



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

6

Modelo Hidrológico y Calidad del Agua





CONTENIDO E ÍNDICES

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

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6-1	Fuentes de información consultadas.....	6-4
Tabla 6-2	Balance de agua para agua residual en fuentes puntuales*	6-6
Tabla 6-3	Aportación másica del agua cruda residual	6-7
Tabla 6-4	Características del agua residual tratada por localidad (mg/L, salvo se indique otra unidad)	6-8
Tabla 6-5	Período de operación de PTAR de acuerdo a registros de la CEA	6-9
Tabla 6-6	Número de cabezas de ganado estimadas en el Área de estudio.....	6-14
Tabla 6-7	Consideraciones para las actividades pecuarias.....	6-15
Tabla 6-8	Carga contaminante bovinos.....	6-15
Tabla 6-9	Carga contaminante porcinos.....	6-15
Tabla 6-10	Primera campaña de monitoreo.....	6-16
Tabla 6-11	Segunda campaña de monitoreo.....	6-17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 6-1	Principales afluentes y descargas en el río Santiago (adaptación (AyMA, 2004)).....	6-3
Figura 6-2	Unidades Económicas dentro del AIP.....	6-11
Figura 6-3	Localización de instalaciones pecuarias observadas	6-14



El modelo hidrológico permite estimar los flujos de agua a lo largo del cauce principal dentro del AIP que corresponde a los ríos Zula y Santiago antes de la confluencia del río Verde, bajo las diversas condiciones estacionales que se desee analizar, toda vez que se cuenta con las condiciones para modelar incluso un día en particular con base en el histórico climatológico de 25 años.

Con el apoyo de la herramienta de modelación hidrológica, es posible realizar la generación de las condiciones de escurrimiento partiendo de los registros históricos de pluviometría y con los registros de calidad de agua realizar un análisis comparativo con la información obtenida de los muestreos, y con ello, establecer una correlación de comportamiento del modelo con relación a las observaciones reales.

Uno de los objetivos de este estudio es establecer las bases y herramientas que serán utilizadas en trabajos futuros de modelación de calidad de agua del río Santiago, por lo que este estudio solamente se limita al modelo hidrológico y a algunas consideraciones simples de calidad de agua. Conceptos de mayor profundidad serán abordados en estudios futuros mediante una combinación de esfuerzos de diferentes instituciones estatales y nacionales.

Como parte de la información base desarrollada en este estudio, se incluye el cálculo macro de la generación de contaminantes en el AIP y, con el apoyo del modelo matemático se estiman los escurrimientos, se correlacionan ambos con los resultados observados en este estudio de concentración de materia orgánica en el agua a través del cauce principal (río Zula y río Santiago), en el tramo que se encuentra dentro del AIP.

6.1 CALIDAD DEL AGUA

El término “calidad del agua” se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua. Es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad o propósito humano. Se utiliza con mayor frecuencia por referencia a un conjunto de normas contra las cuales puede evaluarse el cumplimiento. Los estándares más comunes utilizados para evaluar la calidad del agua se relacionan con la salud de los ecosistemas, seguridad de contacto humano y agua potable.

El SWAT es capaz de modelar, hasta cierto punto, la calidad del agua en el cauce principal del modelo, debido a que en éste está integrado el módulo de QUAL2K, el cual es un modelo versátil de simulación de la calidad del agua en cauces. El QUAL2K puede simular componentes de calidad del agua en cualquier combinación deseada por el usuario (Brown & Barnwell, 1987). El modelo es aplicable a corrientes dendríticas que están bien mezcladas. Utiliza una función diferencial finita de ecuaciones de reacción y transporte de masas. El modelo está diseñado para usarse como una herramienta de planificación de la calidad del agua.

La información que requiere todo modelo de calidad de agua es la información de escurrimientos que son obtenidos con el modelo hidrológico o preferentemente de aforos que coincidan con la toma de muestras, y también requiere de información de calidad de agua de los principales afluentes y descargas, así como su localización geográfica.

En la **Figura 6-1**, se muestra como ejemplo los principales afluentes y descargas del río Santiago, localizados en un diagrama longitudinal del río, son de estas aportaciones principales de las que



se requiere información de calidad de agua y caudales necesarios para integrarlos al modelo de calidad de agua.

