

# DISEÑO DE INDICADORES DE SENSIBILIDAD TERRITORIAL A LA DISMINUCIÓN DE AGUA PARA LOS CENTROS DE POBLACIÓN URBANA Y LA INFRAESTRUCTURA ASOCIADA. BAJO ESCENARIOS ACTUALES Y DE CAMBIO CLIMÁTICO

## Informe Final



2017

### ADAPTACIÓN AL CAMBIO



Insumos para el Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático

Coordinación General de Adaptación al Cambio Climático

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines 4209, 2° piso. Col. Jardines en la Montaña, Del. Tlalpan C.p. 4210 Ciudad de México Tel. +52 (55) 54246400.

[www.inecc.gob.mx](http://www.inecc.gob.mx)

## Directorio Institucional.

Rafael Pacchiano Alemán  
Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales

María Amparo Martínez Arroyo  
Directora General del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Margarita Caso Chávez  
Coordinadora General de Adaptación al Cambio Climático

Responsable Técnico  
Daniel Iura González Terrazas  
Director de Servicios Ambientales Hidrológicos y Adaptación al Cambio Climático con  
Enfoque de Cuenca

Supervisor Técnico  
José Machorro Reyes  
Subdirector de Análisis de la Oferta de Servicios Ambientales Hidrológicos y Adaptación al  
Cambio Climático

---

## Índice.

1. Identificar las ciudades que se ajusten en términos de calidad y cantidad de datos y cuyo suministro sea mayormente de agua superficial, así como las cuencas proveedoras del recurso hídrico. ....	1
Identificación de las cuencas de influencia. ....	19
Asignación de Municipios .....	19
Actividad 3.- Desarrollar una propuesta de indicadores para evaluar la sensibilidad territorial actual a la disminución en la disponibilidad de agua para abastecimiento público urbano y la infraestructura asociada. ....	21
Crecimiento Poblacional .....	21
Capacidad instalada de almacenamiento .....	24
Umbral de alteración hidrológica .....	28
Análisis del cambio de uso de suelo .....	51
Presión por actividades extractivas .....	62
Presión por descargas residuales.....	66
Impacto en la eficiencia de la infraestructura hidráulica y el costo asociado a la pérdida potencial de suelo.....	66
Actividad 4. Describir los procesos metodológicos para la integración de indicadores de sensibilidad territorial a la disminución de la disponibilidad de agua en las ciudades estudiadas. ....	69
Crecimiento poblacional .....	70
Presión por otros usos.....	71
Presión por descargas residuales.....	71
Presión por actividades extractivas. ....	72
Actividad 5.- Generar bases de datos estadísticas y cartográficas tanto en formato vectorial como raster, así como cualquier otra información y material generado en las actividades desarrolladas durante la consultoría. ....	73
Actividad 6.- Incorporar los escenarios de cambio climático, generados a partir de los modelos de circulación general publicados en la Quinta Comunicación Nacional. ....	73
Actividad 7.- Agregar los indicadores a nivel de cuenca hidrológica.....	74
Bibliografía .....	76

## Tablas.

TABLA 1.	Ciudades y cuencas asociadas seleccionadas. ....	1
TABLA 2.	Características de la cuenca y fuente de abastecimiento para la ciudad de Ensenada.....	2
TABLA 3.	Estación hidrométrica 01026 San Carlos.....	3
TABLA 4.	Estaciones climatológicas para la cuenca San Carlos .....	3
TABLA 5.	Características de la cuenca y fuente de abastecimiento para la ciudad de Hermosillo.....	4
TABLA 6.	Estación hidrométricas en cuenca Río Sonora 1. ....	6
TABLA 7.	Estaciones climatológicas para la cuenca Río Sonora 1 .....	7
TABLA 8.	Características de la cuenca y fuente de abastecimiento para la ciudad de Álamos. 8	8
TABLA 9.	Estaciones climatológicas para la cuenca Río Mayo 1.....	8
TABLA 10.	Estación hidrométrica en cuenca Río Mayo 1.....	10
TABLA 11.	Características de la cuenca y fuente de abastecimiento para la ciudad de Álamos. ....	11
TABLA 12.	Estaciones climatológicas para la cuenca Río Papagayo.....	11
TABLA 13.	Estación hidrométrica en cuenca Río Papagayo. ....	12
TABLA 14.	Características de la cuenca y fuente de abastecimiento para la ciudad de Veracruz. ....	13
TABLA 15.	Estación hidrométrica en cuenca Río Papagayo. ....	14
TABLA 16.	Estaciones climatológicas para las cuencas de los Ríos Jamapa y Cotaxtla. 14	14
TABLA 17.	Características de la cuenca y fuente de abastecimiento para la ciudad de Aguascalientes. ....	16
TABLA 18.	Estaciones climatológicas para la cuenca Presa Calles. ....	16
TABLA 19.	Estación hidrométrica en cuenca Presa Calles.....	17
TABLA 20.	Crecimiento poblacional censado de los municipios asignados. ....	21
TABLA 21.	Crecimiento poblacional proyectado en los municipios asignados. ....	23
TABLA 22.	Área y porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie I de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo. ....	54
TABLA 23.	Área y porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie II de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo. ....	56
TABLA 24.	Área y porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie III de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo. ....	57
TABLA 25.	Área y porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie IV de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo. ....	59
TABLA 26.	Área y porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie V de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo. ....	60
TABLA 27.	Tabla 1 Volúmenes de producción nacional de diferentes minerales. 62	62
TABLA 28.	Año de inauguración de principales presas de la República Mexicana. 67	67

## Figuras.

FIGURA 1.	Ciudad de Ensenada y cuenca San Carlos .....	2
FIGURA 2.	Ubicación geográfica de la hidrométrica 01026 San Carlos.....	3
FIGURA 3.	Estaciones climatológicas para la Cuenca San Carlos. ....	4
FIGURA 4.	Ciudad de Hermosillo y cuenca Sonora.....	5
FIGURA 5.	Ubicación geográfica de la hidrométricas 09016 y 09017.....	6
FIGURA 6.	Estaciones climatológicas para la Cuenca Sonora 1. ....	7
FIGURA 7.	Estaciones climatológicas para la Cuenca Río Mayo 1.....	9
FIGURA 8.	Ubicación geográfica de la hidrométrica 09067. ....	10
FIGURA 9.	Estaciones climatológicas para la Cuenca Río Papagayo. ....	12
FIGURA 10.	Ubicación geográfica de la hidrométrica 23031. ....	13
FIGURA 11.	Ubicación geográfica de las hidrométricas 28040 y 28039. ....	14
FIGURA 12.	Estaciones climatológicas para las Cuencas Jamapa y Cotaxtla. ...	15
FIGURA 13.	Estaciones climatológicas para la Cuenca Presa Calles.....	17
FIGURA 14.	Ubicación geográfica de la hidrométrica 12378. ....	18
FIGURA 15.	Cuencas de influencia y cuenca instrumentada para la ciudad de Hermosillo, Sonora.....	19
FIGURA 16.	Municipios asignados al área de influencia de la ciudad de Hermosillo, Sonora (los números en las etiquetas corresponden al porcentaje de la población dentro del área de influencia). ....	20
FIGURA 17.	Localidades mayores a cien habitantes dentro de las cuencas de influencia. ....	22
FIGURA 18.	Población de los municipios asignados a la zona de influencia .....	22
FIGURA 19.	Presa Abelardo Rodríguez Lujan.....	25
FIGURA 20.	Presa Adolfo Ruiz Cortines.....	26
FIGURA 21.	Presa Plutarco Elías Calles .....	27
FIGURA 22.	Unión de Series.....	53
FIGURA 23.	Serie I Uso de Suelo y Vegetación en la Cuenca del Río Papagayo. ....	54
FIGURA 24.	Serie II Uso de Suelo y Vegetación en la Cuenca del Río Papagayo. ....	55
FIGURA 25.	Serie III Uso de Suelo y Vegetación en la Cuenca del Río Papagayo. ....	57
FIGURA 26.	Serie IV Uso de Suelo y Vegetación en la Cuenca del Río Papagayo. ....	58
FIGURA 27.	Serie V Uso de Suelo y Vegetación en la Cuenca del Río Papagayo. ....	60
FIGURA 28.	FUENTE: Serie V de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI. ....	60
FIGURA 29.	Ordenamientos ecológicos territoriales y concesiones mineras a nivel nacional (INECC, 2015). ....	65

## Graficas.

GRAFICA 1.	Precipitación máxima en 24 hrs, estación 2079 .....	28
GRAFICA 2.	Precipitación anual, estación 2079 .....	29
GRAFICA 3.	Temperatura media anual, estación 2079 .....	29
GRAFICA 4.	Precipitación máxima en 24 hrs, estación 2065 .....	30
GRAFICA 5.	Precipitación anual, estación 2065 .....	30
GRAFICA 6.	Temperatura media anual, estación 2065 .....	31
GRAFICA 7.	Precipitación máxima en 24 hrs, estación 2104 .....	31
GRAFICA 8.	Precipitación anual, estación 2104 .....	32
GRAFICA 9.	Temperatura media anual, estación 2104 .....	32
GRAFICA 10.	Gasto máximo en 24 hrs, estación 01026 San Carlos .....	33
GRAFICA 11.	Volumen medio anual escurrido, estación 01026 San Carlos.....	33
GRAFICA 12.	Precipitación máxima en 24 hrs, estación 26007 .....	34
GRAFICA 13.	Precipitación anual, estación 26007.....	34
GRAFICA 14.	Temperatura media anual, estación 26007. ....	35
GRAFICA 15.	Precipitación máxima en 24 hrs, estación 26008.....	35
GRAFICA 16.	Precipitación anual, estación 26008.....	36
GRAFICA 17.	Temperatura media anual, estación 26008. ....	36
GRAFICA 18.	Precipitación máxima en 24 hrs, estación 26198.....	37
GRAFICA 19.	Precipitación anual, estación 26198.....	37
GRAFICA 20.	Temperatura media anual, estación 26198. ....	38
GRAFICA 21.	Precipitación máxima en 24 hrs, estación 26244 .....	38
GRAFICA 22.	Precipitación anual, estación 26244 .....	39
GRAFICA 23.	Temperatura media anual, estación 2104 .....	39
GRAFICA 24.	Precipitación máxima en 24 hrs, estación 26032.....	40
GRAFICA 25.	Precipitación anual, estación 26032 .....	40
GRAFICA 26.	Temperatura media anual, estación 26032. ....	41
GRAFICA 27.	Gasto máximo en 24 hrs, estación 09017 El Orégano. ....	41
GRAFICA 28.	Volumen medio anual escurrido, estación 09017 El Orégano. ...	42
GRAFICA 29.	Precipitación máxima en 24 hrs, estación 12150 .....	42
GRAFICA 30.	Precipitación anual, estación 12150 .....	43
GRAFICA 31.	Temperatura media anual, estación 12150. ....	43
GRAFICA 32.	Precipitación máxima en 24 hrs, estación 12057 .....	44
GRAFICA 33.	Precipitación anual, estación 12057.....	44
GRAFICA 34.	Temperatura media anual, estación 12057. ....	45
GRAFICA 35.	Precipitación máxima en 24 hrs, estación 12156 .....	45
GRAFICA 36.	Precipitación anual, estación 12156.....	46
GRAFICA 37.	Temperatura media anual, estación 12156. ....	46
GRAFICA 38.	Precipitación máxima en 24 hrs, estación 12172 .....	47
GRAFICA 39.	Precipitación anual, estación 12172.....	47
GRAFICA 40.	Temperatura media anual, estación 12172. ....	48

---

GRAFICA 41.	Precipitación máxima en 24 hrs, estación 12029 .....	48
GRAFICA 42.	Precipitación anual, estación 12029. ....	49
GRAFICA 43.	Temperatura media anual, estación 12029. ....	49
GRAFICA 44.	Gasto máximo en 24 hrs, estación 20031. ....	50
GRAFICA 45.	Volumen medio anual escurrido, estación 20031. ....	50
GRAFICA 46.	Distribución por porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie I de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo. ....	55
GRAFICA 47.	Distribución por porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie II de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo. ....	56
GRAFICA 48.	Distribución por porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie III de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo. ....	58
GRAFICA 49.	Distribución por porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie IV de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo. ....	59
GRAFICA 50.	Distribución por porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie V de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo. ....	61
GRAFICA 51.	Distribución de las concesiones mineras con respecto al gradiente altitudinal de las cuencas hidrográficas. ....	63
GRAFICA 52.	Costo económico social por no implementar un proyecto de mantenimiento en presas .....	68

---

## Síntesis de Contenido.

En este tercer informe, que corresponde a la entrega final de la consultoría con número de contrato INECC/LPN-003-2017 integra, la descripción de las actividades y productos indicados en los términos de referencia, así como las adecuaciones y comentarios realizados por el INECC. El contenido del presente documento recopila la información generada en las dos entregas previas a este informe final:

- Criterios para la selección de las ciudades de análisis
- Listado de ciudades
- Una propuesta metodológica para la integración de indicadores que abordan los siguientes temas:
  - Crecimiento poblacional
  - Capacidad instalada de almacenamiento
  - Umbrales de alteración hidrológica
  - Presión por actividades extractivas
  - Presión por descarga de aguas residuales
  - Impacto de la infraestructura hidráulica y el costo asociado a la pérdida potencial de suelo.
- Descripción de los procesos metodológicos para la integración de indicadores
- Generación de bases de datos
- Incorporación de escenarios de cambio climático
- Agregación de indicadores a nivel de cuenca hidrológica

Es importante señalar que el inicio del presente estudio y por ende la publicación de los términos de referencia, se realizó antes de los talleres para la consolidación del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático, como resultado de esta situación se realizaron modificaciones y adecuaciones al programa de trabajo presentado originalmente. Esto con la finalidad de atender las necesidades del INECC y aprovechar al máximo los productos resultados de esta consultoría, para poder incorporarlos al marco conceptual del INECC para la evaluación de la vulnerabilidad en sus tres componentes; exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa.

1. Identificar las ciudades que se ajusten en términos de calidad y cantidad de datos y cuyo suministro sea mayormente de agua superficial, así como las cuencas proveedoras del recurso hídrico.

Criterios para la selección de ciudades:

- ☉ Que la ciudad esté dentro de las que son de interés para el INECC.
- ☉ Que el suministro de agua en las ciudades sea mayormente de agua superficial.
- ☉ Que existan datos de las características de la infraestructura como presas y/o acueductos.
- ☉ Que la estación hidrométrica afore la corriente que sirve como fuente de abastecimiento y que afore más del 75% de la cuenca y que cuente preferentemente con 20 años de registros o más.
- ☉ Que la localización de las estaciones climatológicas, envuelvan y estén dentro de la cuenca; además, que la cantidad de los registros en las sean mayor a 20 años.

En base a lo anterior se determinaron estudiar las siguientes cuencas y ciudades.

**TABLA 1. Ciudades y cuencas asociadas seleccionadas.**

<b>CUENCA</b>	<b>CIUDAD</b>	<b>FUENTE ABASTO</b>	<b>REGIÓN</b>
<b>San Carlos</b>	Ensenada	Obra de toma en río	Golfo de California
<b>Río Sonora</b>	Hermosillo	Presa	Golfo de California
<b>Río Yaqui</b>	Álamos	Presa	Golfo de California
<b>Río Papagayo</b>	Acapulco	Obra de toma en río	Pacífico Sur
<b>Río Cotaxtla</b>	Veracruz	Obra de toma en río	Golfo de México
<b>Río Jamapa</b>	Veracruz	Obra de toma en río	Golfo de México

FUENTE: Elaboración propia

## Ciudad de Ensenada

En la siguiente tabla se describen las características de la ciudad de Ensenada empleadas en el presente estudio.

**TABLA 2. Características de la cuenca y fuente de abastecimiento para la ciudad de Ensenada.**

<b>Estado</b>	Baja California
<b>Municipio</b>	Ensenada
<b>Número de Habitantes (2010)</b>	466,814
<b>Región Hidrológica Administrativa</b>	
<b>Región Hidrológica</b>	1
<b>Número de Cuenca</b>	5
<b>Nombre y Clave de las Cuencas de Aportación a la Fuente de Abastecimiento</b>	San Carlos
<b>Nombre del río o arroyo</b>	Arroyo San Carlos
<b>Tipo de Infraestructura Asociada</b>	Obra de toma del río

FUENTE: INEGI 2010 y CONAGUA 2016.

En la siguiente figura se muestra la ciudad de Ensenada y la cuenca del río San Carlos el cuál es parte de las fuentes de abastecimiento de agua potable para dicha ciudad.

**FIGURA 1. Ciudad de Ensenada y cuenca San Carlos**



FUENTE: CONAGUA 2016.

La cuenca esta aforada por la estación hidrométrica 01026 San Carlos. En la siguiente tabla se muestra la clave, nombre y periodo de registro de la estación.

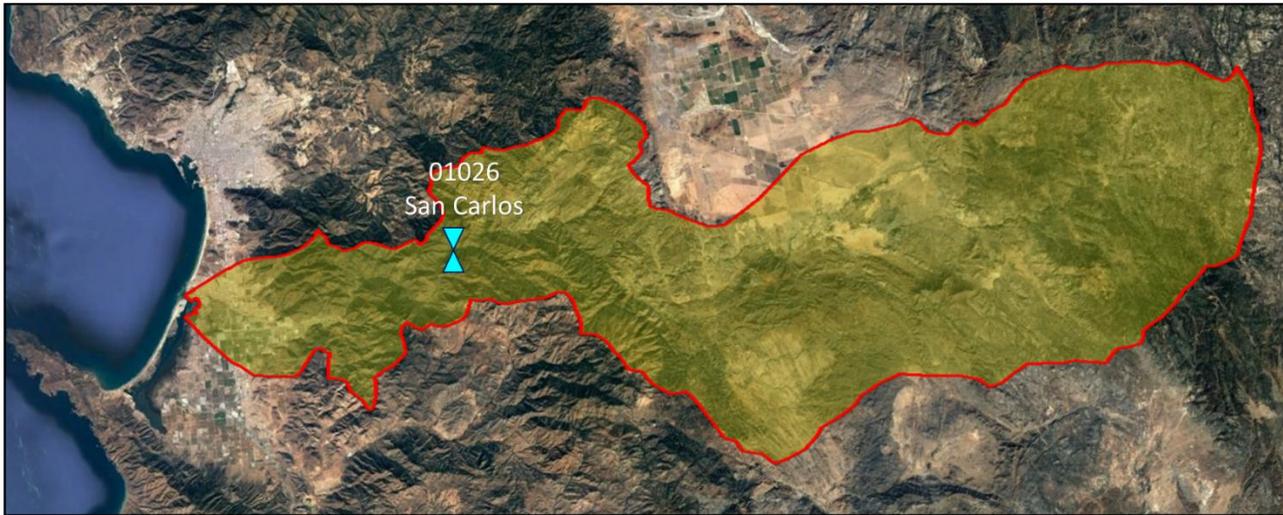
**TABLA 3. Estación hidrométrica 01026 San Carlos**

CLAVE	NOMBRE	PERIODO REGISTRO
<b>01026</b>	San Carlos	1962-1979,1981-1984,1994, 2001-2003

FUENTE: CONAGUA 2016.

A continuación en la siguiente figura se muestra la ubicación de la estación hidrométrica.

**FIGURA 2. Ubicación geográfica de la hidrométrica 01026 San Carlos.**



FUENTE: CONAGUA 2016.

En la siguiente tabla se muestran las estaciones climatológicas que se analizarán para para lograr cumplir con los objetivos del presente estudio.

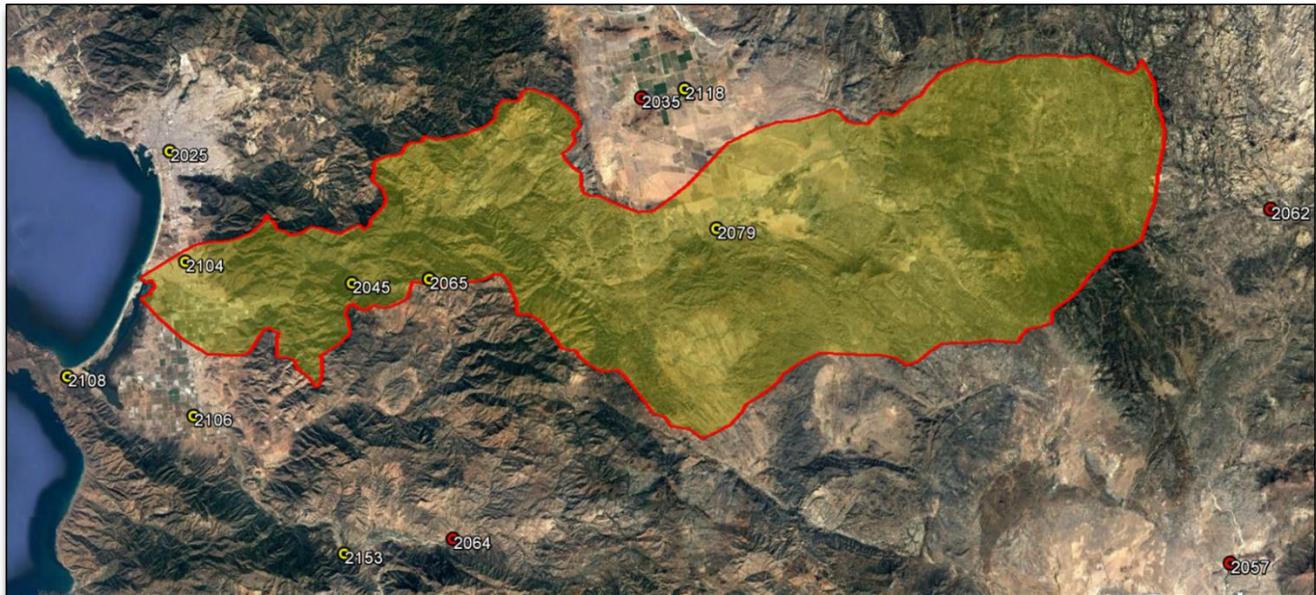
**TABLA 4. Estaciones climatológicas para la cuenca San Carlos**

CLAVE	ESTATUS
<b>2104</b>	Operando
<b>2045</b>	Operando
<b>2065</b>	Operando
<b>2118</b>	Operando
<b>2079</b>	Operando
<b>2066</b>	Suspendida
<b>2062</b>	Suspendida
<b>2072</b>	Operando
<b>2164</b>	Operando

FUENTE: CONAGUA 2016.

En la siguiente figura se muestra la ubicación geográfica de las estaciones climatológicas para la cuenca San Carlos.

**FIGURA 3. Estaciones climatológicas para la Cuenca San Carlos.**



FUENTE: CONAGUA 2016.

## Ciudad de Hermosillo.

En la siguiente tabla se describen las características de la ciudad de Hermosillo empleadas en el presente estudio.

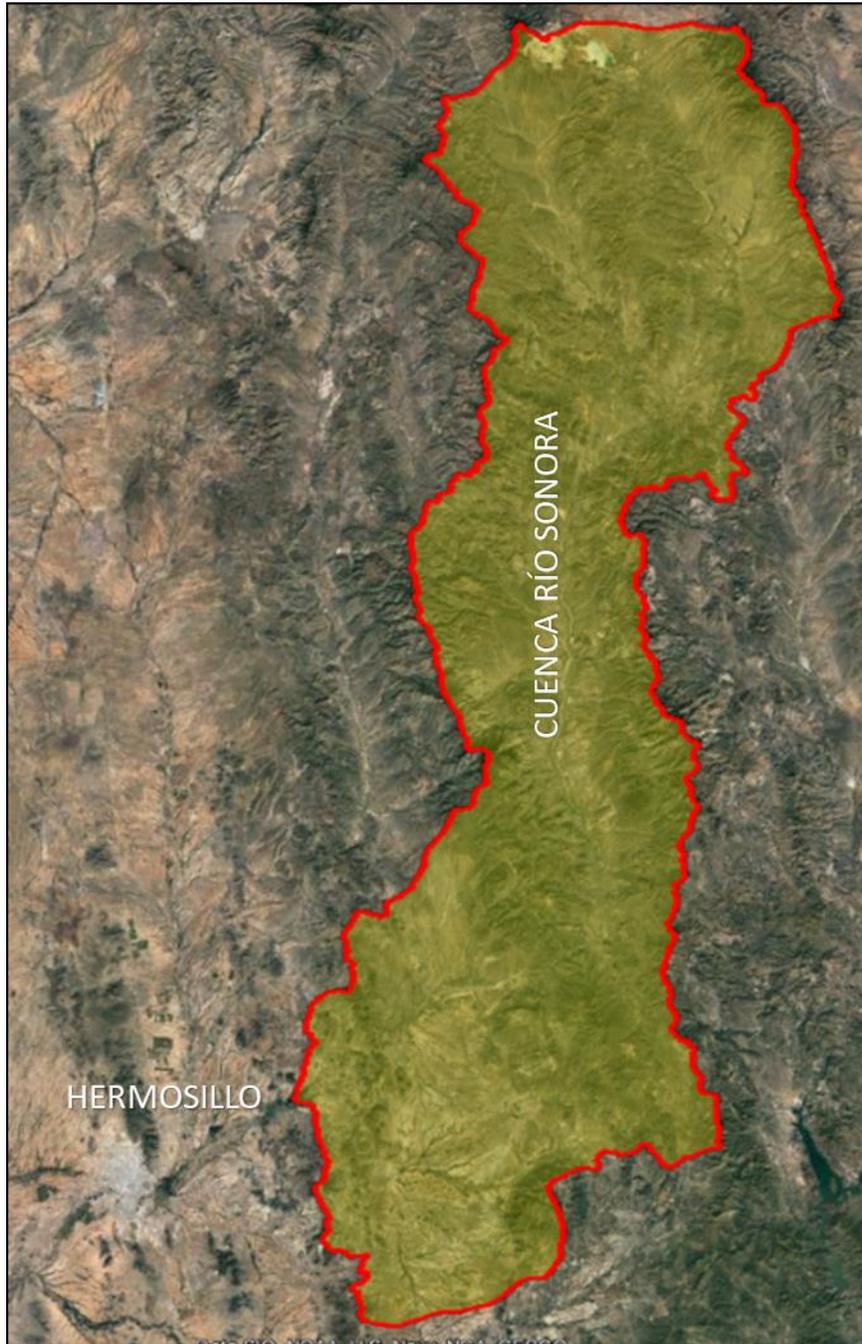
**TABLA 5. Características de la cuenca y fuente de abastecimiento para la ciudad de Hermosillo.**

<b>Estado</b>	Sonora
<b>Municipio</b>	Hermosillo
<b>Número de Habitantes (2010)</b>	784,342
<b>Región Hidrológica Administrativa</b>	
<b>Región Hidrológica</b>	9
<b>Número de Cuenca</b>	98
<b>Nombre y Clave de las Cuencas de Aportación a la Fuente de Abastecimiento</b>	Río Sonora 1
<b>Nombre del río o arroyo</b>	Río Sonora
<b>Tipo de Infraestructura Asociada</b>	Presa el Molinito

FUENTE: INEGI 2010 y CONAGUA 2016.

En la siguiente figura se muestra la ciudad de Hermosillo y la cuenca del río Sonora el cuál es parte de las fuentes de abastecimiento de agua potable para dicha ciudad.

**FIGURA 4. Ciudad de Hermosillo y cuenca Río Sonora 1.**



FUENTE: CONAGUA 2016.

La cuenca esta aforada por las estaciones hidrométricas 09016 Camou y 09017 El Orégano. En la siguiente tabla se muestran las claves, los nombres y el periodo de registro de las estaciones hidrométricas.

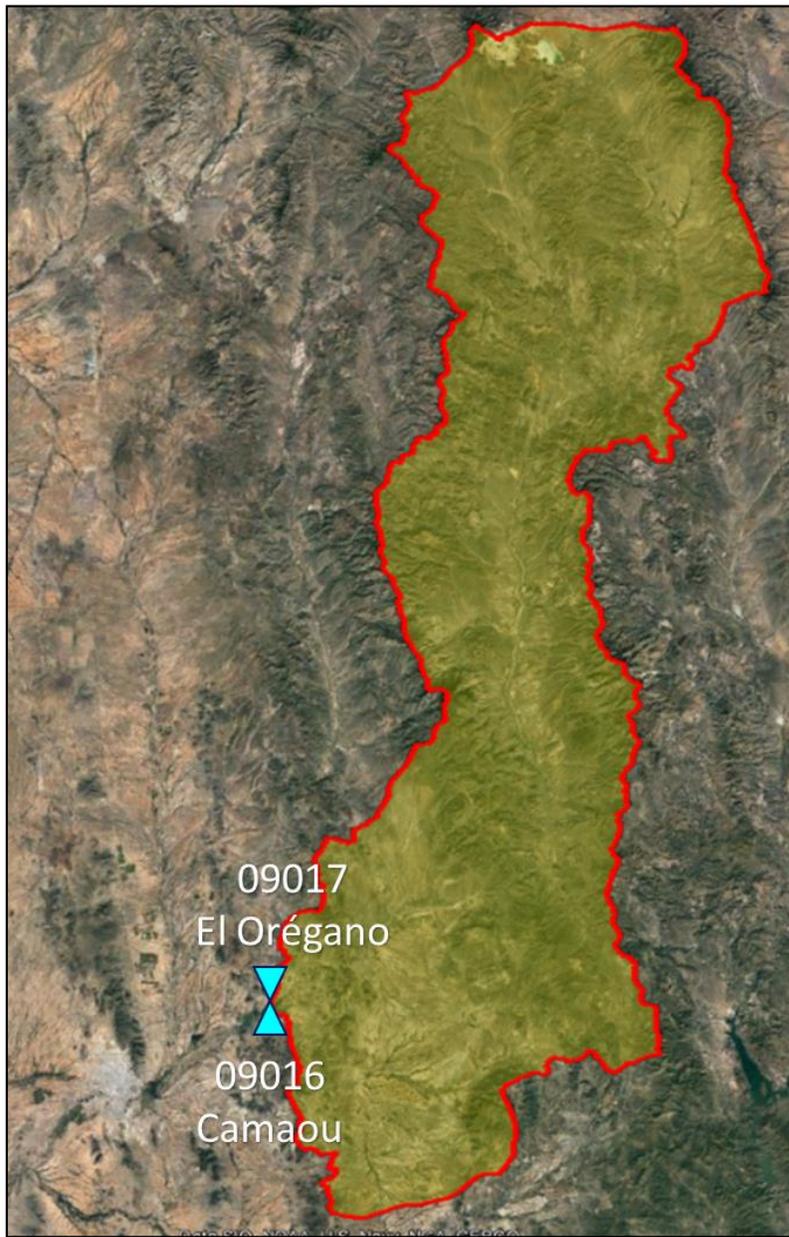
**TABLA 6. Estación hidrométricas en cuenca Río Sonora 1.**

CLAVE	NOMBRE	PERIODO REGISTRO
<b>09016</b>	Camou	1942-1980, 1982-1985, 1987-1990
<b>09017</b>	El Orégano	1942-1990, 1995-1999, 2002-2006,2010-2011

FUENTE: CONAGUA 2016.

En la siguiente figura se muestra la ubicación geográfica de las estaciones hidrométricas.

**FIGURA 5. Ubicación geográfica de la hidrométricas 09016 y 09017.**



FUENTE: CONAGUA 2016.

En la siguiente tabla se muestran las estaciones climatológicas que se analizarán para para lograr cumplir con los objetivos del presente estudio.

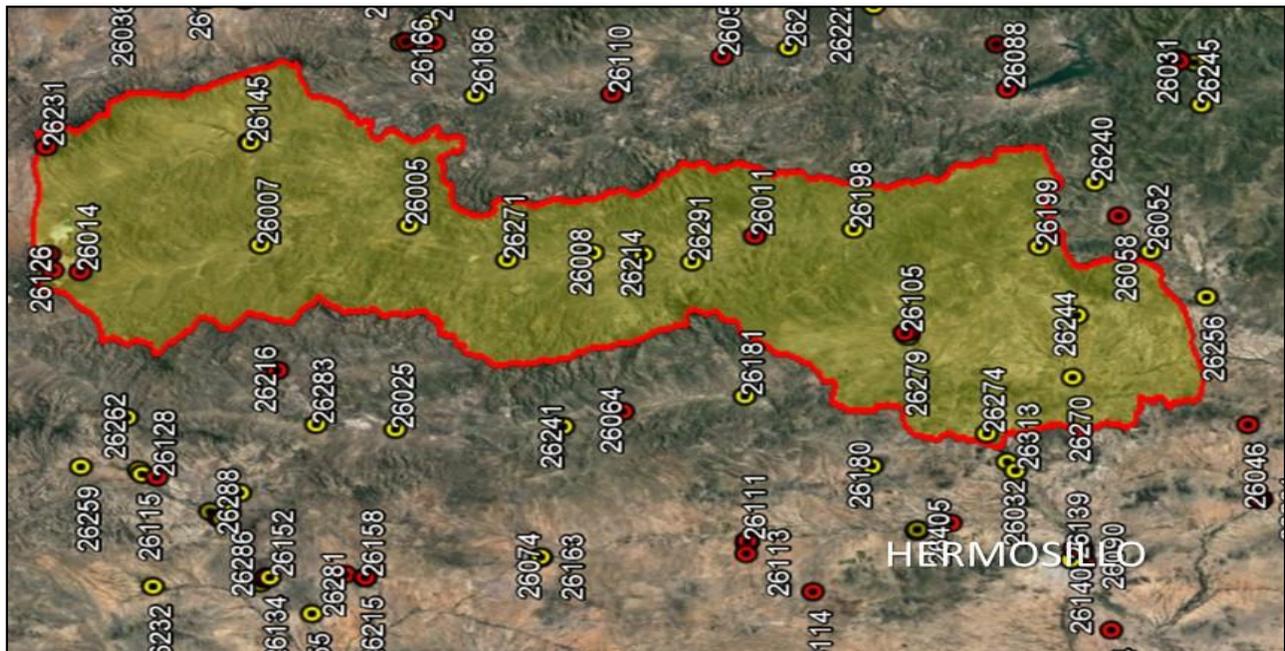
**TABLA 7. Estaciones climatológicas para la cuenca Río Sonora 1**

CLAVE	ESTATUS
26007	Operando
26005	Operando
26271	Operando
26008	Operando
26214	Operando
26291	Operando
26198	Operando
29199	Operando
26244	Operando
26270	Operando
26274	Operando

FUENTE: CONAGUA 2016.

En la siguiente figura se muestran las estaciones hidrométricas y climatológicas cercanas y dentro de la cuenca que se analizarán para el desarrollo del presente estudio.

**FIGURA 6. Estaciones climatológicas para la Cuenca Sonora 1.**



FUENTE: CONAGUA 2016.

## Ciudad de Álamos Hermosillo.

En la siguiente tabla se describen las características de la ciudad de Álamos empleadas en el presente estudio.

**TABLA 8. Características de la cuenca y fuente de abastecimiento para la ciudad de Álamos.**

<b>Estado</b>	Sonora
<b>Municipio</b>	Álamos
<b>Número de Habitantes (2010)</b>	25,848
<b>Región Hidrológica Administrativa</b>	
<b>Región Hidrológica</b>	9
<b>Número de Cuenca</b>	106, 107 y 108
<b>Nombre de las Cuencas</b>	Río Mayo 1, Arroyo Quiriego y Río Mayo 2
<b>Nombre del río o arroyo</b>	Río Mayo
<b>Tipo de Infraestructura Asociada</b>	Presa Mocuzarit

FUENTE: INEGI 2010 y CONAGUA 2016.

