



# Generación de Insumos y Herramientas para la Toma de Decisiones en la Estrategia Integral para la Recuperación del Río Santiago



Estudio elaborado por:  
AyMA Ingeniería y Consultoría, S.A. de C.V.

Diciembre de 2019



Medio Ambiente y  
Desarrollo Territorial



**Jalisco**

GOBIERNO DEL ESTADO

## FICHA TÉCNICA

<b>Nombre</b>	Generación de insumos y herramientas para la toma de decisiones en la Estrategia Integral para la Recuperación del Río Santiago
<b>Descripción</b>	Trabajo que recopila e integra la información de calidad del agua de los ríos Santiago y Zula, obtenida en diversos estudios en los últimos años (2000-2019), en bases de datos que posibilitan el análisis de la información histórica de manera sistemática, esto mediante herramientas de manejo de bases de datos relacionales y de sistemas de información geográfica. Posteriormente, se desarrolló el modelo hidrológico con el apoyo de información climatológica, modelos de elevación digital, mapas de usos de suelo, tipo de suelo y herramientas geográficas necesarias para su desarrollo. El estudio fue desarrollado con información disponible a noviembre del 2019, consta de siete capítulos y 365 páginas
<b>Consultora</b>	AyMA Ingeniería y Consultoría, S.A. de C.V
<b>Fecha de entrega</b>	Diciembre de 2019
<b>Dependencia</b>	Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Estado de Jalisco
<b>Área responsable</b>	Dirección Ejecutiva de Transversalidad y Gobernanza Territorial

## **DIRECTORIO**

### **GOBIERNO DEL ESTADO DE JALISCO**

**Enrique Alfaro Ramírez**  
Gobernador constitucional del estado de Jalisco

**Martha Patricia Martínez Barba**  
Coordinadora General Estratégica de Gestión del Territorio

**Sergio Humberto Graf Montero**  
Secretario de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial

**Sofía Hernández Morales**  
Directora Ejecutiva de Transversalidad y Gobernanza Territorial

Con la colaboración de:  
**Jorge Gastón González Alcérreca**  
Secretario de Gestión Integral del Agua

**Carlos Vicente Aguirre Paczka**  
Director General de la Comisión Estatal del Agua

Elaborado por:  
**AyMA Ingeniería y Consultoría, S. A. de C.V.**

**Juan Gualberto Limón Macías**  
Director General

Ana Sophya Díaz Angulo  
Jorge Humberto Márquez Gómez  
Christian Adan Villalobos Lomelí  
Rafael González Ornelas

Apoyo técnico: Karen de la Cabada Ruiz

**Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial**  
**Gobierno del Estado de Jalisco**  
Agustín Yáñez 23434, colonia Moderna C.P. 44190  
Guadalajara, Jalisco, México.

Citación sugerida: **Generación de insumos y herramientas para la toma de decisiones en la Estrategia Integral para la Recuperación del Río Santiago. Jalisco: 2020.**

Disponible en: <http://semadet.jalisco.gob.mx>

Este estudio fue homologado de acuerdo con los criterios de estilo institucional definidos para las publicaciones digitales de la Semadet. El texto y los contenidos se mantienen como fueron entregados por su(s) autor(es).





## RESUMEN

La cuenca alta del Río Santiago tiene una gran relevancia en la vida económica de la región que cubre desde su nacimiento en el Lago de Chapala, así como a su paso por los municipios que recorre hasta llegar al Área Metropolitana de Guadalajara (AMG). Actualmente, el uso del agua procedente del río Santiago sustenta diversas actividades económicas en la región, además de encontrarse considerado como fuente futura de abastecimiento de agua para el Área Metropolitana de Guadalajara (AMG), lo que hace de este cuerpo de agua un recurso de especial interés para los jaliscienses y su cuidado tiene especial importancia para el Gobierno del Estado de Jalisco.