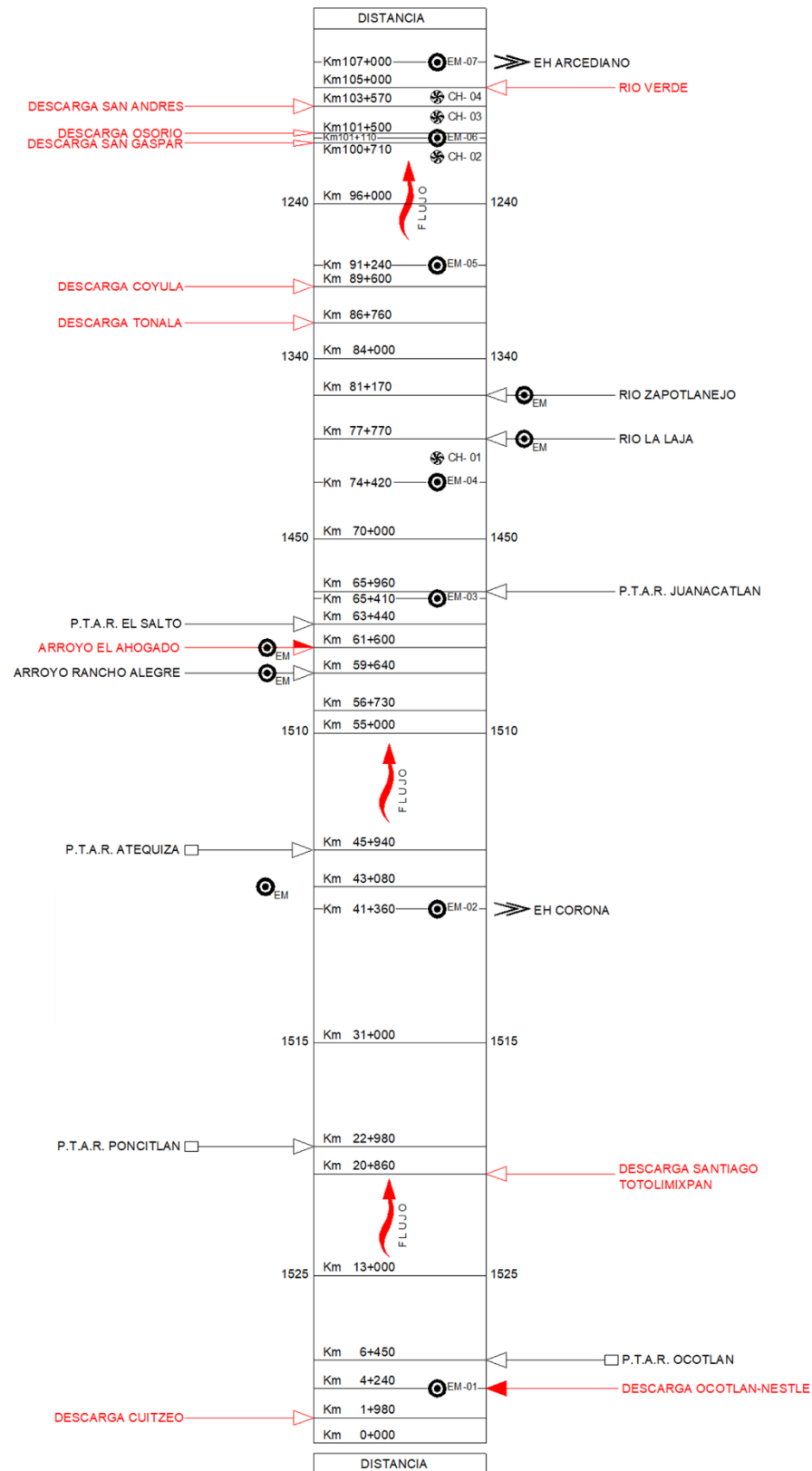
Es por lo antes mencionado que en la siguiente etapa de modelado de calidad de agua se deberán incluir como parte de monitoreo de calidad del agua del cauce principal también las principales descargas y afluentes a los ríos Santiago y Zula, de tal forma que se cuente con toda la información para ser ingresada al modelo matemático.

En virtud de que en esta etapa no fueron monitoreados los afluentes a la corriente principal ni las principales descargas y que el modelo de calidad de agua se plantea para una segunda etapa, en esta etapa se pueden establecer bases de generación de materia orgánica y correlaciones muy generales entre la carga orgánica generada en el AIP y la carga orgánica que finalmente es transportada en las corrientes principales (río Santiago y Zula).

En las siguientes páginas se hace un estimado de la generación de contaminantes en el AIP y se presentan los resultados obtenidos en el monitoreo realizado para este estudio correspondiente al año 2019.



Figura 6-1 Principales afluentes y descargas en el río Santiago (adaptación (AyMA, 2004))



Sección 6



6.2 GENERACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Como se mencionó en la sección anterior, el SWAT requiere información específica de las prácticas de manejo que ocurren dentro de la cuenca a modelar, para estimar a partir de estas, las cargas de contaminantes. En la **Tabla 6-1** se muestran las fuentes de información consultadas para la simulación de la calidad del agua, generadas por fuentes puntuales y no puntuales.

Tabla 6-1 Fuentes de información consultadas

Tipo de datos	Fuentes consultadas	Comentario
Información agrícola (bibliografía y datos estadísticos)	Censo Agrícola (INEGI, 2008) Agenda Técnica Agrícola Jalisco (INIFAP, 2017) Literatura diversa	Opcional para adecuar las prácticas agrícolas presentes en el área de estudio, como son el tipo de cultivos, rendimientos por hectárea, fertilización, uso de pesticidas, si existe riego.
Información pecuaria (bibliografía y datos estadísticos)	Censo Agrícola (INEGI, 2008) Base de datos de granjas porcícolas (PROEPA, 2019) Número de cabezas Literatura diversa publicada en línea en el portal del INIFAP	Opcional para estimar la generación de excretas y orina por actividades pecuarias en la zona de estudio y lo que representa en cuanto a aportación de cargas contaminantes.
Información de población (datos estadísticos)	Censo de población y vivienda (INEGI, 2011) Tasas de crecimiento poblacional (CONAPO, 2019)	Opcional para adecuar las prácticas humanas en zonas urbanas presentes en el área de estudio.
Fuentes o puntos de descarga	Sistema Nacional de Información del Agua (CONAGUA, 2019) Base de datos de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (CEA Jalisco, 2019)	Aun cuando el modelo fue creado con un enfoque en contaminación difusa, en el caso del río Santiago es muy importante incorporar estas aportaciones puntuales. No solo se requiere información de su ubicación, sino también de la cantidad y/o calidad del agua residual de estos puntos, dependiendo el tipo de estudio.