En la siguiente tabla se muestran las estaciones climatológicas que se analizarán para para lograr cumplir con los objetivos del presente estudio.

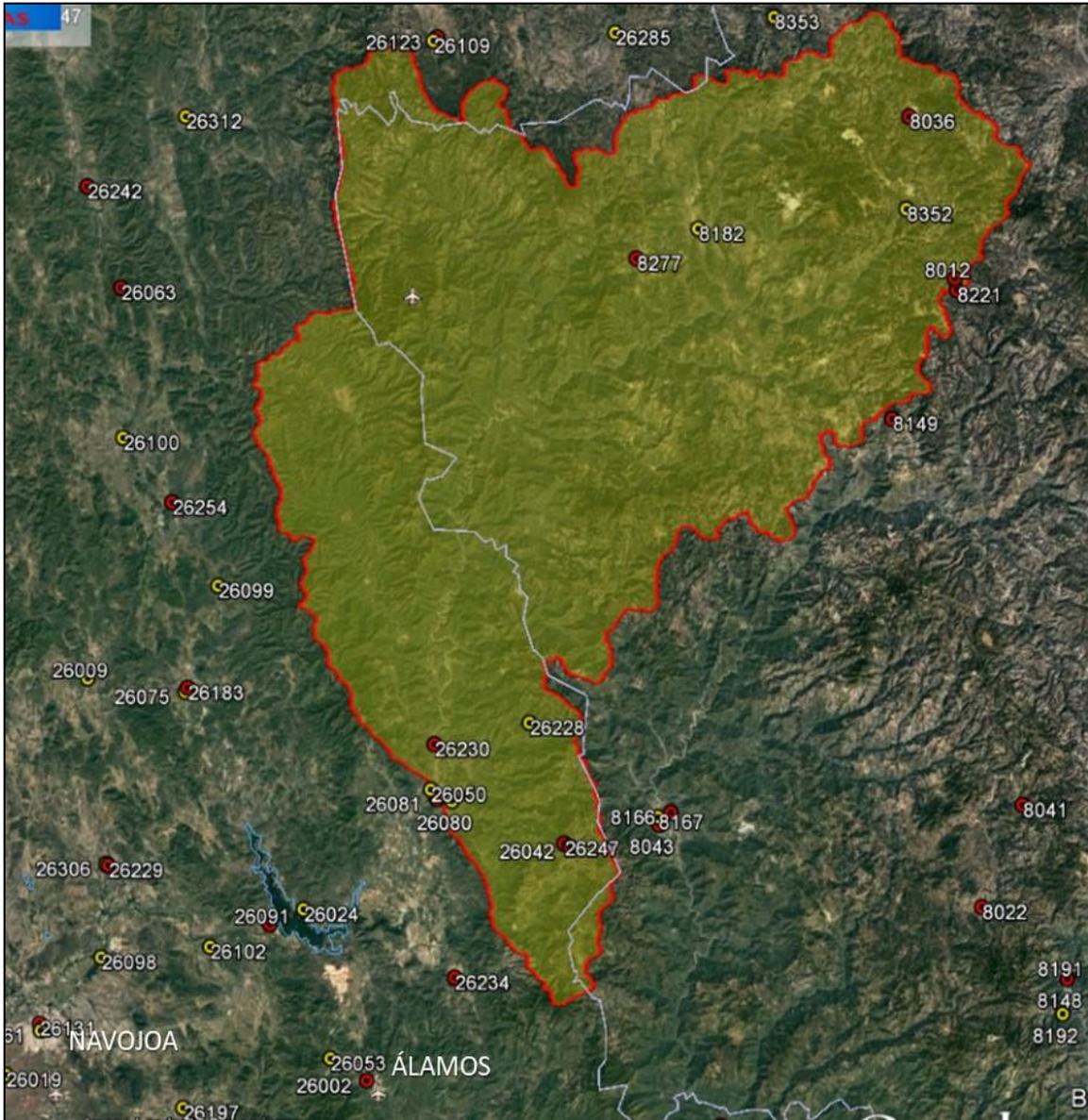
**TABLA 9. Estaciones climatológicas para la cuenca Río Mayo 1**

<b>CLAVE</b>	<b>ESTATUS</b>
<b>26109</b>	Operando
<b>26285</b>	Operando
<b>8353</b>	Operando
<b>8182</b>	Operando
<b>8036</b>	Operando
<b>8352</b>	Operando
<b>26100</b>	Operando
<b>26099</b>	Operando
<b>26075</b>	Operando
<b>26228</b>	Operando
<b>26050</b>	Operando
<b>26080</b>	Operando
<b>26024</b>	Operando

FUENTE: CONAGUA 2016.

En la siguiente figura se muestran las estaciones climatológicas cercanas y dentro de la cuenca del Río Mayo 1 y que algunas de ellas, de acuerdo a su estatus y contenido de registros, se analizaron para el desarrollo del presente estudio.

**FIGURA 7. Estaciones climatológicas para la Cuenca Río Mayo 1.**



FUENTE: CONAGUA 2016.

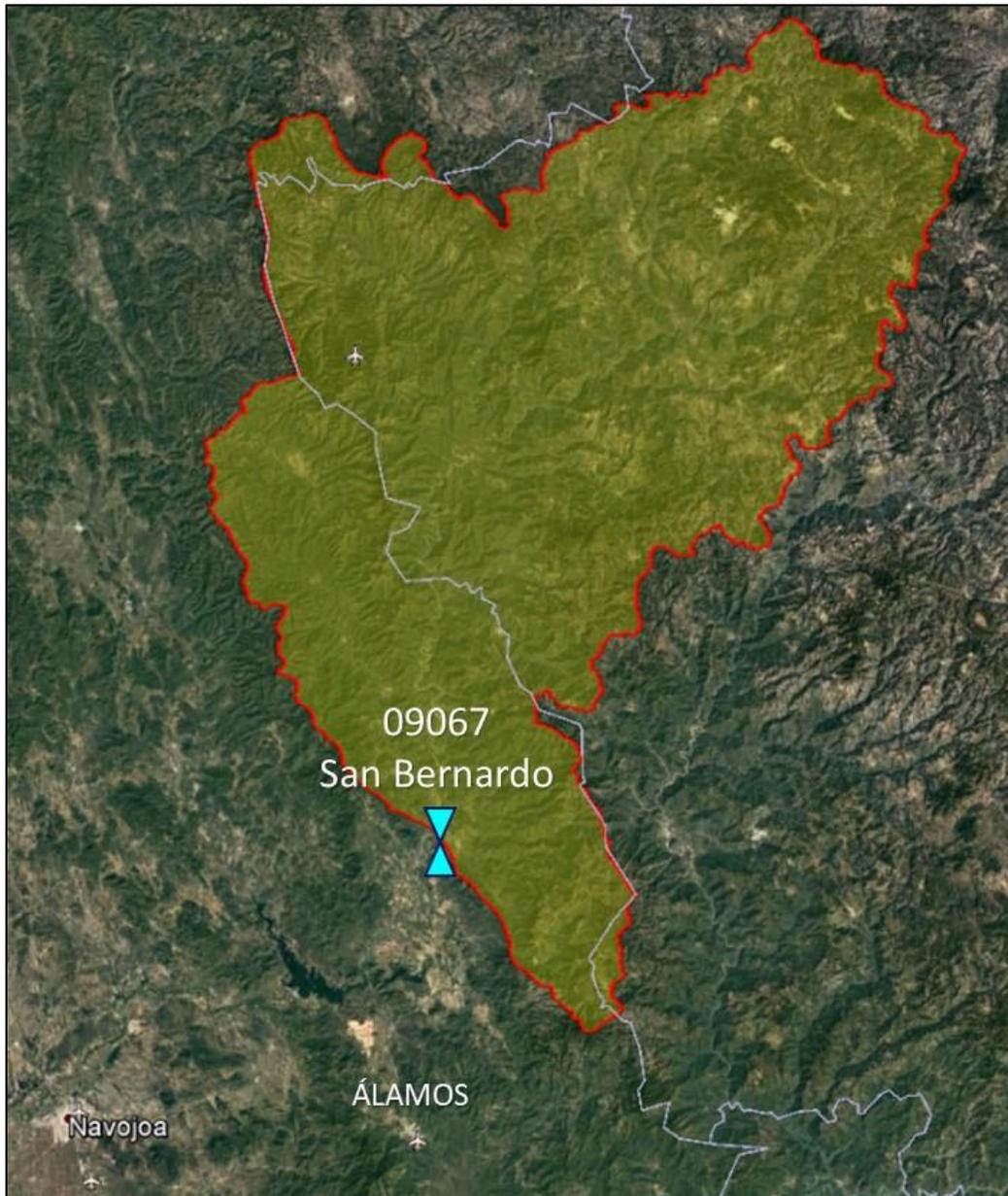
La cuenca esta aforada por la estación hidrométrica 09067 San Bernardo. En la siguiente tabla se muestra la clave, nombre y el periodo de registro de la estación hidrométrica.

**TABLA 10. Estación hidrométrica en cuenca Río Mayo 1.**

CLAVE	NOMBRE	PERIODO REGISTRO
09067	San Bernardo	1961-2014

En la siguiente figura se muestra la ubicación geográfica de la estación hidrométrica.

**FIGURA 8. Ubicación geográfica de la hidrométrica 09067.**



FUENTE: CONAGUA 2016.

## Acapulco.

En la siguiente tabla se describen las características de la ciudad de Acapulco, Guerrero, empleadas en el presente estudio.

**TABLA 11. Características de la cuenca y fuente de abastecimiento para la ciudad de Acapulco.**

<b>Estado</b>	Guerrero
<b>Municipio</b>	Acapulco de Juárez
<b>Número de Habitantes (2010)</b>	789,971
<b>Región Hidrológica Administrativa</b>	
<b>Región Hidrológica</b>	20
<b>Número de Cuenca</b>	313,316, 315, 317 y 318
<b>Nombre de las Cuencas</b>	Río Papagayo 1, 2, 3 y 4.
<b>Nombre del río o arroyo</b>	Río Papagayo
<b>Tipo de Infraestructura Asociada</b>	Obra de toma directa del río

FUENTE: INEGI 2010 y CONAGUA 2016.

En la siguiente tabla se muestran las estaciones climatológicas que se analizarán para para lograr cumplir con los objetivos del presente estudio.

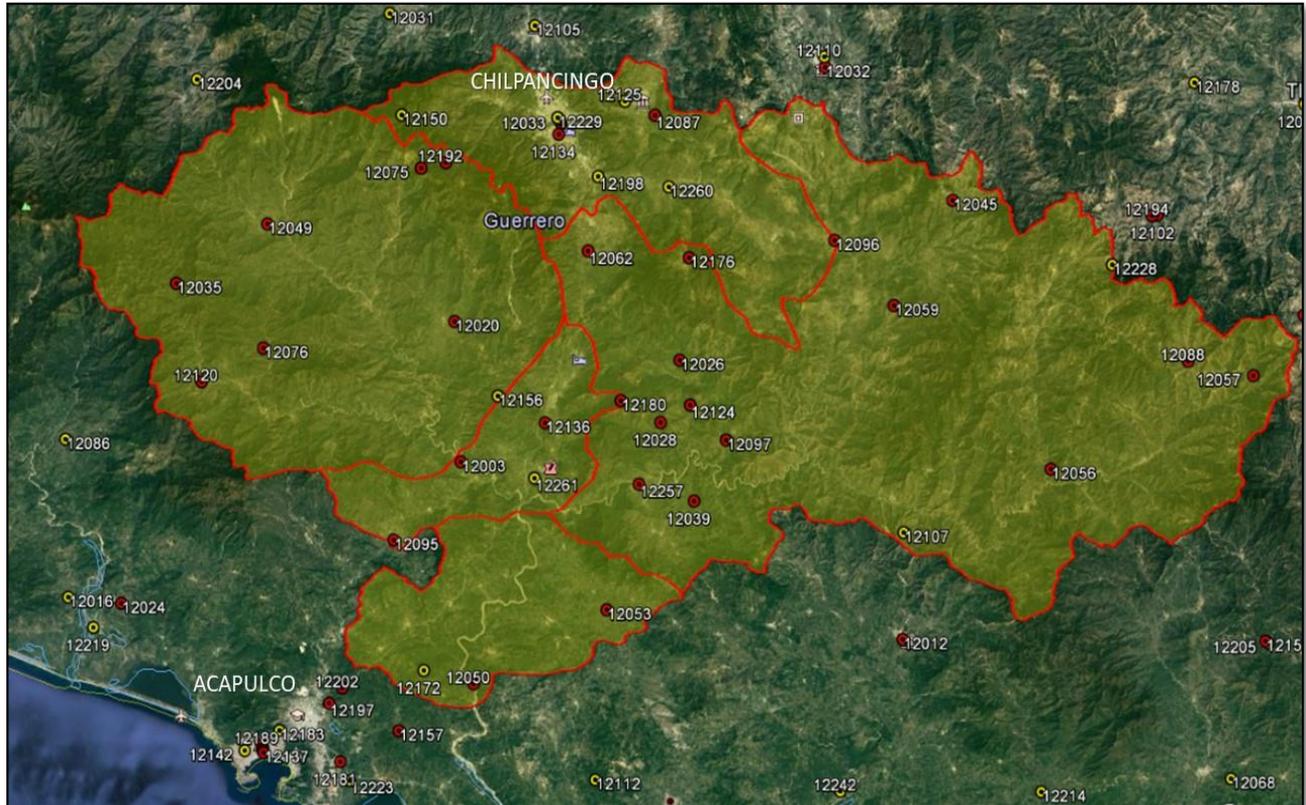
**TABLA 12. Estaciones climatológicas para la cuenca Río Papagayo.**

<b>CLAVE</b>	<b>ESTATUS</b>
<b>12150</b>	Operando
<b>12156</b>	Operando
<b>12204</b>	Operando
<b>12228</b>	Operando
<b>12107</b>	Operando
<b>12261</b>	Operando
<b>12172</b>	Operando
<b>12027</b>	Operando

FUENTE: CONAGUA 2016.

En la siguiente figura se muestran las estaciones climatológicas cercanas y dentro de la cuenca del Río Papagayo y que algunas de ellas, de acuerdo a su estatus y contenido de registros, se analizaron para el desarrollo del presente estudio.

**FIGURA 9. Estaciones climatológicas para la Cuenca Río Papagayo.**



FUENTE: CONAGUA 2016.

En la siguiente tabla se muestran las claves y los nombres de las estaciones hidrométricas que aforan el río principal de la cuenca Papagayo.

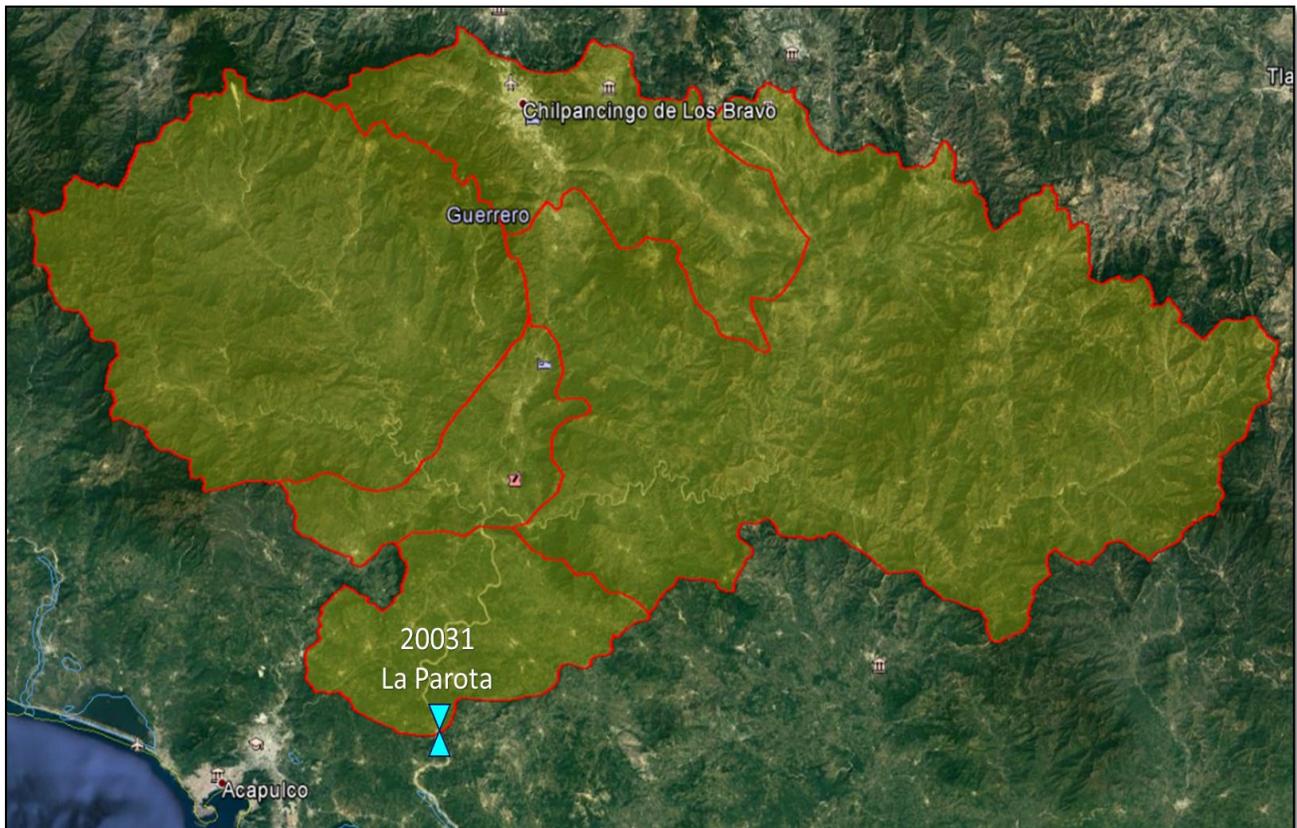
**TABLA 13. Estación hidrométrica en cuenca Río Papagayo.**

CLAVE	NOMBRE	PERIODO REGISTRO
20031	La Parota	1963-1967, 1969-2003

FUENTE: CONAGUA 2016.

En la siguiente figura se muestra la ubicación geográfica de la estación hidrométrica 23031 La Parota.

**FIGURA 10. Ubicación geográfica de la hidrométrica 20031.**



FUENTE: CONAGUA 2016.

**Veracruz de la Llave.**

En la siguiente tabla se describen las características de la ciudad de Veracruz, empleadas en el presente estudio.

**TABLA 14. Características de la cuenca y fuente de abastecimiento para la ciudad de Veracruz.**

<b>Estado</b>	Guerrero
<b>Municipio</b>	Veracruz
<b>Número de Habitantes (2010)</b>	552,156
<b>Región Hidrológica Administrativa</b>	
<b>Región Hidrológica</b>	28
<b>Número de Cuenca</b>	589 y 590
<b>Nombre de las Cuencas</b>	Río Cotaxtla y Río Jamapa
<b>Nombre del río o arroyo</b>	Ríos Cotaxtla y Jamapa
<b>Tipo de Infraestructura Asociada</b>	Obra de toma directa del río

FUENTE: INEGI 2010 y CONAGUA 2016.

En la siguiente tabla se muestran la clave y en nombre de las estaciones hidrométricas que aforan los ríos Cotaxtla y Jamapa respectivamente.

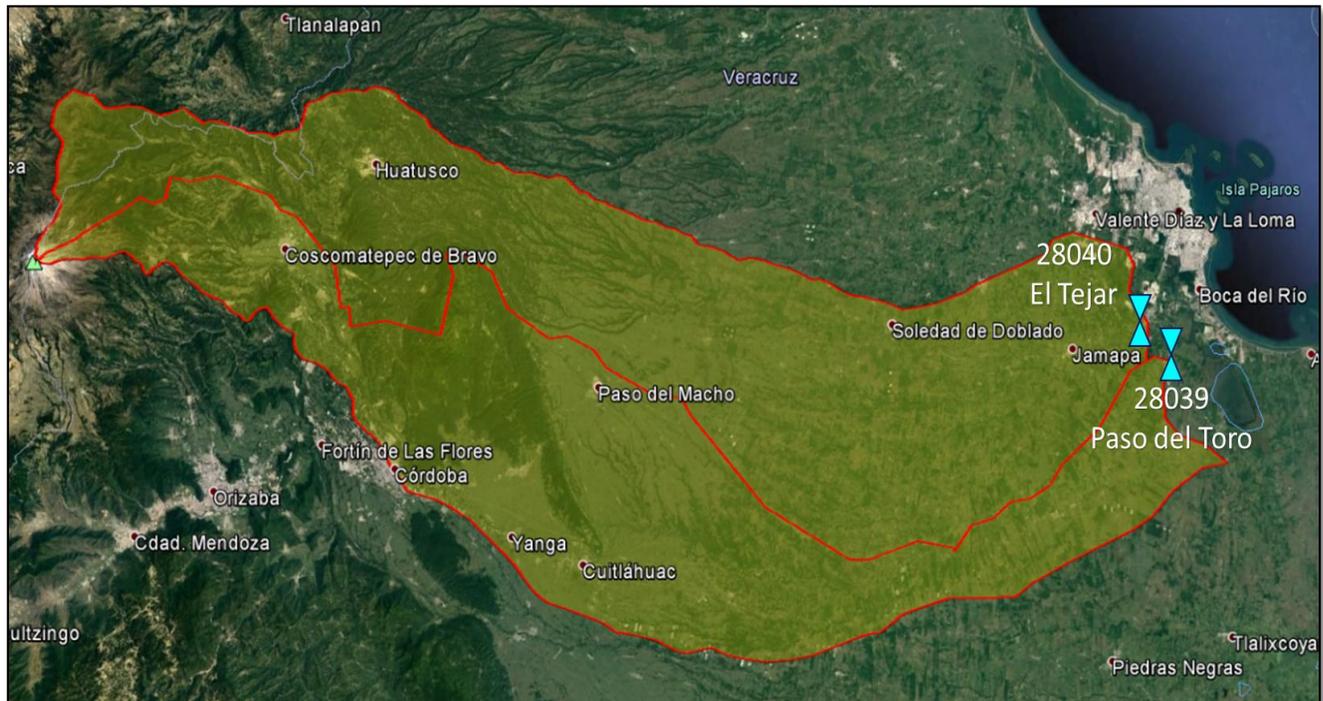
**TABLA 15. Estaciones hidrométricas en las cuencas Río Cotaxtla y Río Jamapa.**

CLAVE	NOMBRE	PERIODO REGISTRO
<b>28039</b>	Paso del Toro	1952-1988,1991-1994, 1998,2000-2014
<b>28040</b>	El Tejar	1952-1987, 1989-2009,2011

FUENTE: CONAGUA 2016.

En la siguiente figura se muestra la ubicación geográfica de las estaciones hidrométricas 28040 y 28039.

**FIGURA 11. Ubicación geográfica de las hidrométricas 28040 y 28039.**



FUENTE: CONAGUA 2016.

En la siguiente tabla se muestran las estaciones climatológicas que se analizarán para para lograr cumplir con los objetivos del presente estudio.

**TABLA 16. Estaciones climatológicas para las cuencas de los Ríos Jamapa y Cotaxtla.**

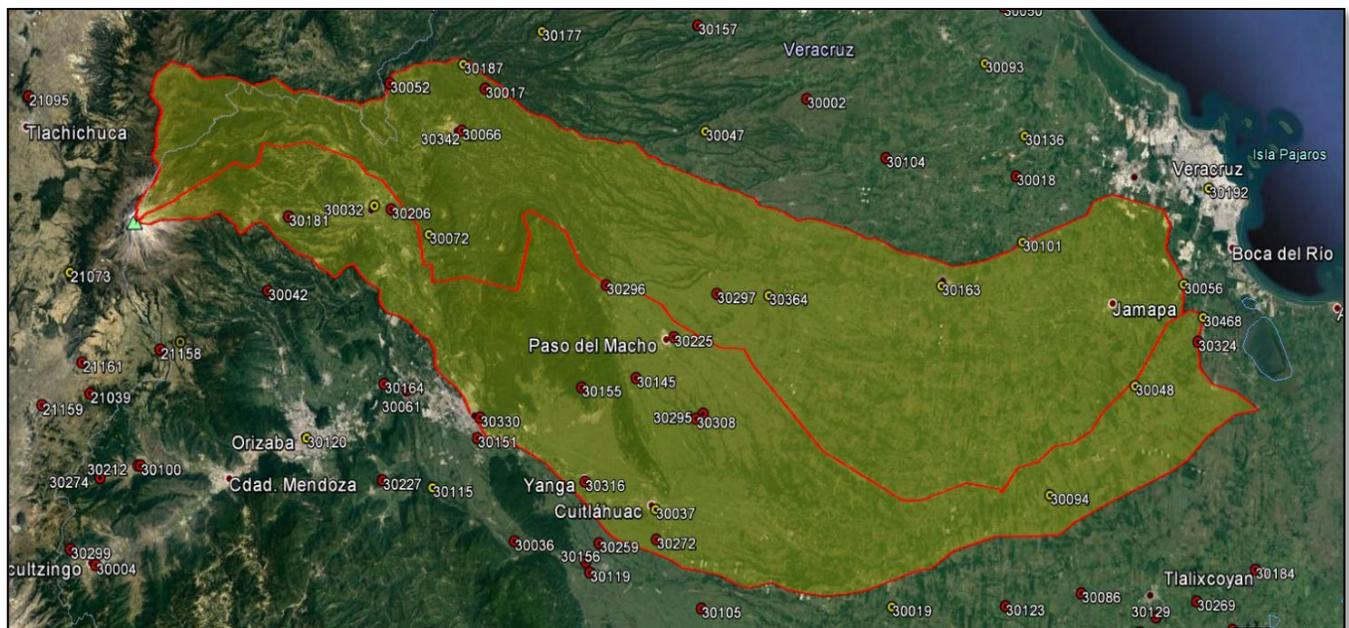
CLAVE	ESTATUS
<b>30032</b>	Operando
<b>30072</b>	Operando
<b>30342</b>	Operando

CLAVE	ESTATUS
30187	Operando
30364	Operando
30037	Operando
30019	Operando
30163	Operando
30101	Operando
30094	Operando
30048	Operando
30056	Operando

FUENTE: CONAGUA 2016.

En la siguiente figura se muestran las estaciones climatológicas cercanas y dentro de las cuencas Jamapa y Cotaxtla, y que algunas de ellas, de acuerdo a su estatus y contenido de registros, se analizaron para el desarrollo del presente estudio.

**FIGURA 12. Estaciones climatológicas para las Cuencas Jamapa y Cotaxtla.**



FUENTE: CONAGUA 2016.

## Aguascalientes.

En la siguiente tabla se describen las características de la ciudad de Aguascalientes, empleadas en el presente estudio.

**TABLA 17. Características de la cuenca y fuente de abastecimiento para la ciudad de Aguascalientes.**

<b>Estado</b>	Aguascalientes
<b>Municipio</b>	<b>Aguascalientes</b>
<b>Número de Habitantes (2010)</b>	797,010
<b>Región Hidrológica Administrativa</b>	
<b>Región Hidrológica</b>	12
<b>Número de Cuenca</b>	190
<b>Nombre de las Cuencas</b>	Presa Calles
<b>Nombre del río o arroyo</b>	Río Santiago
<b>Tipo de Infraestructura Asociada</b>	Presa Calles

FUENTE: INEGI 2010 y CONAGUA 2016.

En la siguiente tabla se muestran las estaciones climatológicas que se analizarán para para lograr cumplir con los objetivos del presente estudio.

**TABLA 18. Estaciones climatológicas para la cuenca Presa Calles.**

<b>CLAVE</b>	<b>ESTATUS</b>
<b>1103</b>	Operando
<b>1010</b>	Operando
<b>1021</b>	Operando
<b>1019</b>	Operando
<b>1017</b>	Operando
<b>1089</b>	Operando

FUENTE: CONAGUA 2016.

En la siguiente figura se muestran las estaciones climatológicas cercanas y dentro de la cuenca Presa Calles, y que algunas de ellas, de acuerdo a su estatus y contenido de registros, se analizaron para el desarrollo del presente estudio.

**FIGURA 13. Estaciones climatológicas para la Cuenca Presa Calles.**



FUENTE: CONAGUA 2016.

En la siguiente tabla se muestran la clave y en nombre de las estaciones hidrométricas que aforan el Río Santiago.

**TABLA 19. Estación hidrométrica en cuenca Presa Calles.**

CLAVE	NOMBRE
12378	Presas Calles 1943-1972, 1974-1985, 2000-2014

FUENTE: CONAGUA 2016.

En la siguiente figura se muestra la ubicación geográfica de la estación hidrométrica 12378.

**FIGURA 14. Ubicación geográfica de la hidrométrica 12378.**



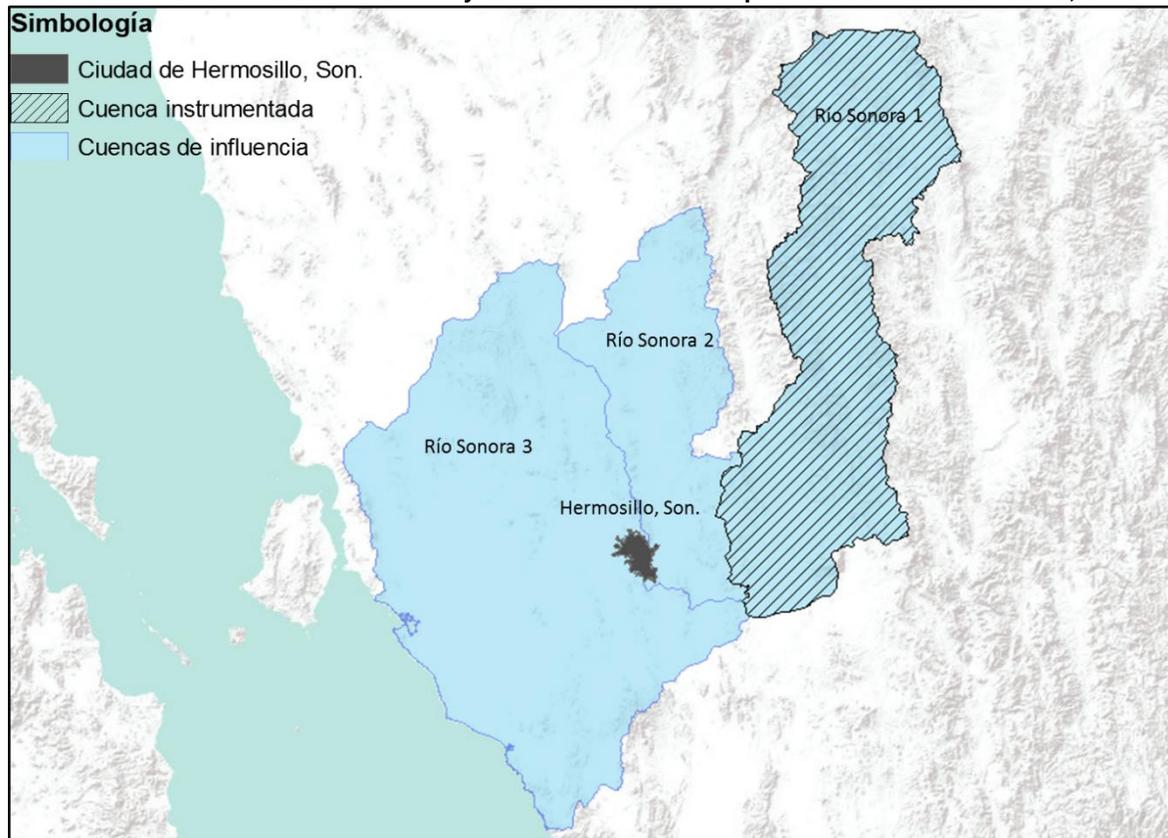
FUENTE: CONAGUA 2016.

### Identificación de las cuencas de influencia.

Como se menciona en el párrafo anterior, este paso en la metodología es con la finalidad de generar los indicadores ex situ, es decir son indicadores que buscan representar la dinámica del territorio que provee de agua superficial a las ciudades que se analizarán.

Con base en la red hidrográfica nacional, las cuencas hidrológicas y los polígonos urbanos de las ciudades seleccionadas, se identificaron aquellas cuencas que tienen una relación hidrográfica con las ciudades, es decir que drenan hacia estas.

**FIGURA 15. Cuencas de influencia y cuenca instrumentada para la ciudad de Hermosillo, Sonora.**



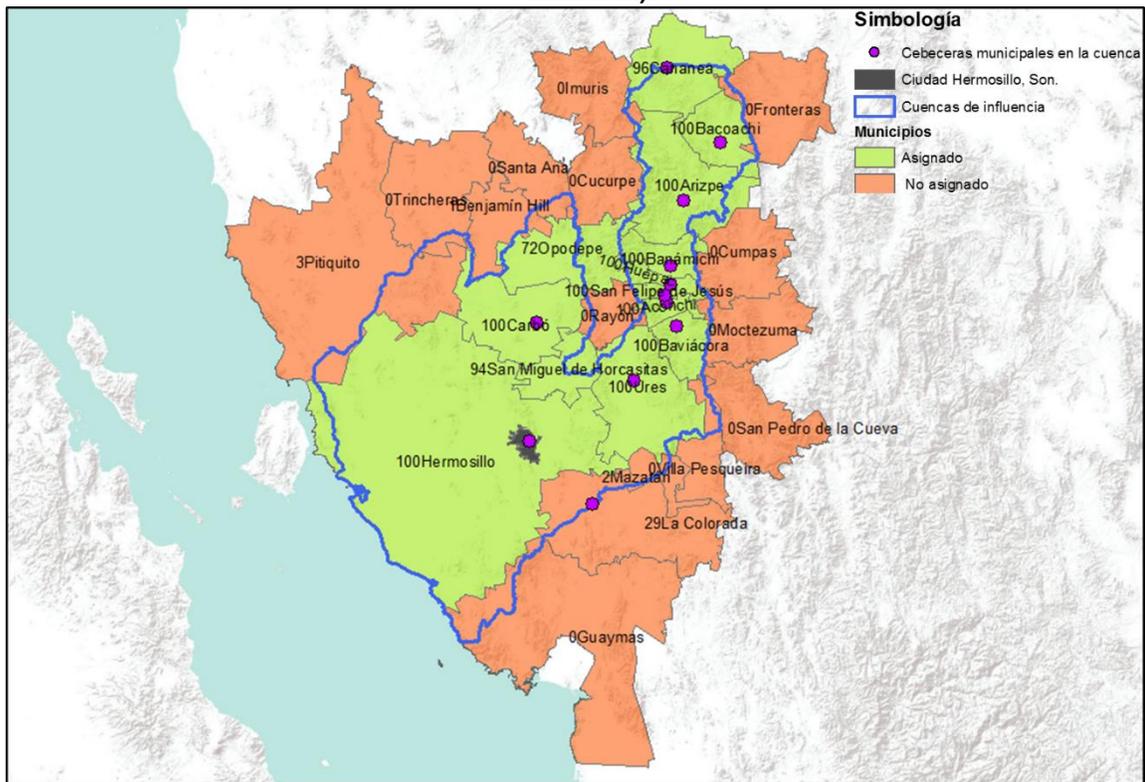
### Asignación de Municipios

Dado que muchas de las variables a utilizar en la construcción de los indicadores están a nivel municipal, el paso siguiente después de la identificación de las cuencas de influencia, es la asignación de municipios a las zonas de influencia, para esto se seleccionaron los municipios que tocan con esta zona de influencia. De estos municipios solo quedaron asignados aquellos que cumplan con al menos dos de los siguientes criterios:

- Que la cabecera municipal este dentro de alguna de las cuencas de influencia.