En respuesta a la problemática de contaminación que actualmente presenta el río Santiago, el Gobierno del Estado de Jalisco ha emprendido acciones de control de la contaminación que corresponde a las atribuciones estatales y municipales como lo es el presente estudio, en el que se ejecutaron las siguientes actividades:

- ! Generar herramientas de análisis de la situación actual que permitan elaborar un análisis de las condiciones en las que se encuentran los ríos Santiago y Zula y permita establecer las políticas de control de la contaminación desde una óptica integral de gestión que involucre a los tres niveles de gobierno, las entidades económicas y la sociedad organizada.
- ! Diseñar e integrar una base de datos que organice de manera sistemática la información generada en diversos estudios previamente desarrollados, vinculados a la contaminación puntual y difusa en el área de estudio
- ! Realizar un análisis técnico de la información integrada y proponer una metodología de clasificación y priorización de las fuentes de contaminación puntual más significativas por la naturaleza de su origen.
- ! Elaborar un plan de monitoreo de la calidad del agua en el río Zula y el río Santiago definiendo estaciones de monitoreo que tengan una significación técnica relevante que permita desarrollar una línea base de calidad de agua de los ríos Santiago y Zula que posibilite la evaluación de las acciones de control de la contaminación que se deriven de este estudio y de las acciones paralelas que se vienen realizando.
- ! Elaborar el balance hídrico de la cuenca del río Santiago previo a su confluencia con el río Verde y el río Zula desde su nacimiento hasta su desembocadura en el lago de Chapala.
- ! Elaborar un modelo hidrológico de los ríos Zula y Santiago previo a la confluencia del río Verde.

Palabras clave: Río Santiago, monitoreo de calidad del agua, base de datos de calidad del agua, control de la contaminación, balance hídrico, modelo hidrológico.





## PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio denominado “**Generación de Insumos y Herramientas para la Toma de Decisiones en la Estrategia Integral para la Recuperación del Río Santiago**”, es un trabajo realizado para integrar la información de calidad del agua del río Santiago obtenidos en diversos estudios en los últimos años en unas bases de datos que posibilite el análisis de la información de manera sistemática con herramientas de manejo de bases de datos relacionales y sistemas de información geográfica.

Una vez integrada la base de datos de calidad del agua del río Santiago se desarrolló el modelo matemático hidrológico con el apoyo de información climatológica, modelos de elevación digital, mapas de usos de suelo, tipo de suelo y herramientas geográficas necesarias para el desarrollo del mismo.

El estudio fue desarrollado con información disponible a noviembre del 2019, en el polígono denominado Área de Interés Prioritaria (AIP), que se describe con más detalle a continuación:

## DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

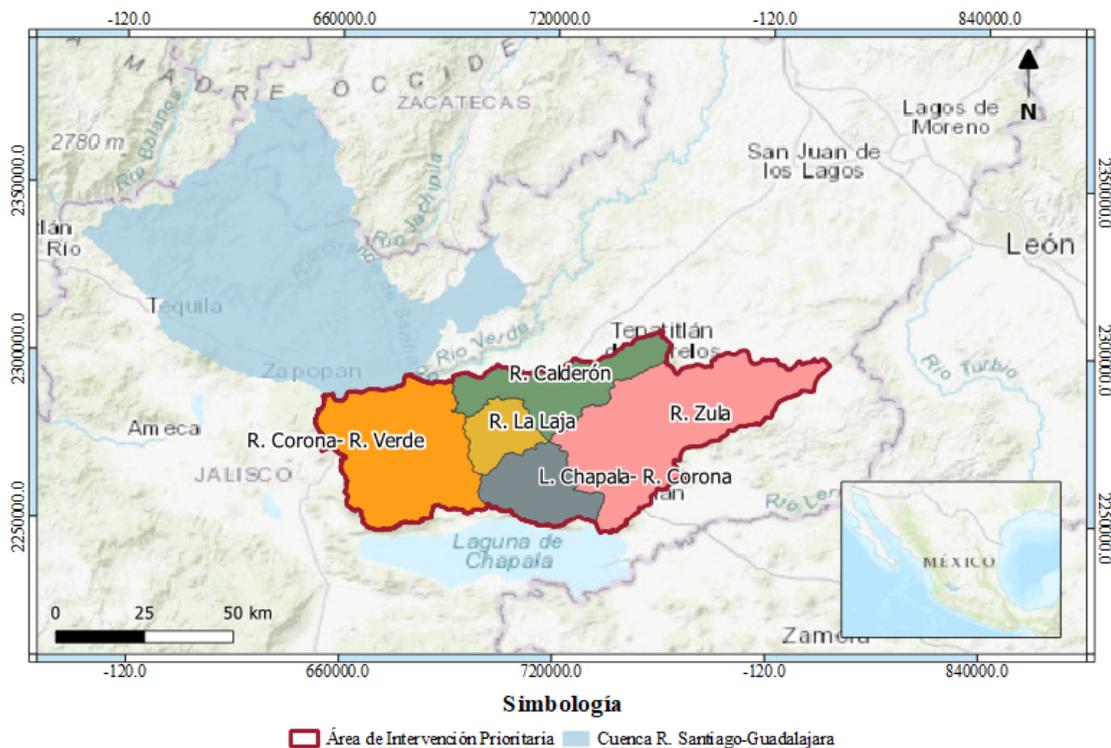
El Río Santiago forma parte de la región hidrológica Lerma-Chapala-Santiago, la cual se divide en 12 cuencas hidrológicas. Una cuenca hidrológica es un área territorial sobre la cual el agua drena de forma natural, generalmente formando ríos que buscan encausarse hacia los océanos, pero no siempre es el caso, una cuenca puede formar parte de un sistema de cuencas formando una región hidrológica. Durante este proyecto se trabajó sobre la cuenca hidrológica Río Santiago Guadalajara.