Tipo de datos	Fuentes consultadas	Comentario
Registros y muestreos de nutrientes	Base de datos de muestreos sobre el río Santiago (CEA Jalisco, 2019)	No requerido por el modelo, pero necesario para calibración de transporte y comportamiento de nutrientes en la cuenca.

Para obtener un resultado de aportaciones de contaminantes por fuentes no puntuales en la modelación, se utilizan fuentes de información oficiales y/o confiables y así poder representar los diferentes fenómenos y procesos que suceden en la cuenca de forma adecuada. De igual manera, en los casos donde la información oficial es escasa, es útil revisar la literatura disponible acerca de estudios similares que hayan utilizado el modelo, esto es con la finalidad de detectar y aplicar los criterios o procedimientos utilizados y tomar aquellos que se consideren útiles para el presente estudio.

Partiendo de la base de un modelo hidrológico desarrollado de acuerdo a lo descrito en la **Sección 5**, únicamente fue necesario alimentar la información respectiva de calidad del agua, misma que se describe a continuación a partir de la fuente o proceso presente en la cuenca.

6.3 FUENTES PUNTUALES

Las características de las fuentes puntuales, con la finalidad de asemejar las condiciones reales presentes dentro de la cuenca. Como se mencionó anteriormente, se consideraron como fuentes puntuales únicamente las descargas de las principales localidades dentro del área de modelación.

A partir de los volúmenes de descarga, estimados en la **Sección 5** y considerando las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), existentes en la zona y su capacidad (o flujo actual) de operación, se determinó el balance de agua tratada y la que se descarga sin tratamiento, lo cual se puede observar en la **Tabla 6-2** donde también se muestra la carga de DBO descargada al cauce principal después del tratamiento en los casos que se cuenta con planta en operación.

Los valores presentados en esta tabla parte de las consideraciones de aportación per cápita y plantas operando (**Tabla 6-3** y **Tabla 6-4**), permitiendo estimar la carga de contaminantes por aportaciones puntuales de las localidades de una manera más adecuada.

En lo que se refiere a la calidad del agua, se tomaron dos consideraciones, una fue la calidad del agua cruda (véase **Tabla 6-3**) y la otra fue la calidad del agua tratada en los puntos con descargas (véase **Tabla 6-4**), esto con la finalidad de realizar el balance de generación de cargas contaminantes.

En caso de contar con tratamiento, la calidad se estableció a partir de resultados del monitoreo del desempeño de las PTAR realizado por la CEA (CEA Jalisco, 2019) y de acuerdo a los periodos de operación mostrados en la **Tabla 6-5**.



Tabla 6-2 Balance de agua para agua residual en fuentes puntuales*

Localidad(es)	Descarga Total Estimada (m ³ /d)	Capacidad PTAR (l/s)	Capacidad (m ³ /d)	Agua Cruda descargada (m ³ /d)	DBO descargado después de tratamiento (kg/d)
Arandas**	9,600	75	6,480.00	3,120.20	1,110.1
Atotonilco	4,945	70	6,048.00	0	181.4
San Ignacio Cerro Gordo, San Francisco, San José de Gracia	2,753	25	2,160.00	593.4	239.0
Tototlán***	2,303	26	2,246.40	56.5	84.0
Ocotlán	15,413	217	18,748.80	0	562.5
Poncitlán	2,499		0	2,498.90	733.4
Zapotlán del Rey	604		0	603.5	177.1
Atequiza	1,246	18	1,555.20	0	46.7
Tlajomulco (cabecera y Cajititlán)	5,570	200	17,280.00	0	518.4
PTAR El Ahogado (ZMG 1)***	324,000	2250	194,400.00	129,600.00	43,866.8
El Salto y Juanacatlán (Frac. Andalucía)	5,663	49	4,233.60	1,429.40	546.5
Jala y Santa fe	505		0	504.9	148.2
Zapotlanejo	5,957	32	2,764.80	3,192.40	1019.8
PTAR Agua Prieta (ZMG 2)***	652,320	5500	475,200.00	177,120.00	66,236.9
Cuquío	877		0	876.9	257.4
Ixtlahuacán del Río	1,140		0	1,140.40	334.7
Total	1,035,395	8,462	731,117	320,737	116,063

** Sin operar en el 2019, pero se consideraron en operación para fines de calibración dependiendo de la fecha de los datos utilizados.

*** Se utilizaron valores de operación de la PTAR y adicionaron los volúmenes estimados que no se tratan.



Tabla 6-3 Aportación másica del agua cruda residual

Aportación Másica per cápita	Valor (g/hab-d)
DBO	54
DQO	110
Nitrógeno Total	8
Nitrógeno Amoniacal N-NH ₃	4.2
Nitrógeno Orgánico	3.8
Fosfatos Totales**	4.6
Fósforo Total	1.5
Fósforo Orgánico*	0.9
Fósforo Inorgánico*	0.6
Sólidos Totales	243

* Datos determinados basado en relación P_{org}/P_{total} (Metcalf & Eddy, 2013).

** Dato determinado basado en estequiometria.

Fuente: Adaptación de (CONAGUA, 2015) y (Metcalf & Eddy, 2013).