- Que más del 50% de la superficie del municipio quede dentro de la zona de influencia
- Que más del 50% de la población del municipio este dentro de la zona de influencia

**FIGURA 16. Municipios asignados al área de influencia de la ciudad de Hermosillo, Sonora (los números en las etiquetas corresponden al porcentaje de la población dentro del área de influencia).**



Actividad 3.- Desarrollar una propuesta de indicadores para evaluar la sensibilidad territorial actual a la disminución en la disponibilidad de agua para abastecimiento público urbano y la infraestructura asociada.

### **Crecimiento Poblacional.**

Este indicador tiene el propósito de mostrar el grado de presión sobre el recurso hídrico, con respecto a la demanda actual y futura de la población tanto de las ciudades como de las cuencas que proveen dicho recurso.

Hermosillo

Crecimiento poblacional

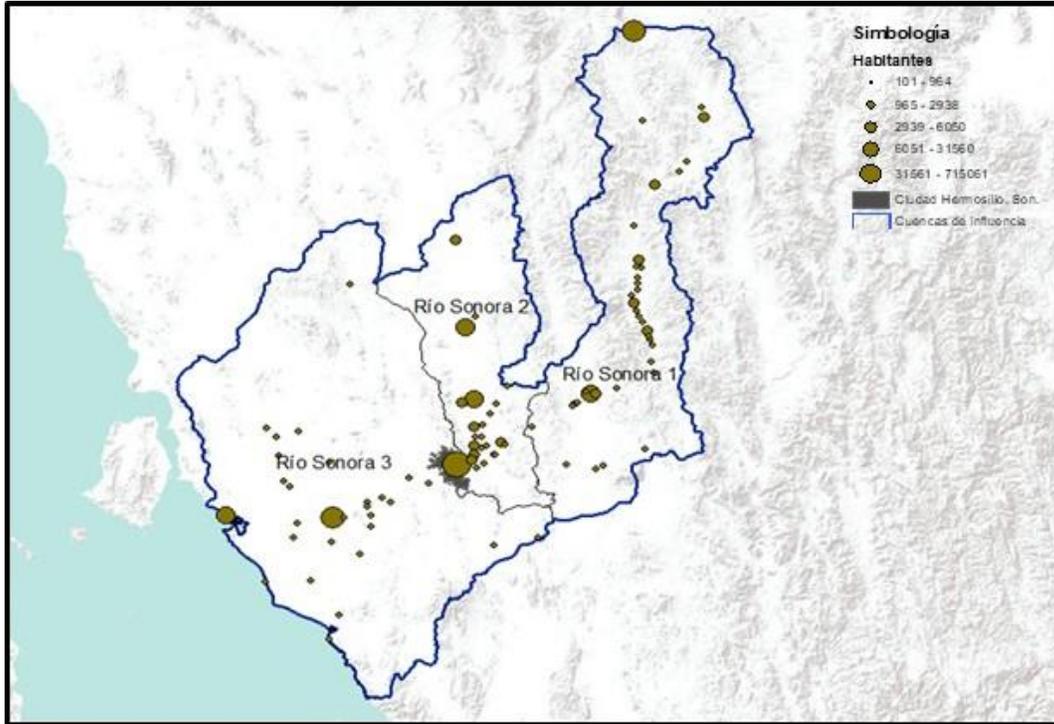
En la siguiente tabla se muestra el crecimiento poblacional de los municipios asignados a la zona de influencia de la ciudad de Hermosillo Sonora.

**TABLA 20. Crecimiento poblacional censado de los municipios asignados.**

<b>NOM_MUN</b>	<b>POB_2000</b>	<b>POB_2010</b>	<b>CREC_POB</b>
<b>Opodepe</b>	2831	2878	47
<b>Huépac</b>	1142	1154	12
<b>Carb<sup>3</sup>/<sub>4</sub></b>	4984	5347	363
<b>Cananea</b>	32061	32936	875
<b>Baviácora</b>	3724	3560	-164
<b>Banámichi</b>	1484	1646	162
<b>Bacoachi</b>	1496	1646	150
<b>Arizpe</b>	3396	3037	-359
<b>Aconchi</b>	2420	2637	217
<b>Ures</b>	9565	9185	-380
<b>San Miguel de Horcasitas</b>	5626	8382	2756
<b>San Felipe de Jesús</b>	416	396	-20
<b>Hermosillo</b>	609829	784342	174513

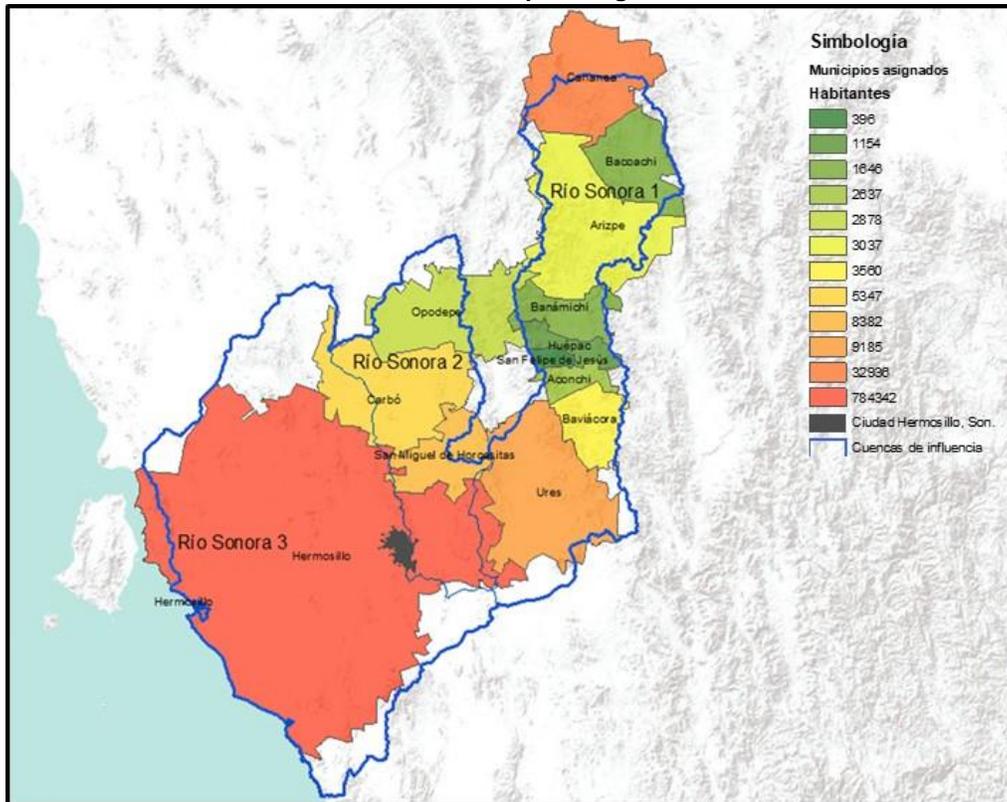
FUENTE: INEGI 2010.

**FIGURA 17. Localidades mayores a cien habitantes dentro de las cuencas de influencia.**



FUENTE: Elaboración propia con información de INEGI 2010.

**FIGURA 18. Población de los municipios asignados a la zona de influencia**

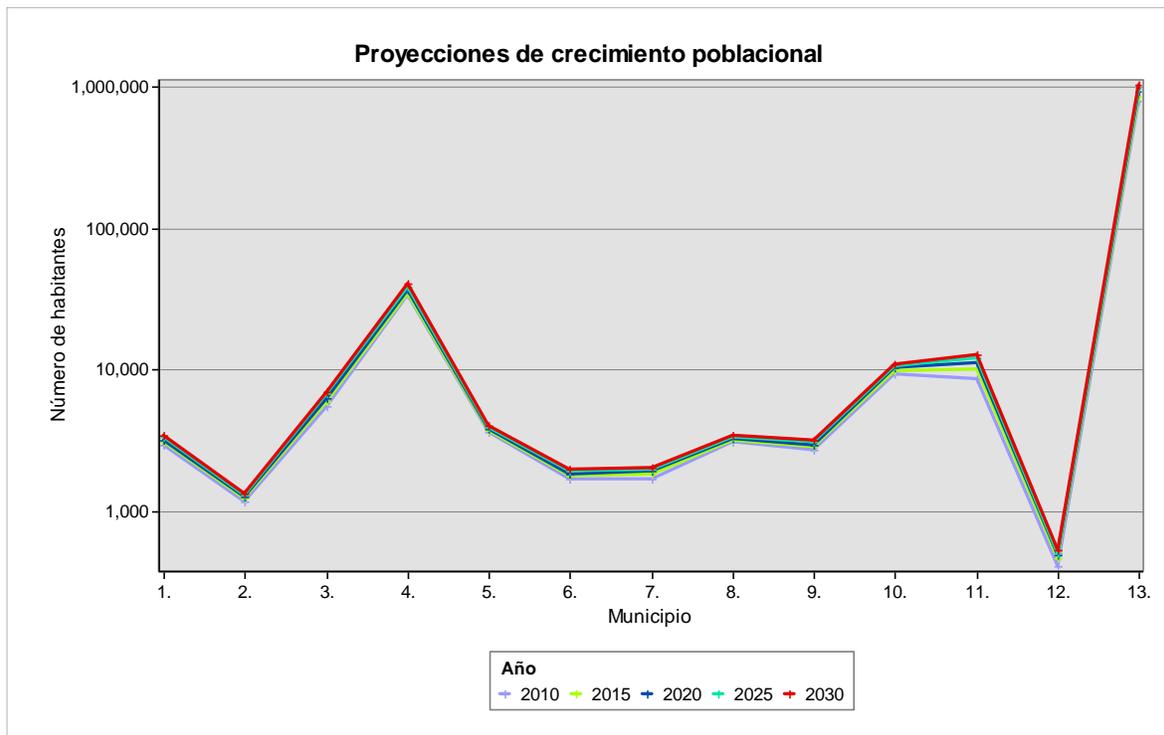


FUENTE: Elaboración propia con información de INEGI, 2010.

**TABLA 21. Crecimiento poblacional proyectado en los municipios asignados.**

ID	Municipio	Proyección 2015	Proyección 2020	Proyección 2025	Proyección 2030
1	Opodepe	3074	3189	3305	3418
2	Huépac	1235	1266	1295	1324
3	Carbó	5963	6362	6719	7044
4	Cananea	34729	36507	38424	40270
5	Baviácora	3709	3797	3898	4003
6	Banámichi	1774	1835	1901	1971
7	Bacoachi	1812	1899	1968	2030
8	Arizpe	3169	3260	3360	3462
9	Aconchi	2823	2939	3049	3151
10	Ures	9880	10239	10542	10799
11	San Miguel de Horcasitas	10212	11239	12079	12824
12	San Felipe de Jes-s	461	485	506	530
13	Hermosillo	870096	930669	985811	1036472

FUENTE: CONAPO 2016.



## **Capacidad instalada de almacenamiento.**

Las presas de almacenamiento y las obras de cabeza que existen en nuestro país, contribuyen al mejor aprovechamiento del agua, especialmente en donde es escasa, (CONAGUA Diagnóstico del Programa K111, 2014), para el abastecimiento de agua potable generalmente elevan la oferta y garantizan el abastecimiento a lo largo del año.

En general la vida útil de una presa se considera alrededor de los 50 años, considerando que la seguridad de las presas está directamente ligada al mantenimiento, rehabilitación normal y emergente, a su revisión y modernización de sus estructuras, diseño y operación de acuerdo a las condiciones actuales (CONAGUA Diagnóstico del Programa K111, 2014).

Para asegurar su operación y seguridad la CONAGUA invierte grandes recursos en: Monitoreo electromecánico de presas y estructuras de cabeza, que considera la revisión periódica de sistemas mecánicos, eléctricos y electromecánicos a fin de dar seguimiento al comportamiento de los equipos y determinar las necesidades de rehabilitación, así como establecer programas de conservación permanente de la obra civil que eviten daños mayores y pongan en riesgo tanto la eficiencia del servicio como la seguridad misma de las obras. Las labores de revisión y actualización de su diseño, seguridad y operación (CONAGUA Diagnóstico del Programa K111, 2014).

Actualmente, ha cobrado mayor importancia para el abastecimiento de agua potable, la construcción de obras de toma directamente de ríos perennes, que garanticen por su caudal, un flujo continuo a lo largo del año que cubra la demanda de las poblaciones.

La inversión de estas obras comparadas con las presas son considerablemente menores y el tiempo de su ejecución y puesta en funcionamiento también es menor que en las presas.

Además por la naturaleza y los objetivos del presente estudio, es necesario que la cuenca donde se localice una presa que sea una fuente de abastecimiento de agua potable a una ciudad objetivo.

Por lo anterior, de las cuencas analizadas en el presente estudio, solo en tres de ellas, parte de la fuente de abastecimiento de agua potable, se realiza haciendo uso del agua almacenada en una presa, estas son las ciudades Hermosillo, Álamos y Aguascalientes.

## Ciudad de Hermosillo.

### Presa Abelardo Rodríguez Lujan

<b>Año de construcción</b>	<b>1948</b>
<b>Ubicación</b>	En el Municipio de Sonora; latitud 29.07183 longitud 110.919
<b>Tipo</b>	Enrocamiento
<b>Altura de la cortina</b>	36 metros
<b>Propósito</b>	Almacenamiento y Control de Avenidas
<b>Usos del agua</b>	Agua Potable
<b>Volumen del NAME</b>	284.5 hm <sup>3</sup>
<b>Volumen del NAMO</b>	219.5 hm <sup>3</sup>

En la siguiente figura se muestra la localización geográfica de la Presa Abelardo Rodríguez Lujan y algunas fotos de ella.

**FIGURA 19. Presa Abelardo Rodríguez Lujan**



FUENTE: Elaboración propia con apoyo de CONAGUA y Google Earth

## Ciudad de Álamos.

### Presa Adolfo Ruiz Cortines

<b>Año de construcción</b>	<b>1955</b>
<b>Ubicación</b>	En el Municipio de Álamos latitud 27.2256 longitud 109.107
<b>Tipo</b>	Enrocamiento
<b>Altura de la cortina</b>	88.5 metros
<b>Propósito</b>	Almacenamiento y Control de Avenidas
<b>Usos del agua</b>	Agua Potable, Riego y Generación de Energía Eléctrica
<b>Volumen del NAME</b>	1,822.55 hm <sup>3</sup>
<b>Volumen del NAMO</b>	950.3 hm <sup>3</sup>
<b>Observaciones</b>	De 1989-1991 se efectuó la sobreelevación de 4.5 m en cortina y se modificó el vertedor con una sección intermedia controlada. La cresta se elevó 5.23 m.

En la siguiente figura se muestra la localización geográfica de la Presa Adolfo Ruíz Cortines y algunas fotos de ella.

**FIGURA 20. Presa Adolfo Ruiz Cortines**



FUENTE: Elaboración propia con apoyo de CONAGUA y Google Earth

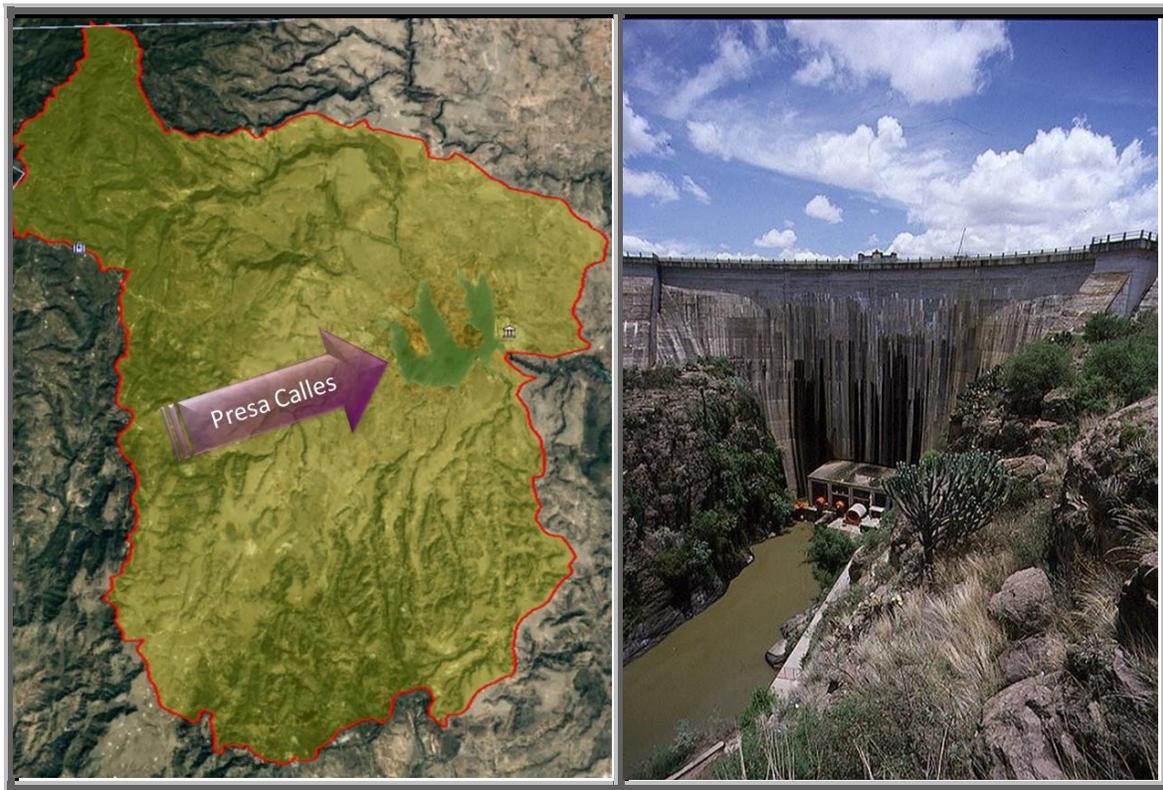
## Ciudad de Aguascalientes.

### Presa Plutarco Elías Calles.

<b>Año de construcción</b>	<b>1931</b>
<b>Ubicación</b>	En el Municipio de San José de García latitud 22.14 longitud 102.41
<b>Tipo</b>	Rígida de Arco Bóveda (Concreto)
<b>Altura de la cortina</b>	67 metros
<b>Propósito</b>	Almacenamiento y Control de Avenidas
<b>Usos del agua</b>	Riego, Infiltración, Recreativo y se proyecta para Agua Potable
<b>Volumen del NAME</b>	391 hm <sup>3</sup>
<b>Volumen del NAMO</b>	340 hm <sup>3</sup>
<b>Observaciones</b>	En el año de 1993 se trabajó en el sellado de fisuras del paramento de aguas arriba.

En la siguiente figura se muestra la localización geográfica de la Presa Plutarco Elías Calles y una foto de ella.

**FIGURA 21. Presa Plutarco Elías Calles**



FUENTE: Elaboración propia con apoyo de CONAGUA y Google Earth

## Umbral de alteración hidrológica.

### Marco teórico

Son varias las variables que definen el clima de una zona del planeta tierra, como lo son, entre ellas está la temperatura, este variable tiene un comportamiento a lo largo del año para cada zona definiendo junto con las otras variables un clima.

Así como existe una relación directa que a mayor elevación mayor precipitación, se puede decir que el aumento de la temperatura, modifica el comportamiento de la precipitación en dicha zona que presenta esta elevación.

La cobertura vegetal juega un papel importante en el comportamiento de la temperatura y con ello, también con la precipitación.

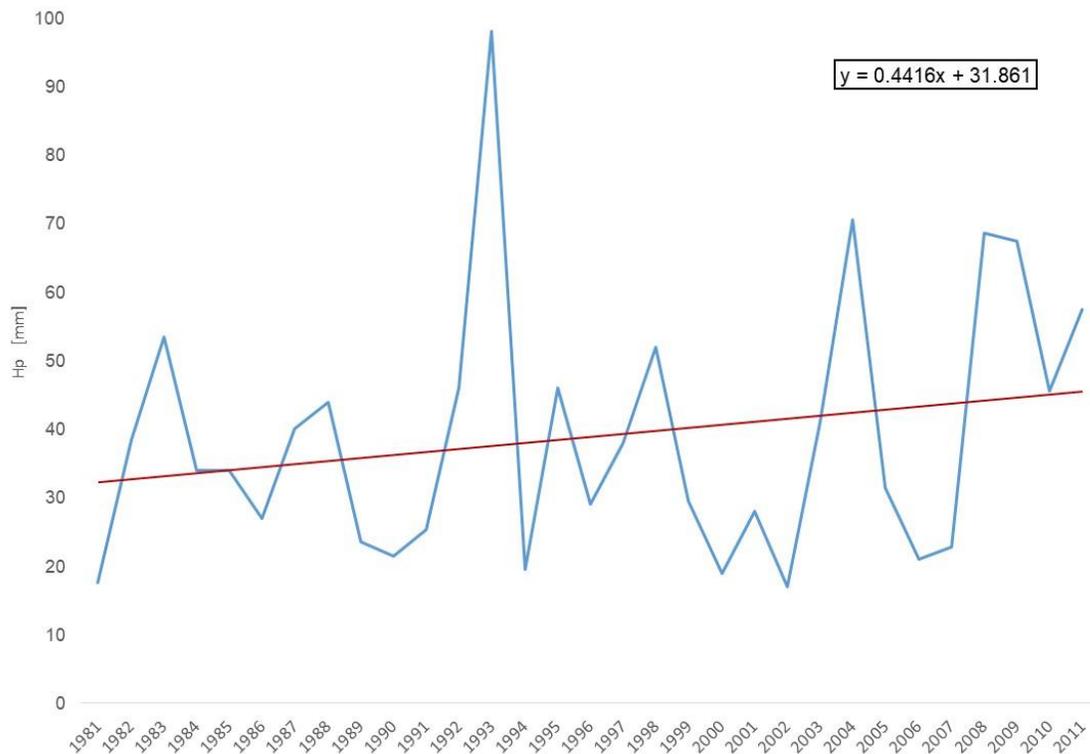
### Ensenada

#### Cuenca Media Alta

En la cuenca del río San Carlos se cuenta con estaciones climatológicas en la cuenca media alta, media y baja, que nos permiten conocer el comportamiento de las variables precipitación y temperatura a lo largo del periodo de registro.

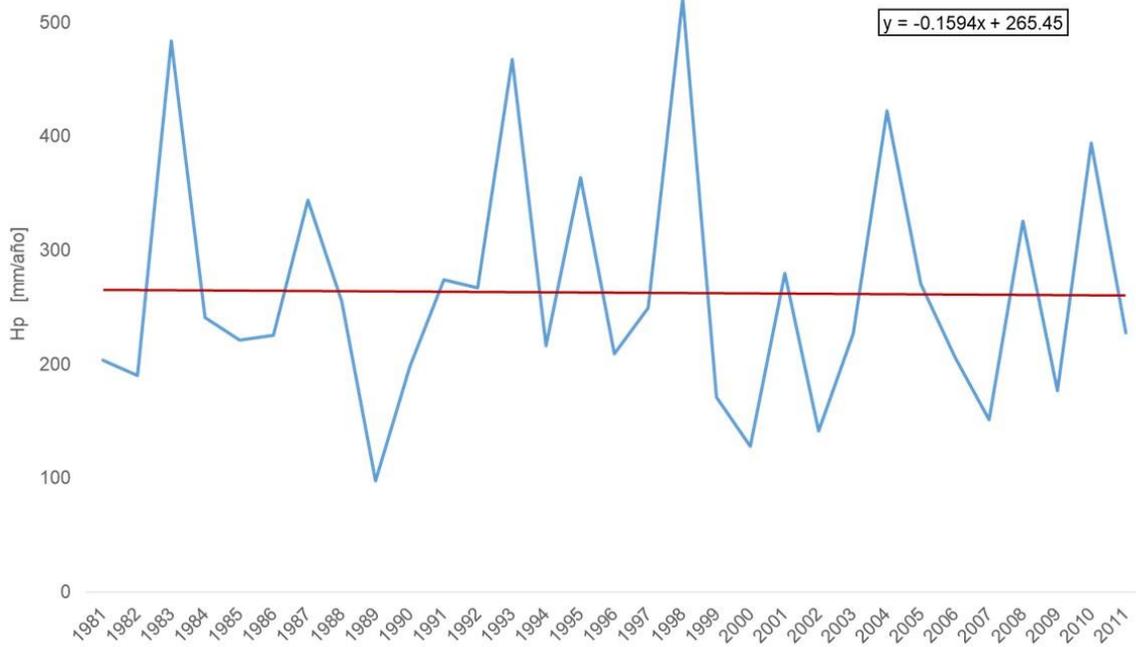
Cuenca alta se asocia con la estación climatológica 2079 El Alamar (1981-2011)

**GRAFICA 1. Precipitación máxima en 24 hrs, estación 2079**



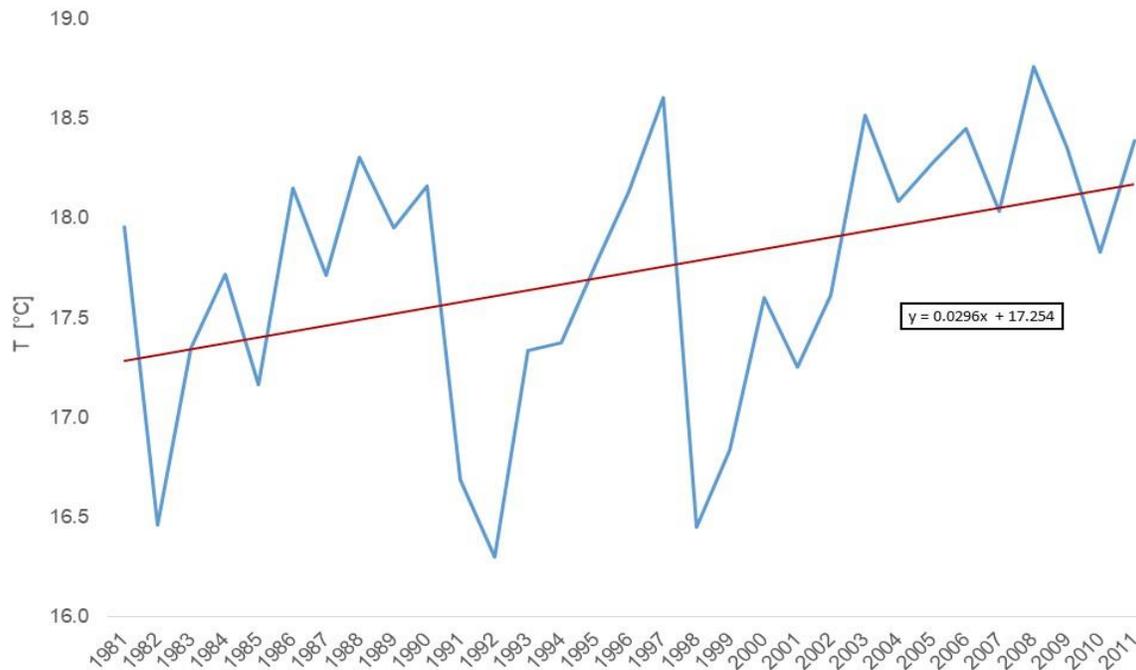
FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 2. Precipitación anual, estación 2079**



FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 3. Temperatura media anual, estación 2079**

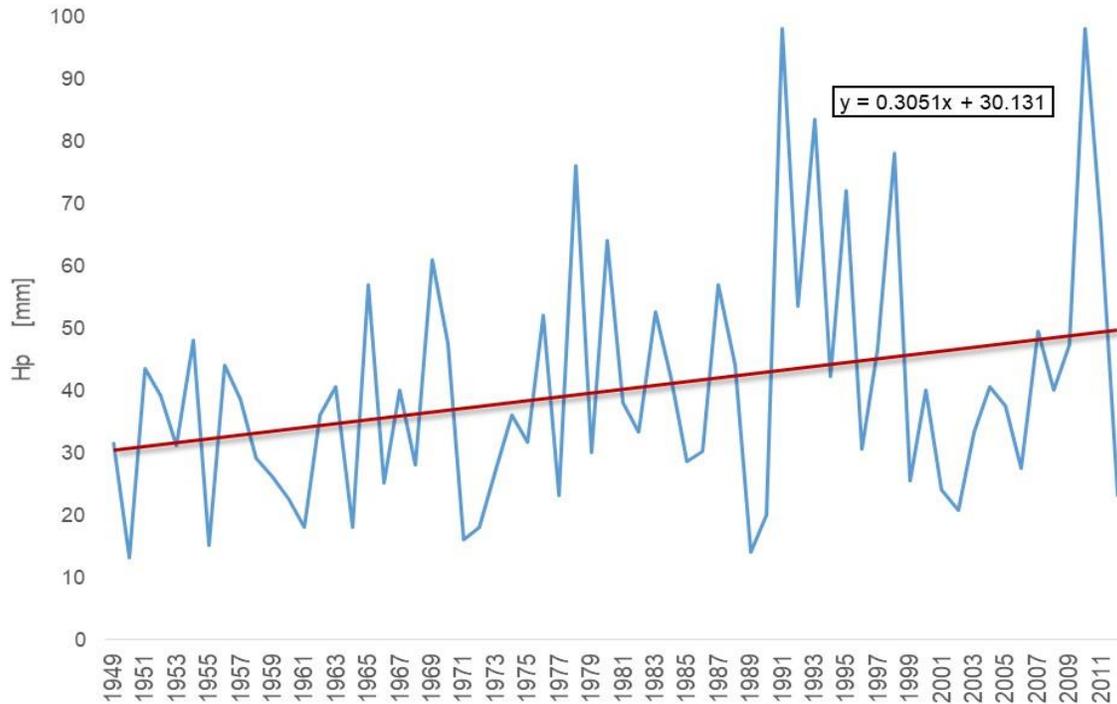


FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

Cuenca Media

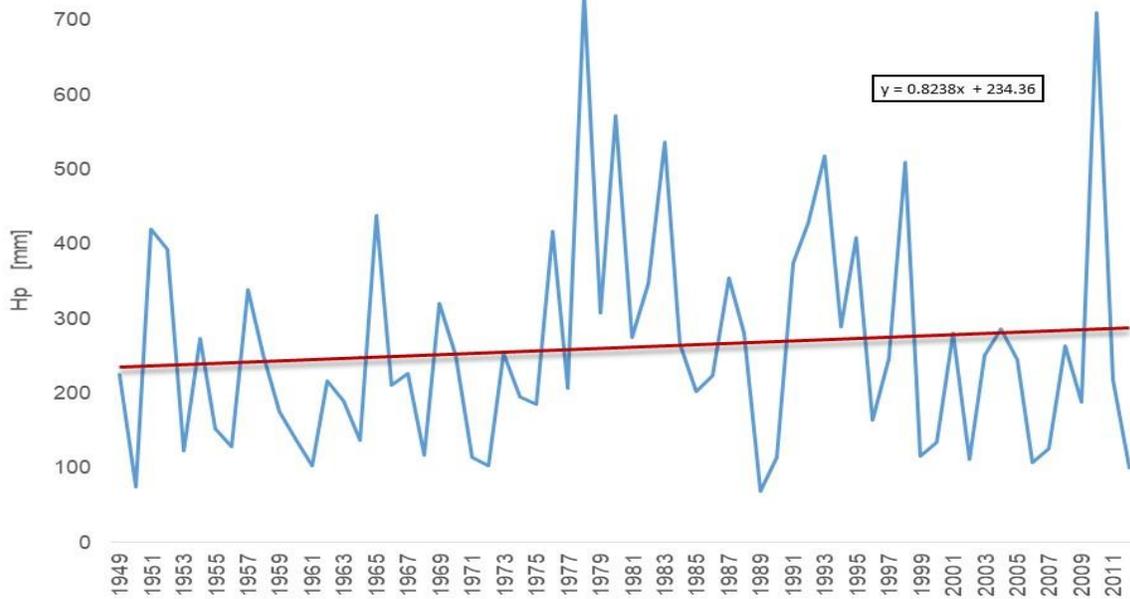
Cuenca alta se asocia con la estación climatológica 2065 Santo Tomás (1949-2012)

**GRAFICA 4. Precipitación máxima en 24 hrs, estación 2065**



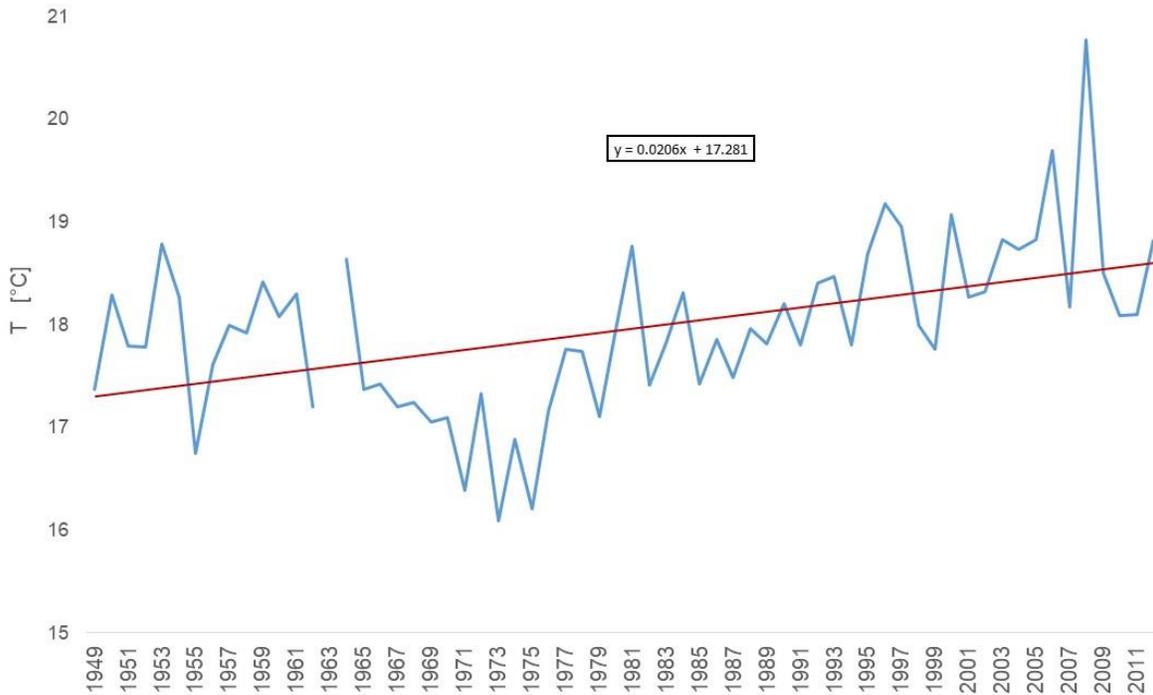
FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 5. Precipitación anual, estación 2065**



FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 6. Temperatura media anual, estación 2065**