El río Santiago se encuentra en la cuenca hidrológica denominada Río Santiago-Guadalajara, la cual está integrada por 10 subcuencas. El Gobierno del Estado de Jalisco, en conjunto con los municipios, delimitó un Área de Intervención Prioritaria (AIP) para la *Estrategia integral para la recuperación del Río Santiago*, sobre la cual se desarrolla el presente estudio. El AIP se encuentra conformado por la subcuenca del río Zula y la cuenca alta del Río Santiago (Río Corona-Río-Verde, Río Calderón, Río La Laja y Lago de Chapala-Río Corona), la delimitación del AIP se muestra en la **Figura 0-1**.





**Figura 0-1 Delimitación del Área de Intervención Prioritaria.**

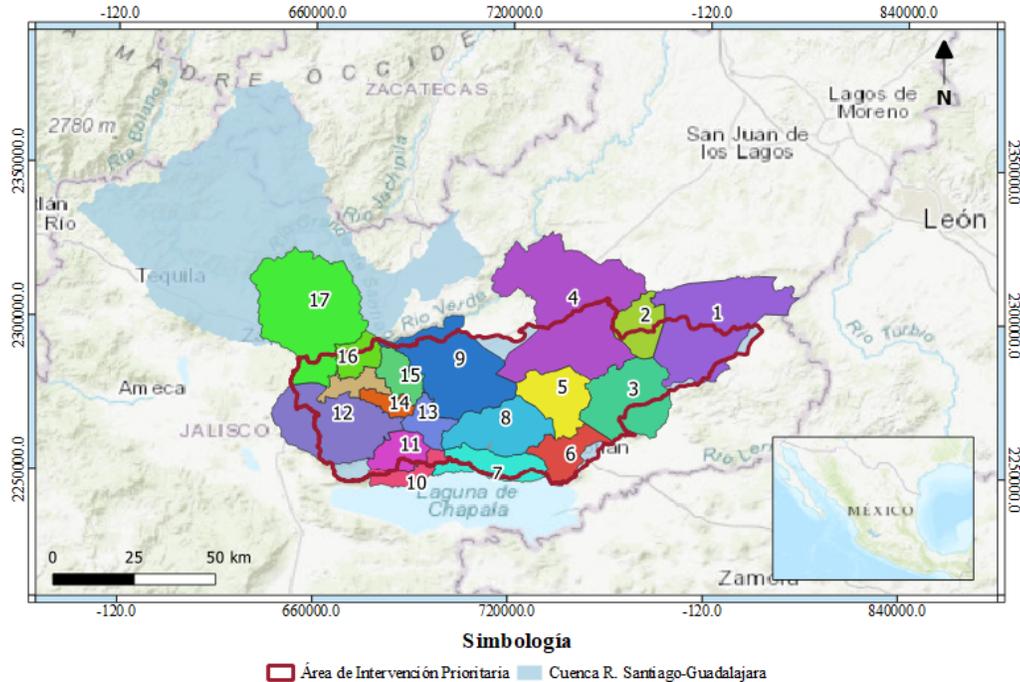


Fuente: Elaboración propia con recursos de INEGI. (INEGI, 2010)

El polígono del AIP tiene un área de 4,931 km<sup>2</sup> y comprende 18 municipios: Arandas (1), San Ignacio Cerro Godo (2), Atotonilco el Alto (3), Tepatitlán de Morelos (4), Tototlán (5), Ocotlán (6), Poncitlán (7), Zapotlán del Rey (8), Zapotlanejo (9), Chapala (10), Ixtlahuacán de los Membrillos (11), Tlajomulco de Zúñiga (12), Juanacatlán (13), El Salto (14), Tonalá (15), Guadalajara (16), Zapopan (17) y Tlaquepaque (18) (**Figura 0-2**). Como se puede observar, en algunos casos no se incluye el área total de algunos municipios en el polígono del AIP, esto se debe a que la delimitación del polígono responde a consideraciones hidrológicas de la propia cuenca y por ello la delimitación política de los municipios difiere.



**Figura 0-2 Municipios que comprende el AIP**



Fuente: Elaboración propia con recursos de INEGI. (INEGI, 2012)

El polígono tiene una población estimada al año 2020 de 4,053,816 habitantes, quienes de manera directa reciben los efectos adversos de la condición de contaminación que se presentan actualmente en los ríos Zula y Santiago. Son ellos quienes eventualmente serán beneficiados directamente con las políticas y acciones de control de la contaminación que se deriven del presente estudio.

El tramo del río Santiago que corresponde al estudio tiene una longitud de 107 km, desde su nacimiento en el lago de Chapala hasta poco antes de su confluencia con el río Verde (aproximadamente 0.74 km), lo que ocurre al noroeste del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG). La parte inicial del río Santiago se ubica en una planicie agrícola, con una longitud de 66 km, seguido de un trayecto de 41 km en el que el cauce se interna en una barranca, la que se hace más profunda a partir de Puente Grande.

La zona con una mayor densidad de población dentro del polígono del área de estudio corresponde al AMG (**Figura 0-3**). La concentración de la población ha generado problemas de control de la contaminación del agua derivado de un retraso en la construcción de infraestructura de saneamiento con respecto al crecimiento poblacional de la zona.

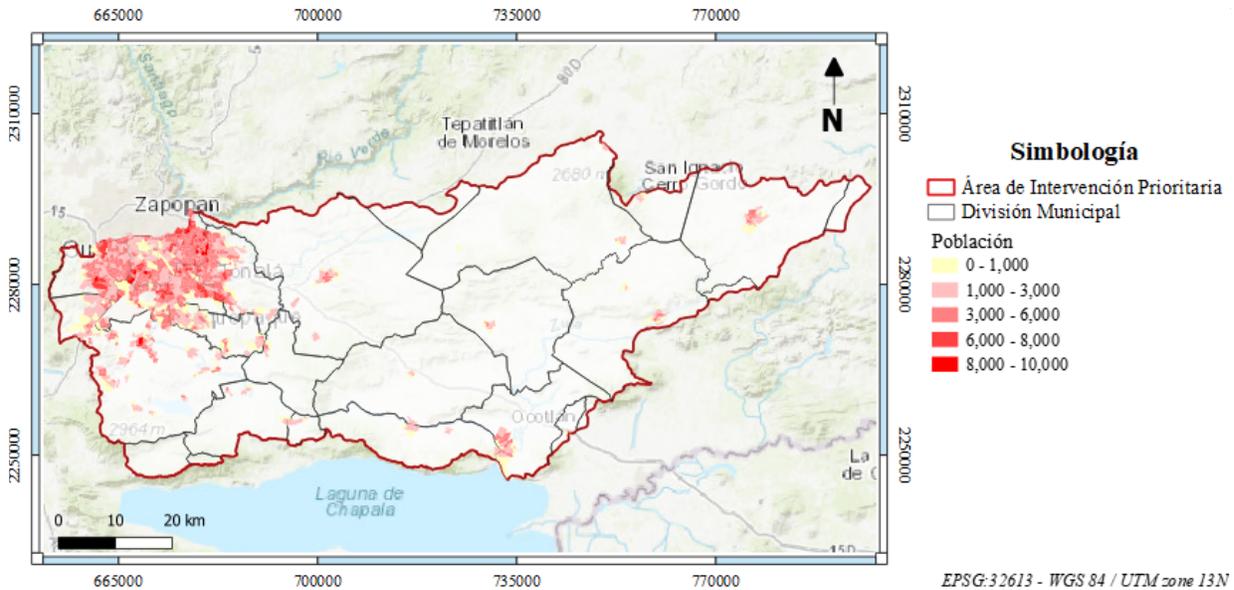
El uso de suelo en el AIP (**Figura 0-4**) es predominantemente agrícola, lo que se confirma con las áreas dedicadas a estos fines y es consistente con la distribución del tipo de permisos de descarga dentro del AIP. En cuanto a las descargas directas a cuerpos de agua, la mayoría se encuentra hacia el oeste del AIP que responde a la ubicación de la mayoría de los asentamientos poblacionales.



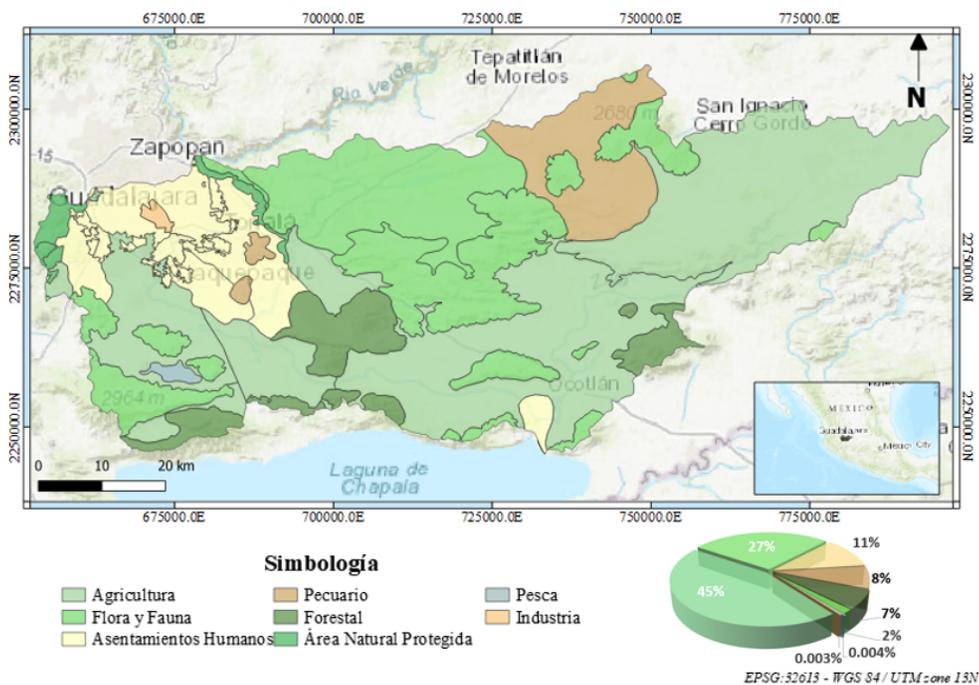
La ubicación de la mayoría de las 28 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que se encuentran dentro del polígono, están próximas a las zonas más habitadas en el oeste del polígono sin que sean suficientes para alcanzar los resultados deseados.

Adicionalmente existe infraestructura de saneamiento fuera de operación o en algunos casos, operando fuera de norma (11 fuera de operación y 7 operando fuera de norma), lo que explica la insuficiencia para mitigar el impacto de las aportaciones de contaminantes que se tienen dentro del AIP.

**Figura 0-3 Distribución de la población**



**Figura 0-4 Programa de Ordenamiento Territorial**



Fuente: Elaboración propia con recursos de SEMADET (SEMADET, 2018)





## TABLA DE CONTENIDO

<b>1.</b>	<b>ANTECEDENTES Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>1-1</b>
1.1	DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	1-2
1.2	BASE DE DATOS DE CALIDAD DE AGUA .....	1-6
1.2.1	Calidad del agua.....	1-10
1.2.2	Bases de datos de descargas.....	1-15
1.2.3	Calidad del Agua del RíoVerde.....	1-16
1.3	RELEVANCIA DE ESTUDIOS PREVIOS.....	1-17
1.3.1	Estudio de monitoreo y modelación de la calidad del agua de los ríos Santiago y Verde en el Estado de Jalisco. AyMA. 2002 - 2003 (AyMA_2003) .....	1-17
1.3.2	Estudio de identificación, muestreo y análisis de las descargas contaminantes de los ríos Santiago y Verde, en el Estado de Jalisco. AICISA 2003 2004 (AICISA 2004).....	1-18
1.3.3	Estudio de elaboración del Plan Maestro para el establecimiento del Organismo de Control y Vigilancia (OCV) del Área de Influencia de la Presa de Arcedian o. (AyMA_2005).....	1-19
1.3.4	Estudio identificación y caracterización de fuentes de contaminación de las cuencas directas del río Santiago entre los municipios de Ocotlán y Tonalá, y directa del río Zula. (AyMA 2006) 1-20	
1.3.5	Estudio de evaluación del impacto económico derivado de la reclasificación del río Verde y Santiago (AyMA_2007).....	1-21
1.3.6	Estudio de informe de resultados del monitoreo del "Rio Santiago" y el arroyo "El Ahogado". (IMTA 2008).....	1-22
1.3.7	Estudio de actualización del estudio de calidad del agua del río Santiago (desde su nacimiento en el Lago de Chapala, hasta la Presa Santa Rosa), (IMTA 2010).....	1-22
1.3.8	Estudio de evaluación de la calidad del agua en la cuenca baja del Ahogado previo arranque y posterior a la puesta en marcha y operación de la PTAR (AICISA_2012).....	1-24
1.3.9	Estudio de evaluación de la calidad del agua en la cuenca baja del Ahogado previo arranque y posterior a la puesta en marcha y operación de la PTAR (Segunda Etapa). (AICISA_2013) 1-25	
1.4	INFORMACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	1-26
1.4.1	Población.....	1-26
1.4.2	Uso de suelo.....	1-28
1.5	ASPECTOS RELEVANTES DENTRO DEL POLÍGONO.....	1-29
1.6	REFERENCIAS.....	1-30
<b>2.</b>	<b>BASE DE DATOS.....</b>	<b>2-1</b>
2.1	BASE DE DATOS DE CALIDAD DEL AGUA – RÍO SANTIAGO.....	2-1
2.1.1	Muestreos sobre el Río Zula.....	2-39
2.1.2	Muestreos sobre el río Santiago.....	2-41
2.1.3	Muestreos sobre afluentes a los ríos.....	2-47
2.2	DESCARGAS DE EFLUENTES DE PTAR .....	2-50
2.3	DESCARGAS SIN TRATAMIENTO.....	2-54
2.4	CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO VERDE .....	2-58





<b>3.</b>	<b>METODOLOGÍA Y PLAN DE MONITOREO.....</b>	<b>3-1</b>
3.1	PLAN DE MONITOREO .....	3-1
3.1.1	Parámetros de calidad del agua analizados.....	3-6
3.2	CAMPAÑAS DE MUESTREO Y ANÁLISIS 2019 .....	3-11
3.2.1	Campaña de monitoreo 1.....	3-14
3.2.2	Campaña de monitoreo 2.....	3-25
3.3	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	3-42
3.4	ANÁLISIS DE COMPUESTOS ORGÁNICOS.....	3-49
3.4.1	Bis-2-(Etilhexil)Ftalato (DEHP).....	3-50
3.4.2	Fenol.....	3-52
3.4.3	Tolueno.....	3-54
3.4.4	Metil-T-Butil Eter (MTBE).....	3-56
3.4.5	2,4,5-Triclorofenol.....	3-58
3.4.6	2,4,6-Triclorofenol.....	3-59
3.4.7	Isoforona.....	3-61
3.4.8	Dietilftalato.....	3-63
3.4.9	Dibutilftalato .....	3-66
3.4.10	Di-2-(Etil-Hexil) Adipato.....	3-68
3.4.11	Cloroformo.....	3-70
3.4.12	Disulfuro de Carbono.....	3-71
3.4.13	m+p-Cresol.....	3-74
3.4.14	m+p-Xileno.....	3-76
3.4.15	o-Xileno.....	3-78
3.4.16	Resumen.....	3-80
3.5	REFERENCIAS.....	3-93
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS DE LA BASE DE DATOS .....</b>	<b>4-1</b>
4.1	ASPECTOS GENERALES DE LA INFORMACIÓN .....	4-1
4.2	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	4-5
4.2.1	Sitios de monitoreo.....	4-5
4.2.2	Calidad del agua.....	4-9
4.3	EVALUACIÓN HISTÓRICA DE CALIDAD DEL AGUA .....	4-9
4.3.1	Primer tramo (RZ1 a RZ7).....	4-10
4.3.2	Río Santiago tramo Alto Santiago (Ocotlán RS1, a Macrolibramiento RS4).....	4-16
4.3.3	Tercer tramo en zona de El Ahogado hasta Paso de Guadalupe (A1/A2 a RS9).....	4-23
<b>5.</b>	<b>BALANCE HÍDRICO, MODELO HIDROLÓGICO .....</b>	<b>5-1</b>
5.1	ACRÓNIMOS.....	5-4
5.2	ALCANCES DEL BALANCE HÍDRICO Y EL MODELO HIDROLÓGICO.....	5-5
5.2.1	Balace Hídrico.....	5-5
5.2.2	Modelo Hidrológica.....	5-5
5.3	SELECCIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO .....	5-6
5.4	ANTECEDENTES .....	5-8
5.5	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO DE MODELACIÓN .....	5-8





5.5.1	Localización Geográfica.....	5-10
5.6	METODOLOGÍA PARA LA MODELACION HIDROLOGICA .....	5-11
5.7	DESCRIPCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO .....	5-17
5.7.1	Hidrología.....	5-17
5.7.2	Clima.....	5-24
5.7.3	Sedimentación.....	5-25
5.7.4	Temperatura del Terreno.....	5-26
5.7.5	Modelo de Crecimiento Vegetal.....	5-26
5.7.6	Nutrientes.....	5-28
5.7.7	Pesticidas.....	5-30
5.7.8	Prácticas de Manejo .....	5-31
5.8	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN .....	5-36
5.9	ARMADO DEL MODELO HIDROLÓGICO .....	5-38
5.9.1	Información de elevación utilizada.....	5-40
5.9.2	Información de Usos de Suelo en la Cuenca.....	5-41
5.9.3	Información edafológica utilizada.....	5-42
5.9.4	Información meteorológica utilizada.....	5-42
5.9.5	Pre-Procesamiento.....	5-46
5.9.6	Proceso de alimentación al modelo.....	5-47
5.10	CORRIDA INICIAL DEL MODELO .....	5-77
5.10.1	Resultados iniciales.....	5-77
5.11	CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL MODELO .....	5-80
5.11.1	Calibración y validación hidrológica.....	5-83
5.12	RESULTADOS .....	5-91
5.12.1	Estimación del caudal ecológico basado en 7Q10.....	5-99
5.12.2	Efectos del Cambio Climático en el Área de Estudio.....	5-102
5.13	REFERENCIAS.....	5-112
<b>6.</b>	<b>MODELO HIDROLÓGICO Y CALIDAD DEL AGUA .....</b>	<b>6-1</b>
6.1	CALIDAD DEL AGUA .....	6-1
6.2	GENERACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA.....	6-4
6.3	FUENTES PUNTUALES.....	6-5
6.4	UNIDADES ECONÓMICAS .....	6-11
6.5	RESULTADOS DE CALIDAD DE AGUA .....	6-16
6.6	REFERENCIAS.....	6-20
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>7-1</b>
7.1	CONCLUSIONES .....	7-1
7.2	RECOMENDACIONES .....	7-4