Tabla 6-4 Características del agua residual tratada por localidad (mg/L, salvo se indique otra unidad)

Fuente Puntual (Localidad)	Coliformes Fecales (NMP/100mL)	DBO	Fósforo Mineral*	Fósforo Orgánico*	Nitratos	Nitritos	Nitrógeno Amoniacal	Nitrógeno Orgánico
Arandas	446,240	8.4	1.8	2.7	4.2	0.2	5.3	2.9
Atotonilco El Alto	10,163,227	5.2	0.8	1.2	0.3	0.4	2.6	2.2
San Ignacio Cerro Gordo	127,727	13.9	0.6	0.9	2.8	0.2	3.4	2.3
Tototlán	940,302	10.8	1.3	2.0	0.9	0.1	2.4	6.0
Ocotlán	2,335,901	7.0	1.3	2.0	2.4	0.1	2.9	1.7
Poncitlán	Sin tratamiento							
Zapotlán del Rey	Sin tratamiento							
Atequiza	8,239	15.1	1.7	2.5	2.4	0.8	11.1	2.5
Tlajomulco de Zúñiga	82,369	11.9	1.9	2.9	3.1	0.2	3.7	2.6
Cajititlán	94,796	15.4	1.0	1.6	4.9	0.3	5.8	4.0
El Ahogado	72	8.4	0.4	0.7	3.2	0.2	3.8	2.7
El Salto	6,274	5.7	2.5	3.7	3.9	0.1	3.2	1.6
Juanacatlán	6,957	4.7	1.9	2.9	2.1	0.1	7.1	1.7
La Laja	Sin tratamiento							
Zapotlanejo	109,135	6.1	2.7	4.1	4.1	0.0	0.7	2.7
Agua Prieta	No determinado	34.7	1.5	2.2	8.1	0.5	9.6	6.7
Ixtlahuacán del Río	Sin tratamiento							
Cuquío	7,920,200	71.7	1.5	2.2	13.0	0.0	1.3	1.9



*Estimados a partir de Fósforo Total

Es a partir de los volúmenes de agua cruda y tratada, así como de las concentraciones consideradas para agua residual cruda y tratada, que se estimaron las aportaciones de cargas contaminantes por localidad.

Tabla 6-5 Período de operación de PTAR de acuerdo a registros de la CEA

PTAR (o Localidad)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Arandas																		
Atotonilco El Alto																		
San Ignacio Cerro Gordo																		
Tototlán																		
Ocotlán																		
Poncitlán																		
Zapotlán Del Rey																		
Atequiza																		
Tlajomulco De Zúñiga																		
Cajititlán																		
El Ahogado																		
El Salto																		
Juanacatlán																		
La Laja																		



Zapotlanejo																		
Agua Prieta																		
Ixtlahuacán Del Río																		
Cuquío																		
En operación en AIP	4	4	4	5	7	8	8	8	8	8	10	10	12	12	12	12	11	11
En operación total	4	4	4	5	7	8	8	8	9	9	11	10	12	12	13	13	12	12



En operación

6.4 UNIDADES ECONÓMICAS

Las descargas de aguas residuales puntuales procedentes de las Unidades Económicas (UE) más importantes en el AIP, se integraron a partir de los estadísticos económicos publicados por el INEGI en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DNEUE), en donde se presenta información general del giro, localización y tamaño de las UE.

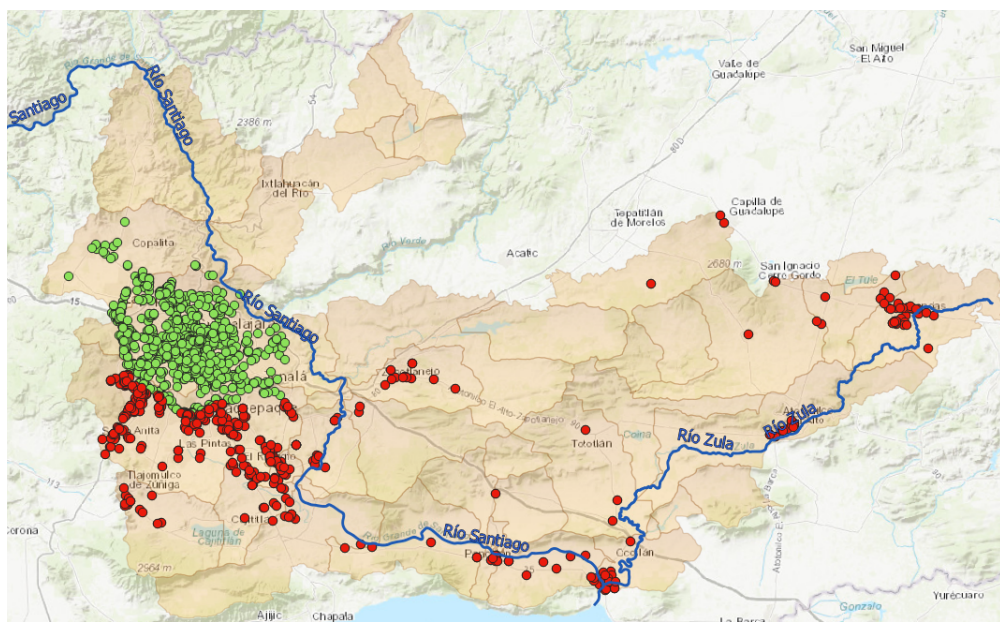
Con esta información como base y con el apoyo de los permisos de descarga publicados por la CONAGUA en el Registro Público de Derechos de Agua (REPD), se llevó a cabo el análisis de la información disponible y, con el apoyo de los monitoreos de descargas de UE realizado en un estudio de la PROEPA (PROEPA, 2019), se realizó el análisis de la información con el fin de lograr obtener las aportaciones por porte de la UE.