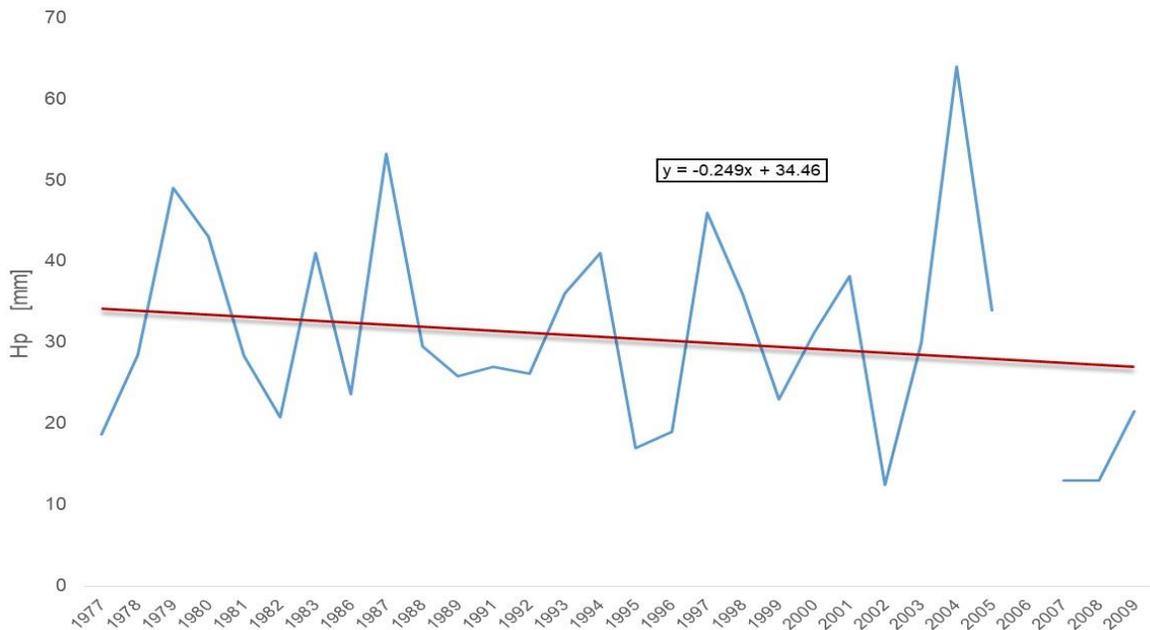


FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**Cuenca Baja**

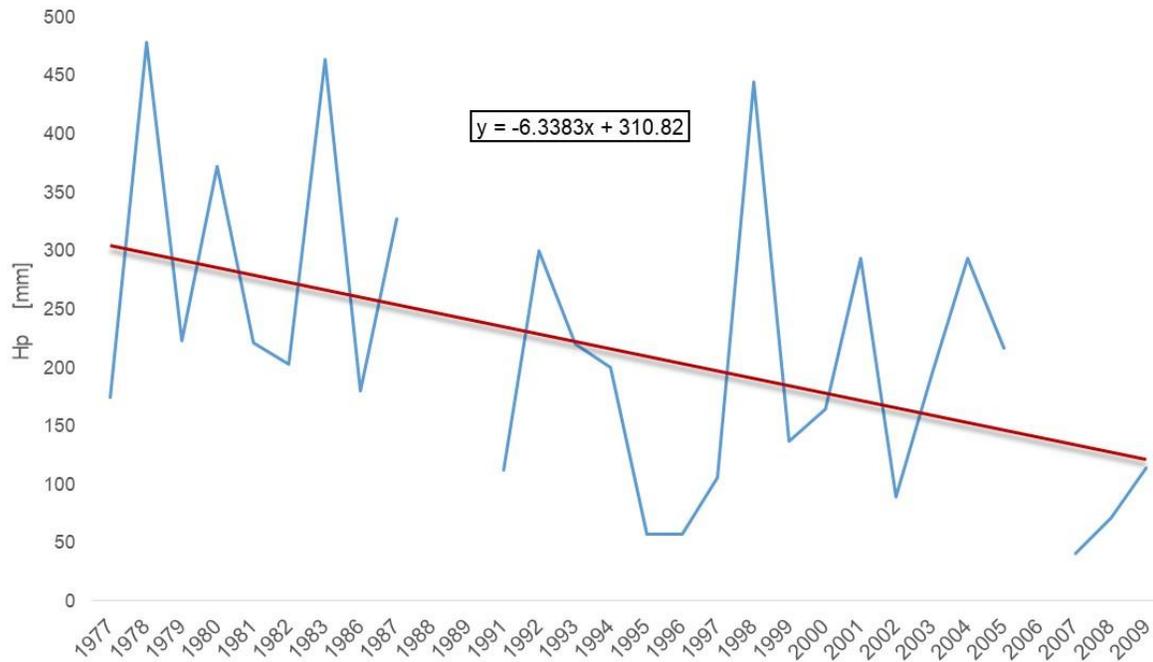
Cuenca alta se asocia con la estación climatológica 2104 Ciprés (1977-2009)

**GRAFICA 7. Precipitación máxima en 24 hrs, estación 2104**



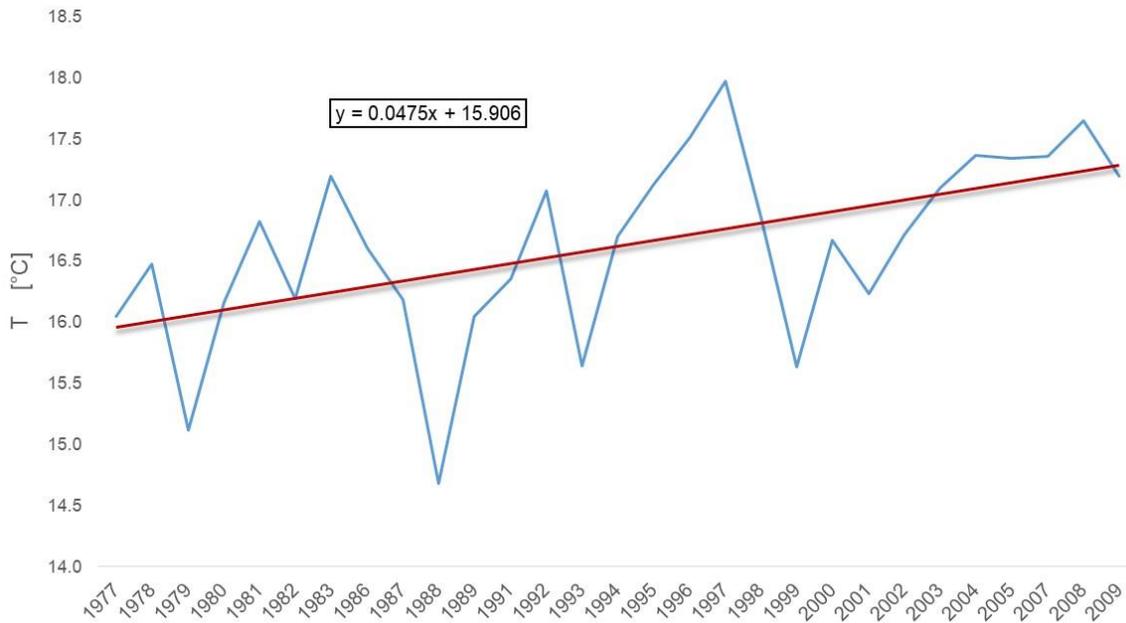
FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 8. Precipitación anual, estación 2104**



FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

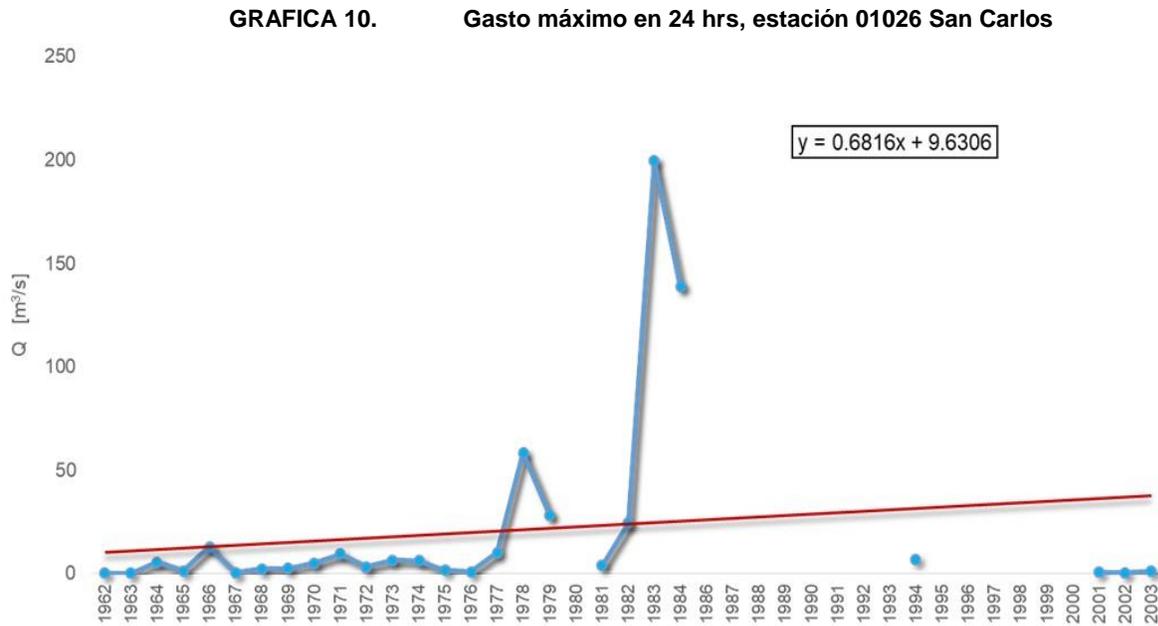
**GRAFICA 9. Temperatura media anual, estación 2104**



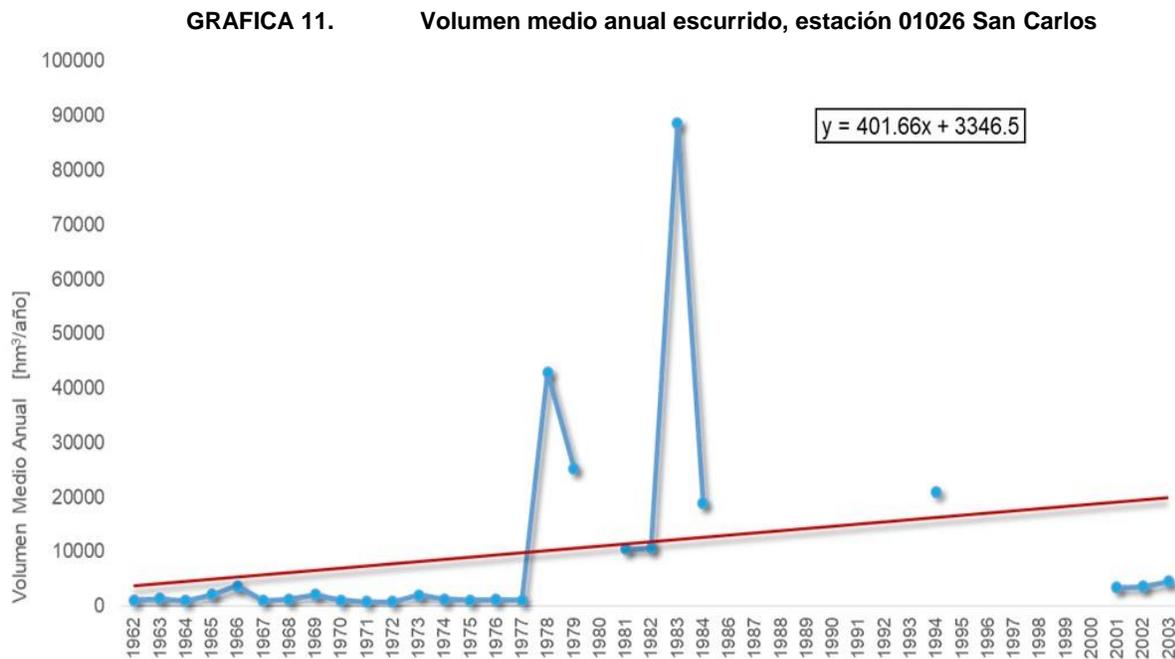
FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

### Hidrometría en San Carlos

La cuenca San Carlos esta aforada por la estación hidrométrica “01026 San Carlos”, en la siguiente figura se muestra la localización de la estación hidrométrica.



FUENTE: Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (CONAGUA 2016).



FUENTE: Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (CONAGUA 2016).

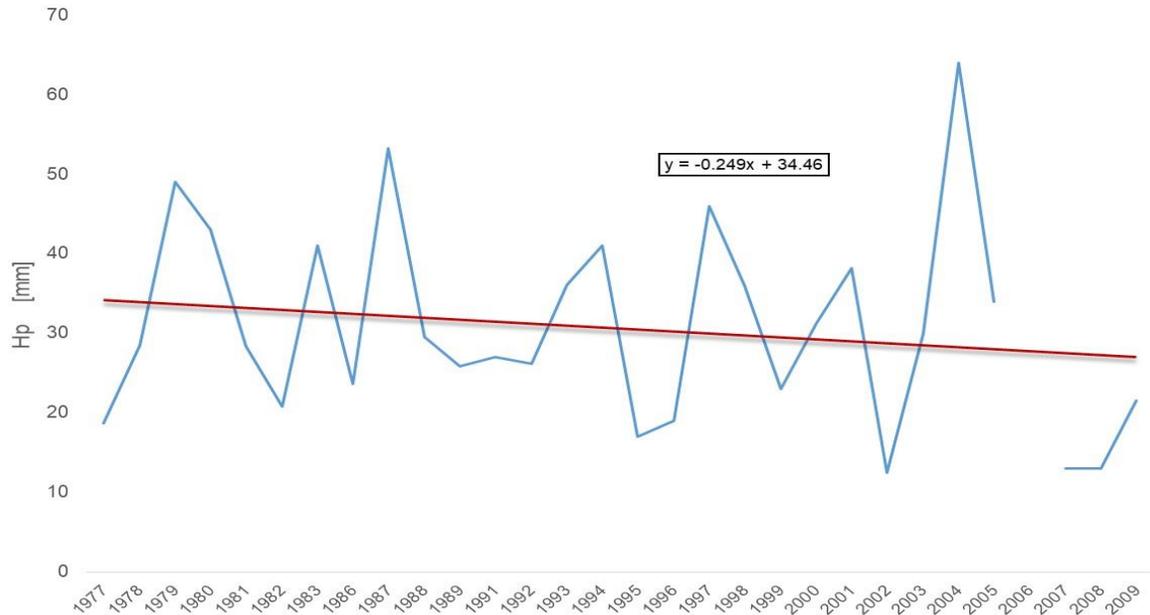
## Hermosillo

### Cuenca Alta

En la cuenca del río Sonora se cuenta con estaciones climatológicas en la cuenca media alta, media y baja, que nos permiten conocer el comportamiento de las variables precipitación y temperatura a lo largo del periodo de registro.

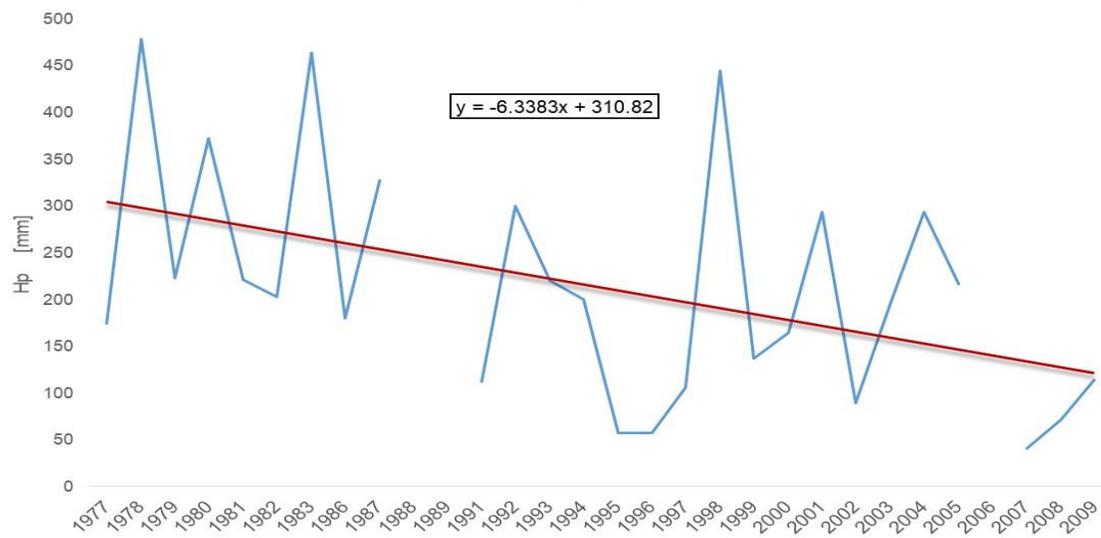
Cuenca alta se asocia con la estación climatológica 26007 Bacanuchi (1964-2015)

**GRAFICA 12. Precipitación máxima en 24 hrs, estación 26007**



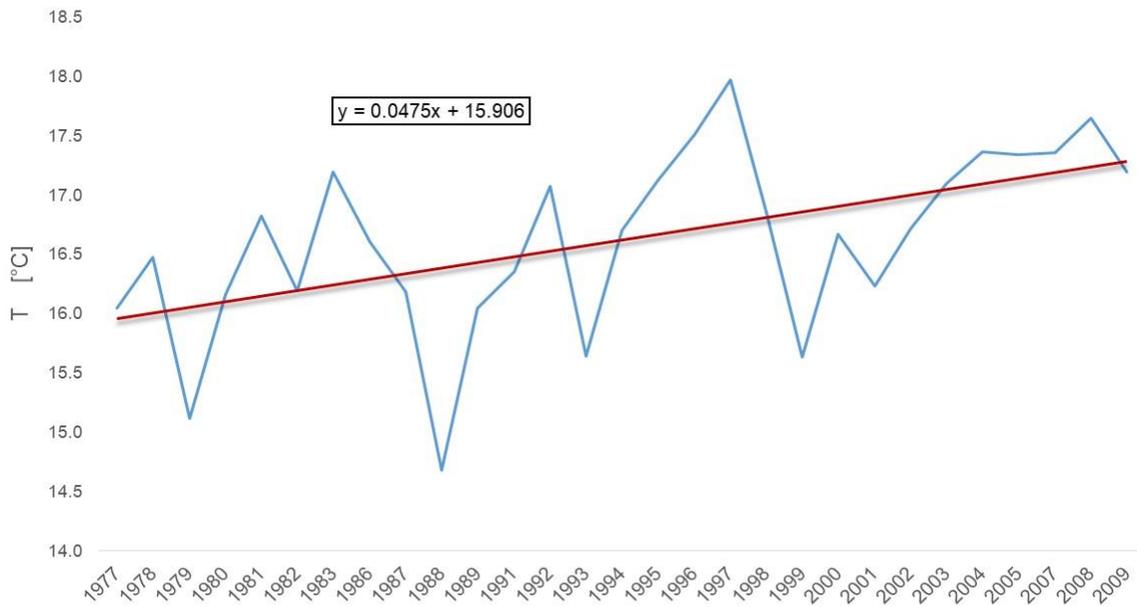
FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 13. Precipitación anual, estación 26007.**



FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 14. Temperatura media anual, estación 26007.**

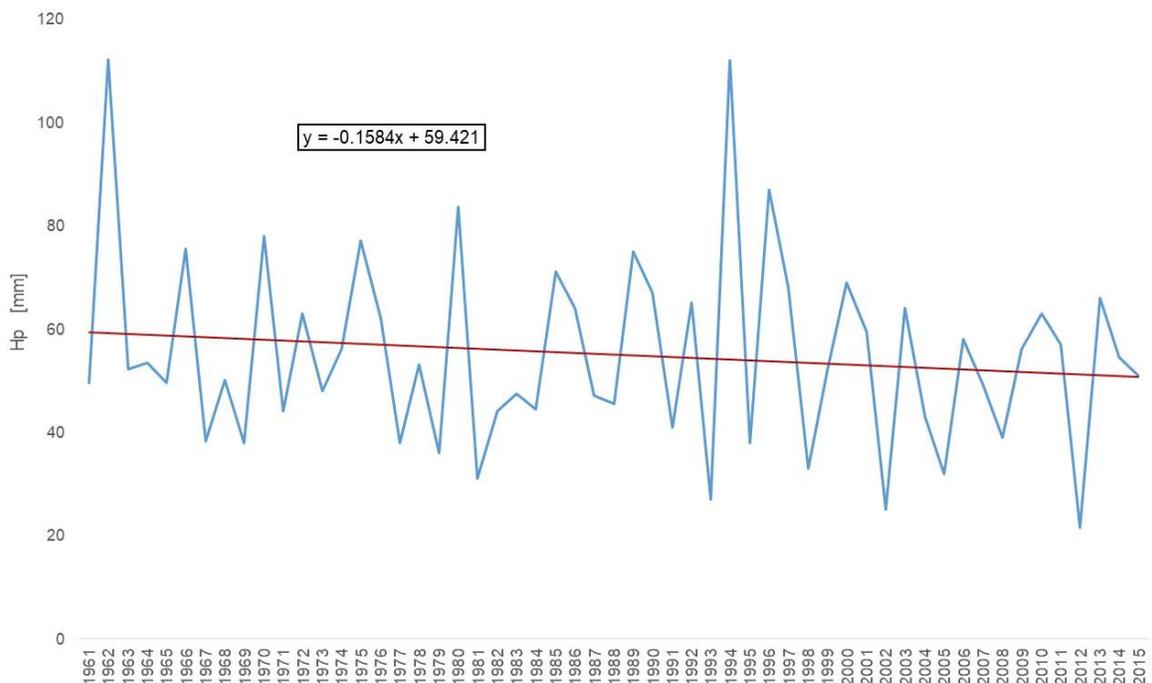


FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

### Cuenca Media Alta

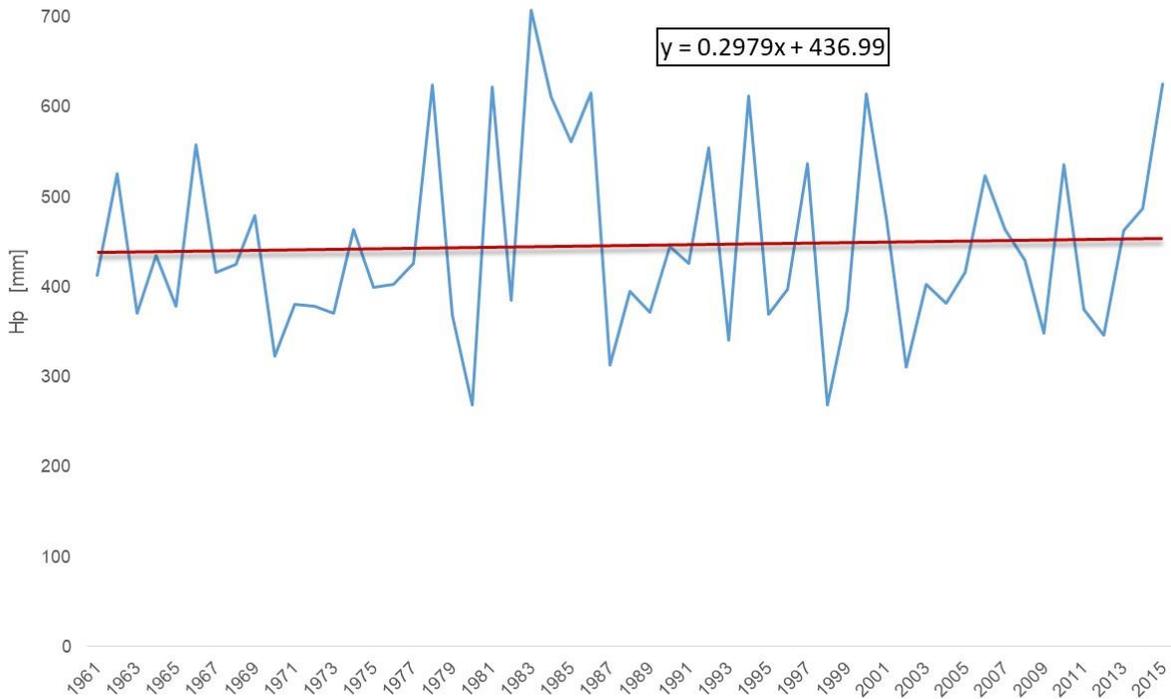
Cuenca media alta se asocia con la estación climatológica 26008 Banamichi (1961-2015)

**GRAFICA 15. Precipitación máxima en 24 hrs, estación 26008.**



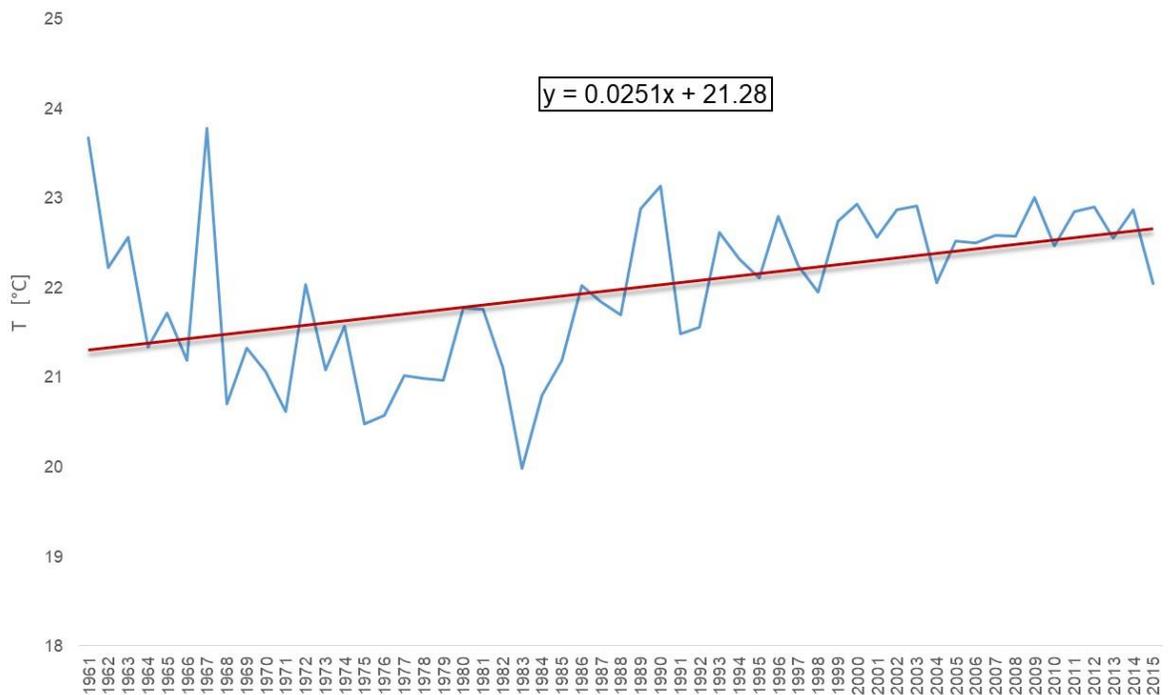
FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 16. Precipitación anual, estación 26008.**



FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

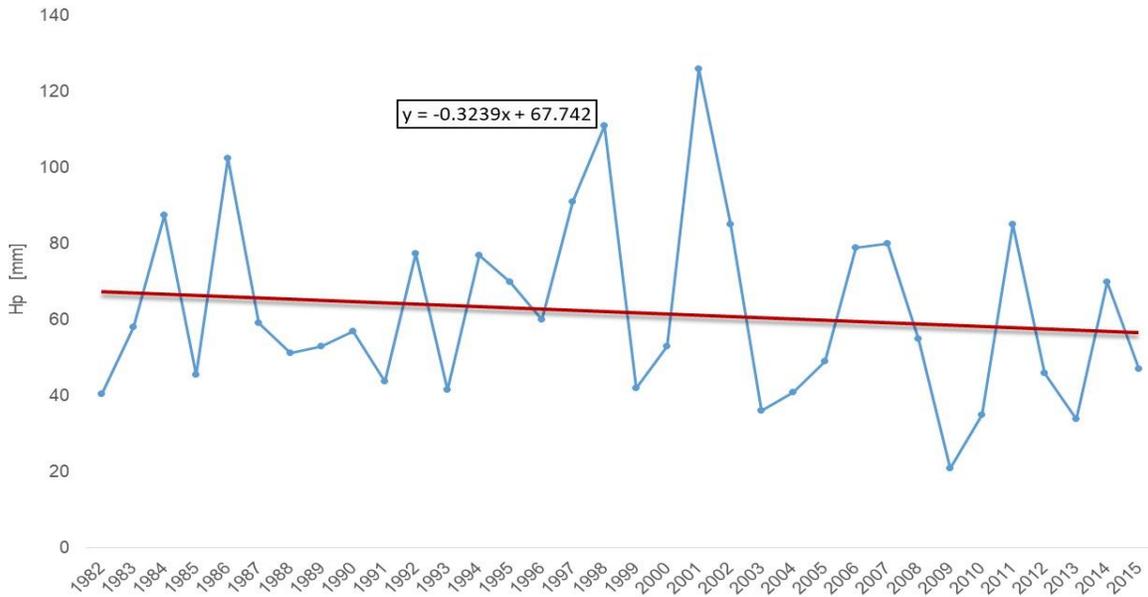
**GRAFICA 17. Temperatura media anual, estación 26008.**



FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

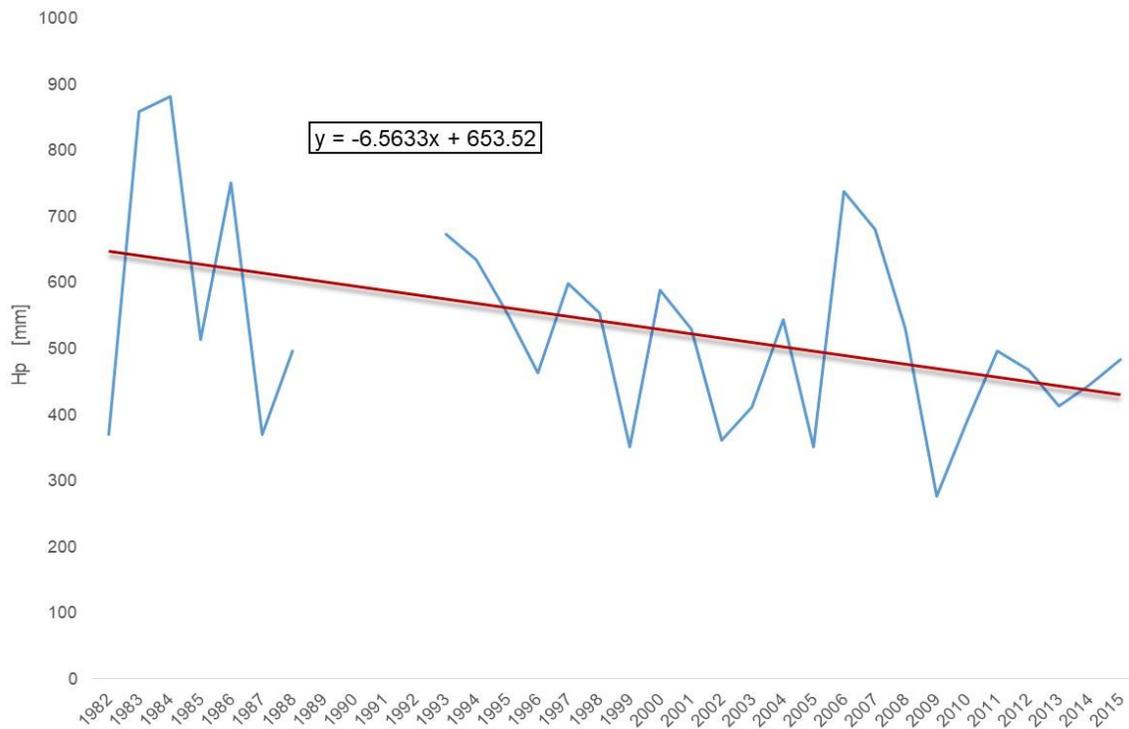
Cuenca media alta se asocia con la estación climatológica 26198 Mazocauí (1982-2015)

**GRAFICA 18. Precipitación máxima en 24 hrs, estación 26198.**



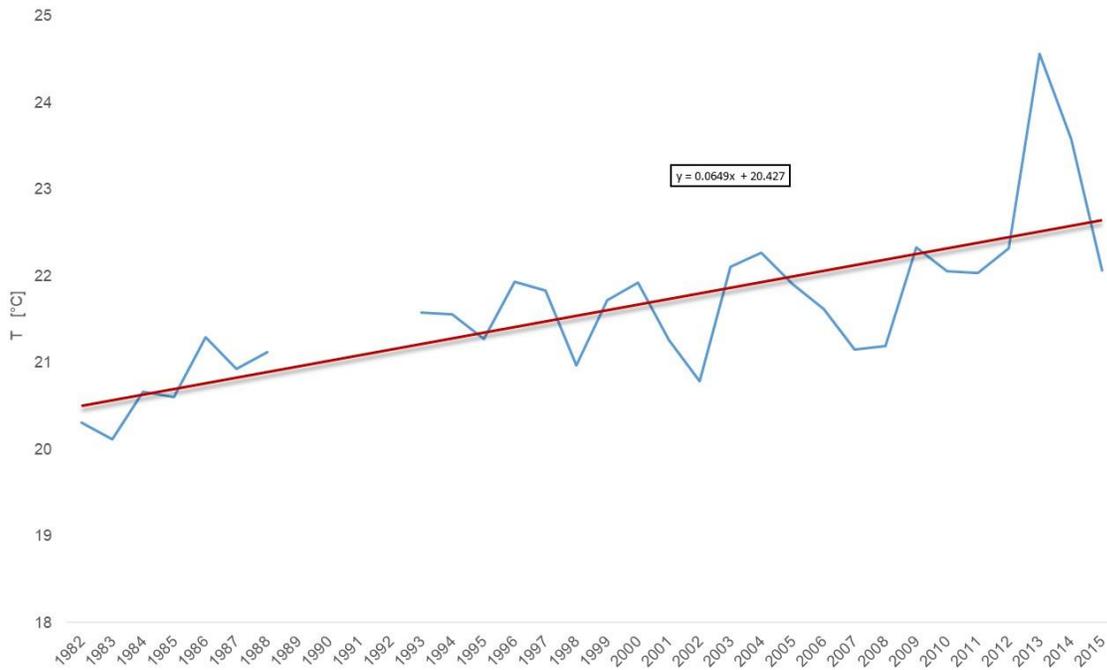
FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 19. Precipitación anual, estación 26198.**



FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 20. Temperatura media anual, estación 26198.**

