sus familias.



Con la implementación de lo antes mencionado, se espera que el flujo de agua en los ríos –caudal prioritario– incremente y todos los cuerpos de agua perennes lleguen al mar y se evite la salinización excesiva de los deltas, así como la pérdida de hábitats, biodiversidad y se logre que el recurso sea distribuido eficientemente para que todos los habitantes de la zona de estudio tengan no solo acceso al agua, sino también mejores trabajos y calidad de vida.



Ilustración 106. Teoría del cambio cuencas que desembocan al golfo de California





4. CONCLUSIONES

El enfoque *de la fuente al mar* permite establecer una visión holística de la zona de estudio para proponer soluciones eficientes a las problemáticas que presenta. La parte más importante para llevarlo a cabo es conocer la descripción general de la zona de estudio, esto para poder identificar cual es el nivel de detalle y las líneas de acción. La importancia de la zona de estudio radica en la variedad de actividades que se desarrollan y su diversidad económica, climática, faunística y florística. Es importante estudiar y mantener sus recursos hídricos dado que se trata de una zona desértica en su mayoría.

Las cuencas que descargan al golfo de California son cuencas principalmente alteradas, especialmente en zonas bajas hacia el Mar de Cortés, donde se concentran las áreas agrícolas y los asentamientos humanos, de forma que son fuentes de contaminación cercanas a la misma costa. Dentro de ella, existen dos ríos cuyo recurso es prácticamente explotado en su totalidad: el Río Colorado y el Río Sonora, cuyas aportaciones al golfo son nulas o casi nulas. Esto se debe a la alta presencia de presas y embalses que buscan distribuir el agua hacia actividades más demandantes sin considerar su efecto aguas abajo. Algunas cuencas presentan rezagos de catástrofes ambientales derivadas de las actividades mineras.

El grado de alteración de las cuencas que integran la zona de estudio, con base en el caudal ecológico obtenido por un método hidrológico, va de *medio* a *alto*. Para realizar una evaluación de mayor detalle es necesario conocer el estado del régimen de flujo previo a la zona costera, pues el hecho de que las estaciones hidrométricas en su mayoría se encuentren aguas arriba de alguna obra hidráulica entorpece la evaluación.

El impacto se debe especialmente a las grandes presas de almacenamiento para consumo humano, abastecimiento agrícola e industria minera. La población dentro de la zona de estudio se concentra en las capitales de Sinaloa y Sonora, demandando mayor agua a los cuerpos superficiales cercanos e incrementando la necesidad de la construcción de presas para almacenamiento. Las zonas urbanas crecen al doble de velocidad que la población por lo que, de ser posible, es necesario la elaboración de un plan de ordenamiento territorial para disminuir el ritmo de la pérdida de zonas ecológicas-florísticas-fisonómicas de la zona de estudio. Las concesiones de agua hacia las empresas mineras junto con la ubicación, no son información transparente y es una actividad altamente impactante, por lo tanto es necesario hacer dicha información accesible y buscar el beneficio nacional y de los trabajadores.



La disminución del flujo de agua disponible impacta en la necesidad de explotar los acuíferos de la zona y en el abasto para consumo humano de la población, especialmente de aquellas que se encuentran dentro de las localidades y centros de urbanos. Impacta también en los deltas de los ríos y en algunos casos, como es el Río Colorado, aumenta su salinidad y pone en peligro de extinción a especies de animales tanto terrestres como marinas.

Es necesario integrar una comunicación interdisciplinaria y circular con los usuarios de los recursos y los agentes gubernamentales para el desarrollo sustentable de la zona, de forma que las esferas sociales, ambientales y económicas se vean beneficiadas. Esto se puede realizar mediante la planeación basada en la teoría de cambio y la implementación de economías verdes y azules. Es importante también una colaboración activa entre gobiernos estatales y programas de conservación de especies e impactos de la industria pesquera, como los que ofrece la WWF.

Con la conclusión del presente trabajo, se tiene una visión general de la zona de estudio y sus características generales en cuanto a población, actividades económicas y caudales en un único punto de aforo, a partir de los cuales se abren nuevas áreas de oportunidad para explorarse dentro del proyecto sobre el que este trabajo se desarrolla, pero ahora con enfoque en un sistema que permita el desarrollo de análisis más detallados, en este caso, las cuencas. La primera de ellas es el análisis de variables hidrológicas como la precipitación y la temperatura dentro de una cuenca particular y el desarrollo de una metodología que permita obtener las aportaciones al mar de Cortés en cuencas no aforadas, comenzando con el Río Piaxtla y Bacoachi. La segunda consiste en realizar el seguimiento de la calidad del agua a lo largo de un cauce aforado, para determinar las fuentes y niveles de contaminantes con el objetivo de proponer planes de gestión sostenible, siendo la cuenca del Río Fuerte la zona de interés. Ambos trabajos en desarrollo actualmente.



5. REFERENCIAS

- Ahlenius, H. (13 de Abril de 2021). *SIPRI*. Obtenido de <https://www.sipri.org/news/2019/sipri-informs-black-sea-security>
- Ahlenius, H. (30 de Abril de 2021). *SIPRI informs on Black Sea security*. Obtenido de Stockholm international peace research institute: <https://www.sipri.org/news/2019/sipri-informs-black-sea-security>
- Aparicio M., F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Ciudad de México: Limusa.
- Arias P., E. (2005). *Plan de acción para el uso eficiente de agua dulce en el golfo de California*. Sonora: WWF.
- Arriaga F., D. (2017). *Estimación regional de gastos máximos anuales en el estado de Sinaloa [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]*.
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/13972/Tesis.pdf?sequence=1>.
- Censo de Población y Vivienda . (2020). *Panorama Sociodemográfico de Baja California Sur*. México: INEGI, c2021.
- Censo de Población y Vivienda . (2020). *Panorama Sociodemográfico de Nayarit*. México: INEGI, c2021.
- Censo de Población y Vivienda. (2020). *Panorama Sociodemográfico de Baja California*. México: INEGI, c2021.
- Censo de Población y Vivienda. (2020). *Panorama Sociodemográfico de Chihuahua*. México: INEGI, c2021.
- Censo de Población y Vivienda. (2020). *Panorama Sociodemográfico de Durango*. México: INEGI, c2021.
- Censo de Población y Vivienda. (2020). *Panorama Sociodemográfico de Sinaloa*. México: INEGI, c2021.
- Censo de Población y Vivienda. (2020). *Panorama Sociodemográfico de Sonora*. México: INEGI, c2021.
- Censo de Población y Vivienda. (2020). *Panorama Sociodemográfico de Zacatecas*. México: INEGI, c2021.
- CONAGUA ; IMTA. (22 de Marzo de 2021). *Bases de datos hidrométricas*. Obtenido de Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS): ftp://ftp.conagua.gob.mx/Bandas/Bases_Datos_Bandas
- CONAGUA. (2010). *Estadísticas del agua en México*. Ciudad de México: Comisión nacional del agua.
- CONAGUA. (2018). *Estadísticas del agua en México*. Ciudad de México: Comisión nacional del agua.
- CONAGUA. (30 de Agosto de 2021). *Detalle de los acuíferos en México (2020)*. Obtenido de Sistema Nacional de Información del Agua:



- http://201.116.60.28:8080/ibi_apps/WFServlet?PG_REQTYPE=REDIRECT&PG_MRsaved=false&PG_Func=GETBINARY&PG_File=kvkxpavq.pdf
- CONAGUA. (23 de Julio de 2021). *Distritos y unidades de riego (nacional)*. Obtenido de Sistema Nacional de Información del Agua: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=distritosriego>
- CONAGUA. (8 de Julio de 2021). *Estaciones para medir el clima*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/conagua/articulos/estaciones-para-medir-el-clima>
- CONAPO. (2018). *Sistema urbano nacional*. Ciudad de México: Consejo Nacional de Población.
- Cruz M., R., & García P., F. (2008). Modelación de los escurrimientos del río Yaqui. *Terra Latinoamericana Vol. 26*, 145-152.
- ENDESA . (2011). *Introducción al Cálculo de Caudales Ecológicos*. Santiago: Empresa Nacional de Electricidad S. A. .
- Espinosa C., T. L., & Valdez H., E. (2007). Gulf of california interannual chlorophyll variability. *Ecología Aplicada*, 6(1-2), 83-92.
- EUSBSR. (13 de Abril de 2021). *The baltic sea region countries*. Obtenido de EUSBSR EU strategy for the baltic sea region: http://www.baltic-sea-strategy-tourism.eu/static/Regierungsportal/Ministerium%20f%C3%BCr%20Wirtschaft%2c%20Bau%20und%20Tourismus/EUSBSR/Dateien/bilder/baltic-sea-strategy-members_900_600.jpg
- García C., K. (2020). *Número de curva. Estimación sistematizada y aplicaciones [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]*. <http://132.248.9.195/ptd2020/febrero/0800730/Index.html>.
- Granit., J., Liss Lymer, B., Olsen, S., Tengberg, A., Nömmann, S., & Clausen, T. J. (2017). *A conceptual framework for governing and managing key flows in a source-to-sea continuum: A STAP Advisory Document*. Washington, D.C.: Global Environment Facility.
- Gutiérrez G., E., & Vladimirovna P., O. (2014). *Probabilidad y estadística: Aplicaciones a la ingeniería y las ciencias*. México: Grupo Editorial Patria.
- Hernández U., A. (17 de Agosto de 2021). *Resumen de la temporada de ciclones tropicales 2008*. Obtenido de CONAGUA: <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Ciclones%20Tropicales/Resumenes/2008.pdf>
- INEGI. (25 de Mayo de 2021). *Clasificación fisiográfica*. Obtenido de Fisiografía: <https://www.inegi.org.mx/temas/fisiografia/>
- INEGI. (19 de Abril de 2021). *Clima Baja California*. Obtenido de Información por entidad: <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/bc/territorio/clima.aspx?tema=me&e=02>



- INEGI. (19 de Abril de 2021). *Clima Baja California Sur*. Obtenido de Información por entidad:
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/bcs/territorio/clima.aspx?tema=me&e=03>
- INEGI. (19 de Abril de 2021). *Clima Chihuahua*. Obtenido de Información por entidad:
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/chih/territorio/clima.aspx?tema=me&e=08>
- INEGI. (19 de Abril de 2021). *Clima Durango*. Obtenido de Información por entidad:
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/dur/territorio/clima.aspx?tema=me&e=10>
- INEGI. (19 de Abril de 2021). *Clima Nayarit*. Obtenido de Información por entidad:
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/nay/territorio/clima.aspx?tema=me&e=18>
- INEGI. (19 de Abril de 2021). *Clima Sinaloa*. Obtenido de Información por entidad:
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/sin/territorio/clima.aspx?tema=me&e=25>
- INEGI. (19 de Abril de 2021). *Clima Sonora*. Obtenido de Información por entidad:
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/son/territorio/clima.aspx?tema=me&e=26>
- INEGI. (19 de Abril de 2021). *Clima Zacatecas*. Obtenido de Información por entidad:
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/zac/territorio/clima.aspx?tema=me&e=32>
- INEGI. (13 de Mayo de 2021). *Datos para sistemas de información geográfica de sistemas hidrológicos*.
Obtenido de Simulador de flujos de agua en cuencas hidrográficas (SIATL) ver. 4:
https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/
- INEGI. (1 de Junio de 2021). *Flora y fauna Baja California*. Obtenido de Información por entidad:
http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/bc/territorio/recursos_naturales.aspx?tema=me&e=02
- INEGI. (1 de Junio de 2021). *Flora y fauna Baja California Sur*. Obtenido de Información por entidad:
http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/bcs/territorio/recursos_naturales.aspx?tema=me&e=03
- INEGI. (1 de Junio de 2021). *Flora y fauna Nayarit*. Obtenido de Información por entidad:
http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/nay/territorio/recursos_naturales.aspx?tema=me&e=18
- INEGI. (1 de Junio de 2021). *Flora y fauna Sinaloa*. Obtenido de Información por entidad:
http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/sin/territorio/recursos_naturales.aspx?tema=me&e=25
- INEGI. (1 de Junio de 2021). *Flora y fauna Sonora*. Obtenido de Información por entidad:
http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/son/territorio/recursos_naturales.aspx?tema=me&e=26



- INEGI. (05 de Agosto de 2021). *Producto interno bruto por entidad federativa 2019*. Obtenido de Comunicado de prensa Núm. 632/20:
<https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2020/OtrTemEcon/PIBEntFed2019.pdf>
- International Hydrographic Organization. (1953). *Limits of oceans and seas*. Monaco: IHO Special Publication.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. (2007). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103*. Roma: FAO.
- Liss L., B., & Carvajal, M. (2017). The colorado river, its delta and links to the gulf of California. En J. Granit, *A conceptual framework for governing and managing key flows in a source-to-sea continuum* (págs. 96-100). Washington D.C.: Global Environment Facility.
- Liss L., B., & Zavadsky, I. (2017). Danube river and black sea collaboration. En J. Granit, *A conceptual framework for governing and managing key flows in a source-to-sea continuum* (págs. 82-86). Washington D.C.: Global Environment Facility.
- Mathews, R. E. (2019). *Implementing the source-to-sea approach: A guide for practitioners*. Stockholm: SIWI.
- Niño T., C. A., Urbán R., J., & Vidal, O. (27 de Junio de 2021). *Guía de mamíferos marinos del golfo de California*. Obtenido de Fondo mundial para la naturaleza:
http://awsassets.panda.org/downloads/guia_de_mamiferos_marinos_del_golfo_de_california.pdf
- Nomman, S., & Granit, J. (2017). Case study: The baltic sea region. En J. Granit, *A conceptual framework for governing and managing key flows in a source-to-sea continuum* (págs. 87-92). Washington D.C.: Global Environment Facility.
- ONU México. (20 de Marzo de 2021). *Agenda 2030*. Obtenido de Naciones Unidas México:
<https://www.onu.org.mx/agenda-2030/>
- Piedra Miranda, A. G., & Rosales Ramírez, F. H. (2019). Aproximaciones al concepto de economía circular y su relación con los recursos hídricos. *Impluvium*, 6-13.
- Secretaría de Economía. (20 de Abril de 2021). *Baja California*. Obtenido de Información económica y estatal: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/43339/Baja_California.pdf
- Secretaría de Economía. (20 de Abril de 2021). *Baja California Sur*. Obtenido de Información económica y estatal: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/86798/baja_california_sur.pdf
- Secretaría de Economía. (20 de Abril de 2021). *Chihuahua*. Obtenido de Información económica y estatal: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/43343/Chihuahua.pdf>



- Secretaría de Economía. (20 de Abril de 2021). *Durango*. Obtenido de Información económica y estatal: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/43333/Durango.pdf>
- Secretaría de Economía. (20 de Abril de 2021). *Nayarit*. Obtenido de Información económica y estatal: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/43793/Nayarit.pdf>
- Secretaría de Economía. (20 de Abril de 2021). *Sinaloa*. Obtenido de Información económica y estatal: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/43824/Sinaloa.pdf>
- Secretaría de Economía. (20 de Abril de 2021). *Sonora*. Obtenido de Información económica y estatal: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/47710/Sonora.pdf>
- Secretaría de Economía. (20 de Abril de 2021). *Zacatecas*. Obtenido de Información económica y estatal: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/43818/Zacatecas.pdf>
- Silvestri, S., & Kershaw, F. (. (2010). *Framing the flow: Innovative Approaches to Understand, Protect and Value Ecosystem Services across Linked Habitats*. Cambridge, UK: UNEP World Conservation Monitoring Centre.
- Sistema Meteorológico Nacional. (17 de Agosto de 2021). *Ciclones que han impactado en México, 1981-2001*. Obtenido de Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México: http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/compendio_2000/01dim_social/01_08_Desastres/data_de_sastres/Cuadrol.8.1b.htm
- Taplin, D., & Clark, H. (2012). *Theory of Change Basics. A primer on theory of change*. New York: ActKnowledge.
- Tengberg, A. (2017). Caribbean small island developing states and links to the larger caribbean basin - Integrated watershed and coastal area management. En J. Granit, *A conceptual framework for governing and managing key flows in a source-to-sea continuum* (págs. 93-95). Washington D.C.: Global Environment Facility.
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*. Oxford: Oxford University Press.
- WWF. (27 de Junio de 2021). *Golfo de California amenazas*. Obtenido de Fondo mundial para la naturaleza: https://www.wwf.org.mx/que_hacemos/programas/golfo_california/amenazas/
- WWF. (09 de 08 de 2021). *WWF y Bezos Earth Fund se unen para proteger los manglares de México*. Obtenido de Fondo mundial para la naturaleza: <https://www.wwf.org.mx/?368191/WWF-y-Bezos-Earth-Fund-se-unen-para-proteger-los-manglares-de-Mexico>





6. ANEXOS

6.1 CLASIFICACIÓN DE SUELOS

La clasificación del tipo de suelo según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO por sus siglas en inglés, es (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007):

ACRISOLES: Suelos con mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial. Tiene amplia variedad de materiales parentales, generalmente rocas ácidas y arcillas meteorizadas.

ALISOLES: Suelos arcillosos procedentes de la meteorización de rocas básicas y materiales no consolidados.

ANDOSOLEs: Suelos que se desarrollan en vidrios y eyecciones volcánicas, principalmente cenizas, tufa u otro material con alto contenido de silicatos. Alto potencial para la producción agrícola.

ARENOSOLEs: Suelos arenosos cuyo material parental es la meteorización de sedimentos o rocas calcáreas y ricas en cuarzo.

CALCISOLES: Suelos con acumulación secundaria de material calcáreo, provienen de depósitos aluviales, coluviales y eólico de material meteorizado con alto contenido de bases.

CAMBISOLES: Suelos provenientes de material de textura media a fina derivados de un rango amplio de rocas. Buenos para manejo agrícola.

CHERNOZEMS: Suelos ricos en materia orgánica. Su material parental es principalmente sedimentos eólicos y eólicos retrabajados. De buena fertilidad.

FEOZEM: También conocidos como PHAEOZEMS, son suelos de pastizales similares a los chernozems. Su material parental consiste en materiales no consolidados en su mayoría básicos. Son porosos y fértiles, excelentes para trabajo agrícola.

FLUVISOLES: Suelos jóvenes provenientes de depósitos fluviales, lacustres y marinos. De buena fertilidad.

GIPSISOLES: Suelos con una acumulación secundaria de yeso. Su material parental consiste en depósitos aluviales, coluviales y eólicos no consolidados de material meteorizable básico.



GLEYSOLES: Suelos de humedales comúnmente saturados con agua freática. Proviene de un amplio rango de materiales no consolidados, principalmente fluviales, marinos y lacustres de mineralogía básica a ácida.

HISTOSOLES: Suelos formados por material orgánico, provienen de restos vegetales sin descomponer completamente con o sin mezcla de arena, limo o arcilla.

KASTAÑOZEMS: Suelo de pastizales secos, similares a los Chernozems, provenientes de materiales no consolidados. Suelos potencialmente ricos.

LEPTOSOLES: Suelos someros sobre roca continua provenientes de rocas o materiales no consolidados con menos del 20 % de tierra fina. Suelos potenciales para el pastoreo y tierra forestal. También son conocidos como LITOSOLES.

LIXISOLES: Suelos con alta saturación de bases y arcillas. Provenientes de materiales de textura fina no consolidados con meteorización química. Son ampliamente utilizados para pastoreo de bajo volumen y cultivos perennes.

LUVISOLES: Suelos con alto contenido de arcillas cuyo material parental incluye materiales no consolidados y depósitos eólicos, aluviales y coluviales. Son suelos fértiles.

NITOSOLES: Suelos rojos tropicales profundos bien drenados, producto de meteorización de rocas intermedias a básicas. Son fértiles y resistentes a la erosión.

PLANOSOLES: Suelos provenientes de depósitos aluviales y coluviales arcillosos, lentamente permeables.

PLINTOSOLES: Suelos cuyo material parental consiste en plintita, que es una mezcla rica en hierro, pobre en humus de arcilla con cuarzo. El contenido de hierro lo puede dar la meteorización de rocas básicas o puede ser incorporado por filtración de agua. Poseen poca fertilidad natural.

RANKERS: Leptosoles desarrollados sobre roca no calcárea.

REGOSOLES: Suelos minerales débilmente desarrollados en materiales no consolidados de grano fino. Tienen poca retención de humedad lo cual dificulta su manejo agrícola y demandan riego con mayor frecuencia.

RENDZINA: Leptosoles desarrollados sobre roca calcárea.

SOLONCHAKS: Suelos con alta concentración de sales solubles provenientes de materiales no consolidados.



SOLONETZ: Suelos arcillosos, densos con estructura interna fuerte. Su material parental son suelos no consolidados de textura fina.

UMBRISOLES: Suelos con acumulación de materia orgánica, provenientes de material meteorizado de rocas silíceas. Comúnmente se encuentran bajo vegetación natural.

VERTISOLES: Suelos muy arcillosos en los cuales se forman grietas anchas y profundas cuando se secan. Su material parental consiste en sedimentos que contienen arcillas expandibles.

XEROSOLEs: Suelos desérticos, se les conoce también como gipsisoles.

YERMOSOLEs: Suelos desérticos, se les conoce también como gipsisoles.



6.2 VALIDACIÓN DE CAUDAL MEDIO ANUAL

AÑO	11014		AÑO	11014	
	BANDAS	CALCULADO		BANDAS	CALCULADO
1945	57.654	57.654	1980	28.110	28.002
1946	36.692	36.391	1981	40.714	40.427
1947	33.102	32.937	1982	40.714	40.427
1948	43.920	43.967	1983	41.002	40.782
1949	25.636	25.553	1984	47.094	46.724
1950	31.344	31.211	1985	70.538	69.813
1951	24.394	24.359	1986	41.569	41.172
1952	43.984	43.665	1987	24.089	24.038
1953	27.772	27.799	1988	52.921	52.549
1954	32.158	31.798	1989	28.437	28.267
1955	52.359	52.033	1990	74.019	73.319
1956	33.080	33.013	1991	42.651	42.455
1957	26.197	25.922	1992	89.400	89.25
1958	82.870	82.557	1993	78.695	78.943
1959	38.079	37.686	1994	27.143	26.958
1960	21.447	21.306	1995	41.224	41.072
1961	48.890	48.72	1996	29.308	29.258
1962	35.042	34.857	1997	27.826	27.821
1963	53.247	52.887	1998	36.498	36.283
1964	32.852	32.825	1999	53.244	52.845
1965	39.731	39.784	2000	35.107	35.015
1966	47.941	47.685	2001	28.045	27.802
1967	49.138	48.84	2002	27.773	27.788
1968	85.834	86.095	2003	39.560	39.594
1969	53.346	52.799	2004	56.301	56.297
1970	57.471	57.248	2005	35.723	35.499
1971	38.953	38.813	2006	33.704	33.631
1972	35.048	35.217	2007	27.604	27.604
1973	60.618	60.334	2008	69.562	69.562
1974	31.859	31.619	2009	34.298	34.298
1975	51.635	51.081	2010	65.402	66.014
1976	37.559	37.426	2011	22.366	22.367
1977	33.578	33.271	2012	24.786	24.786
1978	34.137	34.075	2013	29.323	29.323
1979	33.538	33.422	2014	31.477	31.477



6.3 ESTACIONES HIDROMÉTRICAS

CLAVE	NOMBRE	COORDENADAS		CORRIENTE	CUENCA	RH	RHA	ESTADO	CAUDAL LÍQUIDO		CAUDAL SÓLIDO	
		LATITUD [N]	LONGITUD [O]						AÑOS	Q _{ma} [m ³ /s]	VOLUMEN	Vol. Sed. Med. An. [1000m ³]
09063	PUNTA DE AGUA	28°25'30"	110°24'30"	ARROYO MATAPE	ARROYO MATAPE	SONORA SUR	NOROESTE	SONORA	15	1.344	9	389.672
09022	HORNOS	27°44'30"	109°54'00"	CANAL BAJO	RIO YAQUI	SONORA SUR	NOROESTE	SONORA	45	37.997	S/D	S/D
09089	COCORAQUE	27°24'54"	109°37'42"	ARROYO COCORAQUE	ARROYO COCORAQUE	SONORA SUR	NOROESTE	SONORA	46	0.435	19	151.739
09002	NAVOJOA	27°06'15"	109°26'20"	RIO MAYO	RIO MAYO	SONORA SUR	NOROESTE	SONORA	5	32.337	S/D	S/D
09040	SAN PEDRO	27°01'40"	109°31'30"	CANAL SAN PEDRO	RIO MAYO	SONORA SUR	NOROESTE	SONORA	9	1.417	S/D	S/D
09017	EL OREGANO	29°14'00"	110°42'15"	RIO SONORA	RIO SONORA	SONORA SUR	NOROESTE	SONORA	71	3.129	8	1135.461
09028	CHANATE	29°04'00"	110°55'30"	CANAL CHANATE	RIO SONORA	SONORA SUR	NOROESTE	SONORA	31	0.215	S/D	S/D
09031	SERIS	29°03'30"	110°55'45"	CANAL VIEJO DE SERIS	RIO SONORA	SONORA SUR	NOROESTE	SONORA	29	0.312	S/D	S/D
08025	SONOITA II	31°52'00"	112°50'48"	RIO SONOITA	RIO SONOITA	SONORA NORTE	NOROESTE	SONORA	38	0.342	S/D	S/D
08018	PITIQUITO II	30°41'30"	112°06'00"	RIO DE LA ASUNCIÓN	RIO DE LA CONCEPCIÓN	SONORA NORTE	NOROESTE	SONORA	50	1.324	42	872.181
10085	SAN MIGUEL Z	25°57'15"	109°03'15"	RIO FUERTE	RIO FUERTE	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA	30	37.817	S/D	S/D
10056	KM. 46+780	25°54'30"	109°08'00"	CANAL SICAE	RIO FUERTE	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA	7	1.023	S/D	S/D
10120	GUASAVE PUENTE CARRETERA	25°34'36"	108°27'24"	RIO SINALOA	RIO SINALOA	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA	32	28.020	S/D	S/D
10031	GUAMUCHIL	25°28'10"	108°05'30"	RIO MOCORITO	RIO MOCORITO	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA	61	2.445	5	942.000
10086	PERICOS	25°05'35"	107°41'40"	ARROYO PERICOS	LAGUNA CAIMANERO	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA	33	1.464	S/D	S/D
10023	PUENTE NUEVO	24°48'20"	107°25'00"	CANAL ROSALES MARGEN DERECHA	RIO CULIACAN	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA	60	12.778	S/D	S/D
10022	BOCATOMA	24°47'55"	107°24'45"	CANAL CAÑEDO	RIO CULIACAN	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA	19	3.390	S/D	S/D
10091	KM. 0+700	24°47'50"	107°24'25"	CANAL PRINCIPAL MARGEN IZQUIERDA	RIO CULIACAN	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA	13	36.535	S/D	S/D
10061	PUENTE DREN	24°47'20"	107°25'35"	CANAL PRINCIPAL MARGEN IZQUIERDA	RIO CULIACAN	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA	13	24.247	S/D	S/D
10040	SANTA CRUZ	24°29'05"	106°57'10"	RIO SAN LORENZO	RIO SAN LORENZO	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA	71	49.154	37	2078.038
10070	ACATITAN	24°02'50"	106°39'15"	RIO ELOTA	RIO ELOTA	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA	54	13.962	26	761.463
10065	IXPALINO	23°57'20"	106°35'45"	RIO PIAXTLA	RIO PIAXTLA	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA	63	71.773	28	2952.776
10083	EL QUELITE	23°30'45"	106°29'00"	RIO QUELITE	RIO QUELITE	SINALOA	PACIFICO NORTE	SINALOA	55	4.467	28	164.769
11016	BALUARTE II	22°59'00"	105°50'30"	RIO BALUARTE	RIO BALUARTE	PRESIDIO-SAN PEDRO	PACIFICO NORTE	SINALOA	67	48.893	35	1100.067
11071	BALUARTE	22°58'30"	105°51'00"	CANAL BALUARTE MARGEN IZQUIERDA	RIO BALUARTE	PRESIDIO-SAN PEDRO	PACIFICO NORTE	SINALOA	12	0.245	S/D	S/D
11014	ACAPONETA	22°29'00"	105°20'30"	RIO ACAPONETA	RIO ACAPONETA	PRESIDIO-SAN PEDRO	PACIFICO NORTE	NAYARIT	70	42.105	31	823.680
11012	SAN PEDRO	21°58'00"	105°09'00"	RIO SAN PEDRO	RIO SAN PEDRO	PRESIDIO-SAN PEDRO	PACIFICO NORTE	NAYARIT	71	83.876	28	2146.7840
11058	SIQUEROS	23°00'30"	106°15'00"	RÍO PRESIDIO	RÍO PRESIDIO	PRESIDIO-SAN PEDRO	PACIFICO NORTE	SINALOA	56	31.001	S/D	S/D

Canales
S/D Sin Datos



ESTACIONES HIDROMÉTRICAS (CONTINÚA)

CLAVE	PRESA	UBICACIÓN	NOTAS
09063	Ignacio R. Alatorre	Aguas Abajo	
09022	Derivadora Hornos	350m aguas abajo	Mide los volúmenes derivados al <i>Canal Bajo</i> extraídos de la presa Álvaro Obregón
09089			Aprox. 22.83 km aguas arriba del distrito de riego <i>Río Yaqui</i>
09002			Aprox. 11.195 km aguas debajo de la presa derivadora Tesia y aprox. 11.96 km aguas arriba de la estación 09040
09040			Aprox. 12.372km aguas arriba de la presa derivadora Bocobampo
09017			El Río Sonora no llega al Mar de Cortés mas que en época de crecidas. La condición más desfavorable para el Golfo es no considerarlo.
09028	Abelardo L. Rodríguez	Aguas Abajo	Registra parte de las filtraciones de la Presa Abelardo L. Rodríguez
09031	Abelardo L. Rodríguez	1km aguas abajo	Registra parte de las filtraciones de la Presa Abelardo L. Rodríguez. 100m aguas abajo del Canal Villa de Seris
08025	Derivadora Sonoyta	2km aguas abajo	
08018			Aprox. 3.34 km aguas arriba del Bordo Caborca
10085	Derivadora Chihuahua	30 km aguas abajo	Mide también derrames de la presa Miguel Hidalgo, ubicada aproximadamente 88.95 km aguas arriba de la estación.
10056			Registra el volumen del canal SICAE al final de su recorrido en el distrito de riego <i>Río Fuerte</i> . El canal SICAE nace de la presa <i>Miguel Hidalgo</i>
10120			Se ubica entre los distritos de riego <i>Río Fuerte</i> y <i>Guasave</i> . Aprox. 35.45km aguas debajo de la derivadora Sinaloa de Leyva
10031	Lic. Eustaquio Buelna	3.35km aguas abajo	Aguas arriba de los distritos de riego <i>Mocarito</i> y Culiacán Humaya
10086			Se ubica al inicio del distrito de riego <i>Culiacán-Humaya</i> . El objeto de su instalación fue la construcción del canal principal de la derivadora Andrew Weiss, que lo cruza
10023	Derivadora Ing. Carlos Carvajal "Culiacán"	0.65 km aguas abajo	Registra las derivaciones que se usan en riego del distrito <i>Culiacán-Humaya</i>
10022	Derivadora Ing. Carlos Carvajal "Culiacán"	1.13km aguas abajo	Registra las derivaciones que se usan en riego. El canal corre entre los distritos <i>Culiacán-Humaya</i> y <i>Río San Lorenzo</i>
10091	Derivadora Ing. Carlos Carvajal "Culiacán"	Aguas Abajo	Tiene por objetivo medir los caudales derivados por este canal a la salida de la obra de toma y que son utilizados en riego.
10061	Derivadora Ing. Carlos Carvajal "Culiacán"	Aguas Abajo	Ubicada en el cadenamamiento 3+370 del Canal Principal Margen Izquierda, su objetivo es medir los caudales utilizados en riego.
10040			Aprox. 22.11 km aguas arriba de la derivadora San Lorenzo, al distrito de riego del mismo nombre. Su instalación fue concebida para futuros aprovechamientos.
10070			Fue concebida para futuros aprovechamientos hidráulicos. La única presa derivadora se encuentra 33.13 km aguas abajo aproximadamente, hacia el distrito San Lorenzo
10065			Fue concebida para futuros aprovechamientos hidráulicos. La única presa derivadora se encuentra 12.60 km aguas abajo aproximadamente, hacia una pequeña zona del distrito San Lorenzo
10083			Su instalación pretendía conocer el régimen de la corriente para el estudio de futuros aprovechamientos en riego.
11016	Derivadora LIC. GENARO ESTRADA "El Tamarindo"	12.5km Aguas abajo	Ubicada sobre el distrito de riego Baluarte-Presidio. Fue concebida para aprovechamientos hidráulicos aguas arriba
11071			Conocer los volúmenes que se derivan por este canal para riego de tierras y para mejorar la cría del camarón en los estéreos.
11014			Conocer el escurrimiento del río para el proyecto de obras de riego para los Valles de Acafoneta y Tecuala.
11012			Esta estación fue concebida con el objetivo de conocer los escurrimientos de la cuenca total del río San Pedro, considerando las derivaciones que se hacen 5km aguas arriba por el Canal principal de la margen derecha.
11058			Conocer el régimen de escurrimientos para futuros aprovechamientos

6.4 DISPONIBILIDAD DE ACUÍFEROS



CLAVE	NOMBRE	DISPONIBILIDAD				ÁREA [km ²]	SOBRE-EXPLOTADO	INTRUSIÓN	SALINIZACIÓN
		ESTADO	DISPONIBILIDAD [hm ³ /año]	RECARGA [hm ³ /año]	EXTRACCIÓN [hm ³ /año]				
209	Laguna Salada	Con disponibilidad	1.05	17.80	16.75	5,689.46			
210	Valle de Mexicali	Sin disponibilidad	-257.96	520.50	775.96	4,907.80			
222	San Felipe - Punta Estrella	Con disponibilidad	0.53	8.00	7.17	1,289.89			
223	Valle Chico - San Pedro Martir	Con disponibilidad	1.89	13.80	11.91	3,069.64			
225	Bahia de San Luis Gonzaga	Con disponibilidad	3.41	5.50	0.90	1,205.99			
226	Bahia de Los Angeles	Con disponibilidad	0.59	1.10	0.51	525.34			
229	Jamau	Con disponibilidad	6.31	6.90	0.09	730.54			
236	La Rumorosa - Tecate	Con disponibilidad	1.09	1.80	0.71	738.91			
237	El Chinero	Con disponibilidad	1.54	4.10	2.36	2,522.21			
238	Matomi - Puertecitos	Con disponibilidad	1.47	4.80	0.30	1,258.87			
239	El Huerfanito	Con disponibilidad	0.50	0.50	0.00	1,024.46			
240	Calamajue	Con disponibilidad	0.10	0.10	0.00	934.56			
241	Agua Amarga	Con disponibilidad	0.90	0.90	0.00	2,251.01			
242	La Bocana - Llanos de San Pedro	Con disponibilidad	4.09	4.80	0.10	993.48			
243	San Rafael - La Palma	Con disponibilidad	0.58	1.00	0.02	762.97			
244	El Progreso - El Barril	Con disponibilidad	1.86	2.40	0.40	1,178.18			
317	Cabo San Lucas	Sin disponibilidad	-14.48	2.70	14.98	515.44			
318	Cabo Pulmo	Sin disponibilidad	-1.31	2.30	1.61	626.59			
319	San Jose del Cabo	Sin disponibilidad	-5.26	35.90	30.36	1,284.28			
320	Santiago	Con disponibilidad	0.34	24.50	19.56	1,102.87			
321	San Bartolo	Con disponibilidad	1.82	10.90	2.18	680.44			
323	Los Planes	Sin disponibilidad	-4.70	9.40	13.10	1,013.15			
324	La Paz	Sin disponibilidad	-7.83	27.80	35.63	1,390.11			
325	El Coyote	Sin disponibilidad	-6.11	3.40	6.81	268.02			
326	Alfredo V. Bonfil	Con disponibilidad	2.46	4.90	2.44	1,107.00			
327	Tepentu	Con disponibilidad	1.09	3.80	0.01	510.81			
328	Loreto	Con disponibilidad	0.92	3.90	1.68	587.01			
329	San Juan B. Londo	Sin disponibilidad	-2.35	6.70	8.05	694.61			
330	Rosarito	Con disponibilidad	0.16	2.50	0.14	352.80			
331	Bahia Concepcion	Con disponibilidad	0.62	5.70	0.18	1,547.82			
332	Mulege	Con disponibilidad	0.51	10.10	6.29	742.10			
333	San Marcos - Palo Verde	Sin disponibilidad	-1.47	2.40	3.37	943.84			
334	San Bruno	Sin disponibilidad	-0.52	1.00	1.12	109.16			
335	San Lucas	Sin disponibilidad	-0.13	0.40	0.23	140.05			



DISPONIBILIDAD DE ACUÍFEROS (CONTINÚA)

CLAVE	NOMBRE	DISPONIBILIDAD				ÁREA [km ²]	SOBRE-EXPLOTADO	INTRUSIÓN	SALINIZACIÓN
		ESTADO	DISPONIBILIDAD [hm ³ /año]	RECARGA [hm ³ /año]	EXTRACCIÓN [hm ³ /año]				
336	Santa Agueda	Sin disponibilidad	-0.20	6.10	0.40	487.27			
337	Santa Rosalia	Con disponibilidad	0.04	0.90	0.06	186.19			
338	Las Virgenes	Con disponibilidad	4.68	4.70	0.02	1,453.86			
339	Paralelo 28	Con disponibilidad	1.40	5.40	0.00	820.78			
858	La Norteña	Con disponibilidad	11.29	11.30	0.01	1,082.49			
859	Madera	Con disponibilidad	2.91	6.69	3.69	1,298.18			
860	Guerrero - Yepomera	Sin disponibilidad	-1.33	146.00	147.33	4,996.40			
1001	Valle de Santiaguillo	Sin disponibilidad	-74.33	44.90	115.13	2,504.06			
1002	Valle de Canatlan	Sin disponibilidad	-27.87	38.60	65.77	2,544.57			
1003	Valle del Guadiana	Sin disponibilidad	-23.90	131.90	148.40	4,817.61			
1004	Vicente Guerrero - Poanas	Sin disponibilidad	-40.70	96.40	123.80	3,741.72			
1005	Madero - Victoria	Sin disponibilidad	-46.95	21.70	67.35	1,706.36			
1017	Valle del Mezquital	Sin disponibilidad	-2.83	1.10	3.93	2,255.59			
1801	Valle Acaponeta - Cañas	Sin disponibilidad	-5.90	30.00	25.90	9,847.10			
1802	San Pedro - Tuxpan	Con disponibilidad	3.41	167.50	32.59	9,032.34			
2501	Rio Fuerte	Con disponibilidad	103.22	372.30	196.28	34,947.00			
2502	Rio Sinaloa	Con disponibilidad	8.23	448.60	299.07	15,348.60			
2503	Rio Mocorito	Sin disponibilidad	-20.96	137.20	113.86	4,492.53			
2504	Rio Culiacan	Sin disponibilidad	-39.68	416.90	283.18	20,389.40			
2505	Rio San Lorenzo	Con disponibilidad	15.72	335.00	131.28	11,822.60			
2506	Rio Elota	Con disponibilidad	13.78	45.30	30.32	3,253.36			
2507	Rio Piaxtla	Sin disponibilidad	-4.36	51.30	53.66	7,012.72			
2508	Rio Quelite	Sin disponibilidad	-15.41	17.90	32.61	1,369.82			
2509	Rio Presidio	Sin disponibilidad	-14.65	163.30	112.15	7,599.95			
2510	Rio Baluarte	Sin disponibilidad	-32.77	79.60	91.67	5,594.19			
2511	Valle de Escuinapa	Con disponibilidad	4.63	42.70	8.07	369.14			
2512	Laguna Agua Grande	Sin disponibilidad	-20.87	146.70	65.97	395.22			
2513	Rio Cañas	Sin disponibilidad	-2.91	90.50	17.91	581.95			
2514	El Carrizo	Con disponibilidad	21.10	160.00	2.90	1,805.27			
2601	Valle de San Luis Rio Colorado	Sin disponibilidad	-93.36	286.80	297.66	4,396.66			
2602	Los Vidrios	Con disponibilidad	1.03	6.70	3.67	5,667.65			
2603	Sonoyta - Puerto Peñasco	Sin disponibilidad	-83.57	41.40	109.07	8,900.63			
2604	Arroyo Sahuaro	Sin disponibilidad	-1.49	10.90	9.09	3,050.42			
2605	Caborca	Sin disponibilidad	-120.73	212.90	333.63	13,242.20			
2606	Los Chirriones	Sin disponibilidad	-0.23	30.00	28.23	2,275.49			
2607	Arroyo Seco	Sin disponibilidad	-0.55	32.40	32.95	2,503.48			
2608	Rio Altar	Con disponibilidad	2.70	21.00	18.30	2,821.28			
2609	Busani	Sin disponibilidad	-3.22	15.50	18.72	1,267.00			
2610	Coyotillo	Sin disponibilidad	-8.49	4.00	12.49	1,047.48			
2611	La Tinaja	Con disponibilidad	1.08	26.10	25.02	1,831.62			
2612	Magdalena	Sin disponibilidad	-9.37	41.30	50.67	2,566.17			
2613	Rio Alisos	Con disponibilidad	4.28	16.40	10.92	893.33			
2614	Cocospera	Con disponibilidad	4.80	15.00	7.00	650.31			
2615	Rio Santa Cruz	Con disponibilidad	2.23	38.10	33.87	952.30			
2616	Rio San Pedro	Sin disponibilidad	-6.98	41.00	30.98	1,749.60			
2617	Puerto Libertad	Con disponibilidad	0.03	8.20	6.87	2,030.17			
2618	Arivaipa	Con disponibilidad	0.01	15.20	14.99	3,796.42			
2619	Costa de Hermosillo	Sin disponibilidad	-96.95	250.00	346.95	15,300.50			
2620	Sahuaral	Sin disponibilidad	-10.69	58.60	69.29	1,495.29			
2621	Mesa del Seri - La Victoria	Sin disponibilidad	-47.63	73.00	104.63	1,048.73			
2622	La Poza	Con disponibilidad	1.95	33.80	21.85	968.90			
2623	Santa Rosalia	Con disponibilidad	0.30	11.80	11.50	1,866.53			
2624	Rio Sonora	Con disponibilidad	2.88	66.70	63.82	5,736.83			
2625	Rio San Miguel	Con disponibilidad	2.30	68.70	64.20	4,057.42			
2626	Rio Zanjon	Sin disponibilidad	-14.17	94.80	101.17	4,461.52			
2627	Rio Bacoachi	Sin disponibilidad	-4.18	31.70	28.28	2,324.23			
2628	Rio Bacanuchi	Sin disponibilidad	-0.04	19.00	12.94	1,776.51			
2629	Rio Agua Prieta	Con disponibilidad	0.30	24.10	21.30	1,437.14			
2630	Arroyo San Bernardino	Con disponibilidad	12.57	13.50	0.93	1,673.33			



DISPONIBILIDAD DE ACUÍFEROS (CONTINÚA)

CLAVE	NOMBRE	DISPONIBILIDAD			ÁREA [km ²]	SOBRE-EXPLOTADO	INTRUSIÓN	SALINIZACIÓN
		ESTADO	DISPONIBILIDAD [hm ³ /año]	RECARGA [hm ³ /año]				
2631	Rio Bavispe	Con disponibilidad	1.04	29.70	28.16	5,884.95		
2632	Rio Frontera	Con disponibilidad	5.22	46.40	37.98	2,318.24		
2633	Rio Moctezuma	Con disponibilidad	0.81	31.00	30.19	6,228.81		
2634	Rio Matape	Con disponibilidad	5.33	16.20	10.87	1,137.10		
2635	Valle de Guaymas	Sin disponibilidad	-11.35	100.00	111.35	6,738.51		
2636	San Jose de Guaymas	Sin disponibilidad	-14.00	4.50	18.50	1,208.06		
2637	Rio Bacanora	Con disponibilidad	3.77	8.60	4.83	729.15		
2638	Rio Sahuaripa	Con disponibilidad	22.93	45.90	13.47	2,957.97		
2639	Rio Tecoripa	Con disponibilidad	7.72	21.30	9.78	2,480.48		
2640	Valle del Yaqui	Con disponibilidad	0.20	564.10	513.90	6,559.24		
2641	Cocoraque	Sin disponibilidad	-0.17	198.20	178.37	2,561.84		
2642	Valle del Mayo	Con disponibilidad	10.24	370.00	281.66	4,548.46		
2643	Cuchujaqui	Con disponibilidad	23.41	49.70	6.79	1,918.08		
2644	Fuerte - Mayo	Con disponibilidad	7.42	18.60	9.18	1,927.60		
2645	Rio Chico	Con disponibilidad	10.25	11.70	1.45	2,767.22		
2646	Rosario - Tesopaco - El Quiriego	Con disponibilidad	17.11	27.70	2.89	1,735.06		
2647	Onavas	Con disponibilidad	2.88	6.10	0.72	1,404.77		
2648	Soyopa	Con disponibilidad	1.67	5.90	4.13	1,139.91		
2649	Yecora	Con disponibilidad	3.49	10.70	7.21	3,577.64		
2650	Nogales	Con disponibilidad	0.13	5.20	1.37	121.11		
2651	Batevito	Con disponibilidad	8.29	13.40	5.11	1,140.34		
2652	Villa Hidalgo	Con disponibilidad	8.60	9.80	1.10	2,942.76		
2653	Huasabas	Con disponibilidad	5.32	7.30	1.98	1,130.46		
2654	Bacadehuachi	Con disponibilidad	8.16	10.70	1.84	1,002.09		
2655	Nacori Chico	Con disponibilidad	9.24	11.40	2.16	13,912.50		
2656	Cumuripa	Con disponibilidad	10.92	15.60	0.98	2,185.87		
2657	Agua Caliente	Con disponibilidad	7.47	9.80	2.33	1,785.45		
2658	San Bernardo	Con disponibilidad	18.64	39.70	14.56	9,071.49		
2660	Cuitaca	Con disponibilidad	2.72	7.40	3.98	477.22		
2661	Cumpas	Con disponibilidad	9.93	24.30	10.67	2,414.80		
3201	Sabinas	Con disponibilidad	0.27	13.70	10.93	1,487.60		
3202	Hidalgo	Con disponibilidad	2.84	7.40	4.56	1,162.36		



6.5 CAUDALES LÍQUIDOS MEDIOS ANUALES

AÑO	09063	09022	09089	09002	09040	09017	09028	09031	08025	08018	10085	10056	10120	10031
1931														
1932														
1933														
1934														
1935														
1936														
1937														
1938														
1939														4.278
1940				50.696										1.674
1941				18.053										1.849
1942				24.753		2.889								2.894
1943		38.461		35.849		1.999								14.709
1944		25.468		32.337		4.455	0.170							2.598
1945		30.035				2.021	0.241	0.369						4.267
1946		25.903				2.885	0.231	0.401						2.104
1947		31.462				5.082	0.269	0.502						1.980
1948		29.634				0.849	0.385	0.458						3.716
1949		32.790			2.030	2.863	0.410	0.488				0.946		1.760
1950		39.348			2.123	3.739	0.304	0.699				0.858		2.907
1951		43.573			1.750	2.592	0.175	0.496				1.297		2.022
1952		39.702			1.229	4.755	0.229	0.533				1.344		3.796
1953		34.756			1.321	3.143	0.437	0.724				0.690		1.226
1954		40.707			1.176	2.755	0.394	0.773				0.985		6.804
1955		32.749			1.426	4.364	0.354	0.577				1.044		1.343
1956		33.129			0.280	4.839	0.345	0.565						3.206
1957		32.532			1.417	2.074	0.226	0.408						9.592
1958	3.864	31.702				1.387	0.136	0.191						11.007
1959	2.236	33.252				5.775	0.206	0.227						1.690
1960	0.215	32.628				1.852	0.182	0.265						3.712
1961	1.020	33.546				2.355	0.161	0.216		3.424	37.158			6.927
1962	0.980	34.825				1.683	0.113	0.129		0.798	55.197			4.994
1963	0.883	38.405				0.664	0.156	0.081		0.321	14.686			4.340
1964	1.605	34.119				3.350	0.180	0.117		2.669	73.055			6.029
1965	1.140	39.068				4.872	0.219	0.216		2.732	49.058			2.766
1966	0.714	36.008				1.152	0.163	0.062		1.568	2.783			3.386
1967	2.401	38.773				8.583	0.184	0.199		1.993	92.690			6.927
1968	0.782	38.182				5.702	0.165	0.134		2.976	19.213			3.712
1969	0.286	47.999				3.840	0.175	0.158		0.295	130.045			2.618
1970	1.294	52.590	0.355			2.544	0.127	0.022		0.598	11.474			0.999
1971	1.398	46.690	0.490			4.278	0.119	0.002		0.810	5.751			3.537
1972	1.344	39.680	1.235			3.980	0.096	0.027		1.537	29.167			6.394
1973		41.880	0.377			0.524	0.072	0.011		0.744	65.972			1.917
1974		49.886	0.196			1.467	0.028		0.097	0.390	56.273			1.340
1975		46.349	0.462			1.551			0.321	1.413	14.602			2.039
1976		45.899	0.042			1.549			0.366	1.377	9.235		24.084	0.000
1977		32.678	0.254			1.922			0.262	0.674	7.360		43.938	0.000
1978		30.593	0.187			3.918			0.540	1.557	4.405		31.548	0.000
1979		27.186	0.489			3.577			0.523	2.922	15.166		34.888	0.000
1980		44.135	0.213			7.935			0.165	4.982	62.927		39.649	0.000
1981		37.009	1.152			2.584			0.117	0.518	1.942		26.597	0.000
1982		40.057	0.309			1.752			0.359	0.505	88.221		37.807	0.000
1983		36.445	0.370			1.093			0.903	0.589	38.472		15.590	1.376
1984		40.035	0.686			10.517			2.566	6.946	50.531		24.310	0.000
1985		46.524	0.349			10.951			0.558	2.346	112.658		94.300	7.806
1986		61.606	0.284			6.821			0.063	0.915	67.970		43.879	0.000
1987		41.870	0.226			7.201			0.299	0.409	4.673		19.073	0.000
1988			0.212			1.430			0.290	0.472	4.396		30.5686	0.000
1989			0.801			3.293			0.409	0.349	4.588		31.4525	0.000
1990			0.2828			2.776			0.077	2.271	4.834		29.7609	0.000
1991			0.3774			6.717			0.202	0.635			33.522	0.000
1992			0.2807			3.618			0.535	0.125			52.148	0.000
1993			0.3119			3.618			0.060	0.995			57.234	0.000
1994			0.2839			3.618			0.159	5.256			37.242	0.000
1995			0.475			3.618			0.104	1.650			25.404	0.000
1996			0.412			6.726			0.408	0.273			22.191	0.000
1997			0.412			2.164			0.408	1.068			16.531	0.000
1998			0.412			0.596			0.408	1.068			35.078	0.000
1999			0.412			3.594			0.408	0.109			36.769	0.000
2000			0.412			0.631			0.408	0.091			7.598	0.000
2001			0.136			2.812			0.713	1.193			6.021	
2002			0.001			1.134			0.073	0.073			4.564	
2003			0.170			0.331			0.049	0.158			4.051	
2004			1.872			0.962			0.018	1.480			30.921	
2005			0.426			0.798			0.016	1.483			7.246	
2006			0.987			0.550			0.348	1.102			30.132	
2007			1.790			3.193			0.420	0.026			7.866	
2008			0.699			1.596			0.332	0.018				
2009			0.207			0.634			0.000	0.198				
2010			0.074			0.262			0.000	1.349				
2011			0.018			0.983			0.000					
2012			0.020			0.263								
2013			0.281											
2014			0.054											
2015														

AÑOS=	15	45	46	5	9	71	31	29	38	50	30	7	32	61
MEDIA [m³/s]=	1.344	37.997	0.433	32.337	1.417	3.135	0.215	0.312	0.342	1.349	37.817	1.023	29.436	2.445



CAUDALES LÍQUIDOS MEDIOS ANUALES (CONTINUÍA)

AÑO	10086	10023	10022	10091	10061	10040	10070	10065	10083	11016	11071	11014	11012	11058
1931			3.252											
1932			0.693											
1933		4.973	1.951											
1934		3.968	2.277											
1935		5.105	2.949											
1936		3.918	2.597											
1937		4.714	1.972											
1938		5.836	2.229											
1939		5.494	2.760											
1940		6.814	3.175											
1941		7.459	3.111											
1942		6.311	2.587											
1943		4.613	1.993											
1944		4.724	2.300			49.443							128.500	
1945		7.746	2.888			36.984						57.654	70.198	
1946		7.542	2.994			23.604						36.692	79.286	
1947		9.475	5.049			55.627						33.102	79.190	
1948		7.681	6.720			53.690				85.531		43.920	98.226	
1949		12.663	12.909			51.652				37.859		25.636	73.144	
1950		15.225				42.343				27.529		31.344	70.797	
1951		11.434				19.345				26.778		24.394	43.293	
1952		9.158			12.975	24.159		8.646		40.297		43.984	56.434	
1953		7.723			13.996	26.917		30.156		40.739		27.772	61.187	
1954		12.303			20.722	38.332		36.329		27.642		32.158	63.154	
1955		8.817			19.136	63.662	14.746	52.911		51.268		52.359	106.594	
1956		12.635			29.185	22.921	8.395	19.990		28.167		33.080	48.442	13.759
1957		5.762			17.406	14.952	2.194	10.508		22.128		26.197	41.943	7.474
1958		7.506			17.620	69.038	21.337	61.614		96.905		82.870	152.602	70.554
1959		10.163			23.134	40.696	9.660	30.919		38.635		38.079	82.664	25.918
1960	0.114	13.199			32.394	39.265	10.360	26.146	2.110	28.973		21.447	44.807	19.299
1961	0.645	10.842			36.395	81.577	18.648	70.020	2.516	48.148		48.890	69.966	41.026
1962	0.625	12.143			41.100	37.445	13.852	30.086	2.790	35.833		35.042	64.500	21.625
1963	1.360	11.490			28.714	75.592	19.367	56.553	3.122	55.580		53.247	112.912	28.522
1964	0.160	12.730		34.417	22.439	62.672	10.449	46.557	5.086	49.651		32.852	91.303	28.522
1965	0.313	13.712		42.986		30.209	7.158	25.875	5.348	56.784		39.731	69.689	28.522
1966	0.334	15.271		42.909		83.670	15.052	60.462	1.218	52.106		47.941	123.209	28.522
1967	0.291	17.215		47.702		68.428	12.036	50.676	1.301	49.217		49.138	119.259	34.318
1968	0.225	16.215		39.234		133.891	24.082	87.104	2.764	111.034		85.834	163.627	66.487
1969	0.213	18.979		46.917		36.509	7.548	34.932	2.563	89.692		53.346	90.566	37.097
1970	0.903	16.183		27.103		57.121	11.017	53.889	2.752	96.150	1.000	57.471	120.889	41.887
1971	0.627	13.789		24.395		49.039	8.427	44.829	4.470	70.473	0.919	38.953	84.024	32.937
1972	0.432	15.654		28.584		62.847	15.463	53.076	3.479	58.542	0.000	35.048	59.398	25.134
1973	0.530	19.620		33.520		68.835	12.752	61.947	2.545	84.153	0.108	60.618	128.467	40.446
1974	0.317	16.403		33.600		69.957	14.504	53.405	2.333	66.809	0.425	31.859	59.594	36.505
1975	0.841	16.764		37.055		34.445	11.952	40.815	6.192	75.235	0.118	51.635	81.356	32.289
1976	0.287	10.713		36.535		43.328	10.321	45.989	2.515	56.567	0.103	37.559	107.998	28.105
1977	0.368	16.100				50.078	10.800	43.151	2.504	43.279	0.000	33.578	73.418	26.006
1978	0.051	9.032				50.878	9.760	35.530	0.740	45.192	0.090	34.137	84.543	22.702
1979	0.219	15.775				49.873	4.909	27.619	0.850	45.648	0.173	33.538	58.509	22.565
1980	0.905	7.116				64.491	14.245	45.193	6.186	41.682	0.000	28.110	75.003	27.003
1981	1.461	14.615				43.412	25.015	74.886	6.451	86.649	0.000	40.714	90.603	44.798
1982	0.599	17.597				58.858	5.511	19.793	0.902	23.571		40.714	38.105	9.605
1983	0.557	13.371				16.348	15.001	57.956	3.922	56.500		41.002	105.933	48.974
1984	2.025	14.754				51.460	17.919	54.481	2.688	62.557		47.094	140.988	35.447
1985	1.390	20.492				61.218	21.538	75.457	6.453	91.051		70.538	125.184	50.816
1986	2.285	20.645				70.091	13.714	49.784	46.151	69.266		41.569	68.287	31.029
1987	3.585	46.623				90.630	2.187	35.876	4.813	27.576		24.089	101.785	16.733
1988	3.186	43.673				50.050	8.541	71.307	6.333	54.897		52.921	130.570	49.475
1989	0.137	12.509				47.885	7.189	37.023	3.422	52.036		28.437	45.823	23.389
1990	14.358	15.463				56.036	25.711	5.873	5.197	63.274		74.019	127.353	51.722
1991	6.095	21.085				64.520	8.560	67.449	1.387	44.938		42.651	103.642	32.707
1992	2.871	17.157				90.742	13.323	81.442	3.127	79.145		89.400	149.751	39.118
1993						52.750	41.611	58.759	4.674	34.598		78.695	119.117	33.001
1994						76.897	4.693	13.928	4.674	53.541		27.143	56.768	90.254
1995						34.777	1.107	45.808	4.674	43.225		41.224	62.391	19.046
1996						26.237	1.938	58.395	4.674	116.821		29.308	74.538	15.027
1997						33.201	1.183	115.000	4.674	33.398		27.826	59.218	20.238
1998						46.461	1.842	126.141	4.674	46.179		36.498	68.159	21.183
1999						26.765	0.660	117.966	4.674	37.379		53.244	83.521	17.625
2000						30.158	0.919	50.255	3.409	16.986		35.107	62.247	13.632
2001						33.285	3.634	50.255	2.338	13.880		28.045	45.137	14.163
2002						44.124	2.120	50.255	4.588	4.066		27.773	62.071	14.769
2003						41.028	2.909	50.255	4.588	67.649		39.560	116.571	26.857
2004						42.929	4.096	50.255	4.588	67.213		56.301	115.098	37.923
2005						39.897	2.203	50.255	4.588	7.358		35.723	24.034	17.321
2006						45.268	5.556	50.255	4.588	34.143		33.704	53.934	33.845
2007						52.727	11.577	32.821	4.588	11.620		27.604	47.786	52.141
2008						50.176	184.651	37.634	4.588	45.741		69.562	203.908	22.784
2009						50.176		22.705	4.588	11.245		34.298	73.005	13.441
2010						57.977		314.951	4.588	62.765		65.402	102.445	36.091
2011						61.649		273.279	4.588	24.125		22.366	41.813	33.790
2012						26.527		379.835	1.994	13.405		24.786	30.233	
2013						22.394		337.341	1.736	23.846		29.323	47.958	
2014						28.119		359.086	3.370	10.960		31.477	38.512	
2015														

AÑOS=	33	60	19	13	13	71	54	63	55	67	12	70	71	56
MEDIA (m³/s)=	1.464	12.778	3.390	36.535	24.247	49.413	13.962	71.773	4.467	48.893	0.245	42.105	83.876	30.967

**NOTAS SOBRE DATOS COMPLETADOS***Indica datos obtenidos a partir del análisis de datos diarios**Indica promedio de valores anteriores**Indica promedio de valores anteriores (+10%)**Indica correlación con estaciones vecinas >0.5**Indica correlación con estaciones vecinas >0.8**Indica correlación con estaciones vecinas >0.20***6.6 VALIDACIÓN DE VOLUMEN ANUAL DE SEDIMENTOS**

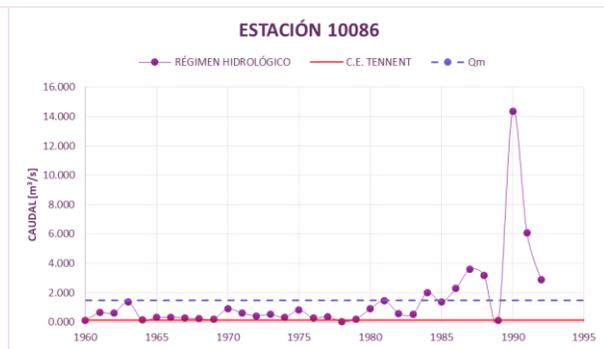
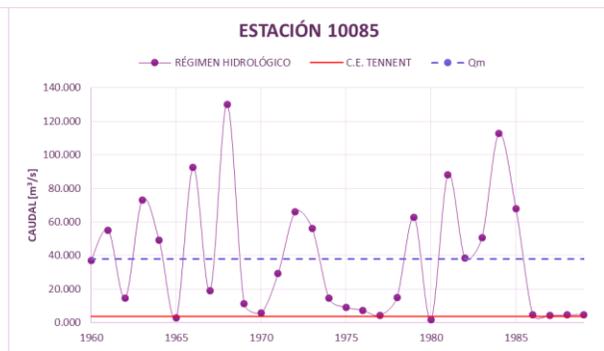
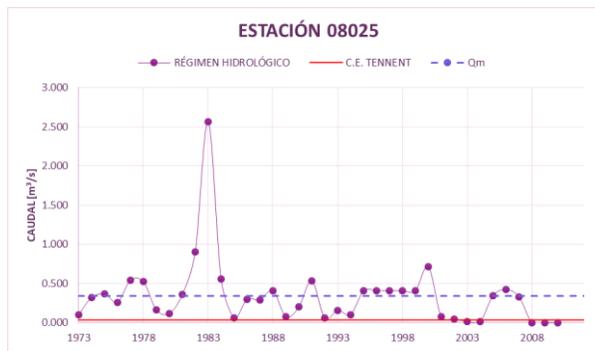
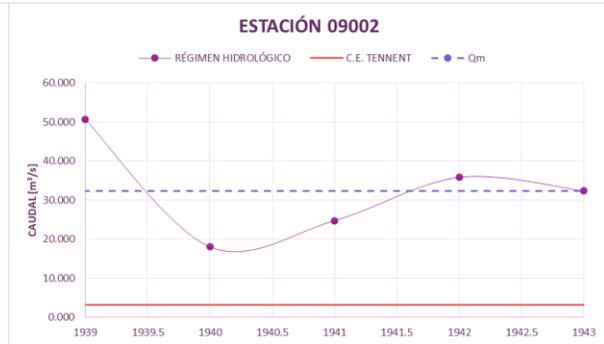
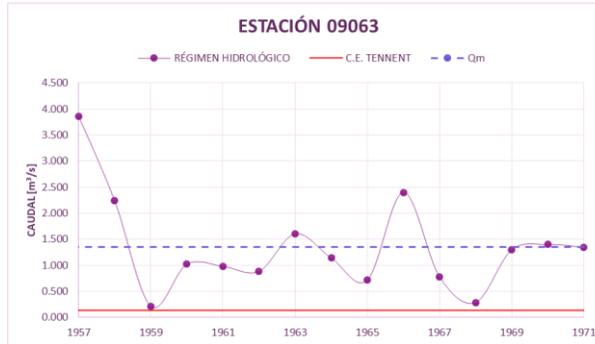
AÑO	Sed. Prom.	QMA [m3/s]	Vol. Sedimentos Calc.			Vol. Sed. B.D.
	[%]		Vol [m3]	[m3]	miles de m3	[miles de m3]
1960	0.27					
1961	2.08	0.80	25172981.28	524561.63	524.56	648.05
1962	2.00	0.32	10117379.52	202348.73	202.35	236.64
1963	2.59	2.67	84164538.24	2182598.25	2182.60	2416.81
1964	2.29	2.73	86142791.52	1973484.71	1973.48	2560.05
1965	1.73	1.57	49440248.64	857704.81	857.70	1211.16
1966	1.88	1.99	62840525.76	1181561.19	1181.56	1547.35
1967	2.70	2.98	93845144.16	2530788.67	2530.79	4439.46
1968	2.01	0.29	9298074.24	186977.61	186.98	240.30
1969	2.70	0.60	18849067.20	508095.34	508.10	750.61
1970	3.01	0.81	25542267.84	769996.90	770.00	1117.12
1971	2.98	1.54	48473985.60	1442711.89	1442.71	2060.25
1972	2.28	0.74	23468145.12	535381.30	535.38	1009.03
1973	2.96	0.39	12289263.84	364157.50	364.16	633.81
1974	2.14	1.41	44575820.64	953261.98	953.26	1191.03
1975	1.62	1.38	43420656.96	704243.94	704.24	873.89
1976	1.56	0.67	21260940.48	331280.32	331.28	327.31
1977	2.72	1.56	49112274.24	1333982.88	1333.98	1054.96
1978	1.74	2.92	92136523.68	1599906.78	1599.91	2208.07
1979	1.54	4.98	157098476.16	2412701.05	2412.70	2935.19
1980	1.56	0.52	16346370.24	254544.87	254.54	265.01
1981	1.60	0.50	15913380.96	254170.80	254.17	321.67
1982	1.34	0.59	18559251.36	249125.53	249.13	313.44
1983	1.41	6.95	219054417.12	3098332.30	3098.33	3550.48
1984	1.88	2.35	73998908.64	1391447.77	1391.45	1333.11
1985	0.86	0.92	28863008.64	248047.72	248.05	216.99
1995	0.97	0.41	12909576.96	125122.66	125.12	0.00
1996	0.00	0.47	14871431.52	0.00	0.00	0.00
1997		0.35	11001648.96	0.00	0.00	0.00
1998	1.04	2.27	71609425.92	741947.69	741.95	0.00
1999	0.97	0.64	20034505.44	194521.34	194.52	0.00
2000	0.00	0.12	3938215.68	0.00	0.00	0.00

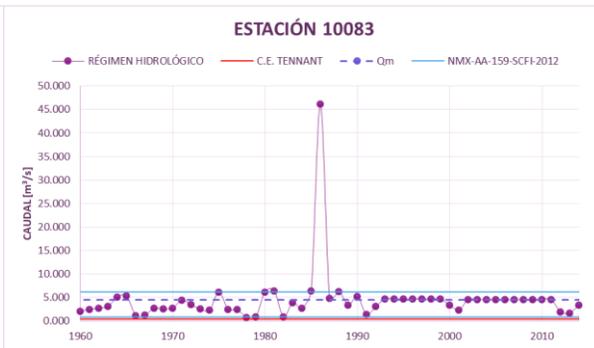
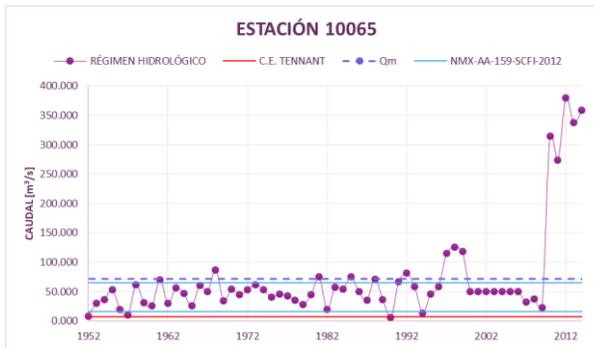
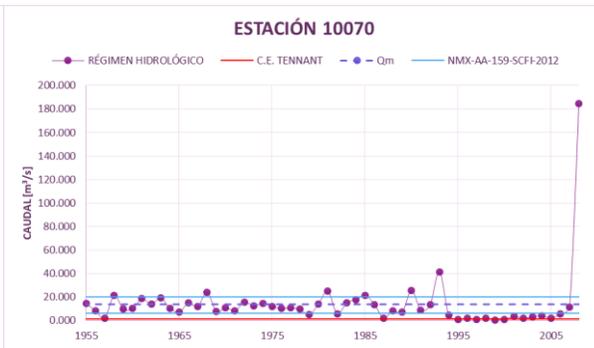
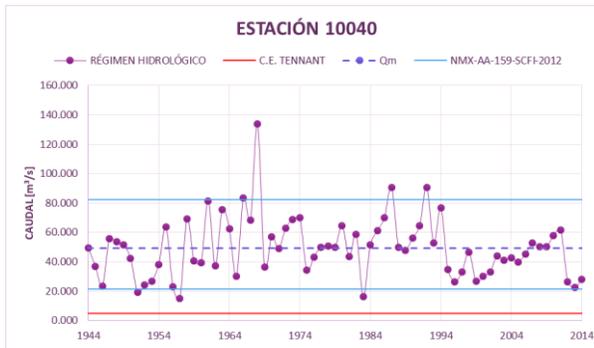
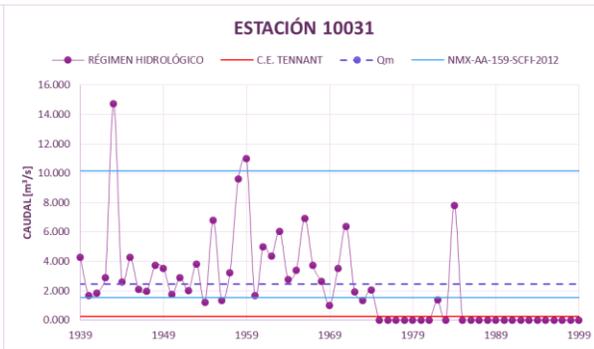
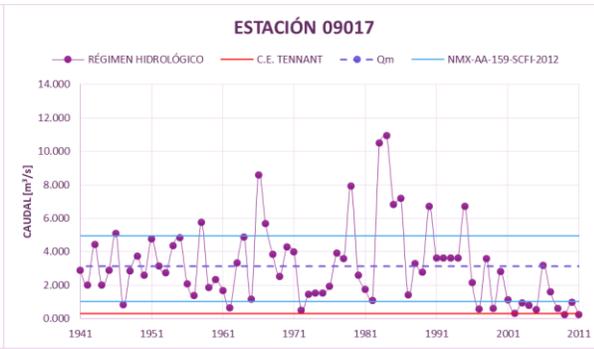
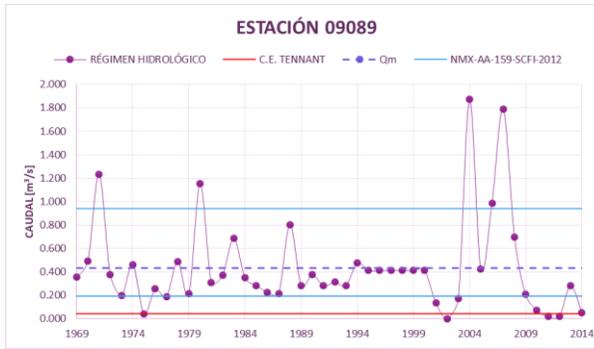


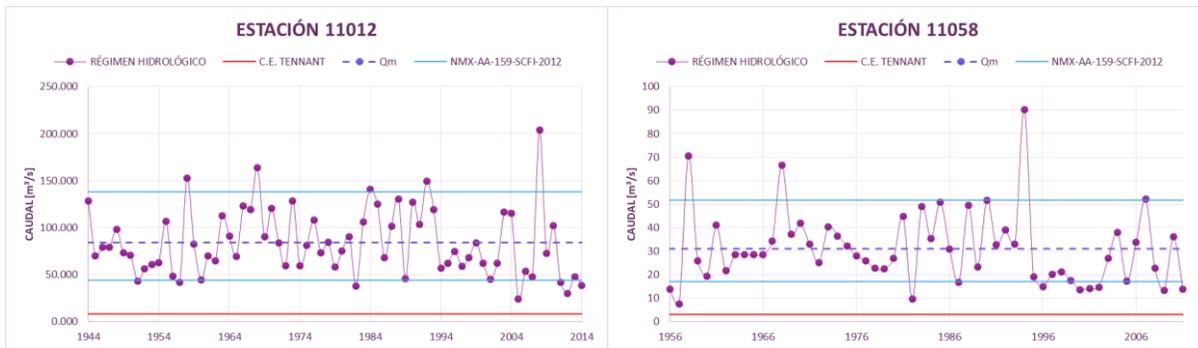
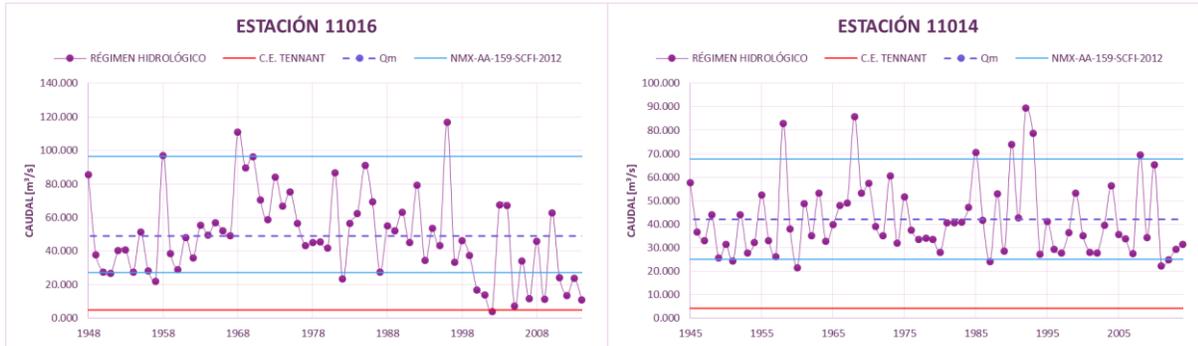
6.7 VOLUMEN ANUAL DE SEDIMENTOS

AÑO	09063	09089	09017	08018	10031	10040	10070	10065	10083	11016	11014	11012
1942			464.830									
1943			1,472.170									
1944			531.890									
1945			1,250.840									
1946			1,991.670									
1947			297.380									
1948			1,172.960									
1949			1,901.950									
1950						1,425.540						
1951						2,095.510						
1952						860.150						
1953						1,033.280						
1954						1,110.200						
1955						1,652.120						
1956						3,767.100						
1957						827.580						
1958						1,596.435					1,022.110	
1959						1,596.435				2,777.820	888.080	
1960						1,931.220				535.400	202.320	
1961	368.030			648.050	1,067.850	1,706.710	580.590	1,171.460		340.680	244.900	
1962	439.910			236.640	992.850	2,972.860	879.780	2,889.690		694.700	557.340	
1963	645.800			2,416.810	1,327.740	3,561.220	831.340	2,771.400		650.240	1,395.680	3,054.730
1964	458.400			2,560.050	667.840	1,669.560	260.730	1,238.430	141.620	1,017.900	495.520	2,711.300
1965	302.750			1,211.160	653.720	1,312.070	168.680	1,211.030	236.200	1,987.110	638.525	2,335.213
1966	754.340			1,547.350		4,002.870	1,093.570	1,753.127	24.580	559.430	383.530	2,335.213
1967	87.600			4,439.460		2,357.520	580.930	3,231.640	38.490	565.550	582.640	2,654.950
1968	78.910			240.300		7,697.990	5,116.340	12,918.480	110.223	989.046	610.263	5,640.060
1969	371.310			750.610		847.760	269.490	1,940.270	120.910	2,039.020	1,011.260	2,556.100
1970		115.050		1,117.120		2,584.880	566.510	3,284.670	113.950	1,710.610	833.960	2,306.890
1971		452.000		2,060.250		1,665.440	235.230	2,123.510	170.630	714.380	310.880	1,262.230
1972		90.360		1,009.030		4,014.660	1,342.700	7,126.430	515.450	3,085.580	847.800	2,622.700
1973		60.260		633.810		2,786.100	365.760	2,761.320	102.220	883.720	1,442.060	3,055.840
1974		107.280		1,191.030		4,462.080	826.100	3,497.580	109.610	794.600	548.320	701.810
1975		16.410		873.890		1,045.070	374.800	1,433.980	420.180	986.830	1,194.150	2,102.190
1976		83.670		327.310		1,627.650	439.380	1,993.000	185.520	713.210	995.920	2,544.752
1977		61.960		1,054.960		2,403.780	428.340	1,828.660	230.610	434.750	540.870	904.750
1978		306.170		2,208.070		2,572.000	344.230	2,222.420	22.420	754.550	554.150	1,800.810
1979		93.130		2,935.190		3,038.830	197.090	1,568.330	72.840	1,096.830	727.960	1,254.060
1980		526.930		265.010		2,089.680	606.740	3,932.380	54.490	1,192.340	818.848	1,319.873
1981		134.140		321.670		718.870	1,402.820	5,221.970	699.360	1,200.535	960.410	2,006.300
1982		166.310		313.440		0.000	109.370	641.200	6.910	350.380	960.410	603.790
1983		376.830		3,550.480		2,431.770	428.650	3,464.370	116.990	1,142.070	441.070	1,305.045
1984		178.370		1,333.110		60.580	459.420	3,481.777	0.000	1,328.630	668.290	3,770.550
1985		0.000		216.990		68.220	1,241.700	3,481.777	170.180	2,849.570	757.545	1,921.421
1986		93.600		0.000					3,151.620	183.075	580.750	4,466.770
1987		20.570		0.000					1,100.450	183.075	443.260	1,896.784
1988		0.000		0.000						183.075	1,317.640	3,432.290
1989				0.000						199.350	1,113.870	997.090
1990				0.000						183.850	2,889.700	
1991				0.000						17.720	0.000	
1992				0.000							0.000	
1993				0.000								
1994				1,013.994								
1995				100.960								
1996				987.907								
1997				987.907								
1998				49.530								
1999				29.500								
2000				0.000								
2001				0.000								
2002				0.000								
2003												
2004												
2005												
2006												
2007												
2008												
2009												
2010												
2011												
2012												
2013												
2014												
2015												
2016												
2017												
2018												
2019												
2020												
AÑOS=	9	19	8	42	5	37	26	28	28	35	31	28
MEDIA [1000m ³]	389.67	151.74	1,135.46	872.18	942.00	2,078.04	761.46	2,952.78	164.77	1,100.07	823.68	2,146.78

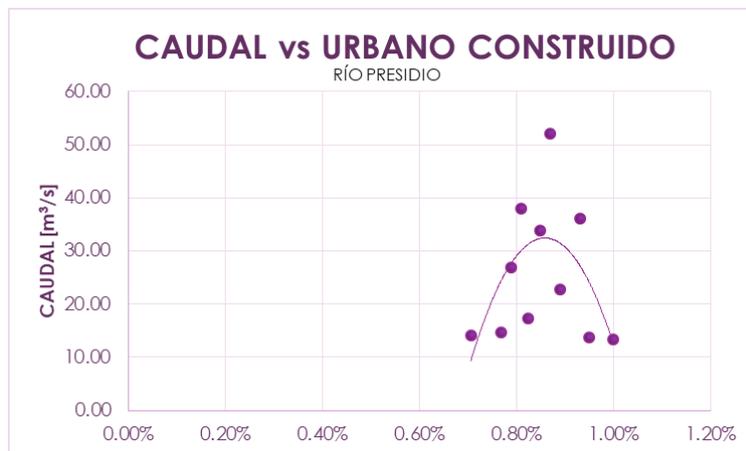
6.8 RÉGIMEN HIDROLÓGICO Y CAUDAL ECOLÓGICO





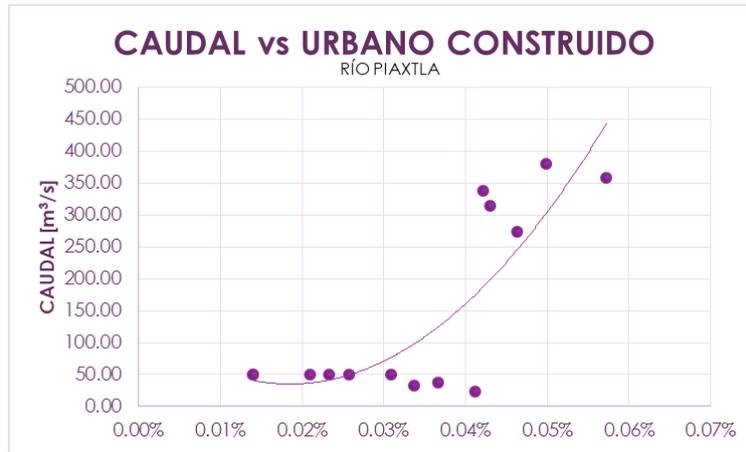


6.9 GRÁFICAS DE CORRELACIÓN



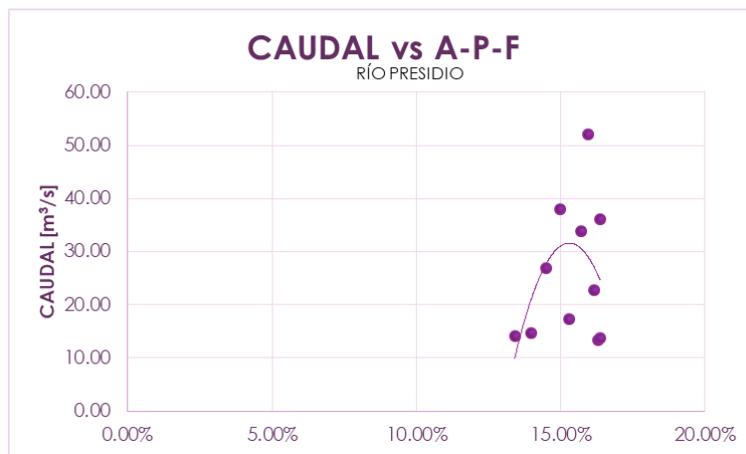
$$y = -9,931,904.8960x^2 + 170,447.5134x - 698.8452$$

$$R^2 = 0.3755$$



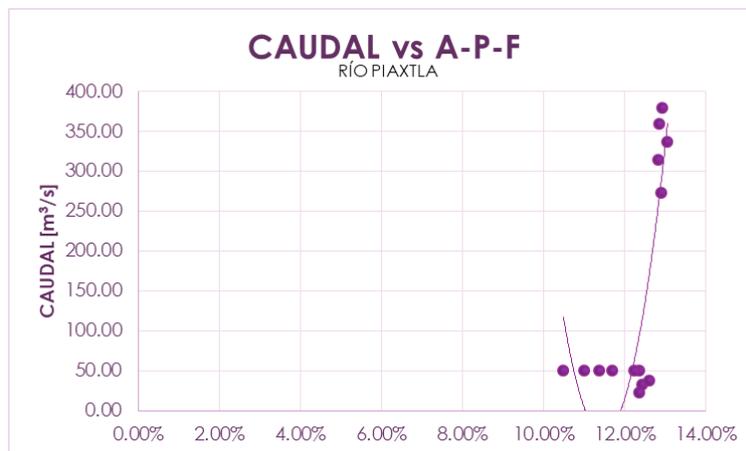
$$y = 2,722,023,229.1125x^2 - 1,008,333.0482x + 128.4660$$

$$R^2 = 0.6879$$



$$y = -60,479.9489x^2 + 18,500.0079x - 1,383.1309$$

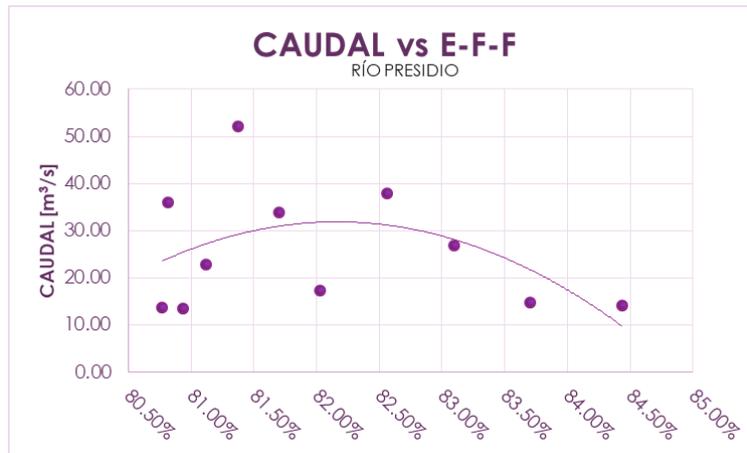
$$R^2 = 0.2271$$





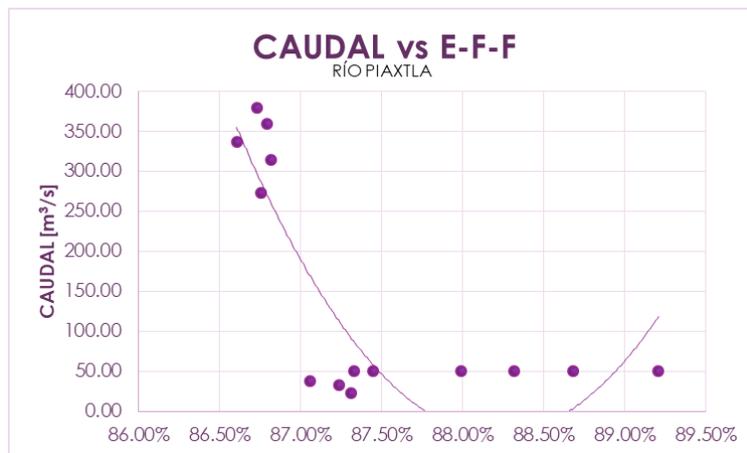
$$y = 1,532,055.4405x^2 - 351,249.6791x + 20,103.2810$$

$$R^2 = 0.7457$$



$$y = -42748x^2 + 70247x - 28827$$

$$R^2 = 0.2361$$



$$y = 1,485,490.5714x^2 - 2,620,820.0810x + 1,155,935.3170$$

$$R^2 = 0.7602$$