Para la determinación de las cargas contaminantes generadas en el AIP, se integraron al sistema de información geográfica las UE con la finalidad de identificar aquellas que se encuentran dentro de las áreas urbanas y que cuentan con servicio de alcantarillado para, de esta forma, identificar cuales descargan a cuerpos de agua nacional.

La base de datos del Directorio de Estadísticas Nacionales de Unidades Económicas (DNEUE) del INEGI cuenta con registro de 371,623 UE dentro del estado de Jalisco, mientras que en los municipios ubicados dentro del AIP, se tiene registro de 30,578 unidades económicas.

Las UE de mayor tamaño (superiores a 31 empleados) ubicadas dentro del AIP resultan un total de 1,806, sin embargo 1,308 UE se ubican dentro de la periferia de la ZMG, por lo cual se considera que descargan al alcantarillado. Las 498 UE restantes se ubican fuera de la periferia de la ZMG, por lo que se considera que estas descargan a cuerpos de agua que desembocan en los ríos Zula o Santiago.

Figura 6-2 Unidades Económicas dentro del AIP



En verde, UE con descarga a alcantarillado público; en rojo UE con descarga a cuerpo de agua.
Fuente: Elaboración propia.



La información disponible en el DENUE resulta limitada para realizar una estimación de las aportaciones de origen industrial, ya que este directorio no almacena información de calidad del agua ni consumos; por otro lado, el REPDA no se encuentra actualizado, ya que únicamente cuenta con registro de 27 permisos de descarga de origen industrial y el monitoreo de la PROEPA únicamente recopila información de calidad del agua de 39 UE, lo cual provee información poco representativa para lograr realizar una estimación confiable.

Como se puede observar, determinar la generación de DBO en la cuenca derivado de actividades económicas (UE), es una tarea que excede con mucho los alcances de este estudio y si el objetivo final es determinar cuánto de las cargas contaminantes son realmente conducidas al cauce principal la labor a desarrollar termina teniendo una alta incertidumbre.

Con la finalidad de establecer una aproximación de aportaciones de DBO de origen no doméstico, se puede optar por generar con el modelo matemático la aportación de materia orgánica como resultado de actividades agropecuarias, determinar las aportaciones puntuales de materia orgánica y restar estos dos valores a la carga contaminante en cada tramo de río monitoreado.

Si bien la opción anterior es la más fácil de hacer, requiere de más de dos registros de calidad de agua con aforos para establecer con mayor precisión cuanta materia orgánica procede de arrastres pluviales del suelo y cuanto provienen de las fuentes puntuales de contaminación.

Derivado de las limitaciones de información en este apartado solamente nos limitaremos a plantear la información disponible y delinear las actividades que deberán ser desarrolladas en la siguiente etapa de modelación de calidad de agua.

Se calculó el flujo másico de DBO a las corrientes principales en cuatro puntos: uno en la parte baja del río Zula y tres en el río Santiago para los tramos Chapala-presa Corona y de presa Corona hasta antes de la confluencia del río Verde.

Con base en la información obtenida en los muestreos realizados en el 2019, y con fines de ejemplificar la aproximación, se determinaron las cargas de DBO que escurren en cada uno de los tramos (**Tabla 6-10**). Para el caso del río Zula al valor observado en el río de 6,855 kg de DBO/d, se le restaron las aportaciones de origen doméstico que descargan muy cerca de la corriente principales (localidades principales en la cuenca del río Zula) para obtener un orden de magnitud de la carga contaminante correspondiente a los arrastres del suelo y a las descargas no domésticas para esta cuenca del río Zula.

La suma de descargas domésticas (**Tabla 6-2**), desde Arandas hasta su llegada en Ocotlán es de 1,614.50 kg/d, y si se estima que 5 mg/l de DBO pueden ser debido a materia orgánica natural, se tendrían 3,844.8 kg/d. Ambos valores se tendrían que restar este valor a 6,855 kg DBO/d observado en la primera campaña el resultado de 1,395.7 kg DBO/d correspondería entonces a los arrastres pluviales y descargas no domésticas.

El cálculo anterior es muy simplificado, pero ilustra la necesidad del procedimiento general que debe ser aplicado en un modelo de calidad de agua que requiere de más información para generar información confiable.

De la premisa anterior alrededor de 1.4 toneladas de DBO por día se observan al final de la cuenca del río Zula como resultado de descargas de UE y de arrastres de materia orgánica por actividades agropecuarias; sin embargo, en el caso de la cuenca Corona – río Verde, requiere



mayor análisis para realizar esta estimación, ya que en esta cuenca se ubican las aportaciones domésticas más importantes del AMG. Entre estas descargas se encuentra el efluente de la PTAR El Ahogado, así como las descargas de las cuencas de Osorio, San Gaspar y Tonalá, si bien se tiene el caudal que trata la PTAR El Ahogado, no se cuenta con datos de caudales del resto de las descargas.

Derivado de lo anterior, solamente se puede hacer una estimación a gran escala que corresponde al cálculo presentado en la **Tabla 6-2** en la que el estimado es un cálculo muy general y no cumple con el rigor de los análisis de laboratorio y aforos correspondientes.