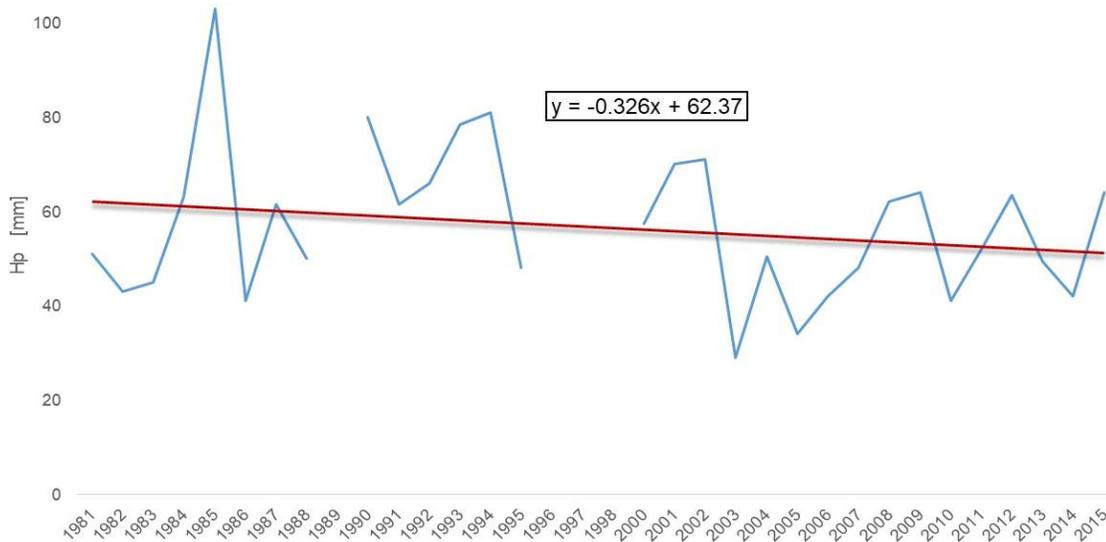


FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

Cuenca Media Baja

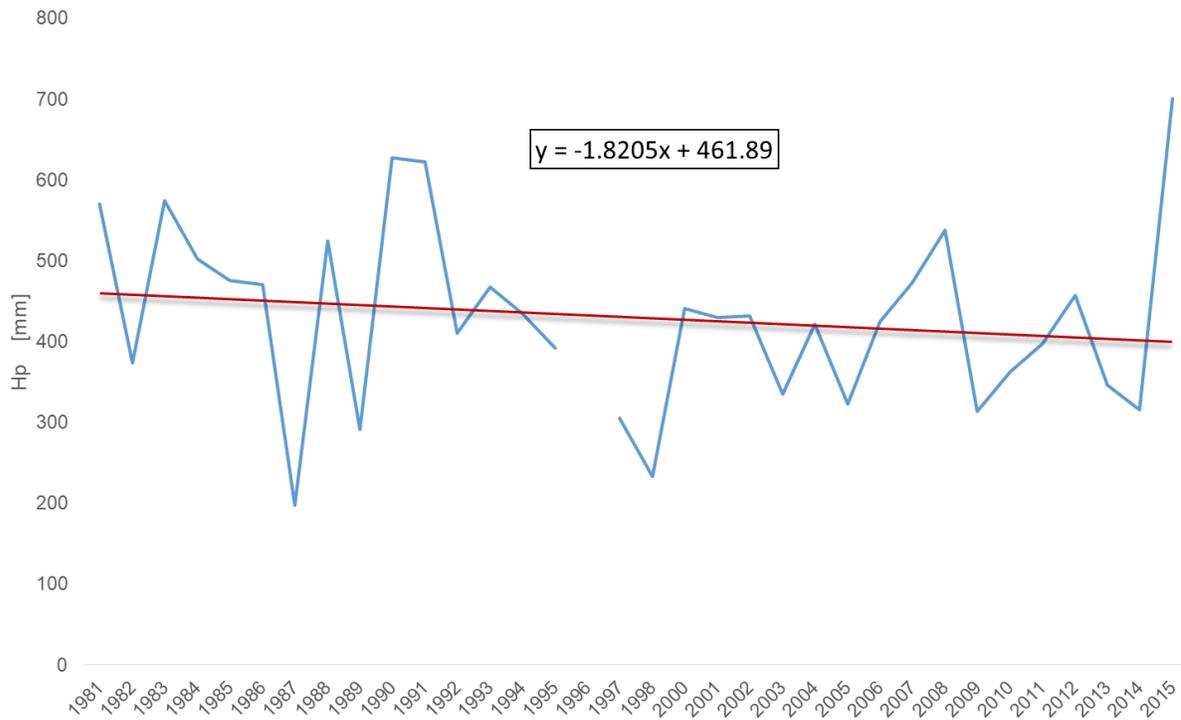
Cuenca media baja se asocia con la estación climatológica 26244 Rancho Viejo (1981-2015)

**GRAFICA 21. Precipitación máxima en 24 hrs, estación 26244**



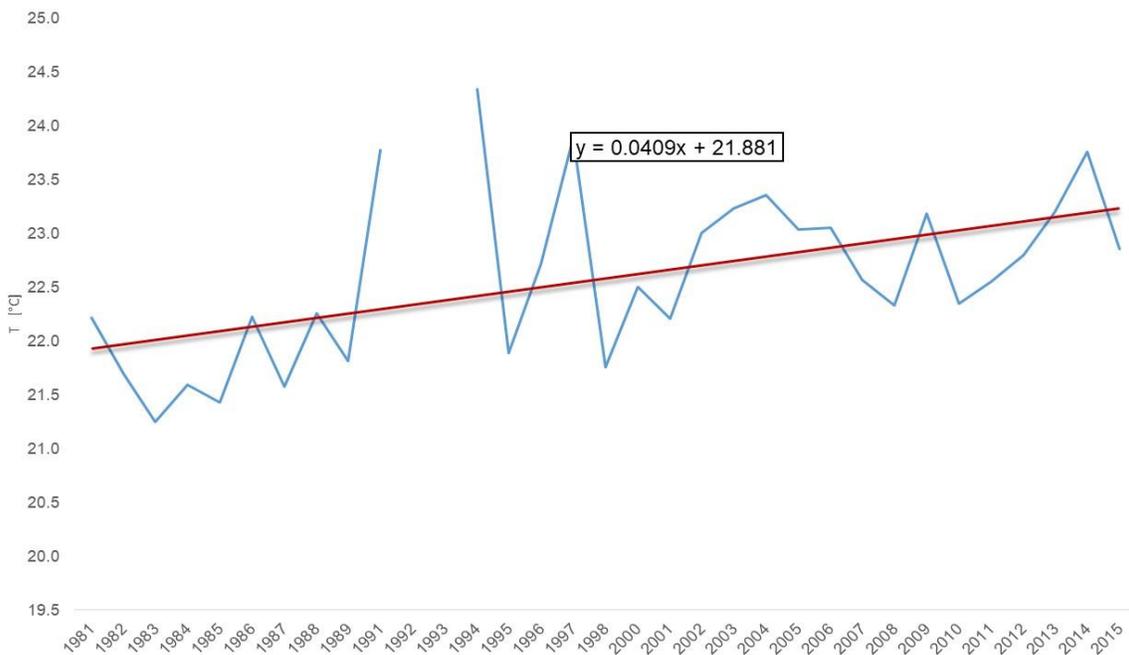
FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 22. Precipitación anual, estación 26244**



FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 23. Temperatura media anual, estación 2104**

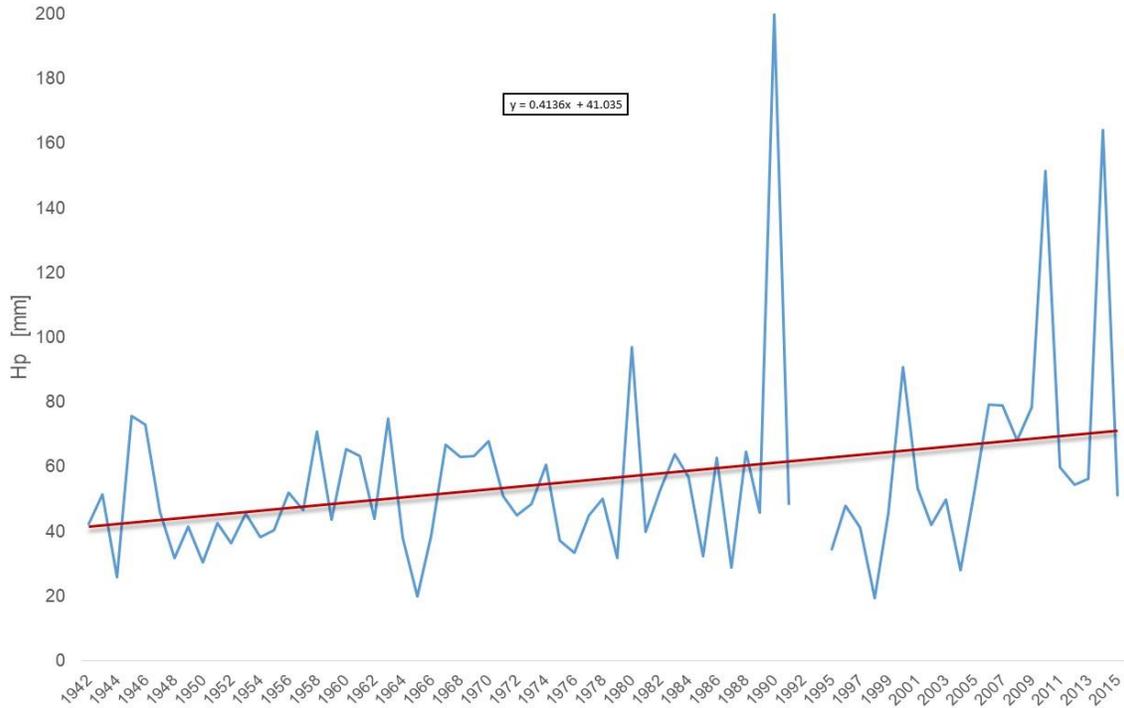


FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**Cuenca Baja**

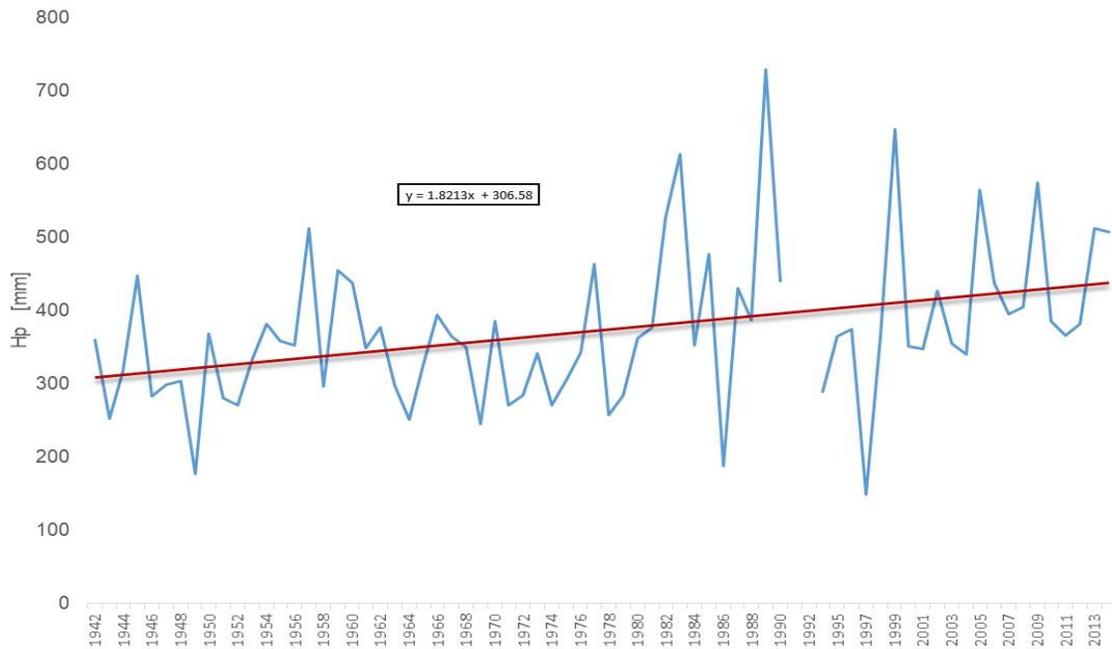
Cuenca baja se asocia con la estación climatológica 26032 El Orégano (1942-2015)

**GRAFICA 24. Precipitación máxima en 24 hrs, estación 26032.**



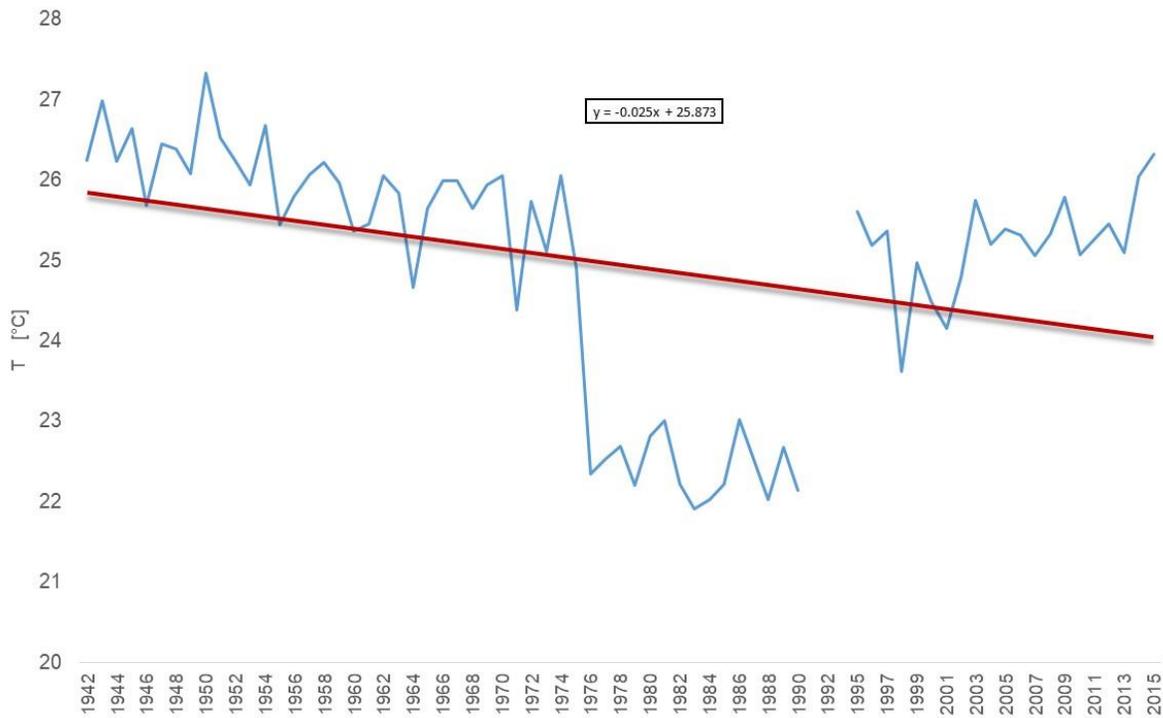
FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 25. Precipitación anual, estación 26032**



FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 26. Temperatura media anual, estación 26032.**

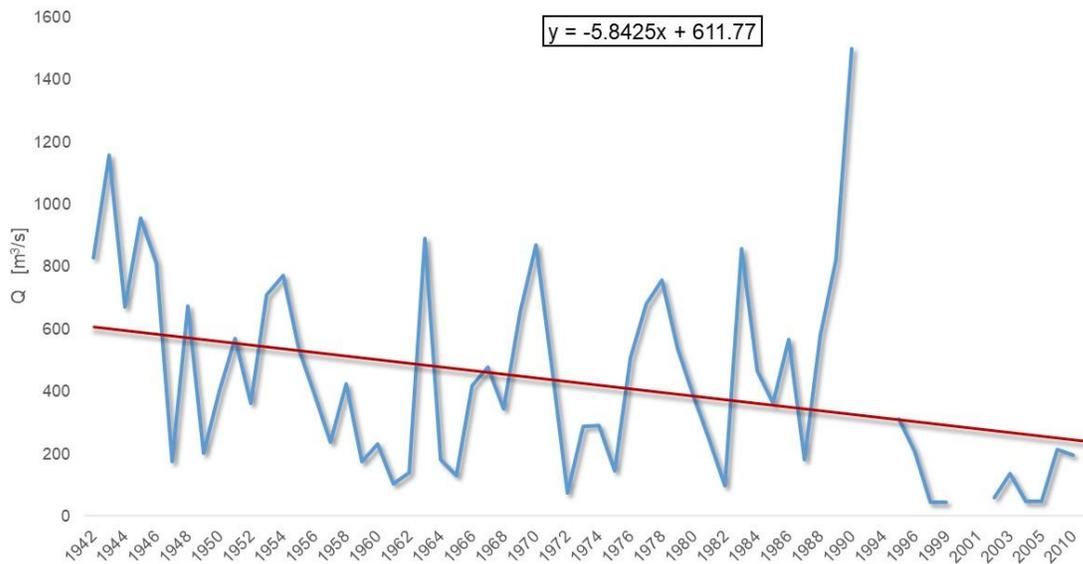


FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

Hidrometría en Río Sonora.

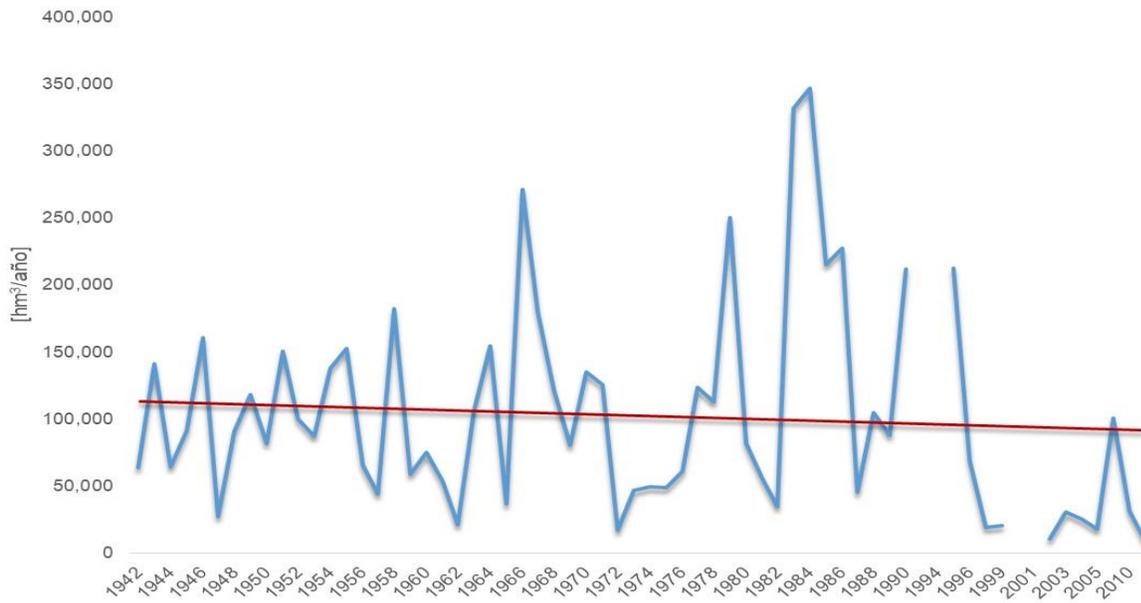
La cuenca del río Sonora esta aforada por la estación hidrométrica “09017 El Orégano”,

**GRAFICA 27. Gasto máximo en 24 hrs, estación 09017 El Orégano.**



FUENTE: Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (CONAGUA 2016).

**GRAFICA 28. Volumen medio anual escurrido, estación 09017 El Orégano.**



FUENTE: Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (CONAGUA 2016).

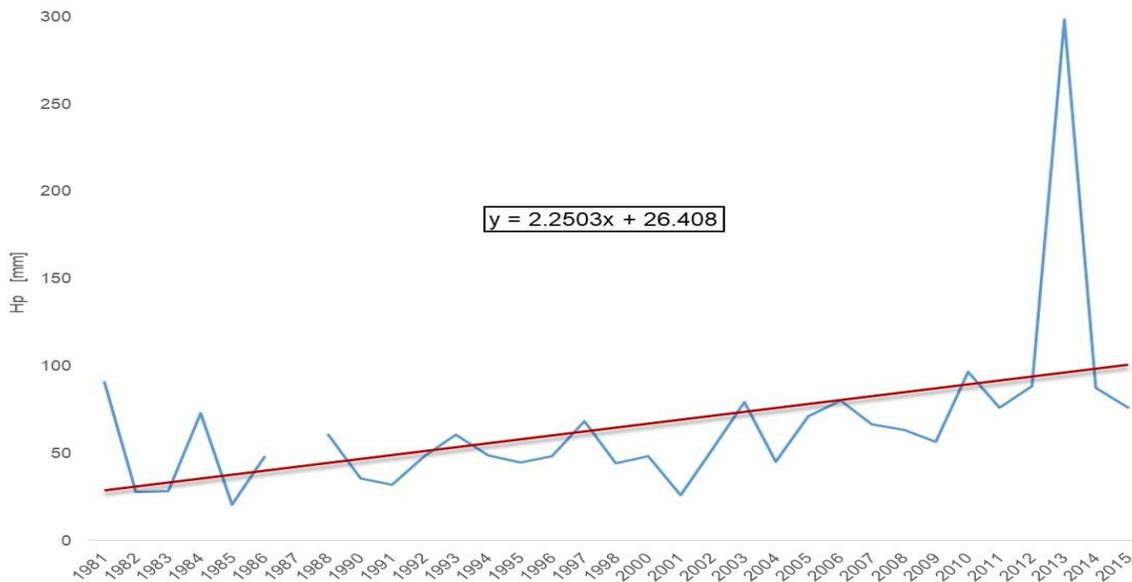
## Acapulco

### Cuenca Alta

En la cuenca del río Papagayo se cuenta con estaciones climatológicas en la cuenca media alta, media y baja, que nos permiten conocer el comportamiento de las variables precipitación y temperatura a lo largo del periodo de registro.

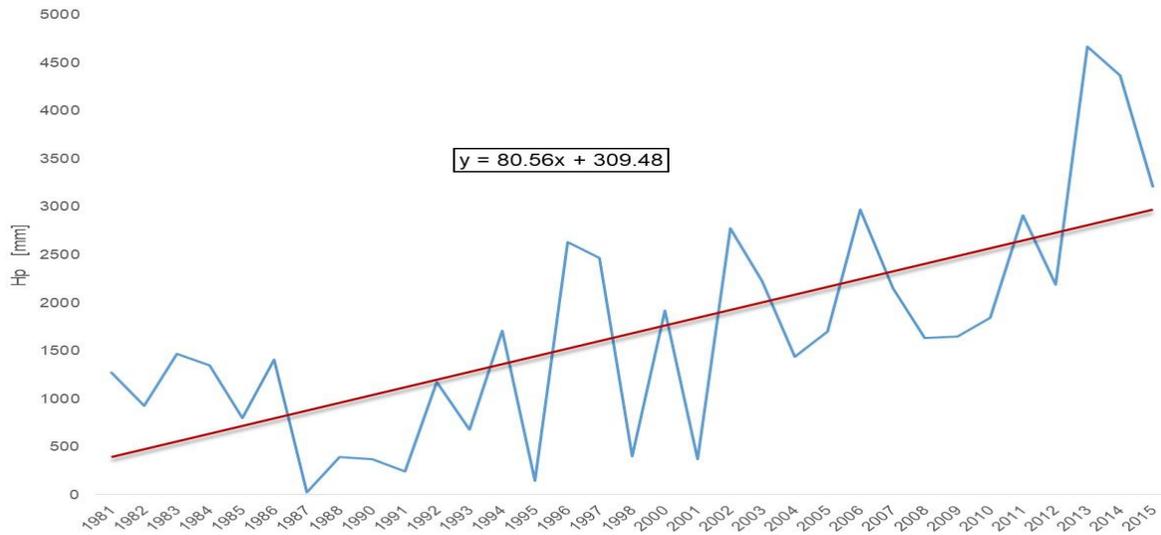
Cuenca alta se asocia con la estación climatológica 12150 Omiltemin (1981-2015)

**GRAFICA 29. Precipitación máxima en 24 hrs, estación 12150**



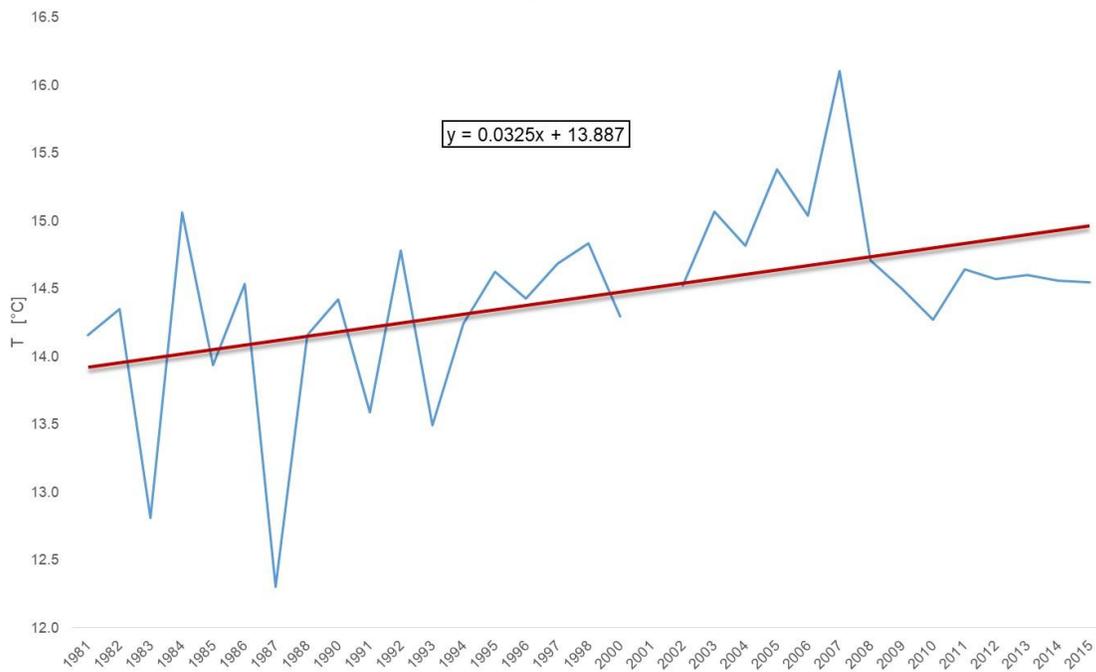
FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 30. Precipitación anual, estación 12150.**



FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

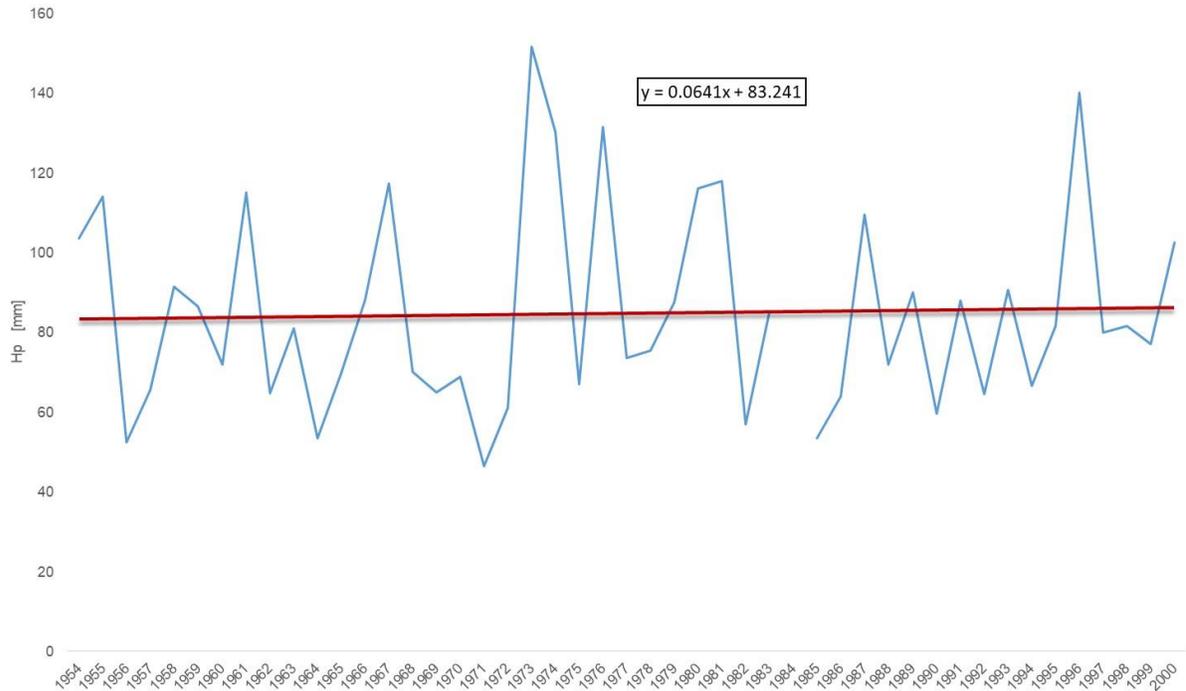
**GRAFICA 31. Temperatura media anual, estación 12150.**



FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

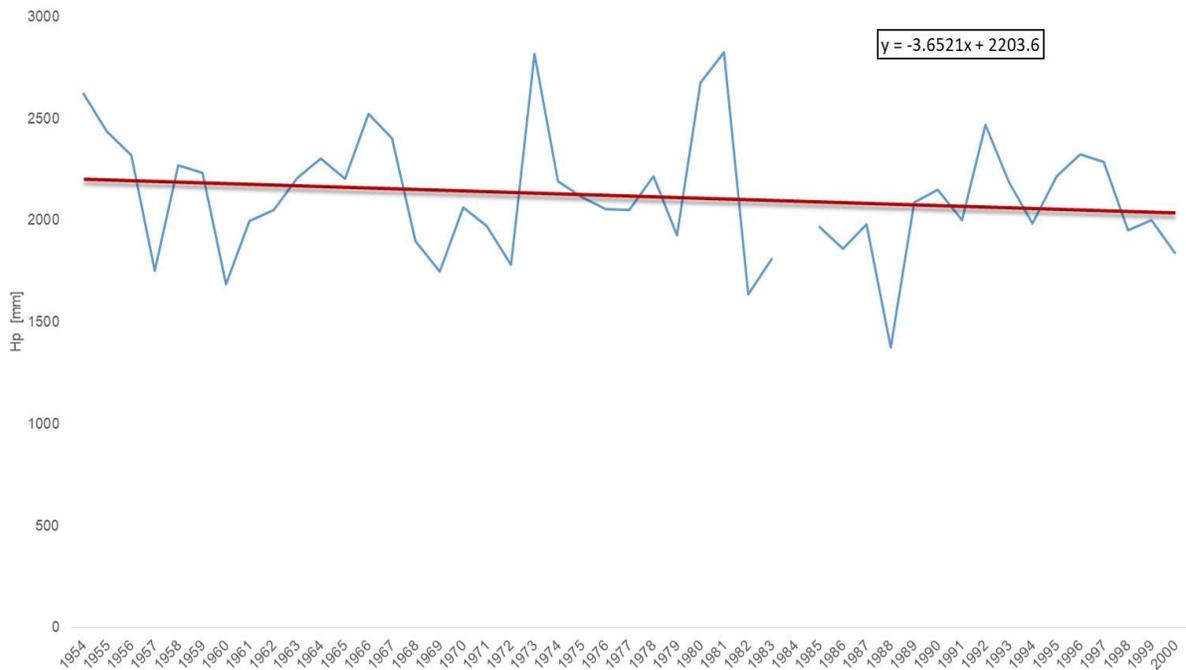
También la cuenca alta se asocia con la estación climatológica 12057 Malinaltepec (1954-2000)

**GRAFICA 32. Precipitación máxima en 24 hrs, estación 12057**



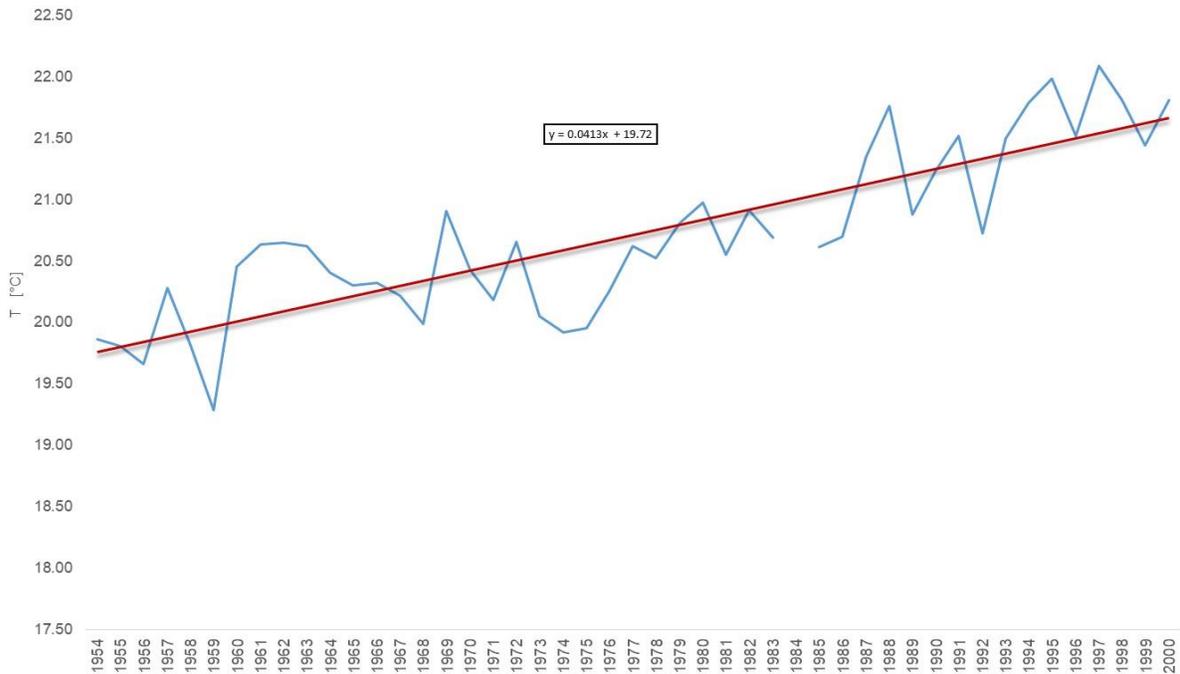
FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 33. Precipitación anual, estación 12057.**



FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 34. Temperatura media anual, estación 12057.**

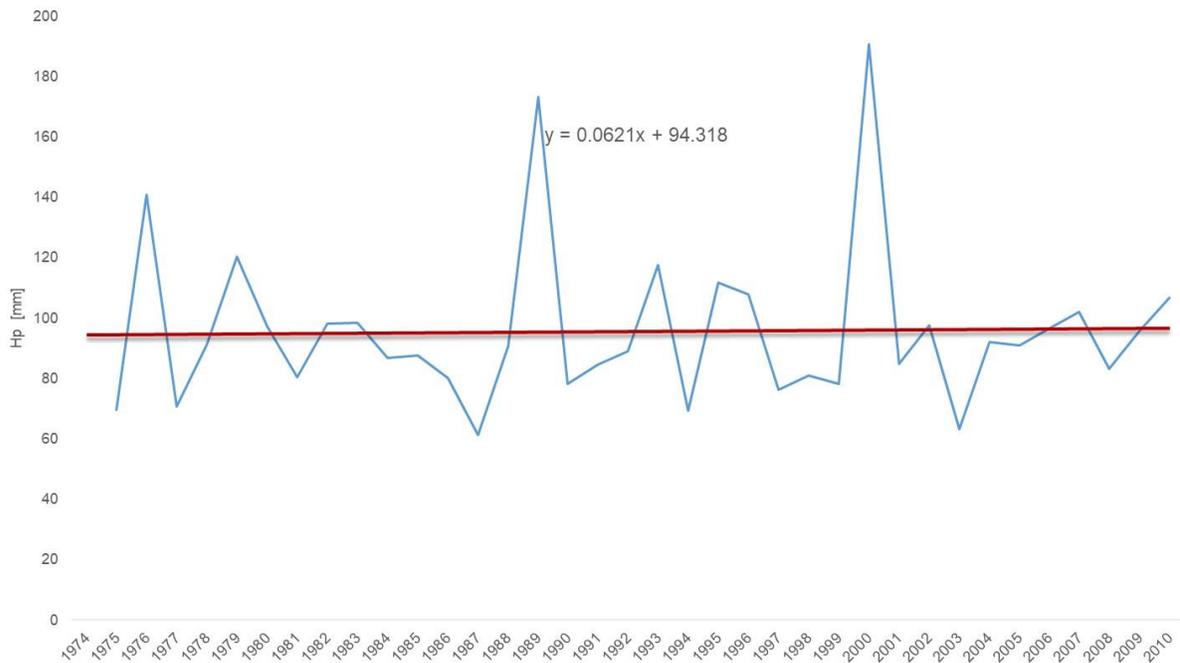


FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

### Cuenca Media Alta

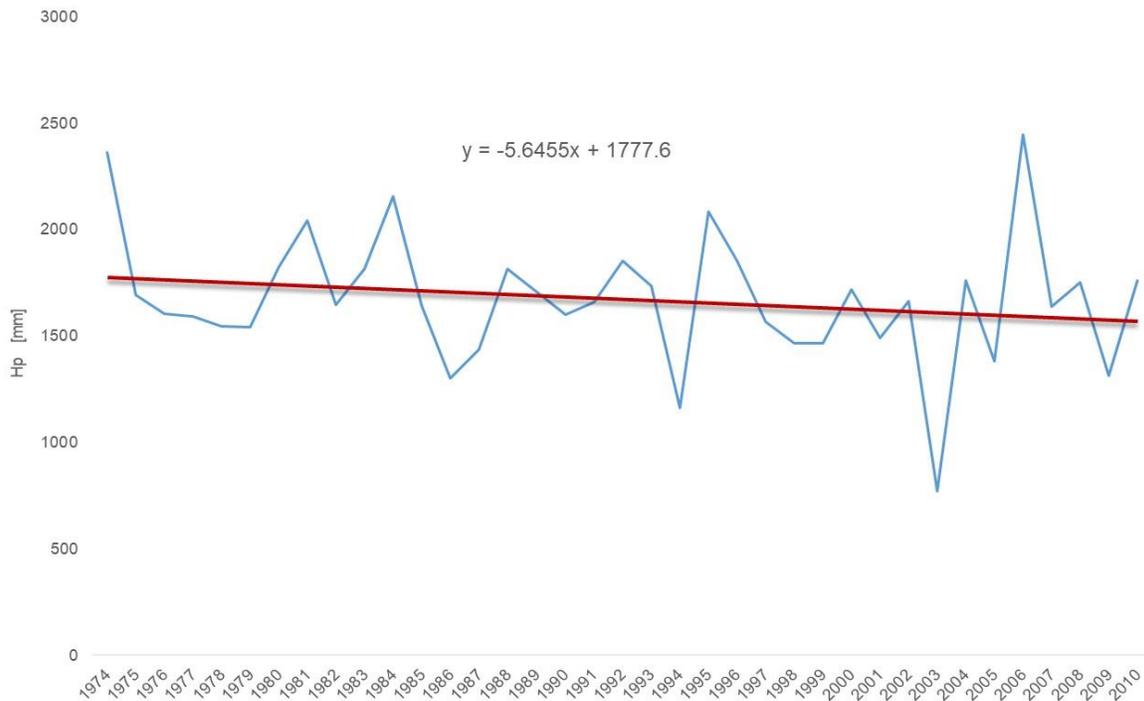
La cuenca alta se asocia con la estación climatológica 12156 el Ocotito (1974-2010)

**GRAFICA 35. Precipitación máxima en 24 hrs, estación 12156**



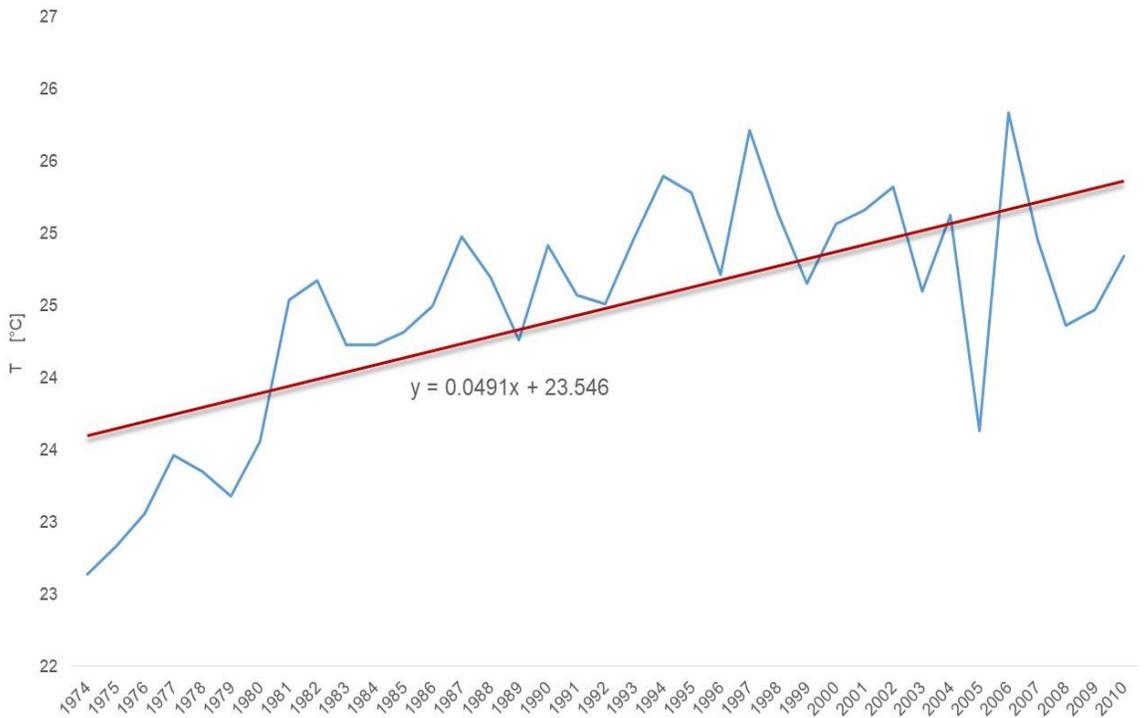
FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 36. Precipitación anual, estación 12156.**



FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 37. Temperatura media anual, estación 12156.**

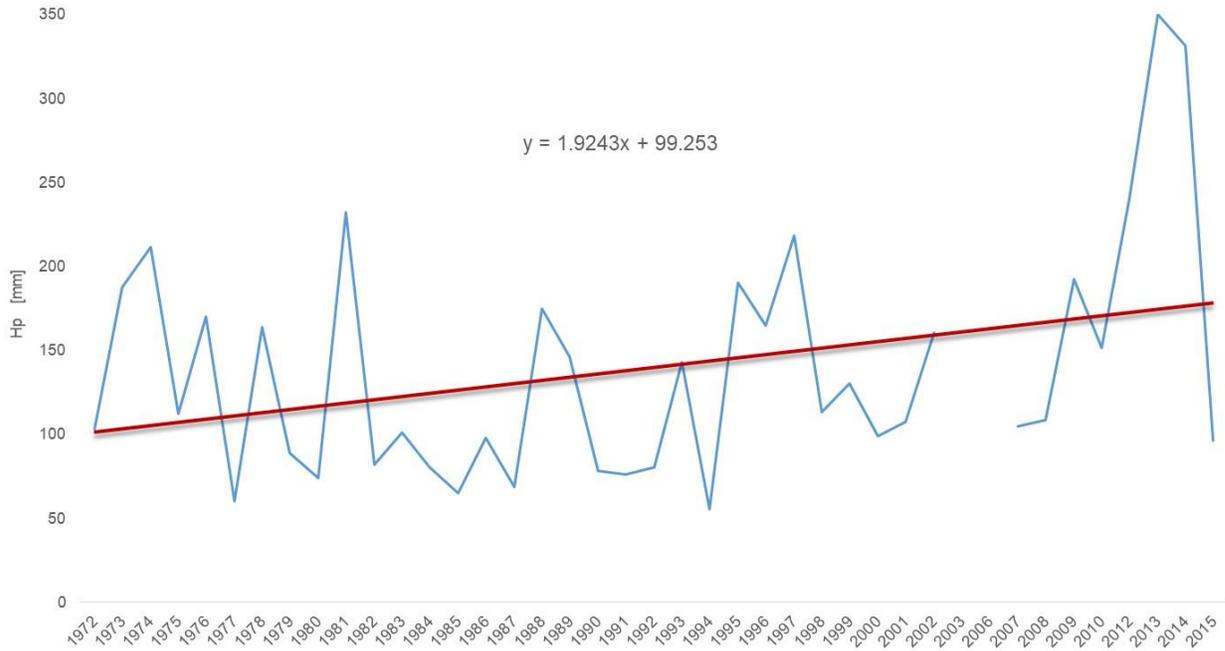


FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

Cuenca Media Baja

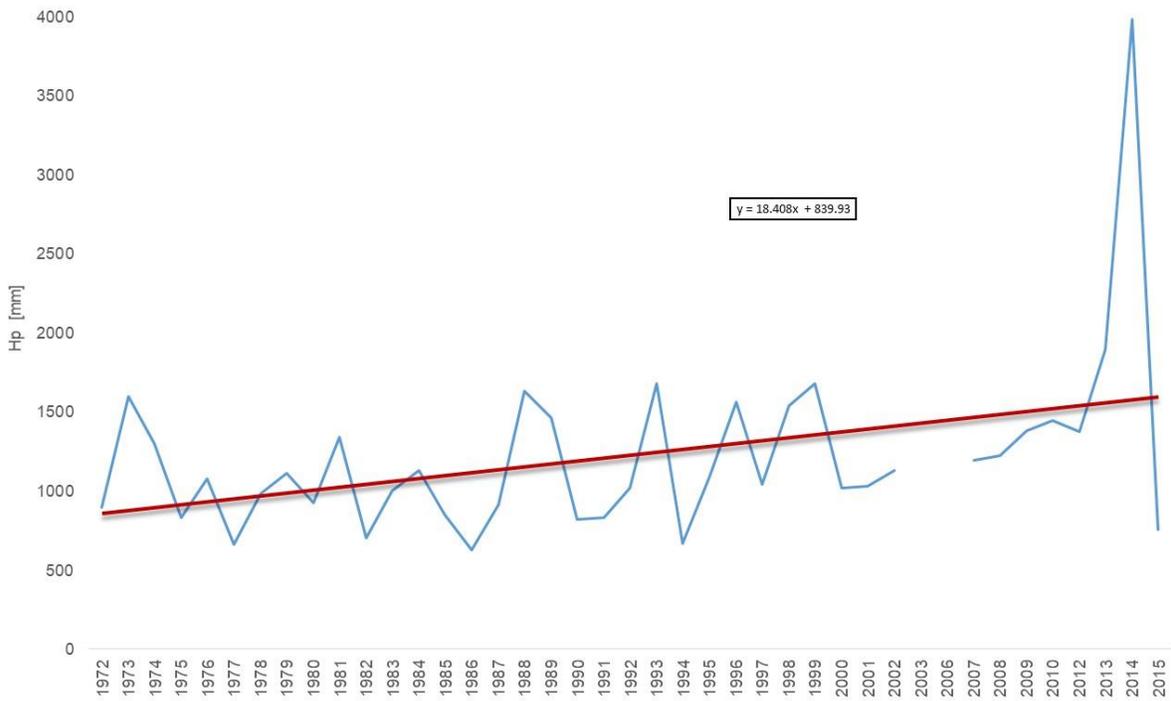
La cuenca alta se asocia con la estación climatológica 12172 Acapulco (1972-2015)

**GRAFICA 38. Precipitación máxima en 24 hrs, estación 12172**



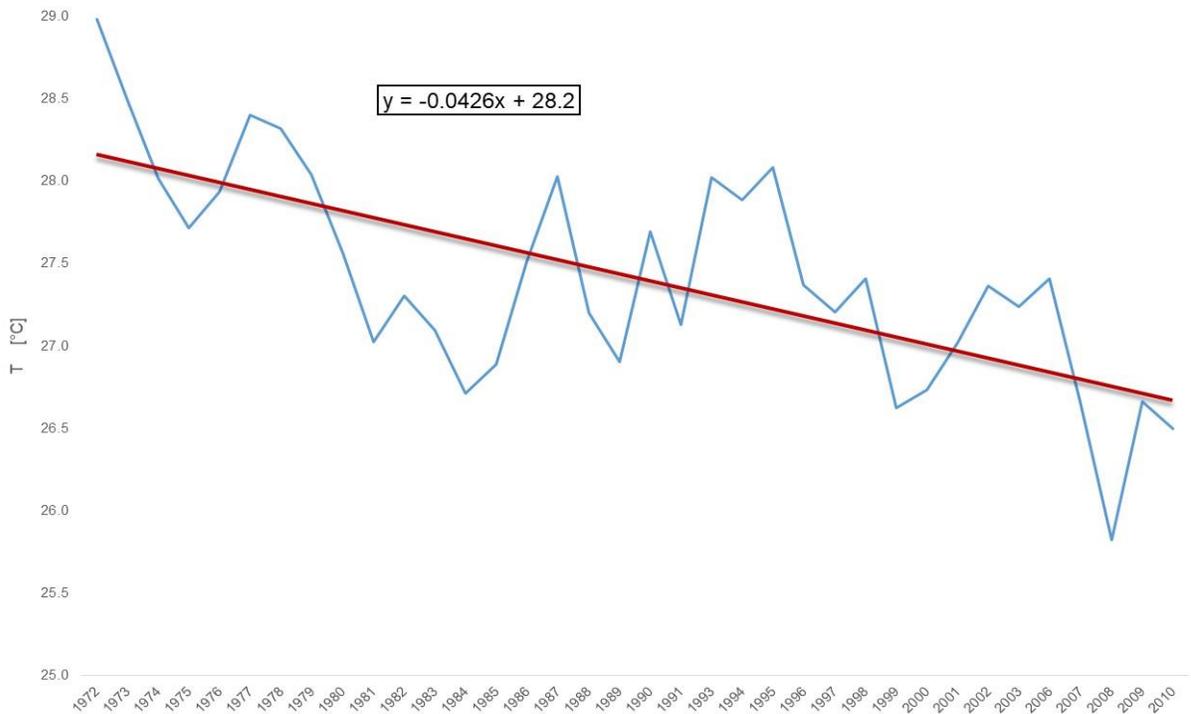
FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 39. Precipitación anual, estación 12172.**



FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 40. Temperatura media anual, estación 12172.**

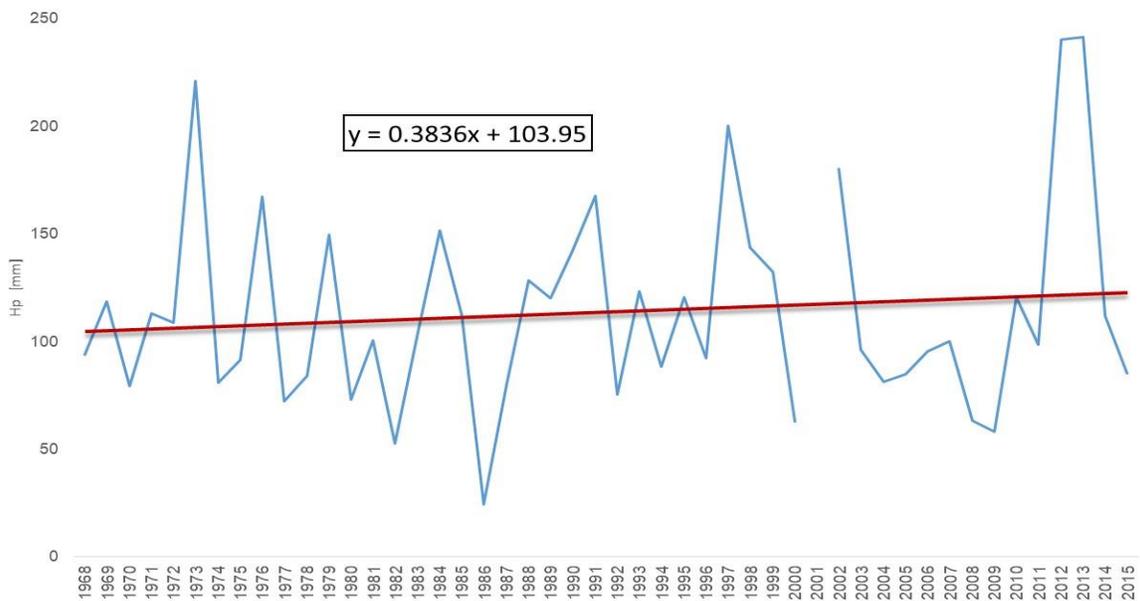


FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

### Cuenca Baja

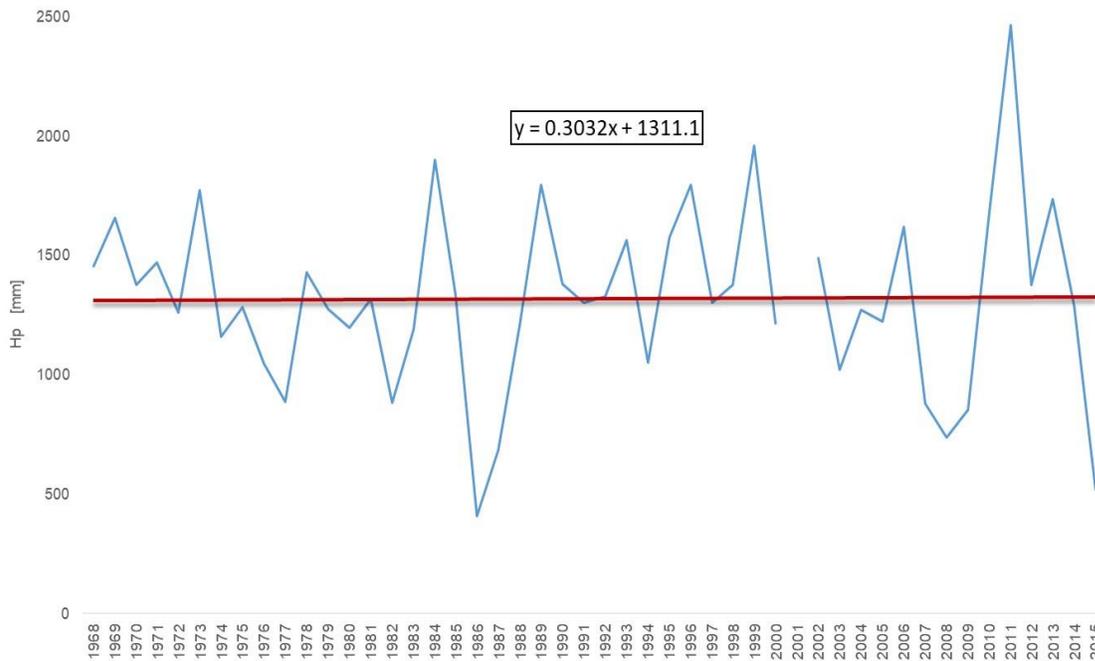
La cuenca alta se asocia con la estación climatológica 12029 Chacalapa (1979-2014)

**GRAFICA 41. Precipitación máxima en 24 hrs, estación 12029**



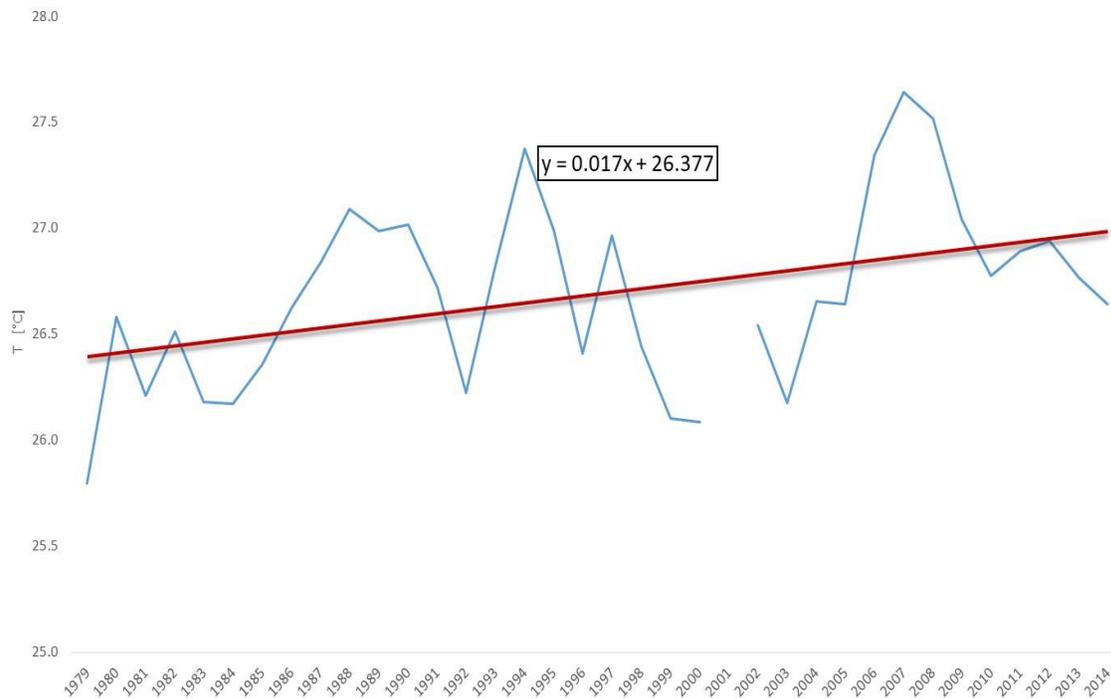
FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 42. Precipitación anual, estación 12029.**



FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

**GRAFICA 43. Temperatura media anual, estación 12029.**

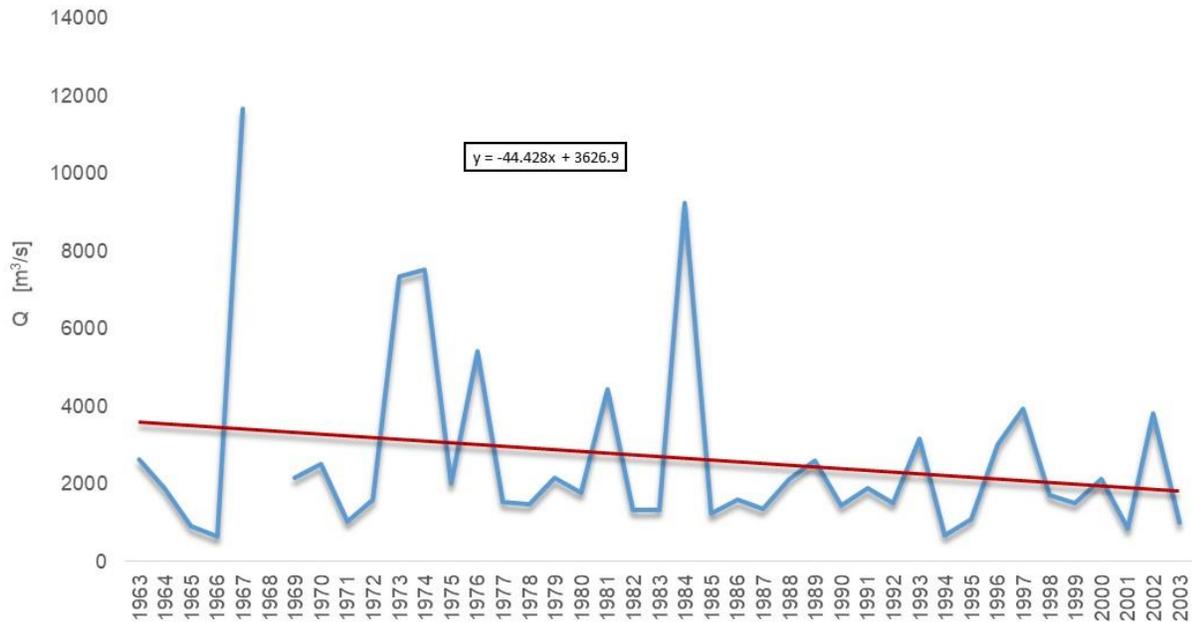


FUENTE: Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos (CONAGUA)

## Hidrometría en Río Papagayo.

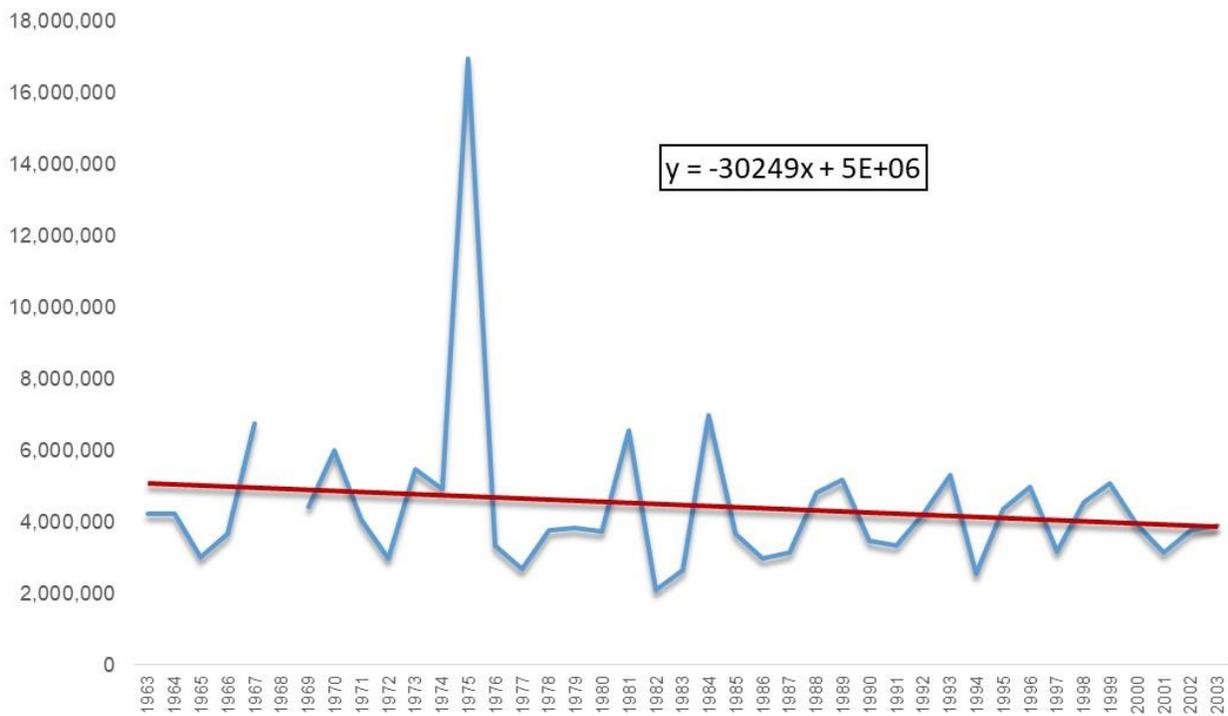
La cuenca del río Papagayo esta aforada por la estación hidrométrica “20031 La Parota”,

**GRAFICA 44. Gasto máximo en 24 hrs, estación 20031.**



FUENTE: Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (CONAGUA 2016).

**GRAFICA 45. Volumen medio anual escurrido, estación 20031.**



FUENTE: Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (CONAGUA 2016).

## **Análisis del cambio de uso de suelo**

Para obtener el indicador de pérdida potencial del suelo se recurrió a las cartas o series, a escalas 250,000 publicadas por el INEGI, abarcando los siguientes periodos de tiempo: Serie I correspondiente a los años (1971-1986), Serie II (1993-1998), Serie III (1999-2005), Serie IV (2006-2008) y finalmente la Serie V correspondiente a los años 2009-2011. Ya que el marco conceptual de la cartografía de Uso de Suelo y Vegetación a escala 1:250,000 ha evolucionado con diferentes versiones en su sistema de clases, antes de poder integrar esta información a nuestro estudio se hizo una homologación de la información que estas contienen, con la finalidad de tener información representativa y comparable.

A partir de las series de INEGI, se realizó una generalización conceptual con la finalidad de reducir el amplio número de clases de vegetación, se puso énfasis en los tipos de vegetación con mayor impacto tanto en el coeficiente de escurrimiento, como en la pérdida del uso de suelo

Para identificar la dinámica de cambio de uso de suelo en las diferentes cuencas, se realizó un análisis de la evolución de los diferentes tipos de cobertura a través los años y se cuantificó las pérdidas y ganancias de las superficies de vegetación afectada.

El estudio se realizó utilizando software especializado en análisis espacial y SIG que permite analizar la información de manera semi-automatizada, elevando el grado de respetabilidad del método propuesto. Concretamente se utilizará el software de ESRI ArcGIS/ArcInfo versión 10.2 el cual brinda herramientas que permiten realizar cruces de información geográfica y generación de bases de datos, siendo el software más común y por consiguiente es el que permite mayor interoperabilidad de los resultados generados con diferentes usuarios.

Para la realización del presente proyecto, se procedió a revisar los shapefiles, el número de polígonos presentes, la estructura de las tablas y la proyección, con la intención de mantener un registro de la información recibida y las condiciones de la misma, esto para poder documentar los errores que desde su fuente contienen y así conocer los que serán llevados a las siguientes etapas de análisis.

- 1) Creación de campo único unificando los tipos de vegetación y usos de suelo.

Para cada una de las series se creó un campo nombrado "clase" para cada tabla, de tipo texto con una extensión 254 caracteres para introducir en este el tipo de vegetación y el uso de suelo en cada caso. En las diferentes series el uso de suelo y el tipo de vegetación vienen codificados en campos diferentes y para poder ser comparados se tienen que vaciar en un solo campo para poder realizar los análisis que este proyecto requieren.

- 2) Proyección a Cónica Conforme de Lambert

A partir de las proyecciones de origen (nombradas en el punto 1 de la presente metodología, se realizaron las reproyecciones a la siguiente proyección:

Proyección:	Cónica Conforme de Lambert
Falso Este:	2,500,000.0
Falso Norte:	0.0
Meridiano Central:	-102.0
1er Paralelo estándar:	17.5
2do Paralelo estándar:	29.5
Latitud de origen:	12.0
Unidades lineares:	Metros
Datum:	ITRF 92

Esta proyección es la proyección Oficial establecida por INEG.

#### Análisis de desplazamientos

Las 4 series de INEGI, presentan desplazamientos originados por las metodologías utilizadas para la generación de las mismas.

La metodología utilizada con la Serie 1 consistió en delimitación de polígonos a partir de técnicas de interpretación y fotoidentificación realizadas sobre fotografías aéreas rectificadas, de diferentes escalas, dependiendo del área a cartografiar y posteriormente fueron digitalizadas a partir de las cartas 1 a 250,000 en tableta digitalizadora, los parámetros de georreferenciación de aquella época incluían el Datum NAD27 como dato de referencia.

Como insumo para la Serie 2 se utilizaron imágenes de satélite georreferenciadas LANDSAT multiespectrales de 30 metros de resolución, utilizando nuevamente técnicas de fotointerpretación y fotoidentificación.

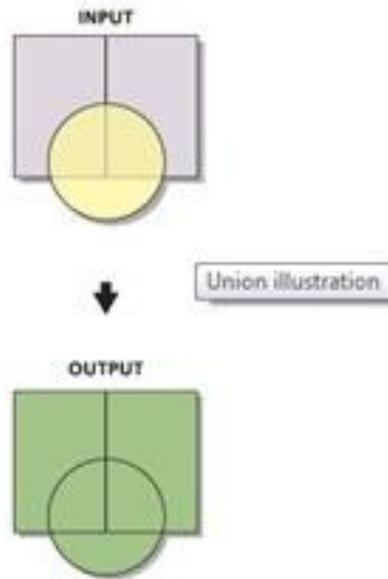
Las Series 3 y 4 se generaron a partir de imágenes Spot Multiespectrales georreferenciadas y con una resolución espacial de 10 metros y como Datum de referencia se utilizó el ITRF92. Conforme al documento de la SEMARNAT (georreferenciación de la información [www.infoteca.semarnat.gob.mx](http://www.infoteca.semarnat.gob.mx)) el desplazamiento entre la información en NAD27 e ITRF92 varía con la escala, pudiendo ser esta de hasta 200 metros.

Dado que esta diferencia proviene de origen de la información, el reproyectar las diferentes series de INEGI no corrige este error por completo.

#### 3) Sobreposición de series (Unión cartográfica)

Para efectuar los análisis se realizaron sobreposiciones de series (uniones) de tal manera que los polígonos de la capa 1 se una a los polígonos de la capa de la cuenca permitiéndonos esta operación el encontrar las áreas con diferentes tipos de cobertura dentro de la cuenca.

**FIGURA 22. Unión de Series**



Esta metodología nos genera una tabla en la cual se delimitan las aéreas con diferente tipo de cobertura presente en la cuenca permitiendo calcular superficies y analizar la clasificación de vegetación y uso de suelo para cada una de las series de tiempo que corresponden a las diferentes series de INEGI.

Cada registro (polígono) representa un espacio sobre el terreno y su superficie es calculada, de tal manera que podemos analizar los cambios que ha sufrido este con respecto a dos series de INEGI.

#### 4) Calculo de superficies

Una vez realizado el proceso de unión de las diferentes series de INEGI, conforme a la cronología de generación, para detectar paso a paso los cambios en uso de suelo:

- Serie 1 vs Serie 2 ( 1985 vs 1994)
- Serie 2 vs Serie 3 ( 1994 vs 2002)
- Serie 3 vs Serie 4 ( 2002 vs 2007)
- Serie 1 vs Serie 4 (1985 vs 2007)

La estimación de superficies se realizó utilizando el algoritmo de cálculo que contiene el programa ARC GIS 9.3 y utilizando la proyección CCL con Datum ITRF92.