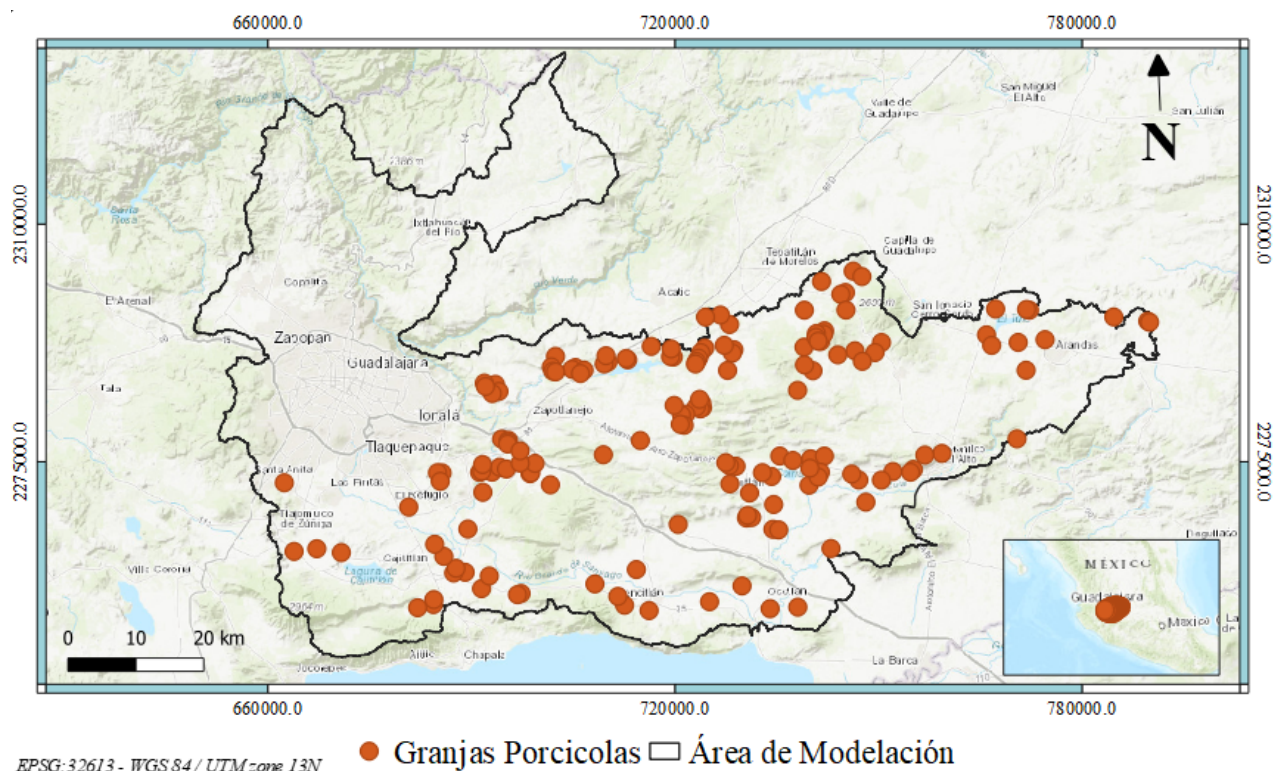
Prácticas de Manejo

Como se mencionó anteriormente, se consideró como agua para usos consuntivos la utilizada para el abastecimiento de las localidades y para la realización de las actividades pecuarias (porcino y bovino), dentro de cada una de las subcuencas. Sin embargo, las descargas por actividades pecuarias requieren un enfoque distinto. Para poder contemplarlas en el estudio, fue necesario agregar estas cargas contaminantes mediante prácticas de manejo del suelo.

El primer paso fue determinar la localización de las actividades pecuarias en la zona de estudio. Como ya se mencionó, para los usos de suelo en la cuenca, se considera el uso de suelo pecuario y se le asignó la clave SWRN de usos de suelo del SWAT, sin embargo, este uso no está considerado en los usos de suelo del INEGI, por lo que fue necesario agregarlo de manera manual para el presente estudio.

Para la incorporación de las granjas al modelo, y dado que no existe información oficial disponible respecto a su geolocalización, tipo de actividad y número de cabezas, se buscaron aquellas instalaciones que se asemejaran a granjas pecuarias de relevancia mediante el uso de herramientas geoespaciales y, a partir de esta búsqueda, poder incorporar aquellas instalaciones de relevancia como usos de suelo pecuario. En total se observaron 159 instalaciones, las cuales se observan en la **Figura 6-3**.

Figura 6-3 Localización de instalaciones pecuarias observadas



Una vez agregados los usos de suelo pecuarios a la capa de uso de suelo (esto se realizó desde un inicio en el preprocesamiento de información de la sección anterior), se procedió a estimar la generación de la carga contaminante por actividades pecuarias. Para ello fue necesario alimentar el número de cabezas en la zona de estudio (el cual se obtuvo en la sección anterior y se observa en la **Tabla 6-6**) y la aportación por cabeza en la

Tabla 6-7.

Tabla 6-6 Número de cabezas de ganado estimadas en el Área de estudio

Cuencas	Bovinos	Porcinos
Zula	242,713	297,471
Santiago 1	52,401	19,341
Santiago 2	108,266	64,146
Zapotlanejo	46,569	16,670
Calderón	118,550	176,440
Total	568,499	574,068



Tabla 6-7 Consideraciones para las actividades pecuarias

Concepto	Valor	Unidad
Bovino		
Estiércol (prom.)	9.6	kg/día
Orina (prom.)	5.6	l/día
Porcino		
Estiércol (prom.)	1.3	kg/día
Orina (prom.)	4.7	l/día

Fuente: estimado a partir de (Figuerola-Viramontes et al, 2009), (M Landín, INIFAP, S/F), (Martínez, 2007).

A partir del número de cabezas, la localización y de las consideraciones mencionadas, fue posible calcular la producción de estiércol y orina (ver **Tabla 6-8** y **Tabla 6-9**) dentro del área de modelación. De acuerdo al volumen de generación por zona y al número de granjas, se asignó una carga contaminante a las prácticas de manejo pecuario, por la adición diaria al modelo de excretas y urea.

Tabla 6-8 Carga contaminante bovinos

Cuencas	Cabezas	Estiércol (kg/día)	Orina (m³/día)	N (kg/día)	P (kg/día)
Zula	242,713	2,323,633	1,348	708,243	18,589
Santiago 1	52,401	501,669	291	152,909	4,013
Santiago 2	108,266	1,036,494	601	315,923	8,292
Zapotlanejo	46,569	445,831	259	135,889	3,567
Calderón	118,550	1,134,945	658	345,931	9,080
Total	568,499	5,442,571	3,157	1,658,896	43,541

Tabla 6-9 Carga contaminante porcinos

Cuencas	Cabezas	Estiércol (kg/día)	Orina (m³/día)	N (kg/día)	P (kg/día)
Zula	297,471	377,569	1,407	664,984	6,041
Santiago 1	19,341	24,549	91	43,236	393
Santiago 2	64,146	81,418	303	143,396	1,303



Cuencas	Cabezas	Estiércol (kg/día)	Orina (m ³ /día)	N (kg/día)	P (kg/día)
Zapotlanejo	16,670	21,158	79	37,265	339
Calderón	176,440	223,948	835	394,423	3,583
Total	574,068	728,643	2,715	1,283,304	11,658

6.5 RESULTADOS DE CALIDAD DE AGUA

Los registros de calidad de agua obtenidos en este estudio (2019) se utilizaron para calcular la carga de contaminantes en cada sitio de monitoreo con objeto de establecer un punto de referencia de la cantidad de materia orgánica que se trasporta en la corriente principal y la materia orgánica que se genera en el AIP.

Si consideramos que la salida de las cuencas del río Zula y alta del río Santiago, terminan en el punto denominado aguas arriba del río Verde, que es donde finalmente termina el límite de la AIP. Es en este punto donde la carga orgánica observada debe ser comparada con la carga orgánica generada en la toda la parte alta de la cuenca.

En la cuenca se genera una cantidad de 116,063 kg/d de DBO de fuentes puntuales (**Tabla 6-2**), además de aquella generada en fuentes no puntuales, la cual es transportada de diversas formas como puede ser por arrastres pluviales de la materia orgánica que se deposita en el suelo, por arroyos y afluentes principales a los ríos Santiago y Zula.

El transporte de la materia orgánica desde su punto de generación hasta la corriente principal sufre una depuración como resultado de diversos procesos físicos, biológicos y fisicoquímicos que incorporan reacciones biológicas, infiltración y degradación de materia orgánica.

En los resultados obtenidos de las dos campañas de monitoreo se pueden observar variaciones de caudal importantes entre los sitios de El Salto hasta Aguas arriba del río Verde que no tendrían sentido hidráulico si no existieran las hidroeléctricas Puente Grande, La Intermedia y las Juntas, cuya operación altera el patrón de flujo en el río Santiago y puede generar aparentes inconsistencias en los caudales observados como es el caso observado en la primer campaña en los sitios de Puente de Matatlán y aguas arriba del río Verde, donde en sentido hidráulico se deberán presentar caudales similares si no se tuvieran afectaciones en la operación de las hidroeléctricas.

Tabla 6-10 Primera campaña de monitoreo

Nombre de sitio de monitoreo	Clave de sitio de monitoreo	OD mg/l	DBO mg/l	Caudal m ³ /s	OD kg/d	DBO kg/d
Aguas arriba Arandas	RZ1	5.70	10.60	0.34	166.7	310.0
Aguas arriba Atotonilco	RZ2	6.48	4.47	4.27	2,388.1	1,647.3



Nombre de sitio de monitoreo	Clave de sitio de monitoreo	OD mg/l	DBO mg/l	Caudal m³/s	OD kg/d	DBO kg/d
Aguas abajo Atotonilco	RZ3	5.27	6.55	1.57	717.1	891.2
Aguas arriba SM Zula	RZ4	4.48	7.40	2.26	875.7	1,446.5
Afluente Tototlán	RZ5	4.60	8.48	-	-	-
En SM de Zula	RZ6	3.73	9.53	3.69	1,190.8	3,042.4
En Ocotlán	RZ7	2.52	8.90	8.91	1,941.0	6,855.0
En Ocotlán	RS1	2.88	8.25	-	-	-
Aguas abajo com. Poncitlán	RS2	1.81	7.03	-	-	-
En Presa Corona	RS3	3.35	7.18	0.51	147.1	315.3
En Macrolibramiento	RS4	1.62	11.90	0.44	61.0	448.3
En Salto Juanacatlán	RS5	2.78	34.70	4.63	1,112.0	13,879.9
En Puente Grande	RS6	1.79	22.20	15.36	2,375.1	29,457.1
En Puente Matatlán	RS7	4.33	28.90	1.46	547.8	3,656.0
Aguas arriba río Verde	RS8	5.81	30.10	7.97	4,001.5	20,730.7
En Puente Guadalupe	RS9	6.31	48.90	14.68	8,002.2	62,014.0
Puente La Laja	RS10	1.79	94.60	-	-	-
Ahogado No. 1	A1	3.15	61.60	1.95	530.9	10,381.6
Ahogado No. 2	A2	1.81	65.10	4.35	681.0	24,493.1

Tabla 6-11 Segunda campaña de monitoreo

Nombre de sitio de monitoreo	Clave de sitio de monitoreo	OD mg/l	DBO mg/l	Caudal m³/s	OD kg/d	DBO kg/d
Aguas arriba Arandas	RZ1	6.69	5.63	0.44	252.9	212.8
Aguas arriba Atotonilco	RZ2	7.23	17.40	5.01	3,129.5	7,531.5
Aguas abajo Atotonilco	RZ3	5.21	4.75	1.73	780.5	711.6
Aguas arriba SM Zula	RZ4	2.82	20.90	5.62	1,370.3	10,156.0
Afluente Tototlán	RZ5	4.86	6.65	-	-	-
En SM de Zula	RZ6	4.74	14.60	12.22	5,004.8	15,415.6





Nombre de sitio de monitoreo	Clave de sitio de monitoreo	OD mg/l	DBO mg/l	Caudal m ³ /s	OD kg/d	DBO kg/d
En Ocotlán	RZ7	2.20	6.35	14.36	2,729.9	7,879.6
En Ocotlán	RS1	2.99	4.48	-	-	-
Aguas abajo com. Poncitlán	RS2	2.99	6.95	-	-	-
En Presa Corona	RS3	3.22	4.18	0.98	272.1	353.3
En Macrolibramiento	RS4	2.63	5.15	0.91	207.1	405.5
En Salto Juanacatlán	RS5	2.79	15.50	16.11	3,882.4	21,569.2
En Puente Grande	RS6	1.62	9.52	26.04	3,644.3	21,416.2
En Puente Matatlán	RS7	6.41	16.20	22.37	12,386.3	31,303.8
Aguas arriba río Verde	RS8	6.35	25.40	74.58	40,919.2	163,676.9
En Puente Guadalupe	RS9	5.80	25.50	15.09	7,560.5	33,240.1
Puente La Laja	RS10	4.01	12.50	-	-	-
Ahogado No. 1	A1	1.93	98.30	2.96	494.2	25,172.8
Ahogado No. 2	A2	3.50	43.70	5.93	1,793.6	22,394.3

La explicación a la degradación de materia orgánica en el río y después de todos los fenómenos de transporte que se presentan en la cuenca pueden ser explicados con un modelo de calidad de agua que deberá ser elaborado con más información que ilustre sobre la degradación observada en el río y la cuenca.

Entre los elementos que debe contar el modelo de calidad del agua se incluyen actividades como:

1. Elaboración de un plan de monitoreo orientado al modelo de calidad de agua que defina parámetros y sitios.
2. Contar con un número suficiente de sitios de monitoreo en el cauce principal que tengan significado para toma de decisiones.
3. Aforo y muestreo en las principales descargas y afluentes al cauce principal.
4. Muestreo y aforo de las principales aportaciones puntuales pecuarias e industriales.
5. Establecer un calendario de aforo y muestreo que responda a los tiempos de transporte del agua para en la medida de lo posible monitorear una misma masa de agua, tomando en consideración el represamiento del agua en algunos puntos.
6. Programar el plan de monitoreo en meses característicos de estiaje y lluvia.
7. Programar al menos dos muestreos en una misma semana para verificar la repetitividad de la información.



Con esta información el modelo matemático generará estimaciones calidad de agua en diferentes escenarios como pueden ser diferentes condiciones de pluviales en el año, acciones de saneamiento, etc.

Con las bases de información ejecutadas en este estudio y con la información del programa de calidad de agua que la SEMADET pretende desarrollar durante 2020 y 2021 con el apoyo de la Fundación Gonzalo Río Arronte, se estaría muy cerca de contar con todos los elementos para ejecutar la segunda etapa de este estudio y concluir con el modelo de calidad de agua para los ríos Santiago y Zula.





6.6 REFERENCIAS

- AyMA, I. y. (2004). *Monitoreo de parámetros especiales de calidad del agua en los ríos Santiago y Verde*.
- Brown, L., & Barnwell, J. T. (1987). *The Enchanced Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual*. Athens, Ga: EPA Document EPA/600/3-87/007.
- CEA Jalisco. (2019). *Historial de Calidad del Agua PTAR*.
- CEA Jalisco. (2019). *Monitoreo del Río Santiago*.
- CONAGUA. (2015). *Introducción al tratamiento de aguas residuales municipales* . Obtenido de MAPAS 2015.
- CONAGUA. (2019). *Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)*. Obtenido de sina-conagua.gob.mx: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/>
- CONAPO. (2019). *Proyecciones de la Población de los Municipios de México, 2015-2030*.
- INEGI. (2008). *VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007*.
- INEGI. (2011). *XIII Censo de Población y Vivienda 2010. Resultados Definitivos*. Obtenido de INEGI: www.inegi.org.mx
- INIFAP. (2017). *Agenda Técnica Agrícola de Jalisco*.
- Metcalf, & Eddy. (2013). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* , Quinta edición. McGraw-Hill Higher Education.
- PROEPA. (2019). *Servicio de consultoría para la identificación, actualización e integración de información de fuentes de contaminación puntual (descargas de aguas residuales) como base para la toma de decisiones en materia de inspección y vigilancia ambiental en el Área* .