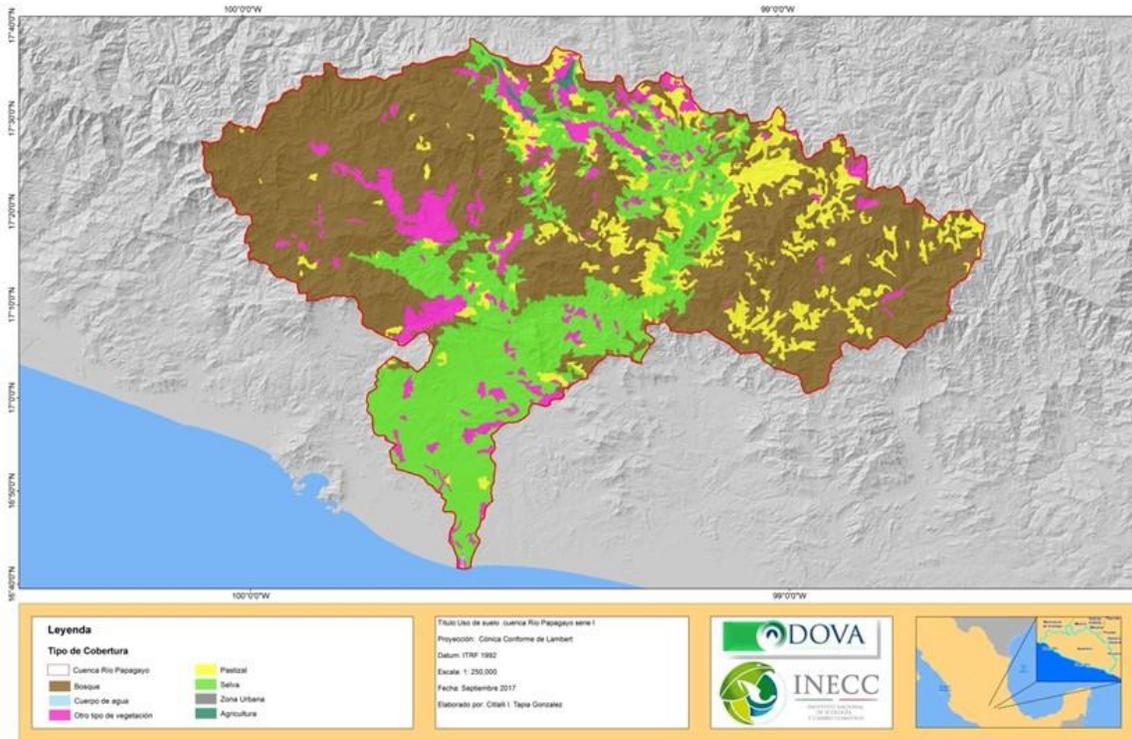
#### 5) Presentación de Resultados

En las siguientes figuras se muestra el Uso de Suelo y Vegetacion en cada una de las cuencas correspondientes a cada una de las 5 Series de INEGI.

Acapulco

Serie I

**FIGURA 23. Serie I Uso de Suelo y Vegetación en la Cuenca del Río Papagayo.**



FUENTE: Serie I de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI.

En la siguiente tabla se muestran las áreas de cobertura y su porcentaje respecto a la cuenca.

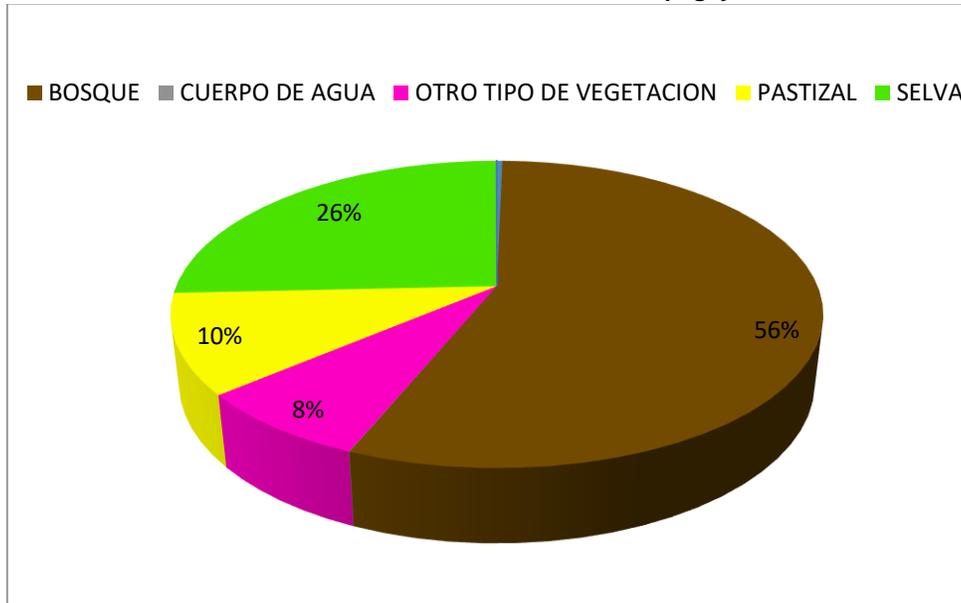
**TABLA 22. Área y porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie I de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo.**

Tipo de Cobertura	Km <sup>2</sup>	% de la Cobertura
<b>Agricultura</b>	24.3708	0.32
<b>Bosque</b>	4222.9683	55.90
<b>Cuerpo de Agua</b>	1.5480	0.02
<b>Otro Tipo de Vegetacion</b>	573.3953	7.59
<b>Pastizal</b>	789.8813	10.46
<b>Selva</b>	1940.7994	25.69
<b>Zona Urbana</b>	2.0064	0.03

FUENTE: Serie I de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI.

De acuerdo a la tabla anterior, en la siguiente gráfica se muestran los porcentajes de Usos de Suelo y Vegetación en la cuenca del Río Papagayo para la Serie I.

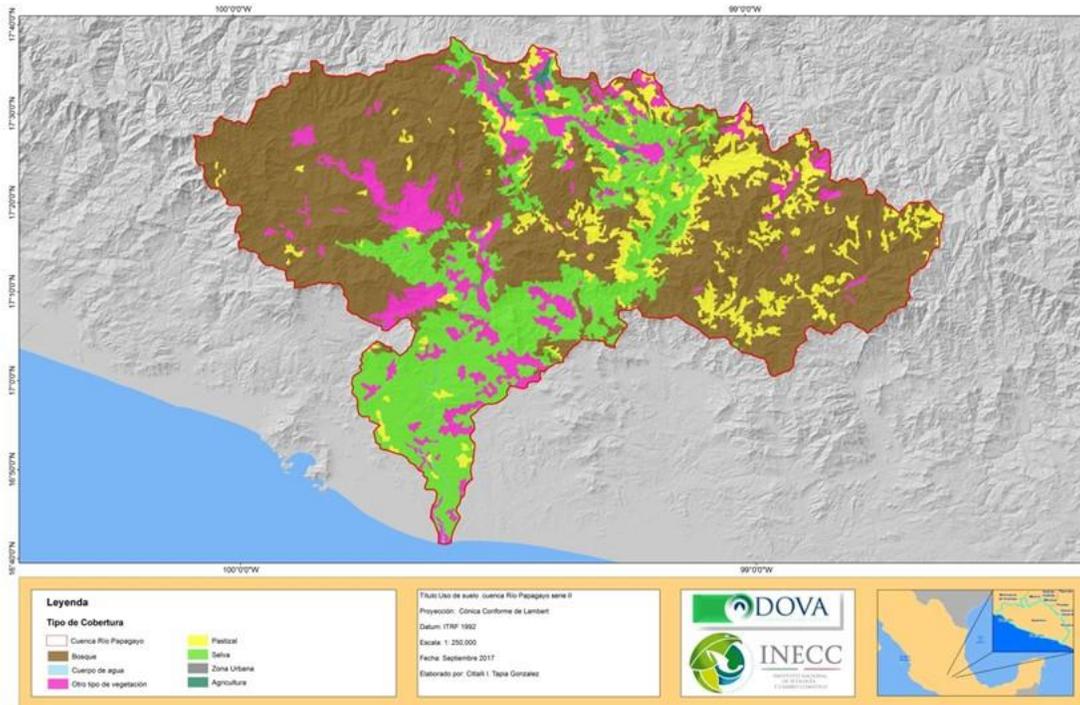
**GRAFICA 46. Distribución por porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie I de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo.**



FUENTE: Serie I de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI.

Serie II

**FIGURA 24. Serie II Uso de Suelo y Vegetación en la Cuenca del Río Papagayo.**



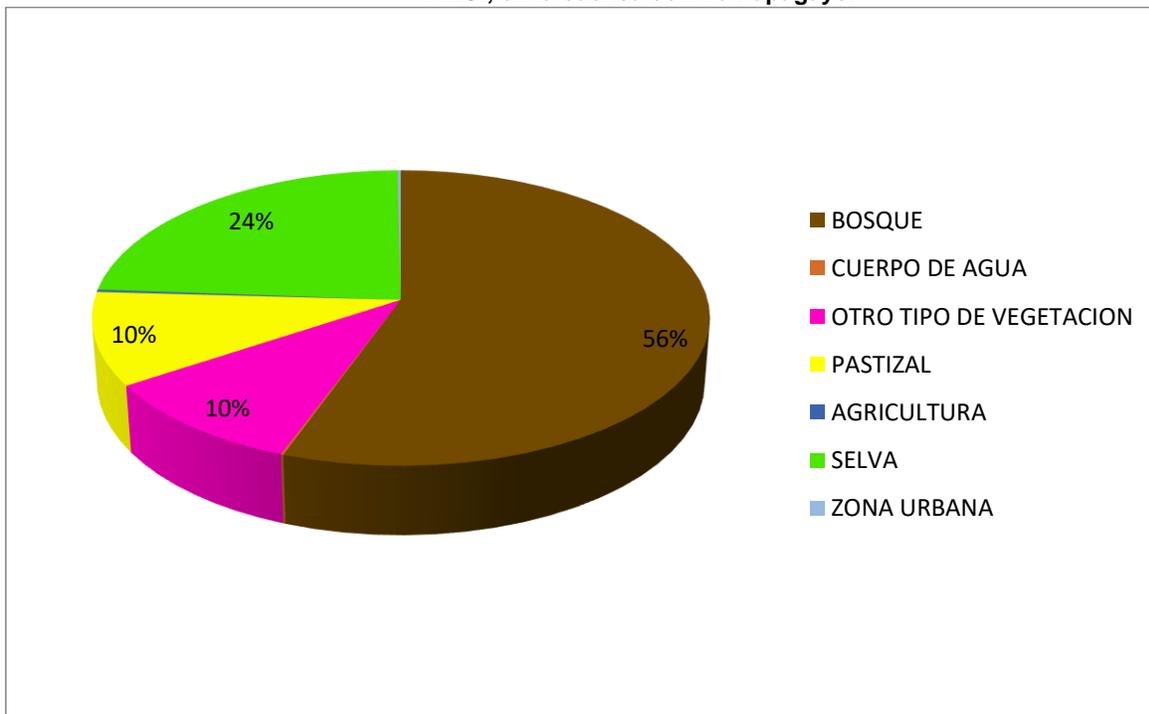
FUENTE: Serie II de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI.

**TABLA 23. Área y porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie II de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo.**

Tipo de Cobertura	Km <sup>2</sup>	% de la Cobertura
<b>BOSQUE</b>	4192.762	55.50
<b>CUERPO DE AGUA</b>	8.935	0.12
<b>OTRO TIPO DE VEGETACION</b>	763.224	10.10
<b>PASTIZAL</b>	767.057	10.15
<b>AGRICULTURA</b>	20.025	0.27
<b>SELVA</b>	1789.366	23.68
<b>ZONA URBANA</b>	13.586	0.18

FUENTE: Serie II de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI.

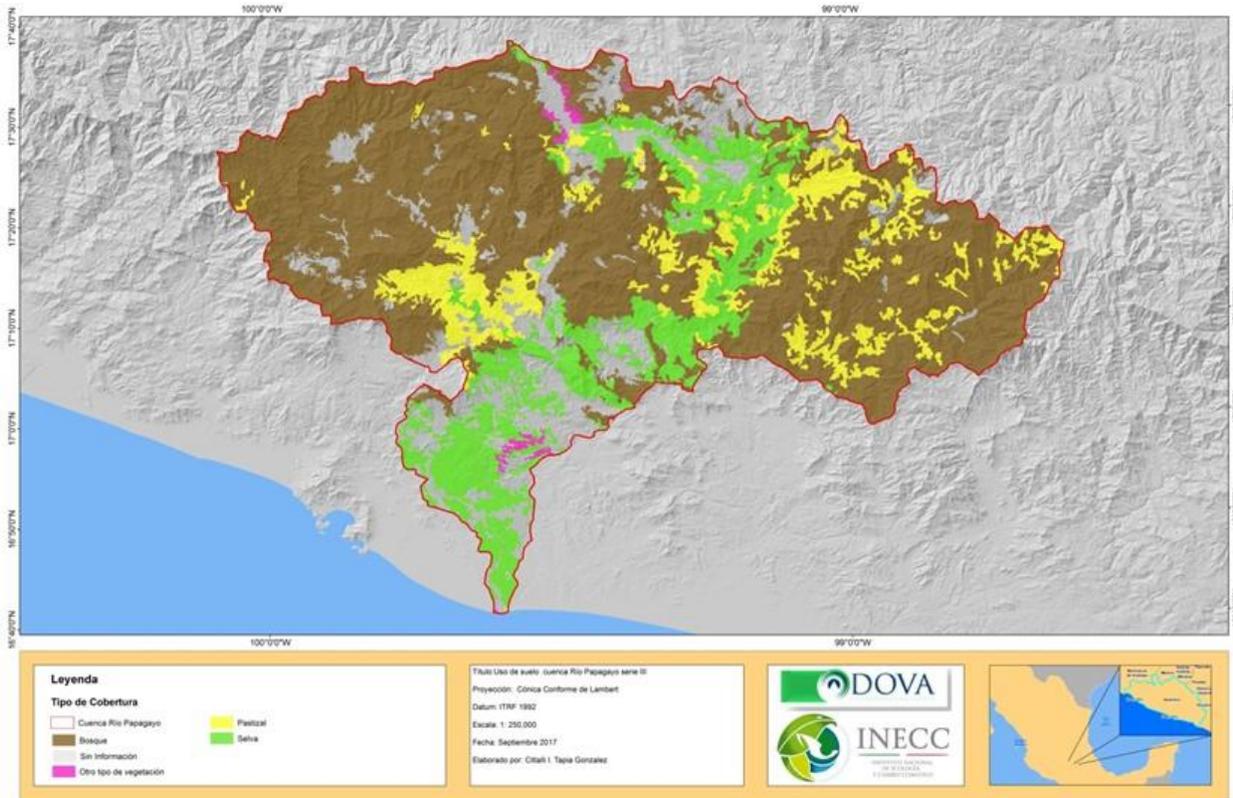
**GRAFICA 47. Distribución por porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie II de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo.**



FUENTE: Serie II de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI.

Serie III

**FIGURA 25. Serie III Uso de Suelo y Vegetación en la Cuenca del Río Papagayo.**



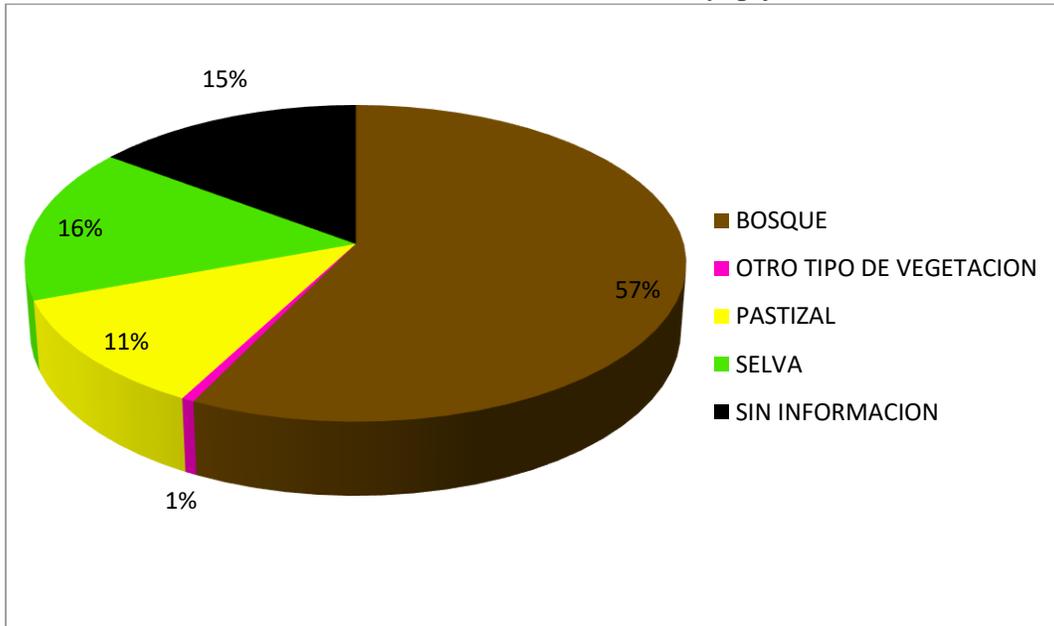
FUENTE: Serie III de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI.

**TABLA 24. Área y porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie III de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo.**

Tipo de Cobertura	Km <sup>2</sup>	% de la Cobertura
<b>BOSQUE</b>	4324.475	57.24
<b>OTRO TIPO DE VEGETACION</b>	41.976	0.56
<b>PASTIZAL</b>	871.944	11.54
<b>SELVA</b>	1198.717	15.87
<b>SIN INFORMACION</b>	1117.852	14.80

FUENTE: Serie III de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI.

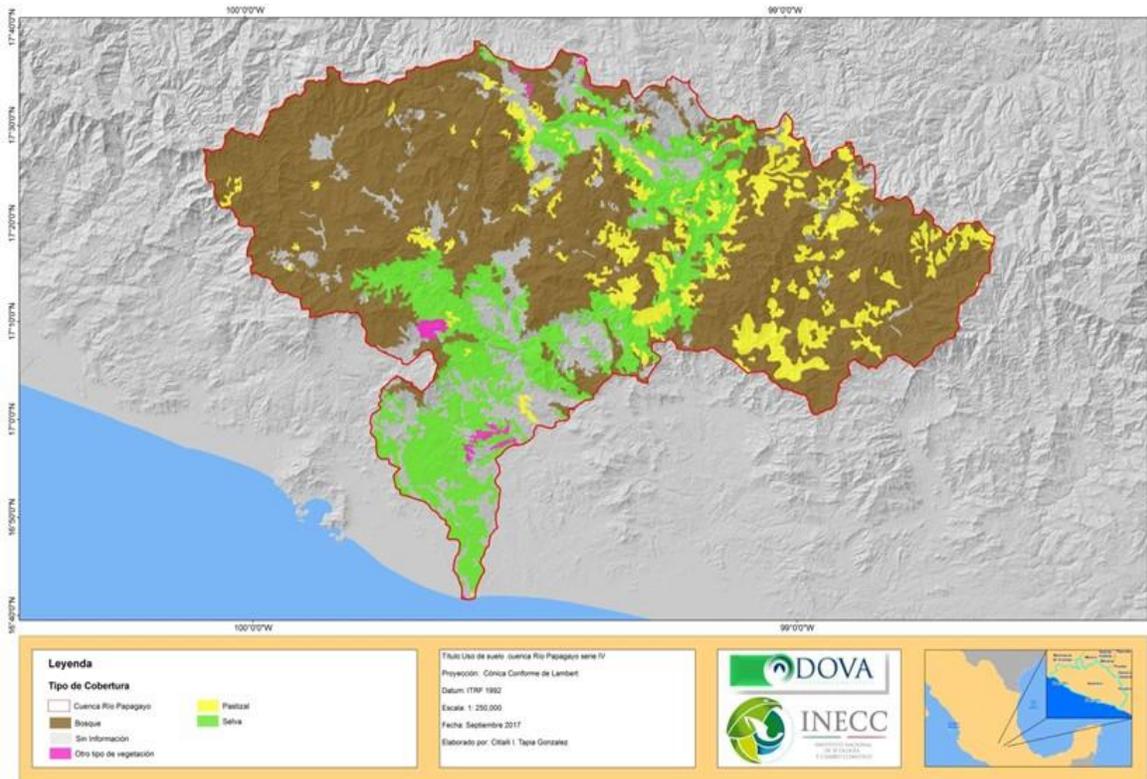
**GRAFICA 48. Distribución por porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie III de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo.**



FUENTE: Serie III de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI.

Serie IV

**FIGURA 26. Serie IV Uso de Suelo y Vegetación en la Cuenca del Río Papagayo.**



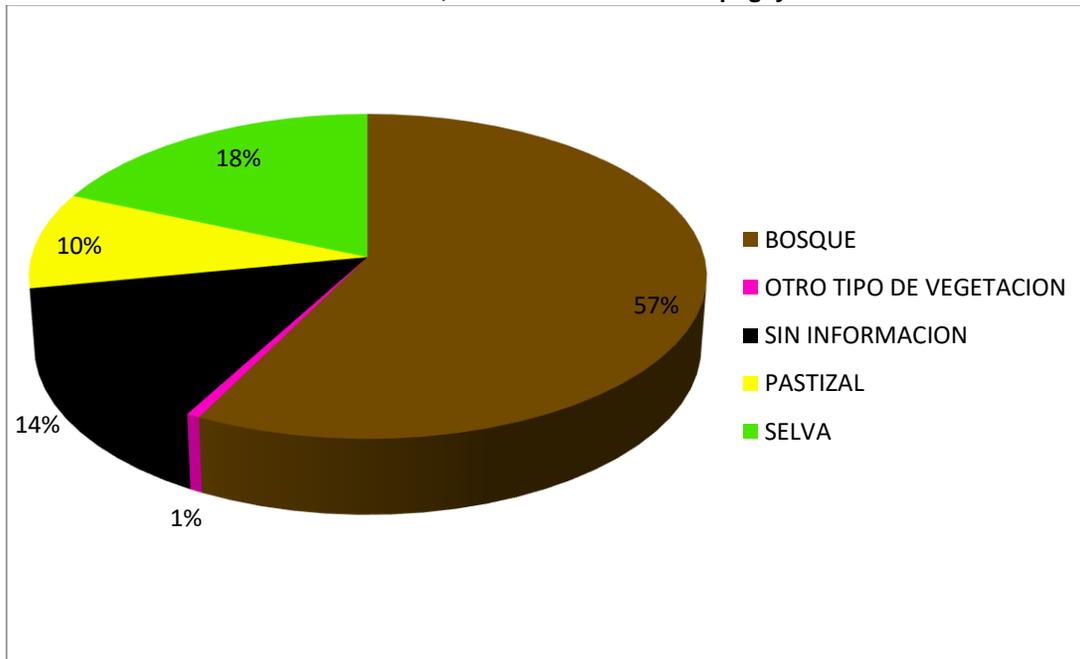
FUENTE: Serie IV de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI.

**TABLA 25. Área y porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie IV de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo.**

Tipo de Cobertura	Km <sup>2</sup>	% de la cobertura
<b>BOSQUE</b>	4335.683	57.39
<b>OTRO TIPO DE VEGETACION</b>	43.526	0.58
<b>SIN INFORMACION</b>	1055.815	13.98
<b>PASTIZAL</b>	726.174	9.61
<b>SELVA</b>	1393.766	18.45

FUENTE: Serie IV de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI.

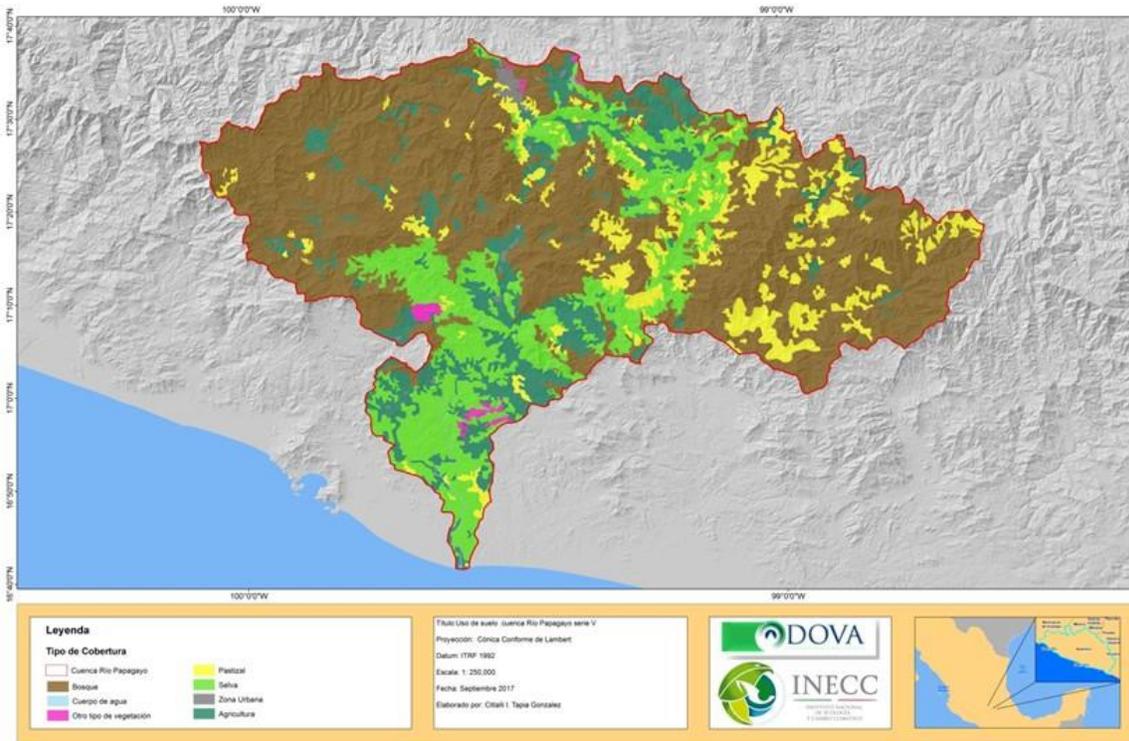
**GRAFICA 49. Distribución por porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie IV de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo.**



FUENTE: Serie IV de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI.

Serie V

**FIGURA 27. Serie V Uso de Suelo y Vegetación en la Cuenca del Río Papagayo.**



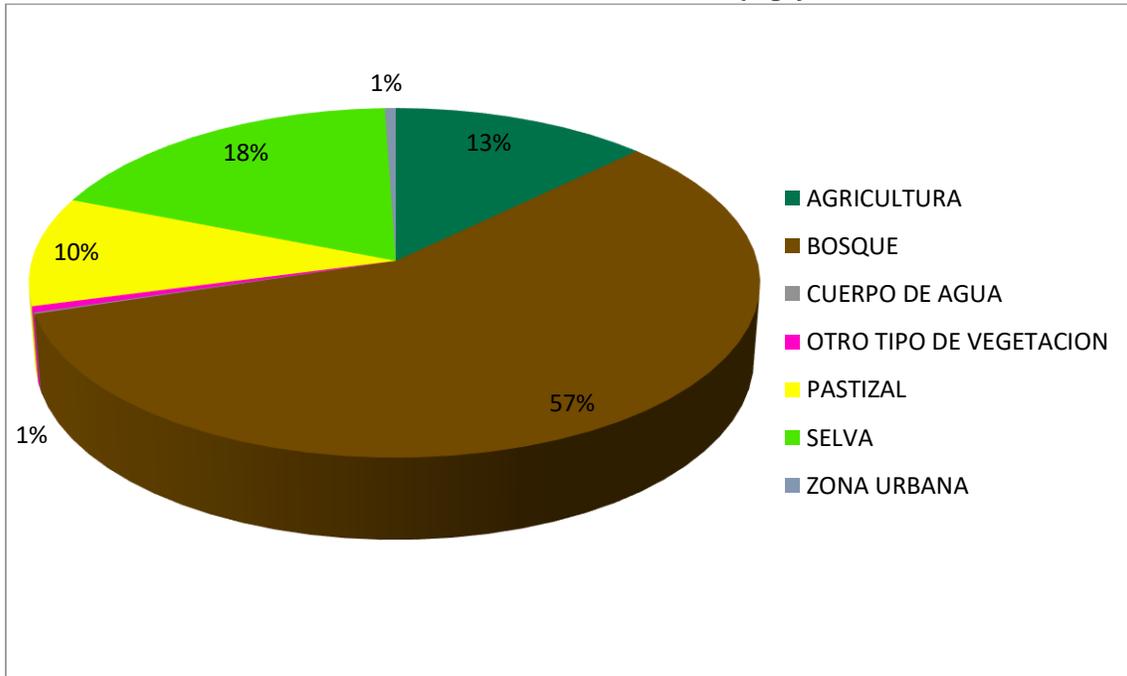
**FIGURA 28. FUENTE: Serie V de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI.**

**TABLA 26. Área y porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie V de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo.**

Tipo de Cobertura	Km <sup>2</sup>	%
<b>AGRICULTURA</b>	966.091	12.79
<b>BOSQUE</b>	4337.197	57.41
<b>CUERPO DE AGUA</b>	8.889	0.12
<b>OTRO TIPO DE VEGETACION</b>	42.898	0.57
<b>PASTIZAL</b>	766.067	10.14
<b>SELVA</b>	1392.991	18.44
<b>ZONA URBANA</b>	40.834	0.54

FUENTE: Serie V de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI.

**GRAFICA 50. Distribución por porcentaje del Uso de Suelo y Vegetación de la Serie V de INEGI, en la cuenca del Río Papagayo.**



FUENTE: Serie V de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI.

## Presión por actividades extractivas

Es importante señalar que los indicadores propuestos en el presente estudio atienden a los componentes más importantes que determina la disponibilidad de agua, cantidad y calidad, de manera paralela también se analiza la capacidad que se tiene en infraestructura para afrontar la variabilidad y dinámica entre la oferta y demanda.

La minería ha sido una actividad históricamente importante en México. El territorio mexicano, como producto de su geología, tiene un alto potencial para esta actividad económica. México ocupa el 8° lugar en la producción de oro con 118 toneladas, representando el 6% de lo que se produce en todo el mundo, y el 10° lugar en la explotación de cobre con 480 mil toneladas, el 3 % de la extracción de este mineral a nivel mundial. En la Tabla 1 se hace un comparativo de los volúmenes de producción nacional y mundial.

**TABLA 27. Tabla 1 Volúmenes de producción nacional de diferentes minerales.**

Volúmenes de Producción (*Miles de toneladas)				
Lugar	Mineral	Nacional	Mundial	Part %
1°	Plata (Tons)	5,821	22,081	26%
2°	Bismuto(Tons)	824	7,384	11%
	Fluorita*	1,210	6,514	19%
	Wollastonita (Tons)	57,302	229,302	25%
3°	Celestita (Tons)	67,778	267,278	25%
4°	Cadmio (Tons)	1,451	20,776	7%
	Plomo*	253	5,085	5%
5°	Diatomita*	87	1,967	4%
	Molibdeno (Tons)	12,562	271,112	5%
6°	Zinc*	642	11,542	6%
7°	Sal*	9,461	219,031	4%
8°	Barita*	119	8,174	1%
	Grafito*	7	1,185	1%
	Yeso*	5,091	145,400	4%
	Oro(Tons)	118	2,085	6%
10°	Cobre*	480	15,880	3%
	Manganeso*	211	15,571	1%
20°	Feldespató*	164	22,088	1%

La actividad minera en México atraviesa por un periodo de crecimiento sustancial (Camimex 2010, 2011, 2012). Este aumento se puede explicar por el aumento en la demanda de diversos minerales en el mercado internacional, cambios legislativos que facilitan e incentivan esta actividad en el país y el avance en las tecnologías de exploración, extracción y aprovechamiento.

Algunos autores han identificado y analizado las afectaciones que esta actividad genera sobre el medio ambiente (Salomons 1995, Dudka 1997, Lottermoser 2010, Environmental Mining Council of BC 1998, Gutiérrez y Moreno 1995). Los impactos ambientales de la minería son varios: el consumo de cantidades elevadas de agua, la generación de residuos tóxicos como subproductos de los procesos de separación del mineral, la eliminación de la cobertura vegetal y del horizonte superficial del suelo, la generación de drenaje ácido, entre otros (Dudka y Adriano 1997, Lottermoser 2010). Lo anterior compromete la calidad y cantidad de agua para consumo de la población.

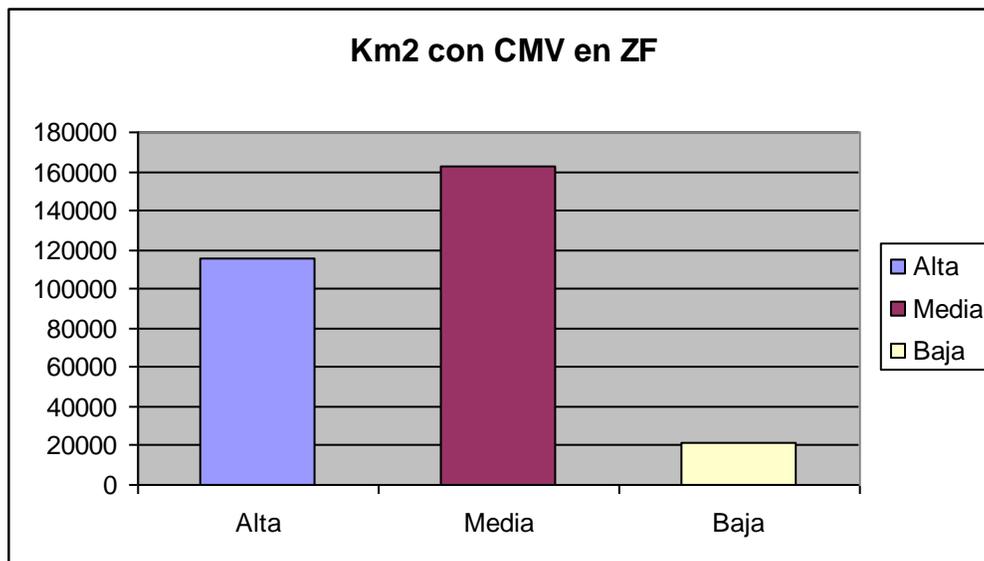
**Distribución de las concesiones mineras en México.**

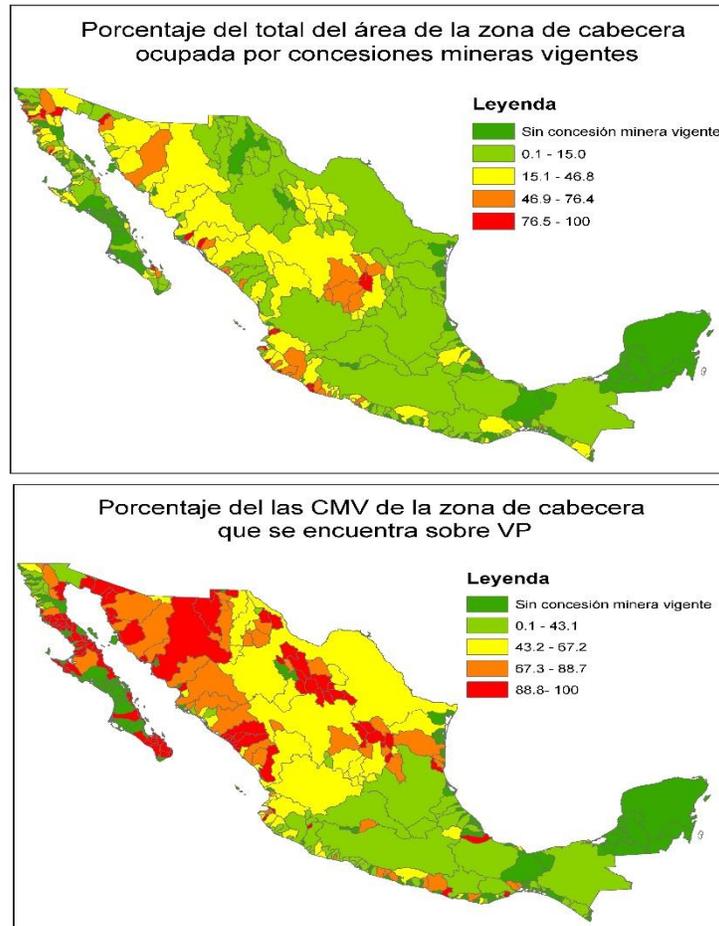
Concesiones vigentes (diferente operación) = 308,944 km<sup>2</sup>, equivalentes al 15.7 por ciento del territorio continental de la república.

Concesiones canceladas = 42, 515 km<sup>2</sup>, equivalente al 2% del territorio nacional.

En las cuencas hidrográficas de México, dentro de la zona funcional alta de las cuencas, 115 813 Km<sup>2</sup> son concesiones mineras vigentes (CMV) lo que representa el 17% del total de este nivel altimétrico a nivel nacional Grafica 51.

**GRAFICA 51. Distribución de las concesiones mineras con respecto al gradiente altitudinal de las cuencas hidrográficas.**





En el 2016, el 56% de las concesiones mineras vigentes (**CMV**) equivalente a 176,126 km<sup>2</sup>, coinciden espacialmente con vegetación primaria (**VP**) de la serie 4 del INEGI (2008), el 19% con vegetación secundaria y el resto se distribuye en zonas agrícolas o pastizales inducidos, entre otras coberturas.

Con respecto a las Áreas Naturales Protegidas; 65 de las 183 ANP tienen CMV dentro de su territorio, 23 de estas tienen entre el 10 y el 52% de su superficie total ocupada por CMV. En promedio nacional, las ANP federales están ocupadas en un 12% por CMV.

En este sentido, los criterios y variables operativas de sensibilidad territorial actual a la disminución en la disponibilidad de agua para abastecimiento público urbano y la infraestructura, considerando la presión por actividades extractivas deben de representar:

- La densidad de operaciones mineras en las cuencas hidrográficas, especialmente las que se concentran en las partes altas de las cuencas.
- La superficie ocupada por concesiones mineras vigentes en zonas de alto valor para la oferta de servicios ambientales hidrológicos; por ejemplo en las Áreas Naturales Protegidas federales o las Unidades de Gestión Ambiental



### **Presión por descargas residuales.**

Como el caso es importante señalar que los indicadores propuestos en el presente estudio atienden a los componentes más importantes que determina la disponibilidad de agua, cantidad y calidad, de manera paralela también se analiza la capacidad que se tiene en infraestructura para afrontar la variabilidad y dinámica entre la oferta y demanda.

De manera jerárquica los factores principales que determinan la cantidad de agua son la oferta y la demanda, en este sentido el indicador que atiende el componente de demanda es el crecimiento poblacional. En cuanto a la oferta los indicadores propuestos son; la capacidad instalada de almacenamiento para el suministro de las ciudades de estudio (ver producto 1) y los umbrales de alteración hidrológica que responden a las condiciones bioclimáticas de las zonas que proveen el servicio ambientales hidrológicos a las ciudades de estudio, es decir, estos umbrales representan la correlación que existe entre el estado de conservación o degradación territorial (zona de influencia) y los patrones de precipitación-escurrencimiento (componente dónde se integraran los escenarios de CC de temperatura y precipitación) presentes en las zonas que proveen de agua superficial a las ciudades de estudio

### **Impacto en la eficiencia de la infraestructura hidráulica y el costo asociado a la pérdida potencial de suelo.**

El gran desarrollo de presas en México está vinculado a su historia y a su desarrollo económico; es a partir de 1926 que se da un importante impulso a las obras de infraestructura, en particular para irrigación y agua potable, desencadenada por el crecimiento poblacional generado por la agricultura.

Las presas se considera que su vida útil es la de los materiales con los que están construidas, y que esta vida útil se puede alargar de acuerdo al mantenimiento de la cortina y sus obras de cabecera, lo que genera un gasto anual.

Pero hay otro factor que merma la eficiencia hidráulica, que son los azolves, cuando se realiza el proyecto de una presa, se determina una cantidad de sedimentos que naturalmente llegarán hasta el vaso de la presa, estos se pueden controlar realizando desazolves periódicamente, el problema actual es que no se tiene un presupuesto anual para cada una de las presas y no se tiene identificado quién es quien debe pagar por ello.

El gran desarrollo de las primeras presas para el riego en México de los 85 distritos está vinculado a su historia y a su desarrollo económico, fueron construidas entre 1926 y 1930 cuando se da un importante impulso a las obras de infraestructura, en particular para irrigación y agua potable, desencadenada por el crecimiento poblacional generado por la agricultura.

Estamos hablando que las presas fueron construidas con un cálculo de vida útil de 100 años (ver tabla 28), por lo que ya han pasado más de 80 años de servicio, lo que significa que estamos llegando al final de su funcionamiento calculado.

**TABLA 28. Año de inauguración de principales presas de la República Mexicana.**

NOMBRE DE LA PRESA	AÑO DE INAGUARACIÓN
Presa San Bartolo	1926
Presa Venustiano Carranza	1930
Presa Plutarco Elías Calles	1931
Presa Abelardo L. Rodríguez	1937
Presa Cointzio	1939
Presa Lázaro Cardenas	1942
Presa Valle de Bravo	1944
Presa Villa Victoria	1944
Presa Lázaro Cárdenas	1946
Presa Marte R. Gómez	1946
Presa Manuel Ávila Camacho	1946
Presa Sanalona	1948
Presa Abelardo L. Rodríguez	1948
Presa Francisco I. Madero	1949
Presa El Tintero	1949
Presa Miguel Alemán	1949
Presa Cuauhtémoc	1950
Presa San Juanico	1950
Presa El Bosque	1951
Presa Endhó	1951
Presa Álvaro Obregón	1952
Presa Internacional Falcón	1953
Presa Presidente Miguel Alemán	1955
Presa Adolfo Ruiz Cortines	1955
Presa Miguel Hidalgo y Costilla	1956
Presa Ing. Santiago Camarena	1956
Presa Tacotán	1958

Aunado al paso del tiempo, tenemos factores que merman la eficiencia hidráulica, como son los azolves que se van acumulando. Cuando se realiza el proyecto de una presa, se determina la cantidad de sedimentos que naturalmente llegan hasta el vaso de la presa, estos se pueden controlar realizando desazolves periódicamente, la situación actual es la falta de presupuesto anual para cada una de las presas ya que no se tiene identificado en el presupuestales del gobierno

federal, municipal y local las partidas de egreso para el mantenimiento de las presas.

Para el ejercicio de 2017 en el rubro de Programas y proyectos de inversión en la Rama 16 Medio ambiente y recursos naturales, está presupuestado para 2017 la cantidad de \$ 37,314,878,672.00 y específicamente en el renglón de Operación y mantenimiento de infraestructura hídrica es de \$21,794,797.00, para toda la República. En la cual no se encuentra una partida específica a este tipo de trabajos.

En cifras, para la presa Adolfo Ruiz Cortines, que tiene un volumen para azolves de 100 hm<sup>3</sup>, si consideramos que el costo del metro cúbico de desazolve en presas es de \$15.00 (quince pesos 00/100), el costo de una cuarta parte de desazolve de esta presa ascendería a \$375,000,000.00.

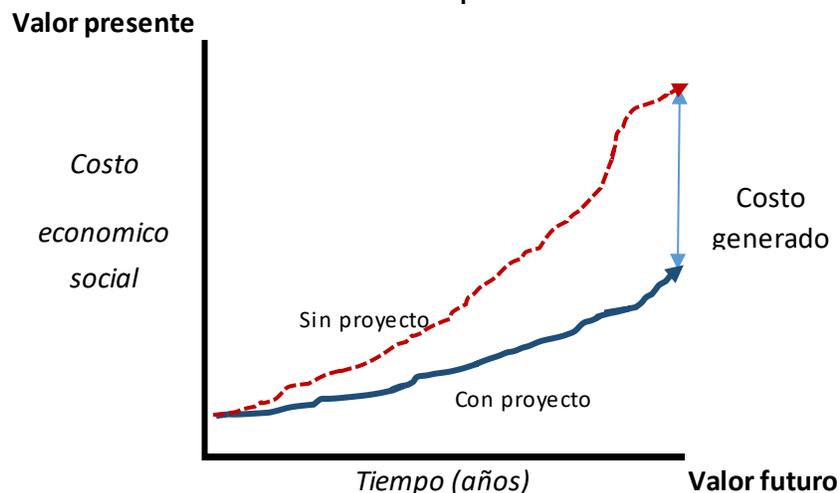
Lo que nos muestra que el costo elevado para realizar este tipo de trabajo de mantenimiento. No se podría realizar con el poco presupuesto destinado.

Para esto, aplicamos el indicador que considerará como eficiencia de la infraestructura hidráulica, el balance entre la capacidad instalada, el periodo de vida útil de la infraestructura y la tasa de sedimentación que está directamente relacionada con los procesos de erosión y pérdida potencial del suelo por lluvia de la cuenca.

Si bien el costo de mantenimiento es alto, analizamos ahora el costo asociado a la pérdida potencial de la infraestructura al no realizar los trabajos de desazolve.

Nuestro estudio se centraría principalmente en la disminución de sedimentos en las presas causados por la erosión de la tierra. El análisis costo – beneficio a realizar en los proyectos de mantenimiento y la evaluación económica social, consisten en realizar comparaciones de ventajas y desventajas económicas que resultarían de continuar sin aplicar un presupuesto al mantenimiento y desazolve de presas.

**GRAFICA 52. Costo económico social por no implementar un proyecto de mantenimiento en presas**



Si consideramos no realizar el proyecto se tendrían que calcular el costo económico social futuro, con la siguiente formula:

$$Cnp = (\sum Fs)^{n \cdot \%} + VPO$$

En donde:

**Cnp** = Costo económico social por falta de mantenimiento.

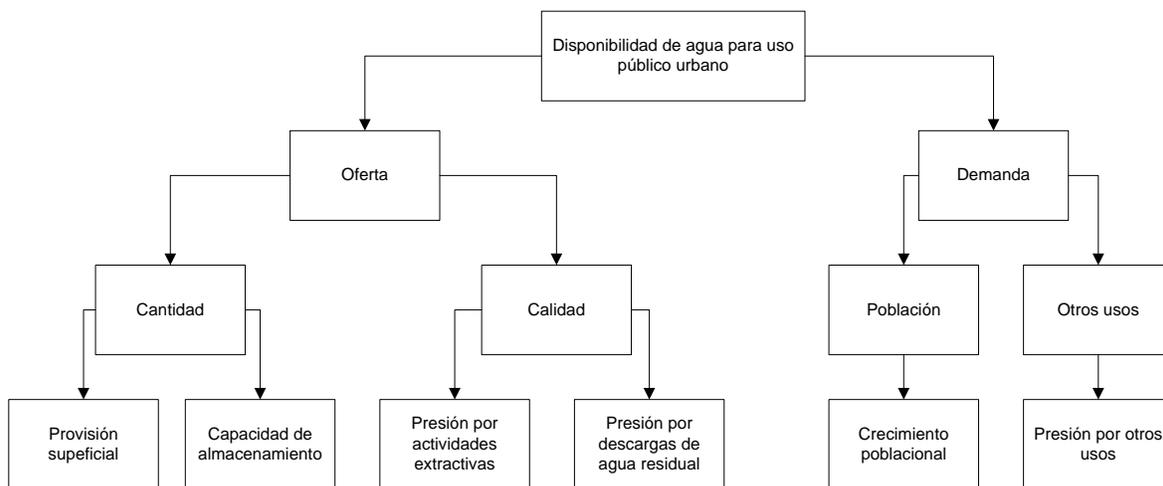
**Fs** = Factores económicos sociales generados por la falta de prevención.

**VPO** = Valor presente de la obra.

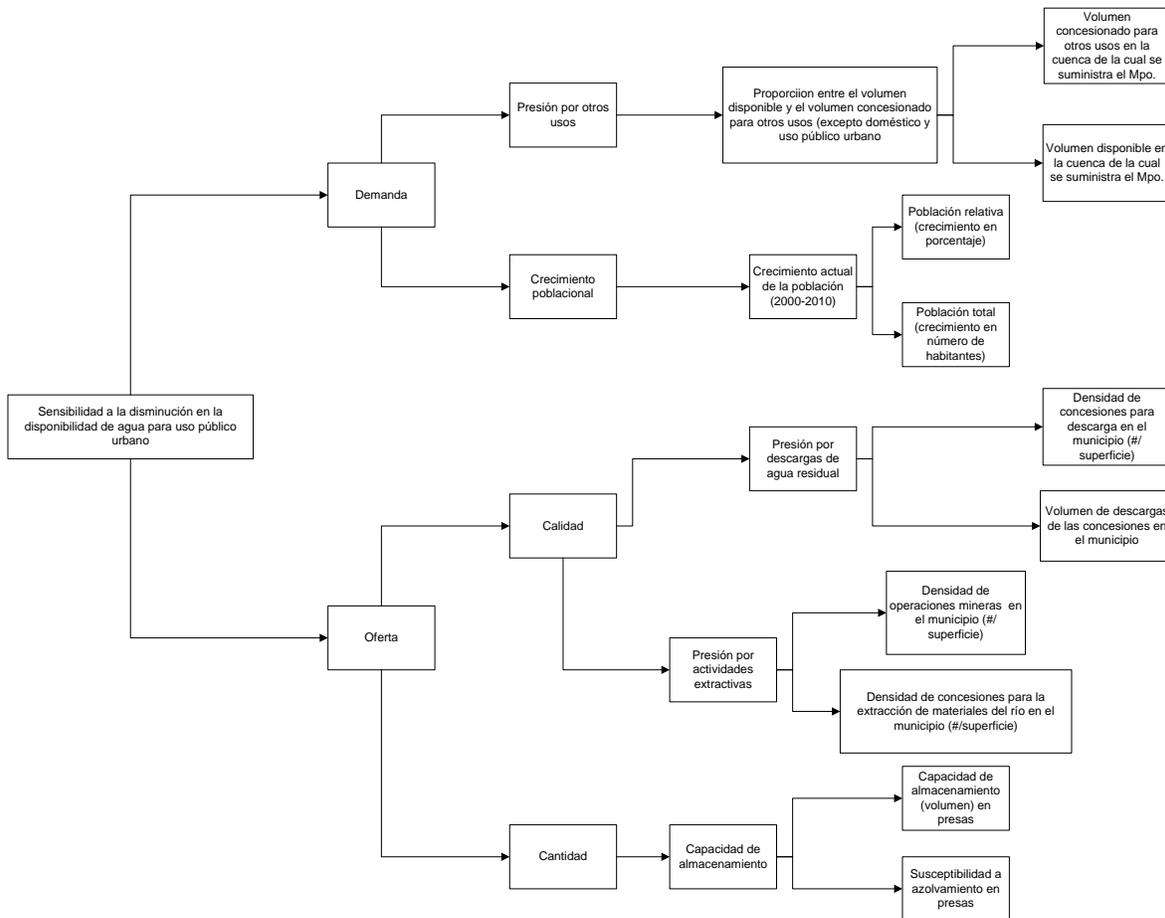
**n** = Años futuros.

Actividad 4. Describir los procesos metodológicos para la integración de indicadores de sensibilidad territorial a la disminución de la disponibilidad de agua en las ciudades estudiadas.

Para términos de esta consultoría, el análisis de la disponibilidad de agua para uso público urbano se realizará siguiendo el siguiente marco conceptual, el cual aborda la disponibilidad en dos componentes generales; oferta y demanda del recurso hídrico.

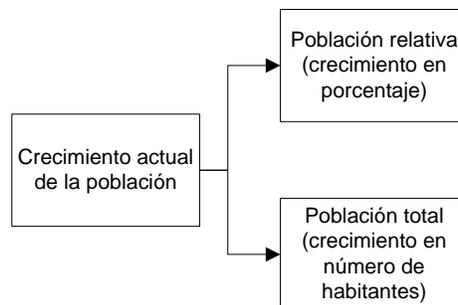


Las variables operativas fueron ordenadas en grupos y sub-grupos con base en la identificación de los principales factores que aumentan la sensibilidad territorial a la disminución en la disponibilidad del agua para abastecimiento público urbano y la infraestructura asociada



## Crecimiento poblacional

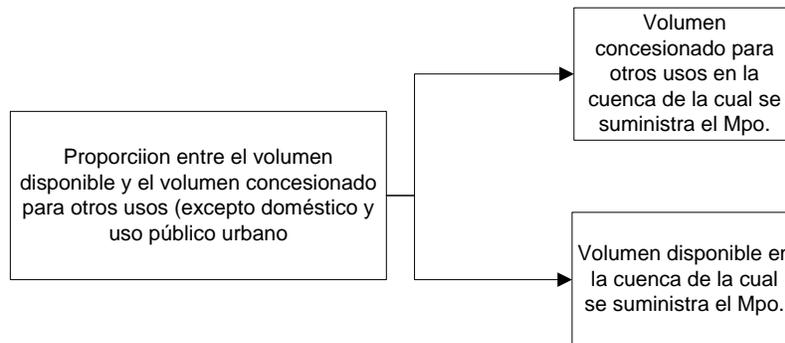
Este indicador tiene la finalidad de representar el grado de presión sobre el recurso hídrico de cada ciudad, derivado del crecimiento de la población tanto en las ciudades como de las poblaciones en las cuencas de abastecimiento. Este indicador se desarrollara considerando la población actual y las proyecciones de la población futura.



La integración de estos indicadores se realizará mediante una estandarización máxima, siguiendo los principios de análisis multicriterio, utilizando las cuencas hidrológicas como unidad territorial.

## Presión por otros usos

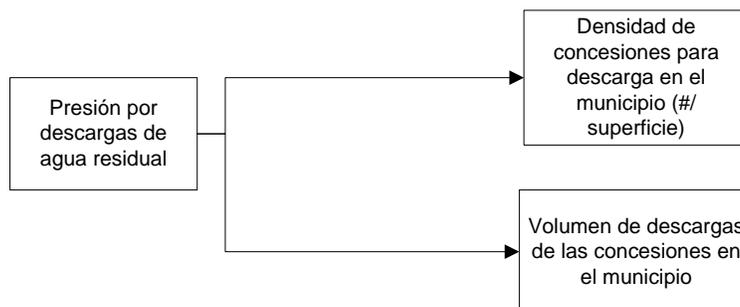
Uno de los factores que determinan la posibilidad de concesionar agua para el abastecimiento de los centros de población, es la disponibilidad que exista de este recurso en las cuencas, esta disponibilidad estará determinada por el volumen disponible menos el volumen comprometido para otros usos, es decir aquellos municipios donde la diferencia entre el volumen concesionado para otros usos y el volumen disponible en la cuenca sea mayor, serán municipios menos sensibles a disminución en la disponibilidad, con respecto a aquellos donde la diferencia entre el volumen comprometido (para otros usos) y el volumen disponible sea mayor.



## Presión por descargas residuales.

Este indicador representa el grado de contaminación del agua superficial en las cuencas hidrológicas, ayudando a visualizar el impacto de las actividades humanas en la disponibilidad de agua superficial en términos de calidad de agua. Este indicador estará compuesto por dos variables:

- Volumen de descargas (industrial, agrícola, pecuario, uso público urbano)
- Densidad de concesiones para descargas de aguas residuales

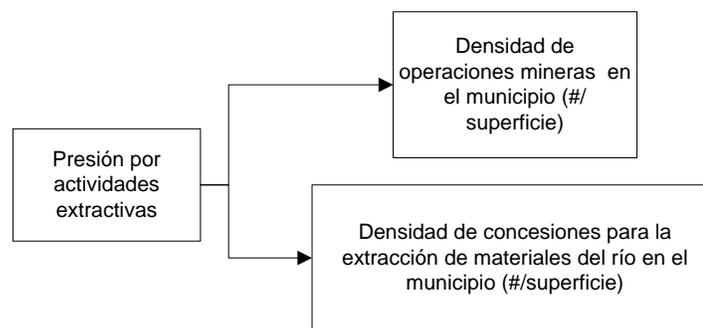


La integración de las variables en el indicador se realizará bajo los principios de análisis multicriterio, utilizando las cuencas hidrológicas como unidad territorial, esto para cada subindicador.

### Presión por actividades extractivas.

Este indicador representa el grado de alteración ecológica de las cuencas, derivado de las actividades extractivas en el territorio. Para la construcción de este indicador se considerarán las siguientes variables.

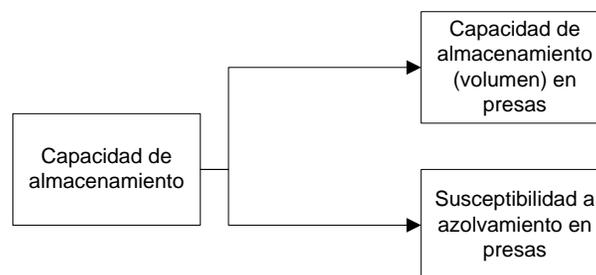
- Número de operaciones mineras (metálicas y no metálicas)
- Densidad de operaciones mineras (metálicas y no metálicas)
- Número de concesiones para la extracción de materiales de los ríos (piedra, grava, arena)
- Densidad de concesiones para la extracción de materiales de los ríos (piedra, grava y arena)



La integración de las variables en el indicador se realizará bajo los principios de análisis multicriterio, utilizando las cuencas hidrológicas como unidad territorial. Esta integración se realizará mediante una suma lineal sin ponderación de los valores estandarizados para cada variable.

### Capacidad de almacenamiento

Este indicador tiene la finalidad de evaluar la sensibilidad de la infraestructura hidráulica asociada al suministro de agua para uso público urbano en las ciudades de estudio, la integración de este indicador considerará las siguientes variables:



- Capacidad instalada (volumen)
- Susceptibilidad a azolvamientos, se refiere al volumen o capacidad de almacenamiento perdido por el volumen de sedimentos provenientes de la pérdida potencial de suelo en las cuencas abastecedoras.

Actividad 5.- Generar bases de datos estadísticas y cartográficas tanto en formato vectorial como raster, así como cualquier otra información y material generado en las actividades desarrolladas durante la consultoría.

Dado la secuencia lógica de los procesos durante el presente estudio la generación de bases de datos comprometida para el producto tres, han tenido un notable avance, por lo cual se consideró necesario reflejarlo en el presente informe parcial donde se reportan los avances logrados en la generación de las siguientes bases de datos; climatológicos (temperatura y precipitación), hidrométricos (escurrimientos), de población actual, (densidad y crecimiento 2000-2010, INEGI), proyecciones de población (2015-2020-2025-2030, CONAPO), capacidad de almacenamiento (CONAGUA), cabe señalar que estos datos estadísticos están asociados a los municipios con una agregación y representación cartográfica a nivel de cuenca (Actividad 7 de los términos de referencia).

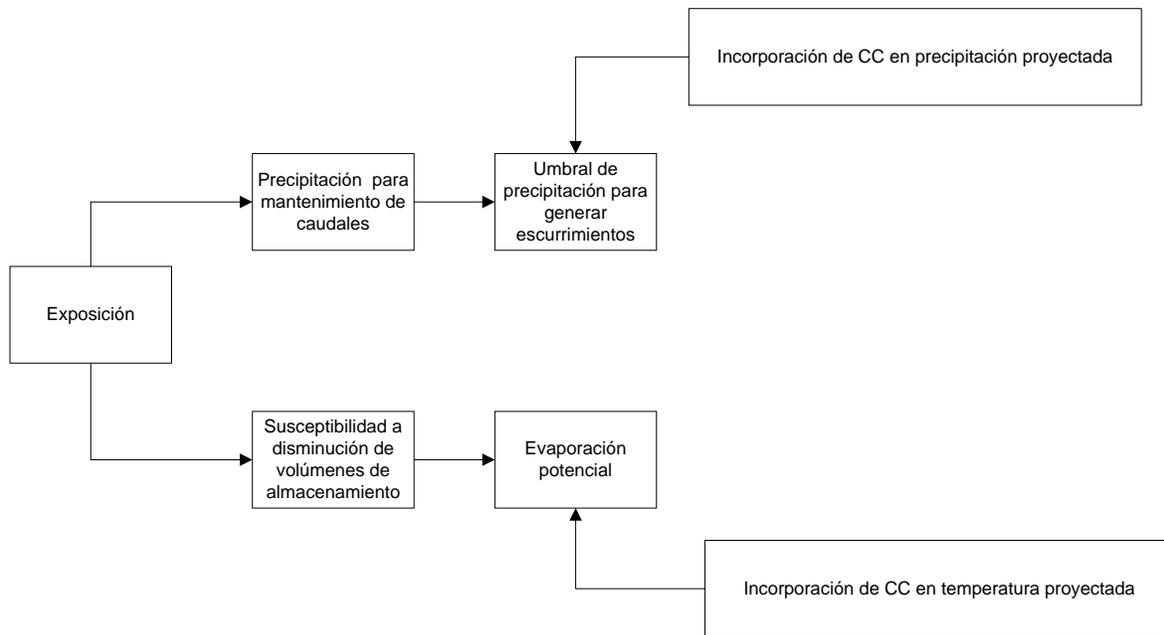
En cuanto a las bases de datos cartográficas se presentan avances en la agregación de variables (a nivel de cuenca hidrológica) de los valores para los indicadores de crecimiento poblacional, presión por actividades extractivas y presión por descargas de aguas residuales.

Actividad 6.- Incorporar los escenarios de cambio climático, generados a partir de los modelos de circulación general publicados en la Quinta Comunicación Nacional.

A continuación se esquematizan y describen los procesos metodológicos para la incorporación de escenarios de cambio climático a indicadores relacionados con la disminución en la disponibilidad de agua superficial para uso público urbano. En la metodología propuesta, se incorporan los cambios en temperatura y precipitación (anomalías) proyectados por cuatro modelos de circulación general (CNRM, MPI, HADGE y GFDL) para el horizonte de tiempo cercano (2015-2039) y dos forzamientos radiativos (4.5 y 8.5 w/m<sup>2</sup>) para cada modelo.

Con la finalidad de ajustar los indicadores y variables propuestas en este estudio, al marco conceptual adoptado por el INECC para la construcción del Atlas Nacional de Vulnerabilidad, se realizaron las modificaciones y adecuaciones propuestas por el INECC, estas modificaciones consistieron en identificar los criterios e indicadores de sensibilidad que dependieran directamente de factores climáticos (precipitación y temperatura). Una vez identificados estos indicadores, se desagregaron en sus diferentes variables, se parando la parte biofísica de la climática, con la finalidad de reagrupar los elementos biofísicos en variables de sensibilidad y los climáticos en exposición.

Los indicadores de exposición propuestos se basan en dos criterios generales; 1) Precipitación para el mantenimiento de caudales y 2) La susceptibilidad a la disminución del volumen de almacenamiento. El primero se refiere a la precipitación necesaria para mantener los escurrimientos o caudales necesarios para mantener los regímenes de escurrimiento actual. El segundo representa la susceptibilidad a la disminución del volumen de agua almacenado en presas e infraestructura instalada para el abastecimiento de agua para uso público urbano.



## Actividad 7.- Agregar los indicadores a nivel de cuenca hidrológica

La agregación de indicadores se realizará siguiendo la lógica del análisis jerárquico (Saaty, 1980), esto con el objetivo de expresar el impacto relativo de cada una de las criterios identificados para evaluar la sensibilidad territorial a la disminución en la disponibilidad del agua para abastecimiento público urbano y la infraestructura asociada. Una vez establecido el árbol jerárquico de variables de sensibilidad, será necesario aplicar métodos de estandarización simple con la finalidad de compararlas entre sí. Para las variables continuas es necesario utilizar la función lineal entre valores máximos y mínimos como método de estandarización. Para las variables categóricas se usará el método de ordenación simple (Gómez, 2006) para transformar las clases en valores de 0 a 1 con base en el aporte de cada clase la sensibilidad territorial a la disminución en la disponibilidad del agua para abastecimiento público urbano y la infraestructura asociada.

El diseño del árbol jerárquico de agregación de las variables se fundamenta bajo las premisas del análisis multicriterio (Malczewski, 1999).

La ponderación de todas las variables del mismo nivel jerárquico y del mismo grupo se sustenta en el algoritmo de ordenación simple antes mencionado para determinar el impacto relativo de cada una de estas en la sensibilidad territorial a la disminución en la disponibilidad del agua para abastecimiento público urbano y la infraestructura asociada. La superposición espacial de los valores de cada uno de las variables es a través de la sumatoria lineal ponderada, la cual permite evaluar cada cuenca en función de la suma de los valores ponderados de cada criterio en los diferentes niveles de la jerarquía (Belton, 1986). Los cálculos de agregación se implementan en el módulo de análisis espacial multicriterio del software ILWIS 3.4.

Finalmente se clasificarán los valores de la agregación final según el método de Jenks, el cual busca reducir la varianza entre los grupos y maximizar la varianza entre estos (método de quiebres naturales).

## Bibliografía

Ven Te Chow, Maidment, D. R., Mays, L.W. (2000): Hidrología Aplicada. -McGraw-Hill Interamericana.

Aparicio Mijares, Francisco J, 1989, Fundamentos de Hidrología Superficial, Limusa, México, D.F.

McCuen, Richard H., 1982, Aguide to Hydrologic analysis using SCS Methods, Prince, Hall, New Jersey 07632

Dr. Ignacio Guillermo Galindo Estrada, Universidad de Colima, Identificación y estudios de las islas n y estudios de las islas urbanas de calor de las ciudades de urbanas de calor de las ciudades de Guadalajara y Colima, propuestas de Guadalajara y Colima, propuestas de estrategias de mitigación CONAFOVI CONAFOVI-2007 2007-66663

Karenia Córdova Sáez, Universidad Central de Venezuela Venezuela “Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo”: caracas, octubre- 2009, marzo- 2010.

Anderson, D. Sweeney D. y Williams, T. (1982, 2005). Estadística para administración y economía. México: Thomson editores.

Javier Houspanossian, Juliano Schirmbeck, Raúl Rivas, Patricia Vazquez, Instituto de Hidrología de Llanuras. CC 44, B7300, Azul, Buenos Aires, Argentina Comisión de Investigaciones Científicas de Buenos Aires, C/Gral Belgrano 525-526, 1900, La Plata, Argentina. Relación entre la temperatura radiativa de la vegetación y el contenido de agua en suelo.

CONAGUA, Sistema de Seguridad de Presas 2016.

CONAGUA Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS, 2016)

CONAGUA, Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional Proyecto Bases de Datos Climatológicos 2016

Gerardo Boco, Manuel E. Mendoza, Ángel Prieto y Ana Burgos, La cartografía de los sistemas naturales como base geográfica para la planeación territorial, 2010.

Emilio Chuvieco, Fundamentos de la teledetección espacial, segunda edición, ediciones Rialp Madrid, 1995.

Cámara Minera de México (Camimex). Informe Anual 2010. 142 pp.

Cámara Minera de México (Camimex). Informe Anual 2011. 170 pp.

Cámara Minera de México (Camimex). Informe Anual 2012. 167 pp.

Dudka, S., Adriano, D. 1997. Environmental impacts of metal ore mining and processing: a review. *Journal of Environmental Quality* 26: 590-602.

Environmental Mining Council of BC. 1998. Acid Mine Drainage. Mining & water pollution issues in BC. 25 pp.

Lottermoser, B. 2010. Mine wastes: characterization, treatment and environmental impacts. Springer, 3a ed. 400 pp.

Salomons, W. 1995. Environmental impact of metals derived from mining activities: Processes, predictions, prevention. *Journal of Geochemical Exploration* 52: 5-23.

D.O.F. (2012) Diario Oficial de la Federación. NORMA Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Poder Ejecutivo, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México

Carabias, J. (2008) Prólogo en "Agua y Clima: Elementos para la adaptación al cambio climático" Editores; Rosalva Ianda, Víctor Magaña y Carolina Neri. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Centro de Ciencias de la Atmosfera- UNAM, pp. 9-11. México D.F. 2008

Constanza, R. (2008) "Natural Capital". *Enciclopedia of Earth*. Cutler J. Cleveland (Ed). Environmental Information Coalition. National Council for Science and Environmental, Washington D.C.

Enriquez, C y O, Oropeza, (2010) Áreas susceptibles a inundaciones por zona funcional. En: *Las Cuencas Hidrográficas de México. Diagnóstico y Priorización*. (H. Cotler, coordinadora). Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT. México.

El Economista: Reconstrucción, un reto para México después de Ingrid y Manuel, Jueves 20 de febrero de 2014

Fisher B, Turner KR, Morling P. 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics* 68 (3), 643–653.

González N., M. Hernández, y C. Romero. (2013) "La planificación hídrica en el contexto de la eco-hidrología" *Derecho y Ciencias Sociales*. Octubre 2013. N°9 (La problemática del agua en el mundo actual) .Pgs.15-23 ISSN 1852- 2971

INEGI-INE-CONAGUA (2007) Mapas de Cuencas Hidrográficas de México (escala 1:250,000). Producto cartográfico derivado de la obra primigenia: INE (2003) "Cuencas Hidrográficas de México, escala 1:250,000" elaborado por Priego, A., Isunza E., Luna y Pérez J.L.

IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M.

Midgley (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Naveh, Z and A. Lieberman (1993) *Landscape Ecology; Theory and Application*, New York, Springer.

Oropeza, O y C. Enriquez. (2007) Áreas susceptibles a inundaciones. En: Coll, A. "Nuevo atlas nacional de México". Sección Naturaleza; Instituto de Geografía, UNAM, México.

Kurczyn–Robledo, J., T. Kretschmar, y A. Hinojosa–Corona. (2007) "Evaluación del escurrimiento superficial en el noreste del Valle de Guadalupe, B.C., México, usando el método de curvas numeradas y datos de satélite" *Rev. Mex. Cienc. Geol.* V.24 N.1 México.

Rahaman, M. and O. Varis (2005) "Integrated water resources management: evolution, prospects and future challenges". *Sustainability: Science, Practice and Policy* 1 (1):15-21.

Rodríguez, J. 1984. *Apuntes de Geografía de los paisajes*. Facultad de Geografía, Universidad de la Habana, Cuba.

SEGOB. Secretaría de Gobernación, México, DF, a 16 de diciembre de 2013; Oficio Número SEL/300/1766/13.

SEMARNAT-IMTA. (2014) Geo-portal de Información sobre Cambio Climático en el Recurso Hídrico. Proyecto: Impacto del Cambio Climático en la Temporada de lluvias y ciclones. <http://gia.imta.mx/geoportal/mapas.html>

Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Comisión Nacional de Agua. México. Disponible en consulta: [http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=featured&Itemid=128](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=featured&Itemid=128)

Vélez-Upegui J. y A. Botéro-Gutierrez (2010) Estimation of the time of concentration and the lag time at San Luis Creek Basin, Manizales, *Open Journal System*.

Yue, S., P. Pilon. And G. Cavadias. (2001). "Power of Mann-Kendall and Sperman's rho test for detecting monotonic trends in hydrological series". *Journal of Hydrology.* 259 (2002) 254-271.

Zalewsky, M., G. Janauer y G. Joláncai (1997) "Ecohydrology: A new paradigm for the sustainable use of aquatic resources". IHP-UNESCO SC97/ws/12. Paris

Zinck, J. (1988) *Physiography and soils. Soil survey course*. ITC. Enschede, Holland, 156 pp.

Zonneveld, I. (1979) *Land evaluation and Landscape Science. Lecture of Landscape science. Textbook VII.4*. ITC, Enschede, Holland, 134 pp.



**INECC**  
INSTITUTO NACIONAL  
DE ECOLOGÍA  
Y CAMBIO CLIMÁTICO



# SEMARNAT

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES