



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL – AGUA

MODELACIÓN DE CARGAS DE NUTRIENTES EN LA CUENCA HIDROLÓGICA DE
LA PRESA ENDHÓ, HIDALGO

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
EDGAR ARTURO HERNÁNDEZ OLIVERA

TUTOR PRINCIPAL:
DRA. ANNE M. HANSEN
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

COMITÉ TUTOR:
DRA. ALMA CONCEPCIÓN CHAVÉZ MEJÍA, INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM
DR. OSCAR ARTURO FUENTES MARILES, INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM
DRA. NADIA VALENTINA MARTÍNEZ VILLEGAS, INSTITUTO POTOSINO DE
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA
DR. RONALD ERNESTO ONTIVEROS CAPURATA, INSTITUTO MEXICANO DE
TECNOLOGÍA DEL AGUA

JIUTEPEC, MORELOS. JULIO, 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dra. Chávez Mejía Alma Concepción

Secretario: Dr. Oscar Arturo Fuentes Mariles

1er. Vocal: Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas

2do. Vocal: Dr. Ronald Ernesto Ontiveros Capurata

3er. Vocal: Dra. Anne Margrethe Hansen Hansen

Lugar donde se realizó la tesis:
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA, JIUTEPEC, MORELOS

TUTOR DE TESIS:

ANNE M. HANSEN

FIRMA

Agradecimientos

A los integrantes de mi comité tutorial por el tiempo dedicado a enriquecer este trabajo: el Dr. Ronald Ernesto Ontiveros Capurata, la Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas, el Dr. Oscar Arturo Fuentes Mariles y la Dra. Alma Concepción Chavéz Mejía. Además, a mi tutora principal la Dra. Anne M. Hansen por su guía durante este proceso.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por el apoyo financiero brindado. A la Universidad Nacional Autónoma de México y al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua por hacer posible el programa de Ingeniería Ambiental y brindarme las instalaciones y apoyos necesarios para desarrollar esta investigación.

A todos aquellos interesados en mejorar nuestra relación con el agua, especialmente en el Valle del Anáhuac y las regiones afectadas por el mismo.

A mis compañeras y amigas del laboratorio de Hidrogeoquímica, Nadia y Vanessa. Este trabajo es de ustedes, tanto como mío.

Y sobre todo a mi familia Gaby, Arturo y Ari. Los quiero mucho.

Ed

Resumen

La presa Endhó es un embalse ubicado sobre el río Tula en una cuenca al noreste de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), la séptima metrópolis más poblada del mundo. A través de túneles, la ZMVM descarga aguas residuales no tratadas directamente al río Tula contaminando el ecosistema y perjudicando la salud de la población de la cuenca de la presa Endhó. En 2022, un informe conjunto de la Comisión Ambiental de la Megalópolis y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua determinó objetivos de reducción de las cargas de materia orgánica (MO) y fósforo (P) que ingresan a la presa Endhó para mejorar la calidad del agua y proteger a la población circundante. Este estudio emplea la Herramienta de Evaluación de Suelo y Agua + (SWAT+) para simular el transporte reactivo de MO, representado como la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea (CBOD), y P en la cuenca de la presa Endhó y evaluar una variedad de escenarios de control de emisiones para alcanzar los objetivos de reducción definidos por el informe anteriormente mencionado.

Después de representar la hidrología y las emisiones antropogénicas del área de estudio, se evaluó el desempeño del modelo de la cuenca hidrológica de la presa Endhó comparando los resultados de la simulación con los datos de campo. Después, se realizó una serie de simulaciones para dilucidar la atenuación natural de cada tipo de emisión y su contribución a la carga externa total. Por último, se analizó un total de diez escenarios que representan la aplicación gradual del control de emisiones en las fuentes de contaminación identificadas en la cuenca hidrográfica. Cinco escenarios consideraron el control de emisiones sin recuperar P, mientras que los otros cinco consideran la recuperación de dicho recurso finito. Para cada escenario, una simulación verificó la reducción resultante de las cargas externas y la viabilidad económica de su implementación mediante un análisis costo-beneficio.

El modelo SWAT+ de la cuenca hidrológica de la presa Endhó fue capaz de simular de manera confiable la hidrología y el transporte reactivo de materia orgánica y nutrientes en el área de estudio. Los resultados de la simulación encontraron, que las emisiones originadas en la ZMVM son responsables del 93.76 y 83.61 % de la carga externa total de CBOD y P, respectivamente. Además, la evaluación de los escenarios demostró que, ni siquiera la implementación de control de 95 % de las emisiones de P en todas las fuentes emisoras, fue suficiente para lograr la reducción necesaria de la carga externa de P. Por lo tanto, se requiere implementar medidas adicionales para inactivar P dentro del cuerpo de agua. El análisis costo-beneficio de cada escenario evaluado consideró estas medidas adicionales necesarias dentro del cuerpo de agua, demostrando retornos positivos en todos los escenarios en los que se controlaron las emisiones de la ZMVM y de una o más de las fuentes que se originan dentro de la cuenca hidrográfica. El escenario que presentó el mayor beneficio fue el control de emisiones de todas las fuentes sin recuperar P, que totalizó un retorno de 16,869 millones de pesos mexicanos en 20 años.

Entre los principales hallazgos se destaca la viabilidad económica y la necesidad ambiental de implementar el control de emisiones no sólo de la contaminación procedente de la ZMVM, sino también de las emisiones originarias del interior de la cuenca, provenientes de fuentes tanto puntuales como difusas. La integración del análisis económico a la modelización hidrológica es un proceso ventajoso para evaluar la planificación de protección y recuperación de ecosistemas contaminados, el cual presenta a los responsables de la toma de decisiones con la información necesaria para orientar políticas y aplicar recursos eficientemente.

Abstract

The Endhó dam is a reservoir located on the Tula River in a watershed to the Northeast of the Metropolitan Area of the Valley of Mexico (MAVM), the world's seventh most populated metropolis. Through a series of tunnels, the MAVM discharges untreated wastewater directly to the Tula River polluting the ecosystem and harming the health of the population in the Endhó dam watershed. Based on results from a joint report by the Environmental Commission of the Megalopolis and the Mexican Institute of Water Technology, which determined reduction goals for organic matter (OM) and phosphorous (P) loads entering the Endhó dam to improve water quality and protect the surrounding population, this study employs the Soil and Water Assessment Tool + (SWAT+) to simulate the reactive transport of OM, represented as carbonaceous biochemical oxygen demand (CBOD) and P in the Endhó dam watershed and evaluate, both environmentally and economically, a variety of emissions control scenarios.

After representing the hydrology and anthropogenic emissions in the study area, the model's performance was tested comparing results of simulations with field data. Then, a series of simulations was run to elucidate the natural attenuation of each emission type and their contribution to the total external load. Lastly, a total of ten scenarios were simulated representing the gradual implementation of emissions control in each pollution source type identified in the watershed. Five scenarios simulated the control of emissions through best management practices (BMP) implementation without recovering P, while the other five did consider the recovery of this finite resource. For each scenario, a simulation determined the resulting reduction in external loads and the economic viability of its implementation through a cost-benefit analysis (CBA).

The Endhó Dam watershed model was capable of reliably simulate the hydrology and reactive transport of CBOD and P in the study area. The results from the simulation found the emissions originated in the MAVM to be responsible of the 93.76 and 83.61 % of the total external load of CBOD and P, respectively, and the evaluation of the scenarios demonstrated that even an implementation of emission control in all anthropogenic sources wasn't sufficient to achieve the necessary reduction of P external load. Therefore, the implementation of additional BMP to inactivate P inside the water body are required, such as the application of selective absorbent of P to make the P inside the water body inert. The CBA of each scenario, which accounted for the necessary additional BMP inside the water body, showed net gains for all scenarios where the emissions from the MAVM and one, or more, of the sources originated inside the watershed were controlled. The scenario, which presented the highest return, was the emission control of all sources without recovering P, totaling a return of 16,869 million of Mexican pesos in 20 years.

The core findings of this thesis highlight the economic viability and environmental necessity of emission control implementation for water pollutants, not only contaminant loads from the MAVM, but also the loads originating inside the watershed, from both point and diffuse sources. The study's integration of economic analysis to hydrological modelling displays an advantageous approach to evaluate planning to protect and recover contaminated ecosystems, which presents decision makers with needed information to guide policy and apply resources efficiently.

Índice

1	Introducción.....	1
1.1	Hipótesis.....	2
1.2	Objetivo(s).....	2
1.2.1	General.....	2
1.2.2	Específicos.....	2
2	Marco teórico.....	3
2.1	Contaminación de cuerpos de agua lénticos epicontinentales por acumulación de materia orgánica.....	3
2.1.1	Emisión antropogénica de cargas de materia orgánica y nutrientes.....	4
2.1.2	Prácticas de mejor gestión.....	4
2.1.3	Administración integrada de cuencas hidrológicas.....	6
2.2	Modelación del transporte reactivo de materia orgánica y nutrientes a escala de cuenca hidrológica.....	8
2.2.1	Herramienta de Evaluación de Agua y Suelo + (SWAT+).....	9
2.2.1.1	Hidrología.....	9
2.2.1.2	Materia orgánica.....	10
2.2.1.3	Fósforo.....	14
2.3	Zona de estudio.....	17
2.3.1	Río principal y tributarios.....	18
2.3.2	Clima.....	19
2.3.3	Edafología.....	19
2.3.4	Uso de suelo.....	20
2.3.5	Demografía.....	21
2.3.6	Actividades productivas.....	23
2.3.7	Calidad del agua.....	26
3	Metodología.....	28
3.1	Selección del modelo de cuenca hidrológica.....	28
3.2	Escenario actual.....	29
3.2.1	Hidrología.....	30
3.2.1.1	Caracterización del suelo.....	31
3.2.1.2	Climatología.....	31
3.2.2	Inventario de emisiones antropogénicas.....	33
3.2.2.1	Descargas de aguas residuales de la ZMVM y río El Salto.....	35
3.2.2.2	Descargas de agua residual doméstica generada en la zona de estudio.....	37
3.2.2.3	Descarga de agua residual industrial.....	39
3.2.2.4	Deposición de excreta al suelo por actividad pecuaria.....	40
3.2.3	Cargas contaminantes en el escenario actual.....	42
3.3	Desempeño del modelo hidrológico.....	42
3.3.1	Recopilación y procesamiento de datos de campo y resultados de la simulación.....	42

3.3.2	Comparación de simulaciones con observaciones en campo.....	43
3.4	Escenarios de control de cargas contaminantes.....	44
3.4.1	Identificación de escenarios de control de cargas contaminantes	45
3.4.1.1	Aportación a la acumulación de la materia orgánica en el cuerpo de agua	45
3.4.1.2	Propuesta de implementación de prácticas de mejor gestión.....	46
3.4.2	Evaluación de escenarios de control de cargas contaminantes	47
3.4.2.1	Simulación de escenarios y reducción de cargas de CBOD y P	47
3.4.2.2	Análisis costo-beneficio	48
4	Resultados y discusión.....	55
4.1	Selección del modelo de cuenca hidrológica.....	55
4.2	Escenario actual.....	57
4.2.1	Hidrología.....	57
4.2.2	Inventario de emisiones antropogénicas	59
4.2.2.1	Agua residual proveniente de la ZMVM y río El Salto	61
4.2.2.2	Descargas de agua residual doméstica generada en la zona de estudio	61
4.2.2.3	Descarga de agua residual industrial.....	62
4.2.2.4	Deposición de excreta al suelo por actividad pecuaria	63
4.2.3	Cargas contaminantes del escenario actual	63
4.3	Desempeño del modelo hidrológico.....	64
4.3.1	Recopilación y procesamiento de datos de campo	64
4.3.2	Hidrología.....	66
4.3.3	Transporte reactivo de CBOD y P.....	68
4.4	Escenarios de control de cargas contaminantes.....	72
4.4.1	Identificación de escenarios candidatos	72
4.4.2	Evaluación de escenarios	74
5	Conclusiones.....	78
5.1	Recomendaciones	78
6	Referencias	79
7	Anexos.....	90
7.1	Equivalencias uso y tipo de suelo.....	90
7.2	Datos climatológicos	92
7.3	Caudales observados en estaciones hidrométricas	94
7.3.1	Estaciones hidrométricas utilizadas para datos de entrada.....	94
7.3.2	Estaciones hidrométricas utilizadas para validación del modelo	95
7.4	Valores observados en estaciones de monitoreo de calidad de agua.....	96
7.4.1	Estaciones de monitoreo de calidad de agua utilizadas para datos de entrada.....	96
7.4.2	Estaciones de monitoreo de calidad de agua utilizadas para validación	100
7.5	Datos de entrada del punto de descarga de AR-ZMVM	103
7.5.1	Escenario actual.....	103
7.5.2	Simulación sin emisiones de AR-ZMVM	106
7.5.3	Escenarios de control de cargas de nutrientes	108

7.6	Descarga puntual de agua residual	113
7.6.1	Permisos	113
7.6.2	Emisiones puntuales	116
7.6.3	Datos de entrada representativas de las emisiones puntuales de ARDd y ARI	117
7.6.3.1	Escenario actual	117
7.6.3.2	Simulaciones sin emisiones de cada una de las fuentes emisoras puntuales	117
7.6.3.3	Escenarios de control de cargas de nutrientes.....	119
7.7	Resultados de simulaciones.....	121
7.7.1	Escenario actual.....	121
7.7.2	Resultados de secciones hidrológicas utilizados en la validación.....	124
7.7.3	Escenarios de control de cargas contaminantes	127

I. Tablas

Tabla 1: Eficiencias de remoción reportadas por diferentes BMP. Tabla elaborada con información de CONAGUA, 2019b1; Mavhungu et al., 20212; Abyar et al., 20223; CONAGUA, 2019c4 y Marques-dos-Santos et al., 20235	5
Tabla 2: Costos de construcción y operación reportados para diferentes BMP	6
Tabla 3: Valor monetario de beneficios derivados de la rehabilitación de CALE contaminados por acumulación de MO.....	8
Tabla 4: Datos demográficos de municipios dentro de la zona de estudio. Elaborada con información de INEGI (2020a) y CONAGUA (2023a).....	22
Tabla 5: Industrias registradas en el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) en la zona de estudio y uso de agua reportado. Elaborada con información de CONAGUA (2023)	23
Tabla 6: Información pecuaria en municipios dentro de la zona de estudio. Elaborada con información de SNIB (2022) y SIAP (2023)	25
Tabla 7: Inventario de emisiones anuales por fuente emisora en la cuenca hidrológica de la presa Endhó (CAME-IMTA, 2022)	26
Tabla 8: Requisitos preliminares para la selección de modelos candidatos	28
Tabla 9: Criterios de selección y de calificación de los modelos candidatos	29
Tabla 10: Ubicación de estaciones climatológicas dentro de la cuenca hidrológica de la presa Endhó con datos diarios de precipitación y temperaturas máxima y mínima durante el período entre 2012 y 2018 ...	31
Tabla 11: Datos climatológicos requeridos para la construcción del modelo	32
Tabla 12: Información requerida para representar las emisiones antropogénicas en la zona de estudio	34
Tabla 13: Caracterización promedio mensual del agua residual proveniente de la Zona Metropolitana del Valle de México y el río El Salto.....	36
Tabla 14: Caracterización de ARD típica en efluente concentrado (Tchobanoglous et al., 2014), aquí expresado en nomenclatura de SWAT+	38
Tabla 15: Caracterización de diferentes tipos de agua residual utilizada en la industria. Elaborado con información de CONAGUA, 2023C ¹ ; Tchobanoglous et al., 2014 ² ; Tomei et al., 2016 ³ y Yang et al., 2020 ⁴	39
Tabla 16: Rangos de desempeño de un modelo para simulación hidrológica y de transporte reactivo de nutrientes a partir de los estadísticos NSE, RSR y PBIAS (Moriassi et al., 2007).....	44
Tabla 17: Simulaciones elaboradas para el cálculo de la atenuación natural y la aportación a la carga externa de cada una de las fuentes emisoras	45
Tabla 18: BMP propuestas para la elaboración de escenarios para control de cargas contaminantes y eficiencias de remoción	46
Tabla 19: Escenarios candidatos de control de emisiones antropogénicas mediante implementación gradual de BMP sin recuperación de P (I – V) y con recuperación de P (VI – X) en fuentes emisoras antropogénicas	47
Tabla 20: Modificación de datos de entrada para representar la implementación de BMP en fuentes emisoras	48

Tabla 21: Dimensión de las BMP, que reducen emisiones y que remueven contaminantes en el cuerpo de agua, en cada escenario de control de cargas contaminantes necesarias para lograr el objetivo de reducción de cargas externas	49
Tabla 22: Dimensión de los beneficios ocasionados en cada escenario de control de cargas contaminantes	52
Tabla 23: Modelos de cuenca hidrológica evaluados	55
Tabla 24: Alcances y limitaciones de modelos hidrológicos en función de las características de la zona de estudio	56
Tabla 25: Evaluación de modelos candidatos en función de las características de la modelación de transporte reactivo de nutrientes	56
Tabla 26: Emisiones anuales de CBOD, P_{org} y P_{min} por cada fuente emisora en la cuenca hidrológica de la presa Endhó	59
Tabla 27: Caudales promedio y emisiones anuales de MO, representada por CBOD, y P del AR-ZMVM	61
Tabla 28: Caudales y emisiones de CBOD y P diarias de agua residual doméstica puntual en la cuenca hidrológica de la presa Endhó	61
Tabla 29: Caudal diario y cargas emitidas anuales por agua residual doméstica generada en la cuenca hidrológica de la presa Endhó	62
Tabla 30: Caudal diario y cargas emitidas anuales por agua residual industrial en la cuenca hidrológica de la presa Endhó	63
Tabla 31: Excreta generada y emisiones de CBOD, P_{org} y P_{min} anualmente por tipo de ganado identificado dentro de la cuenca hidrológica de la presa Endhó	63
Tabla 32: Estaciones hidrométricas y sitios de monitoreo de calidad de agua con información utilizada para la validación del modelo del transporte reactivo de nutrientes en la cuenca hidrológica de la presa Endhó	65
Tabla 33: Valores de los estadísticos y evaluación del desempeño del modelo de la simulación hidrológica	67
Tabla 34: Valores de los estadísticos y evaluación del desempeño del modelo en la simulación del transporte reactivo de CBOD y P	70
Tabla 35: Aportación a las CE de CBOD, P y a la acumulación de MO en la presa Endhó por fuente emisora en la cuenca hidrológica de la presa Endhó	72
Tabla 36: Escenarios candidatos de control de cargas contaminantes mediante implementación gradual de BMP sin recuperación de P (I – V) y con recuperación de P (VI – X) en fuentes emisoras antropogénicas y emisión total resultante en cada escenario de control de cargas contaminantes	73
Tabla 37: Valor de los costos de la implementación de BMP en fuentes emisoras y dentro del cuerpo de agua y los beneficios ambientales y socioeconómicos de cada escenario de control de emisiones antropogénicas	75

II. Figuras

Figura 1: Modelo conceptual del ciclo biogeoquímico de carbono orgánico en la fase terrestre del modelo SWAT+	11
---	----

Figura 2: Modelo conceptual del ciclo biogeoquímico de carbono orgánico en la fase acuática del modelo SWAT+	13
Figura 3: Modelo conceptual del ciclo biogeoquímico de fósforo en la fase terrestre del modelo SWAT+ (Modificado de Neitsch et al., 2011)	14
Figura 4: Modelo conceptual del ciclo biogeoquímico de fósforo en la fase acuática del modelo SWAT+	16
Figura 5: Territorio de la cuenca hidrológica de la presa Endhó, principales ríos y presas	18
Figura 6: Caudales promedio del río Tula, principal colector en la cuenca hidrológica de la presa Endhó, y sus tributarios (CAME-IMTA, 2022).....	19
Figura 7: Cobertura espacial edafológica de la cuenca hidrológica de la presa Endhó. Elaborado con información de INEGI (2007)	20
Figura 8: Cobertura espacial de uso de suelo en la cuenca hidrológica de la presa Endhó. Elaborado con información de INEGI (2013)	21
Figura 9: Actividades productivas emisoras en la cuenca hidrológica de la presa Endhó. Elaborado con información de INEGI (2013), CONAGUA (2023a; 2023b).....	23
Figura 10: Diagrama de flujo representativo de la metodología del trabajo de investigación	28
Ilustración 11: Relieve continental, red hidrográfica, ubicación de inlet en la cuenca hidrológica de la presa Endhó y de outlet de cada subcuenca. Elaborado con información de (INEGI, 2000)	30
Figura 12: Metodología de análisis y procesamiento del inventario de emisiones antropogénicas	34
Figura 13: Red hidráulica del ingreso de AR-ZMVM a la zona de estudio y a la PTAR Atotonilco	35
Figura 14: Metodología para cálculo de caudales descargados de agua residual doméstica y diferenciación entre colectada y no colectada. REPDA se refiere a información obtenida de CONAGUA (2023).....	39
Figura 15: Determinación de las emisiones por actividad pecuaria en la zona de estudio. Elaborado con información de Polprasert (2007)	41
Figura 16: Mapas edafológicos utilizados en el modelo de la cuenca hidrológica de la presa Endhó: clasificación de tipos de suelo (izquierda) y de usos de suelo (derecha) de acuerdo con la base de datos proporcionada con SWAT+	57
Figura 17: Estaciones climatológicas en la cuenca hidrológica de la presa Endhó. Elaborado con información de SMN (2023).....	58
Figura 18: Climograma de las estaciones climatológicas utilizadas en el modelo de la cuenca hidrológica de la presa Endhó. Precipitación media por mes (barras) y temperatura media mensual (líneas) de estaciones climatológicas en la parte alta (azul) y baja (naranja) de la cuenca. Elaborado con información de SMN (2023).....	59
Figura 19: Resultados de la simulación del escenario actual presentando datos de cargas externas mensuales a la presa Endhó de CBOD y P desde enero de 2014 hasta junio de 2018.....	64
Figura 20: Localización geográfica de las estaciones hidrométricas y los sitios de monitoreo de calidad de agua seleccionados, para evaluar el desempeño del modelo de transporte reactivo de nutrientes en la cuenca hidrológica de la presa Endhó. Elaborado con información de CONAGUA (2023b, 2023c).....	65
Figura 21: Hidrograma de caudales observados (naranja) en las estaciones hidrométricas (de arriba abajo) Jasso II, Tlautla y Las Rosas y caudales simulados (azul) en las secciones hidrológicas del modelo SWAT+ de la cuenca hidrológica de la presa Endhó (de arriba abajo) Channel 013, Channel 015 y Channel 033	67
Figura 22: Hidrograma de cargas de CBOD observadas (naranja) en las estaciones de monitoreo de calidad de agua (de arriba abajo) DLHID1442, DLHID1439 y DLHID1440 y cargas de CBOD simuladas (azul) en	

las secciones hidrológicas del modelo SWAT+ de la cuenca hidrológica de la presa Endhó (de arriba abajo) Channel 013, Channel 011 y Channel 010	69
Figura 23: Hidrograma de cargas de P observadas (naranja) en las estaciones de monitoreo de calidad de agua (de arriba abajo) DLHID1442, DLHID1439 y DLHID1440 y cargas de P simuladas (azul) en las secciones hidrológicas del modelo SWAT+ de la cuenca hidrológica de la presa Endhó (de arriba abajo) Channel 013, Channel 011 y Channel 010	70
Figura 24: Aportación a la carga externa de CBOD y P de la presa Endhó segregada por fuente emisora	73
Figura 25: Cargas externas de CBOD y P resultantes para cada escenario de control de cargas contaminantes	74
Figura 26: Costos, beneficios y retorno a 20 años de la aplicación de escenarios de control de cargas contaminantes	76

III. Abreviaciones

AN	Atenuación Natural
AnnAGNPS	Modelo Anualizado de Contaminación de Fuentes Difusas Agrícolas
APEX	Modelo Extensor Ambiental de Política Agrícola
AR-ZMVM	Agua Residual Proveniente de los Túneles Tmisores Central y Oriente y El Salto
ARD	Agua Residual Doméstica
ARDd	Agua Residual Doméstica No Colectada
ARDp	Agua Residual Doméstica Colectada en un Sistema de Alcantarillado
ARI	Agua Residual Industrial
ASABE	Sociedad Americana de Ingenieros Agrícolas y Biológicos
BMP	Prácticas de Mejor Gestión
CALE	Cuerpo de Agua Léptico Epicontinental
CBA	Análisis Costo-Beneficio
CBOD	Demanda Carbonácea Bioquímica de Oxígeno
CE	Carga Externa
CI	Carga Interna
COFEPRIS	Comisión Federal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
C _{org}	Carbono Orgánico
DLBRM	Modelo Paramétrico Distribuido de Escorrentía en Cuencas Extensas
DO	Demanda de Oxígeno
DR	Distrito de Riego
DWSM	Modelo de Simulación Dinámica de Cuencas
EBPR	Remoción Biológica Aumentada de Fósforo
ET	Emisión Total
GWLF-E	Funciones de Cargas Generalizadas en Cuencas - Mejoradas
H ₂ S	Ácido Sulfhídrico
HRU	Unidad de Respuesta Hidrológica
HYPE	Predicciones Hidrológicas para el Medio Ambiente
INCA	Modelo Integrado de Cuencas
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
InVEST	Valoración Integral de los Servicios Ecosistémicos y Compensaciones
IQR	Método del Rango Intercuartil
LSU	Unidades de Respuesta Paisajistas
MIKE SHE	Sistema Hidrológico Europeo MIKE
MO	Materia Orgánica
N	Nitrógeno
NASA	Agencia Nacional de Aeronáutica y Espacial
NEWS2	Exportación Global de Nutrientes de Cuencas Hidrológicas 2
NH ₃	Nitrógeno Amoniacal
N _{min}	Nitrógeno Mineral o Inorgánico
NO ₂	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
N _{org}	Nitrógeno Orgánico

NSE	Coefficiente de Eficiencia Nash-Sutcliffe
OD	Oxígeno Disuelto
P	Fósforo
P _{act}	Fósforo Mineral o Inorgánico Aplicado como Fertilizante Disponible para Asimilación Biológica
PBIAS	Porcentaje de Parcialidad
PEC	Actividad Pecuaria
P _{fresh}	Fósforo Orgánico en Residuos Vegetales
P _{hum}	Fósforo Orgánico en Sustancias Húmicas
P _{min}	Fósforo Mineral o Inorgánico
PO ₄ ³⁻	Ortofosfato
P _{org}	Fósforo Orgánico
P _{sol}	Fósforo Mineral o Inorgánico Soluble
P _{sta}	Fósforo Mineral o Inorgánico Aplicado como Fertilizante No Disponible para Asimilación Biológica
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
RCG – 5	Reducción al 5 % del Número de Cabezas de Ganado Actual
RENAMECA	Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua
REPDA	Registro Público de Derechos de Agua
RQC	Recuperación Química de Fósforo
RSR	Error Cuadrático Medio Normalizado
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SIAP	Sistema de Información Agropecuaria
SINA	Sistema de Información Nacional de Agua
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
SNIB	Sistema Nacional de Información sobre la Biodiversidad
SO ₄ ²⁻	Sulfato
SWAT+	Herramienta de Evaluación de Agua y Suelo +
SWMM	Modelo de Gestión de Aguas de Tormenta
TBC	Tratamiento Biológico Convencional
TEC	Túnel Emisor Central
TEO	Túnel Emisor Oriente
TRH	Tiempo de Residencia Hidráulico
WinHSPF	Programa de Simulación Hidrológica Windows – Fortran
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México

1 Introducción

La presa Endhó es un cuerpo de agua en la parte suroeste del Estado de Hidalgo en México. A partir de la culminación de la construcción del Túnel Emisor Central (TEC) en el año 1975, agua residual proveniente de la Zona Metropolitana del Valle de México y El Salto (AR-ZMVM) es descargada directamente al río Tula (SACMEX, 2013), tributario principal de la presa Endhó. A pesar de la construcción de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) Atotonilco, que inició operación en 2018, no se le da tratamiento al caudal total del AR-ZMVM ($42.8 \pm 7.3 \text{ m}^3/\text{s}$). El caudal tratado alcanza un promedio de $28.1 \pm 6.4 \text{ m}^3/\text{s}$ y se desvía a canales de riego que no alimentan a la presa Endhó. El caudal excedente, que no recibe ningún tipo de tratamiento y muestra un promedio de $14.7 \pm 5.9 \text{ m}^3/\text{s}$, es transportado, a través del río Tula, a la presa Endhó. En promedio, el AR-ZMVM aporta el 67.4 % del caudal total que ingresa a la presa Endhó. El resto, $7.1 \pm 2.4 \text{ m}^3/\text{s}$ o 32.6 %, proviene de los escurrimientos y la descarga de agua residual que se originan dentro de la cuenca hidrológica de la presa Endhó y esorrentía superficial (CAME-IMTA, 2022).

El incremento en disponibilidad de agua, por la descarga de AR-ZMVM que se almacena en la presa Endhó, ha aportado al desarrollo de los Distritos de Riego (DR) Tula 003 y Alfajayucan 100 en el Valle del Mezquital, valle conocido como el “granero de Hidalgo” (Rodríguez y Nieto, 2023). Sin embargo, las altas cargas de MO y P, relativas a las cargas observadas en ríos de buena calidad, que lleva el río Tula ha ocasionado un deterioro en la salud del ecosistema en la presa Endhó y sus alrededores. Se han identificado efectos adversos en la salud humana y ambiental, derivados de la acumulación de materia orgánica (MO) en el cuerpo de agua. Por ejemplo, se ha reportado la incidencia de enfermedades gastrointestinales mayor a la esperada, en humanos que tienen contacto directo con agua de la presa (Cifuentes, 1996), aumento en la población de mosquitos vectores de enfermedades (Echeverría Álvarez y Lagunes Tejada, 1983), constante producción de ácido sulfhídrico (CAME-IMTA, 2022) y ausencia de vida aerobia dentro del cuerpo de agua (Camacho, 2007).

La situación actual en la presa Endhó ocasionó que la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) declare una emergencia sanitaria en la zona (Reyes, 2019) y que se propusiera una declaratoria de emergencia ambiental (SEMARNAT, 2019). En el marco de la preocupación de instituciones gubernamentales y protestas de la población ribereña (La Jornada, 2023), la mejora de la calidad del agua en la presa Endhó se presenta como un tema de prioridad. La comunidad científica ha desarrollado estudios para caracterizar el agua de la presa, identificar las emisiones antropogénicas en la cuenca hidrológica del cuerpo de agua (CAME-IMTA, 2022) y modelar el transporte de nutrientes en el río Tula (Montelongo Casanova et al., 2008). Sin embargo, la información y las herramientas desarrolladas no han sido aplicadas para evaluar estrategias de control de cargas contaminantes (MO y fósforo (P)), con la finalidad de mitigar los efectos adversos observados en la presa.

Debido a esto, el aspecto más importante de este estudio fue la evaluación de estrategias para controlar cargas externas de MO y P en la cuenca hidrológica de la presa Endhó. Para ello se aplicó un modelo hidrológico capaz de simular el transporte reactivo de MO y P en la cuenca hidrológica de la presa Endhó y se complementó con un análisis económico de las estrategias evaluadas.

1.1 Hipótesis

- (1) La reducción del 95 % de todas las emisiones de CBOD y P en la cuenca hidrológica de la presa Endhó, resulta en 95 % reducción de las cargas externa e interna de demanda de oxígeno en el cuerpo de agua
- (2) El retorno monetario positivo incrementa con la aplicación gradual de acciones para reducir las emisiones de CBOD y P en la cuenca hidrológica de la presa Endhó, priorizando de mayor a menor carga contaminante al cuerpo de agua

1.2 Objetivo(s)

1.2.1 General

Evaluar estrategias para controlar cargas de sustancias, que causan hipoxia en la presa Endhó en el estado de Hidalgo, mediante modelación del transporte reactivo de nutrientes y análisis económico

1.2.2 Específicos

1. Seleccionar un modelo hidrológico capaz de simular los procesos del transporte reactivo de nutrientes en la cuenca hidrológica de la presa Endhó que influyen en las cargas de nutrientes que ingresan al cuerpo de agua
2. Definir las cargas de nutrientes actuales que ingresan a la presa Endhó mediante aplicación del modelo con datos de entrada representativos de la hidrología y las emisiones antropogénicas de nutrientes actuales en la cuenca hidrológica de la misma
3. Analizar el desempeño de la simulación hidrológica y de la simulación del transporte reactivo de nutrientes realizada con el modelo mediante comparación de los resultados de la simulación con datos observados de caudales y cargas de nutrientes
4. Evaluar las repercusiones ambientales y económicas de diferentes escenarios dónde se represente la extensión gradual del control de fuentes emisoras antropogénicas, iniciando con el control de la fuente emisora de mayor aportación a la mala calidad del agua hasta considerar un control en todas las fuentes emisoras

2 Marco teórico

2.1 Contaminación de cuerpos de agua lénticos epicontinentales por acumulación de materia orgánica

La **materia orgánica** es un componente esencial de los ecosistemas de **cuerpos de agua lénticos epicontinentales** (CALE), al ser fuente de alimento de los organismos que conforman la base de la cadena trófica (Marks, 2019). Un equilibrio en el ciclo de la MO es esencial para la salud de los ecosistemas de CALE y la calidad del agua (Solomon et al., 2015).

Materia orgánica: Sustancia química basada en carbono que proviene de la excreta de organismos vivos o los restos de organismos, que alguna vez estuvieron vivos. Además de carbono, la MO contiene los mismos elementos básicos que la biomasa de seres vivos, incluyendo los nutrientes nitrógeno (N) y P. En 1934, Redfield definió la fórmula química representativa de la MO de productores primarios en cuerpos de agua:



Cuerpos de agua lénticos epicontinentales: Ecosistema acuático en el territorio terrestre, cuya agua se encuentra en un mismo lugar sin un flujo constante de agua y el flujo existente es menor al de ríos. Entre dichos ecosistemas se cuentan las presas, los lagos, las lagunas, los estanques y los pantanos (Marsh y Fairbridge, 1999).

El origen de la MO en los CALE puede ser alóctono y autóctono. Por un lado, la MO alóctona se genera en la **cuenca hidrológica** y es transportada a través de tributarios o con el escurrimiento hasta ingresar al CALE (Kraus et al., 2011). Por otro lado, la MO autóctona es generada dentro del mismo CALE, principalmente por la producción primaria. La producción de MO autóctona está controlada por el ingreso de P externo en cuerpos de agua (Higgins et al., 2018).

Cuenca hidrológica: Territorio continental, tanto superficial como subterráneo, que dirige el agua por un único sistema de drenaje natural, delimitado por parteaguas o líneas de cumbres. Una cuenca es definida por su punto de salida donde toda el agua que escurre por su territorio llega eventualmente a través del río principal (Evert, 2010).

Las pérdidas de MO en un CALE son a través del acarreo de la MO en el caudal de salida, sedimentación dentro del cuerpo de agua y degradación de la MO. El tipo de degradación que ocurre mayoritariamente depende de la disponibilidad de aceptores de electrones en agua o en sedimento, ya que el consorcio microbiano responsable de la degradación de MO utiliza siempre el aceptor disponible más eficiente. Primero, se utiliza oxígeno disuelto (OD) en la degradación aerobia; cuando los niveles de OD disminuyen y se presenta **hipoxia** en el cuerpo de agua, el consorcio microbiano se adapta para reducir nitrato (NO_3^-) en el proceso llamado desnitrificación y sulfato (SO_4^{2-}) en la sulfato-reducción, proceso que produce H_2S (Kristensen y Holmer, 2001).

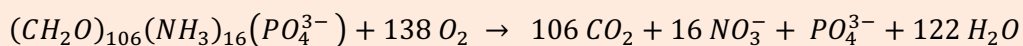
Hipoxia: Niveles bajos de oxígeno disuelto en las aguas superficiales, que crea una deficiencia de oxígeno durante el funcionamiento normal de un cuerpo de agua sano (mesotrófico). La hipoxia ocasiona una disminución de los procesos naturales que consumen oxígeno dentro del ecosistema (Díaz y Breitburg, 2009).

2.1.1 Emisión antropogénica de cargas de materia orgánica y nutrientes

El equilibrio en el ciclo de la MO en CALE se ha visto afectado por emisiones antropogénicas, que producen y/o liberan MO y P, lo que aumenta tanto la MO alóctona como la autóctona (Otiang'a-Owiti y Oswe, 2007; Zan et al., 2012). Las fuentes antropogénicas de nutrientes y MO se dividen en fuentes puntuales y difusas. Por un lado, las fuentes puntuales emiten MO y nutrientes en un punto geográfico conocido y delimitado espacialmente, lo que hace que sus emisiones sean más fáciles de monitorear y controlar. Por otro lado, las fuentes difusas emiten MO y nutrientes en un área extensa y cambiante y, por ende, sus emisiones son más difíciles de monitorear y controlar (O'Shea, 2002).

El aumento de MO en CALE crea un incremento en la **demanda de oxígeno** (DO) requerida para degradar de manera aerobia la MO, que es la degradación predilecta del consorcio microbiano. Un incremento de MO puede ocasionar que la DO sea mayor que el OD disponible en el cuerpo de agua, creando condiciones de hipoxia, lo cual ocasiona una disminución de OD que puede llegar a alcanzar condiciones de anoxia, o una ausencia total de oxígeno.

Demanda de oxígeno: Cantidad de oxígeno disuelto en el agua necesaria para que ocurra una mineralización biológica por respiración aerobia de carbono, N y P presentes en la MO. La reacción de la mineralización aerobia de la MO es la siguiente (Song y Müller, 1999):



La anoxia tiene consecuencias graves para cuerpos de agua. Por un lado, la ausencia de OD en el agua hace imposible la supervivencia de especies acuáticas de vertebrados e invertebrados aerobios (Glibert et al., 2002). Por otro lado, la degradación anóxica de MO produce gases tóxicos para la biota del ecosistema, tales como H_2S (Dorgham, 2014; Mathai et al., 2019), que es menos eficiente que la degradación aerobia, incrementando el tiempo que la MO se encuentre en el cuerpo de agua sin ser degradada y, con ello, aumentando el número de enterobacterias patógenas en el sistema (Mathai et al., 2019).

2.1.2 Prácticas de mejor gestión

Respondiendo a la degradación en la calidad de agua, se ha desarrollado la necesidad de administrar los recursos hídricos considerando los aportes contaminantes de la cuenca hidrológica. Debido a que comúnmente los CALE se localizan en áreas bajas de las cuencas hidrológicas, las actividades que se realicen en cualquier localización aguas arriba afectarían al CALE mismo, sea de forma dañina o benéfica,

tales como la implementación de **prácticas de mejor gestión** (BMP por sus siglas en inglés). Dichas BMP han logrado mejoras en la calidad de agua de CALE contaminados en cuencas con diferentes características (Viana Furtado et al., 2021; Risal et al., 2020; Khare et al., 2020).

Prácticas de mejor gestión: Método de control de cargas contaminantes en agua. Se puede referir a un tratamiento del agua o acciones en otro proceso productivo que afectan la calidad del agua en una cuenca hidrológica.

Un importante aspecto de las BMP es el control de emisiones de sustancias, cuya acumulación afecta negativamente la calidad de agua en los CALE. Las BMP implementadas son tan diversas como las características de las cuencas hidrológicas en donde se aplican y la identidad de la fuente emisora que mitigan (Santhi et al., 2001). En la Tabla 1 se presentan BMP que se han desarrollado e implementado para reducir emisiones de sustancias que causan la acumulación de MO en la red hidrográfica de una cuenca hidrológica.

Tabla 1: Eficiencias de remoción reportadas por diferentes BMP. Tabla elaborada con información de CONAGUA, 2019b1; Mavhungu et al., 20212; Abyar et al., 20223; CONAGUA, 2019c4 y Marques-dos-Santos et al., 20235

Nombre	Eficiencia de remoción [%]							Producción de lodo [g/m ³]	Máxima recuperación de P [%]
	DBO	SST	N _{org}	NH ₃	NO _x	PO ₄ ³⁻	P _{org}		
Tratamiento biológico convencional (TBC) ¹ (TRH = 20 h)	95	67	88	98	SR	39	88	230	NA
Recuperación química de fósforo (RQP) ² ($\dot{m}_{\text{reactivo}} = 16 \text{ kg/m}^3$ TRH = 180 min)	SR	SR	SR	68.2	SR	99	SR	NA	95
Remoción biológica aumentada de fósforo (EBPR por sus siglas en inglés) ³ (TRH = 50 h)	99	99	99	99	33	95	99	230	85
Humedal ⁴ (TRH = 10 d)	95	80	80	65	95	95	95	NA	NA
Reducción de las cabezas de ganado al 5 % del número actual (RCG_5) ⁵	95	95	95	95	95	95	95	NA	NA

SR: sin remoción; NA: no aplica; TRH: tiempo de residencia hidráulico

Además, se ha reportado que, en casos donde el CALE presenta degradación crónica en su calidad de agua, la implementación de BMP enfocados en la remoción de contaminantes dentro de cuerpos de agua es una opción para incrementar el alcance y rapidez de la restauración del propio CALE (Lürling y Miccu, 2020). Por ejemplo, la aplicación de adsorbente selectivo de P, es una BMP que forma un mineral inerte con P, evitando así la producción de MO en el cuerpo de agua (Blázquez-Pallí, 2015) o la oxigenación

hipolimnética, que suministra el oxígeno necesario para que el consorcio microbiano lleve a cabo una degradación aerobia de MO (Preece et al., 2019).

2.1.3 Administración integrada de cuencas hidrológicas

La necesidad de una administración integrada de cuencas hidrológicas, en cuyo marco la implementación de BMP es fundamental, ha sido identificada desde hace décadas por la comunidad científica. Sin embargo, su traducción a proyectos y/o legislación ha sido escasa (Blomquist y Schlager, 2005). Procesos que integren modelación, análisis de los grupos interesados y análisis socioeconómico tienen una mayor efectividad en guiar y sustentar la correcta gestión de cuencas (Turner et al., 2000; Helming y Reinhard, 2009).

El análisis económico se utiliza especialmente en la evaluación de propuestas de rehabilitación y preservación de cuencas hidrológicas, donde otorga claridad sobre el intercambio entre los costos de implementar acciones y los beneficios obtenidos (Lin et al., 2020). Una herramienta ampliamente utilizada para este fin es el **análisis costo-beneficio** (CBA por sus siglas en inglés) (Zhou et al., 2009; Ninan y Lakshmikanthamma, 2001).

Análisis costo-beneficio: Es una evaluación que compara los costos monetarios de la implementación de un proyecto, legislación o prácticas de administración con los beneficios monetarios de las repercusiones de dicha implementación (Trenholm et al., 2013).

La estimación de costos, en el marco de un CBA, es un proceso en el que se toman como referencia los costos de la previa ejecución de proyectos comparables y se adapta a las características del proyecto a evaluar. Para la implementación de BMP se consideran dos tipos de costo; los costos de construcción, los cuales incurrir solo una vez antes de que se observen los efectos de la implementación, y los costos operativos, los cuales son costos recurrentes, comúnmente con una periodicidad anual, que se deben considerar durante la totalidad de la vida útil del proyecto. En la Tabla 2 se presentan los costos de construcción y operación de BMP que se han desarrollado e implementado para reducir emisiones de sustancias, que promueven la acumulación de MO en la red hidrográfica de una cuenca hidrológica.

Tabla 2: Costos de construcción y operación reportados para diferentes BMP

Actividad	Fase	Valor	Unidad	Referencia
TBC	Construcción	$3,100 * Q^{0.881}$	USD	CAMe-IMTA, 2022
	Operación	$0.0529 + 1.31 * 10^{-5} * Q$	10^6 USD	Miranda-Rodríguez et al., 2015
RQP	Construcción	12,924,385.39	USD/(m3/s)	Molinos-Senante et al., 2011
	Operación	870,912	USD/(m3/s)	
EBPR	Construcción	$0.59 * Q^{0.66}$	USD	Abyar et al., 2022
	Operación	3,140,000	USD/(m3/s)	

Actividad	Fase	Valor	Unidad	Referencia
Disposición de lodos	Operación	35.67	USD/t	
Humedal	Construcción	4,300	MXN/(m3/s)	CAME-IMTA, 2022
	Operación	8,000	MXN/(m3/s)	
RCG_5	Operación	324,066,533.04	MXN	SIAP, 2023
Oxigenación hipolimnética	Construcción	100,000,000	MXN/HOS	CAME-IMTA, 2022
	Operación	5,400,000	MXN/HOS	
Aplicación de Phoslock	Operación	2.75	USD/kg ^{Phoslock}	Blázquez-Pallí, 2015

Q: caudal en litros por segundo; HOS: sistema de oxigenación hipolimnética; TBC: Tratamiento biológico convencional; RQP: Recuperación química de fósforo; EBPR: Remoción biológica aumentada de fósforo; RCG_5: Reducción de las cabezas de ganado al 5 % del número actual

En comparación, la estimación de los beneficios es un proceso más subjetivo y especulativo. Para una correcta y completa identificación de los beneficios, es necesario considerar las repercusiones socioeconómicas que tienen los cambios en calidad del agua asociados al proyecto propuesto (Siraw et al., 2017; Getahun y Keefer, 2016).

La rehabilitación de CALE contaminados por acumulación de MO produce la disminución o desaparición de los efectos nocivos presentados en el capítulo 2.1.1. Además, supone ahorros en el costo de tratamiento necesario para el uso productivo del agua (Burnett et al., 2017), le restaura al CALE rehabilitado su identidad como motor de crecimiento económico (Deng et al., 2011) e incrementa su valor como ecosistema saludable (Hernández-Sancho et al., 2010). La correcta valuación de este último beneficio es especialmente complicada, ya que los productos asociados no tienen un valor establecido en el mercado (Molinos-Senante et al., 2010). Debido a esto se han desarrollado métodos de valuación que utilizan herramientas económicas, como el **precio sombra**, para integrar los efectos de la modificación de un ecosistema a un CBA (Ferraro et al., 2012; Salvano et al., 2013).

Precio sombra: Valor monetario asignado a los efectos nocivos que la descarga de un contaminante tiene en un ecosistema. Este valor refleja los costos de rehabilitación que se deberán incurrir al resarcir los daños ocasionados al ecosistema. Es, de igual forma, utilizado para calcular el valor de no descargar el contaminante en un ecosistema (Molinos-Senante et al., 2010).

En la Tabla 3 se presentan los valores monetarios de los beneficios de la rehabilitación de CALE contaminados por acumulación de MO mediante la implementación de BMP en la cuenca hidrográfica del CALE.

Tabla 3: Valor monetario de beneficios derivados de la rehabilitación de CALE contaminados por acumulación de MO

Beneficio	Tipo de valuación	Valor	Unidad	Referencia
Venta de estruvita	Precio de mercado	0.44	EUR/kg _{estruvita}	Fernández-Delgado et al., 2021
Turismo lacustre	Costo oportunidad	1,922.92	MXN/viaje	Ibañez, 2011
Tratamiento por enfermedad gastrointestinal	Precio social	936	USD/paciente	Mara et al., 2007
Descarga de CBOD	Precio sombra	0.23	EUR/kg _{CBOD}	Molinos-Senante et al., 2010
Descarga de P	Precio sombra	30.94	EUR/kg _P	

El análisis costo-beneficio busca sintetizar las estimaciones de costos y beneficios en un solo número, proporcionando una evaluación clara de la viabilidad de un proyecto o decisión. Este análisis se lleva a cabo restando el valor de los costos totales del valor total de los beneficios, lo cual facilita la comprensión del balance neto. Es crucial conocer el periodo de tiempo del análisis, ya que permite identificar con precisión los momentos en los que se incurrirán ciertos costos y aquellos en los que se obtendrán ciertos beneficios, asegurando una evaluación más precisa y contextualizada de la rentabilidad del proyecto (Mishan y Quah, 2020).

2.2 Modelación del transporte reactivo de materia orgánica y nutrientes a escala de cuenca hidrológica

En la modelación del **transporte reactivo** de MO y nutrientes, las cuencas hidrológicas son asumidas como complejos reactores hidrogeoquímicos con entradas y salidas, representadas por emisiones y pérdidas de sustancias, y un cúmulo de reacciones que ocurren dentro del reactor (Li, 2019).

Transporte reactivo: Cúmulo de procesos físicos, químicos y/o biológicos que ocurren en la fase terrestre y/o acuática de una cuenca hidrológica e influyen en la concentración total de sustancias, como MO o P, y/o las fracciones que cada especie representa de la concentración total en un punto espacial y temporal determinado.

Los modelos conceptuales del transporte reactivo de nutrientes y MO describen procesos físicos, químicos y biológicos con sistemas de ecuaciones matemáticas que pueden ser resueltas con ayuda de procesamiento computacional (Benedini y Tsakiris, 2013). Dichas características hacen de la modelación de transporte reactivo una herramienta esencial para analizar los procesos que gobiernan la carga de MO y P autóctona de un CALE, que puede analizar las interacciones que diferentes procesos pueden tener entre sí y describir flujos de nutrientes y MO en cuencas hidrológicas a escalas espaciales y temporales pertinentes para administrar los recursos hídricos (Molins y Knabner, 2019).

2.2.1 Herramienta de Evaluación de Agua y Suelo + (SWAT+)

El software Herramienta de Evaluación de Agua y Suelo (SWAT por sus siglas en inglés) (Arnold et al., 1998) es uno de los modelos hidrogeoquímicos más usados globalmente con más de 4,000 publicaciones documentadas (CARD, 2023) y se ha aplicado exitosamente en estudios con basta variedad de objetivos y zonas de estudio (Oliveira Serrão et al., 2021; Tan et al., 2019; Wagner et al., 2022). Recientemente, los desarrolladores del SWAT publicaron una versión actualizada, donde se integran aportaciones de usuarios para volver la simulación hidrogeoquímica más completa (Bieger et al., 2017), llamada SWAT+.

SWAT+ es un modelo hidrogeoquímico conceptual, de tiempo continuo y con una segregación espacial basada en las características de la zona de estudio. La meta de SWAT+ es predecir el impacto de diferentes escenarios de administración del agua y suelo en la hidrología y la calidad del agua en cuencas hidrológicas (Merwade et al., 2017). A continuación, se presenta la teoría utilizada por el modelo SWAT+ para simular los aspectos de interés para este trabajo descrito en el manual “*Soil and Water Assessment Tool - Theoretical Documentation: Version 2009*” (Neitsch et al., 2011).

Por un lado, la modelación temporal continua permite simular procesos de contaminación o remediación en un espacio temporal de varios años. Por otro lado, la segregación espacial hace posible la simulación de cuencas de gran extensión de forma computacionalmente eficiente. Dicha segregación funciona, en un primer paso, con el desglose de la cuenca hidrológica en subcuencas que se caracterizan por tener un único clima, un único acuífero y un único ecosistema (terrestre, acuático o de transición). Cada subcuenca, a su vez, contiene una o más Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU por sus siglas en inglés) que son áreas que comparten el mismo tipo, uso y administración del suelo. Cada HRU se conforma como un sistema uniforme en donde se calculan todos los procesos terrestres conjuntamente.

2.2.1.1 Hidrología

El ciclo hidrológico juega un rol importante en el transporte reactivo de MO y nutrientes, ya que los mecanismos dominantes en el transporte de dichas sustancias en cuencas hidrológicas ocurren en agua, como la escorrentía superficial, la infiltración, entre otros. El ciclo hidrológico se separa en la fase terrestre y la fase acuática.

El ciclo hidrológico terrestre se basa en la Ecuación 1:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad \text{Ecuación 1}$$

donde:

SW_t = Contenido de agua en el suelo al finalizar el día i ($\text{mm}_{\text{H}_2\text{O}}$)

SW_0 = Contenido de agua en el suelo al inicio del día i ($\text{mm}_{\text{H}_2\text{O}}$)

- R_{day} = Precipitación durante el día i ($\text{mm}_{\text{H}_2\text{O}}$)
 Q_{surf} = La escorrentía superficial el día i ($\text{mm}_{\text{H}_2\text{O}}$)
 E_a = Evapotranspiración el día i ($\text{mm}_{\text{H}_2\text{O}}$)
 W_{seep} = Infiltración del día i ($\text{mm}_{\text{H}_2\text{O}}$)
 Q_{gw} = Flujo subterráneo o flujo base el día i ($\text{mm}_{\text{H}_2\text{O}}$)

Los valores diarios de precipitación existentes son parte de los datos que el usuario debe ingresar al modelo. En caso de que agregue un régimen de riego, la cantidad de agua que se irriga se suma al valor de precipitación diaria. La escorrentía superficial es la cantidad de agua que sigue en la superficie cuando el suelo se satura. Se calcula utilizando el método del número de curva de la Servicio de Conservación de Suelos de la Agencia de Agricultura de los Estados Unidos (Mishra y Singh, 2003). La evapotranspiración es toda el agua en la superficie terrestre que se evapora e ingresa a la atmósfera. Ésta incluye la evaporación del dosel vegetal, la transpiración, la sublimación y la evaporación del suelo, este último es el principal mecanismo de pérdida de agua en una cuenca hidrológica (Dingman, 2015). La infiltración es la cantidad de agua que sale de la capa más profunda del suelo e ingresa a la zona no saturada del acuífero y que, finalmente, recarga a la zona saturada. La infiltración depende de las características físicas y la saturación del suelo, así como la saturación del acuífero. El flujo subterráneo, o flujo base, es el agua que entra a los cuerpos de agua directamente del acuífero siempre y cuando el espejo del agua esté por encima del lecho del río o del fondo de lagos o embalses. El flujo subterráneo es calculado utilizando la fórmula presentada por Hooghoudt (1940) de la respuesta de un acuífero en estado estacionario.

La modelación hidrológica en su fase acuática ocurre de dos formas, dependiendo si el cuerpo de agua es lótico o léntico. En cuerpos de agua lóticos, el flujo del caudal es simulado con el método Muskingum (Chow et al., 1988). Además, se consideran entradas adicionales por precipitación y descargas de fuentes puntuales y salidas por infiltración en el lecho del cuerpo de agua, evaporación y toma de agua para uso humano. En cuerpos de agua lénticos se consideran entradas adicionales por precipitación y descargas de fuentes puntuales y salidas por infiltración en el lecho, evaporación, toma de agua para uso humano y la salida de la presa, el caudal que se deja escapar puede ser fijado por el usuario con información diaria o mensual o automatizado para que en el momento que el cuerpo de agua alcance cierto nivel, se descargue automáticamente una cantidad de agua definida por el usuario.

2.2.1.2 Materia orgánica

Las características de las moléculas de MO se definen por su componente más abundante, el carbono orgánico (C_{org}). Debido a esto, el modelo SWAT+ considera los procesos físicos, químicos y biológicos que le ocurren al C_{org} para representar el transporte reactivo de MO. La simulación de dichos procesos se separa, al igual que la hidrología, en una fase terrestre y una fase acuática (Figura 1).

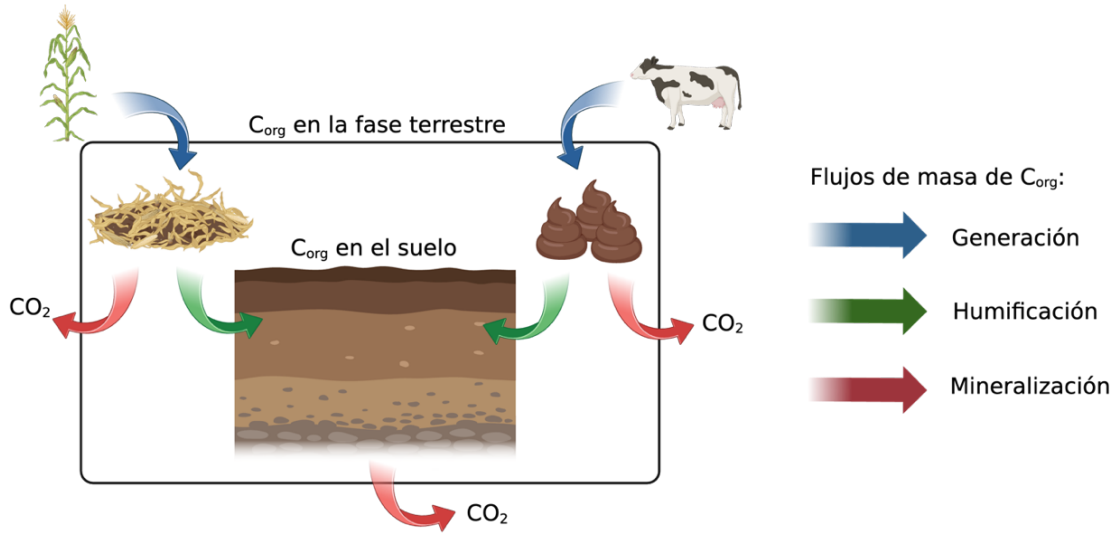


Figura 1: Modelo conceptual del ciclo biogeoquímico de carbono orgánico en la fase terrestre del modelo SWAT+

El modelo SWAT+ calcula la carga diaria de C_{org} (Ecuación 2), representado por el parámetro de **demanda bioquímica de oxígeno carbonácea** (CBOD por sus siglas en inglés), que ingresa a los cuerpos de agua (fase acuática), por escorrentía superficial (Thomann y Mueller, 1987),

Demanda cabonácea bioquímica de oxígeno: Parámetro que mide la cantidad de oxígeno molecular que consume la degradación biológica de la MO. Se diferencia de la demanda bioquímica de oxígeno en que no se considera la oxidación de compuestos nitrogenados.

$$cbod_{surq} = \frac{2.7 * orgC_{surq}}{Q_{surf} * area_{hru}} \quad \text{Ecuación 2}$$

donde:

- $cbod_{surq}$ = Concentración de CBOD en la escorrentía superficial (mg_{CBOD}/L)
- $orgC_{surq}$ = Masa de C_{org} en la escorrentía superficial (kg_{orgC})
- Q_{surf} = La escorrentía superficial el día i (mm_{H_2O})
- $area_{hru}$ = Área del HRU (km^2)

Se considera que la escorrentía superficial interactúa solamente con la capa superior del suelo, la cual tiene un grosor definido por los desarrolladores del modelo de 10 mm. La masa de C_{org} en la escorrentía superficial es calculada mediante Ecuación 3,

$$orgC_{surq} = 1000 * \frac{orgC_{surf}}{100} * sed * \epsilon_{C:sed} \quad \text{Ecuación 3}$$

donde:

$$\begin{aligned}
 orgC_{surq} &= \text{Masa de } C_{org} \text{ en la escorrentía superficial (kg}_{org}\text{C)} \\
 orgC_{surf} &= \text{Masa de } C_{org} \text{ en los primeros 10 mm de suelo (\%)} \\
 sed &= \text{Carga de sedimento del HRU (t}_{sed}\text{)} \\
 \varepsilon_{C:sed} &= \text{Relación de la concentración } C_{org} \text{ en el sedimento a la concentración de } C_{org} \text{ en los} \\
 &\quad \text{primeros 10 mm de suelo (t}_{sed}/m_{H_2O}^3\text{)}
 \end{aligned}$$

Así, la cantidad de C_{org} que ingresa a los cuerpos de agua proveniente de la fase terrestre depende de la erosión de suelo que crea sedimento y de la concentración de C_{org} en los primeros 10 mm de suelo.

Por un lado, la generación de sedimento se calcula con la Ecuación Universal Modificada de Pérdida de Suelo (MUSLE por las siglas en inglés) descrita por la Ecuación 4 (Singh, 1995),

$$sed = 11.8 * (Q_{surf} * q_{peak} * area_{hru})^{0.56} * K_{USLE} * C_{USLE} * P_{USLE} * LS_{USLE} * CFRG \quad \text{Ecuación 4}$$

donde:

$$\begin{aligned}
 sed &= \text{Carga de sedimento del HRU (t}_{sed}\text{)} \\
 Q_{surf} &= \text{La escorrentía superficial el día i (mm}_{H_2O}\text{)} \\
 q_{peak} &= \text{La máxima tasa de escurrimiento diaria (m}_{H_2O}^3\text{/s)} \\
 area_{hru} &= \text{Área del HRU (km}^2\text{)} \\
 K_{USLE} &= \text{Factor USLE de erodibilidad del suelo (t}_{sed}/(\text{m}_{suelo}^2 * \text{h})) \\
 C_{USLE} &= \text{Factor USLE de cobertura y administración del suelo (-)} \\
 P_{USLE} &= \text{Factor USLE de prácticas de mantenimiento (-)} \\
 LS_{USLE} &= \text{Factor USLE topográfico (-)} \\
 CFRG &= \text{Factor de corrección por fragmentos gruesos (-)}
 \end{aligned}$$

Por otro lado, la concentración de C_{org} en los primeros 10 mm de suelo deriva del cálculo de la masa de C_{org} en el suelo mediante el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales,

$$\frac{\partial S_C}{\partial t} = h_R * f_E * k_R * R_C + h_M * f_E * k_M * M_C - k_S * S_C \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\frac{\partial R_C}{\partial t} = I_{R,C} - f_E * k_R * R_C \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\frac{\partial M_C}{\partial t} = I_{M,C} - f_E * k_M * M_C \quad \text{Ecuación 7}$$

donde:

$$\begin{aligned}
 S_C &= C_{org} \text{ en el suelo (kg}_{C_{org}}\text{/m}^2\text{)} \\
 R_C &= C_{org} \text{ en residuo vegetal (kg}_{C_{org}}\text{/m}^2\text{)}
 \end{aligned}$$

- M_C = C_{org} en excreta animal ($kg_{C_{org}}/m^2$)
 $I_{i,C}$ = Adición diaria de C_{org} en i ($kg_{C_{org}}/m^2$)
 f_E = Factor de corrección por efectos de temperatura, humedad y aeración del suelo (-)
 h_i = Tasa de humificación de la MO i (kg_{humus}/kg_{MO})
 k_i = Tasa de descomposición de la MO en i (1/día)

Como se observa en estas ecuaciones, C_{org} en el suelo aumenta debido a la humificación de MO proveniente de residuos vegetales o excreta animal. Dichas fuentes de MO pierden C_{org} al descomponerse, proceso que igual reduce la MO en el suelo.

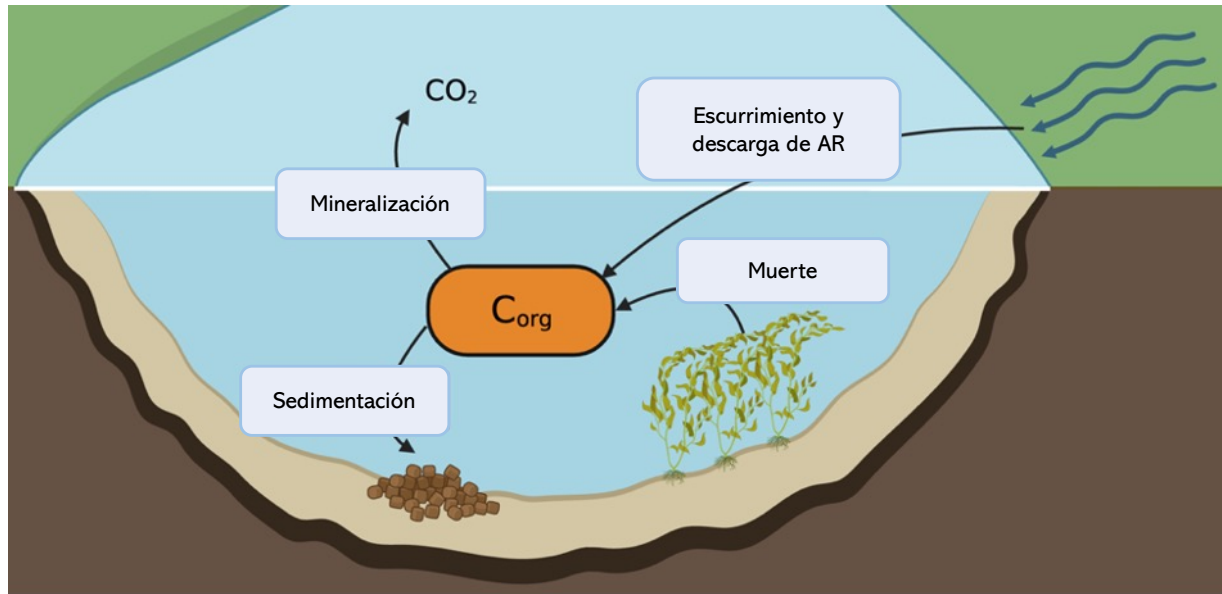


Figura 2: Modelo conceptual del ciclo biogeoquímico de carbono orgánico en la fase acuática del modelo SWAT+

En la fase acuática del modelo, C_{org} ingresa al ser transportado por la escorrentía superficial desde la fase terrestre, por fuentes emisoras puntuales que descargan directamente a cuerpos de agua y por el crecimiento de biomasa dentro del cuerpo de agua. Asimismo, C_{org} disminuye debido a la sedimentación y a la mineralización por respiración aerobia de MO. Similar a la fase terrestre, C_{org} es representado por el parámetro CBOD. La ecuación diferencial que describe el cambio diario en la CBOD es la siguiente,

$$\frac{\partial cbod}{\partial t} = cbod_{surq} * Q_{surf} + cbod_{ps} - (\kappa_1 * cbod + \kappa_3 * cbod) * TT \quad \text{Ecuación 8}$$

donde:

- $cbod_{ps}$ = CBOD que ingresa por fuentes puntuales (mg_{cbod})
 $cbod_{surq}$ = Concentración de CBOD en la escorrentía superficial (mg_{CBOD}/L)
 Q_{surf} = La escorrentía superficial el día i (mm_{H_2O})
 κ_1 = Tasa de desoxigenación de MO (1/día)

κ_3 = Tasa de sedimentación de MO (1/día)
 TT = Tiempo de residencia de la MO en agua (día)

2.2.1.3 Fósforo

El P se encuentra de diferentes formas en los CALE, ocasionando diversas consecuencias dependiendo de la especie dominante, debido a esto el modelo SWAT+ considera los procesos físicos, químicos y biológicos de varias **especies químicas** del elemento para simular el transporte reactivo de P. De forma similar al transporte reactivo de C_{org} y a la hidrología, la simulación del transporte reactivo de P se diferencia entre la fase terrestre y la acuática.

Especie química: Molécula cuyas propiedades intrínsecas la diferencian de otras. Por ejemplo, un elemento químico puede estar asociado a diferentes moléculas, que poseen determinadas características físicas y químicas. Los mecanismos de transporte y las transformaciones bioquímicas que influyen en cada especie son únicas para cada especie.

El modelo SWAT+ en su fase terrestre considera especies de P tanto orgánicas (P_{org}), como inorgánicas (P_{min}).

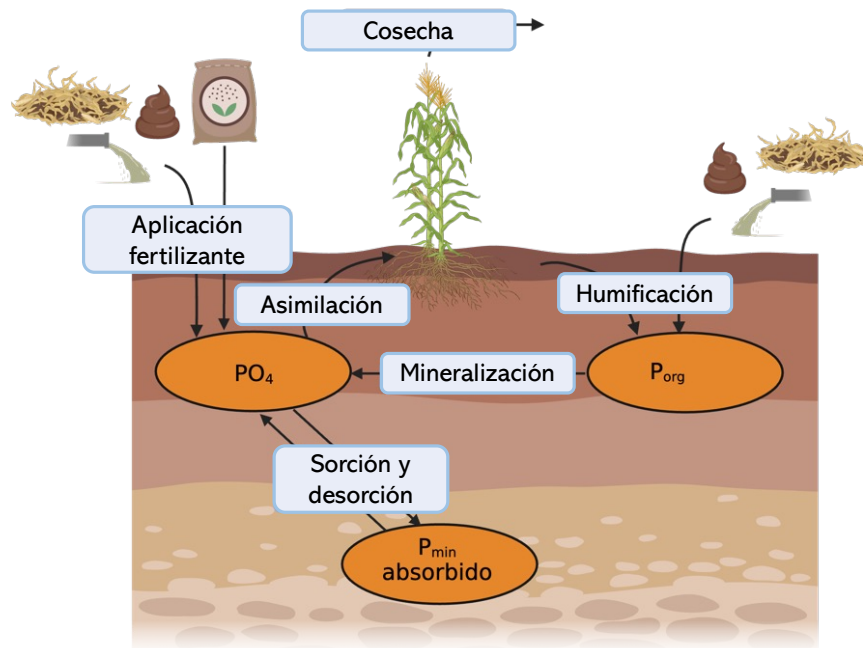


Figura 3: Modelo conceptual del ciclo biogeoquímico de fósforo en la fase terrestre del modelo SWAT+ (Modificado de Neitsch et al., 2011)

Por un lado, las especies de P_{org} pueden ser moléculas asociado a MO reciente proveniente de residuos vegetales (P_{fresh}) o fósforo disponible en sustancias húmicas (P_{hum}). Por otro lado, las especies inorgánicas

son el fósforo soluble (P_{sol}), que es la forma disponible para la asimilación por parte de las plantas, y el fósforo aplicado como fertilizante, el cual se encuentra en su forma activa (P_{act}) y estable (P_{sta}).

El P_{fresh} puede descomponerse en P_{hum} o se puede mineralizar directamente y convertirse en P_{sol} . El P_{hum} también se mineraliza, convirtiéndose en P_{sol} . El P_{sol} mantiene un equilibrio relativamente rápido con P_{act} , que responde en días a perturbaciones, mientras que el equilibrio entre P_{act} y el P_{sta} es más lento, alcanzando una estabilidad en meses.

El transporte de P en el suelo a cuerpos de agua ocurre mediante dos mecanismos; (1) transporte de P_{sol} en escorrentía superficial y (2) transporte de P asociado a partículas suspendidas (P_{sus}).

P soluble se encuentra comúnmente como ortofosfato (PO_4^{3-}), que es la principal forma por el que P_{sol} sea transportado en escorrentía superficial (Ecuación 9),

$$P_{surf} = \frac{P_{sol,surf} * Q_{surf}}{\rho_b * 10 \text{ mm} * k_{d,surf}} \quad \text{Ecuación 9}$$

donde:

$$\begin{aligned} P_{surf} &= P_{sol} \text{ transportado en la escorrentía superficial (kg}_P\text{/ha)} \\ P_{sol,surf} &= P_{sol} \text{ en los primeros 10 mm de suelo (kg}_P\text{/ha)} \\ Q_{surf} &= \text{La escorrentía superficial el día } i \text{ (mm}_{H_2O}\text{)} \\ \rho_b &= \text{Densidad de los primeros 10 mm de suelo (t/m}^3\text{)} \\ k_{d,surf} &= \text{Coeficiente de partición de P entre suelo y agua (m}^3\text{/t)} \end{aligned}$$

Además del transporte de P_{sol} , las partículas suspendidas pueden transportar todas las otras especies de P a cuerpos de agua. La Ecuación 10 (McElroy et al., 1976; Williams y Hann Jr., 1978) calcula el P transportado por sedimento suspendido,

$$sedP_{surf} = 0.001 * conc_{sedP} * \frac{sed}{area_{hru}} * \epsilon_{P:sed} \quad \text{Ecuación 10}$$

donde:

$$\begin{aligned} sedP_{surf} &= P \text{ transportado en sedimento (kg}_P\text{/ha)} \\ conc_{sedP} &= \text{Porcentaje de P no soluble en los primeros 10 mm de suelo (\%)} \\ sed &= \text{Carga de sedimento del HRU (t}_{sed}\text{)} \\ area_{hru} &= \text{Área del HRU (km}^2\text{)} \\ \epsilon_{P:sed} &= \text{Relación de la concentración P en el sedimento a la concentración de P en los primeros 10 mm de suelo en (t}_{sed}\text{/m}^3_{H_2O}\text{)} \end{aligned}$$

Se determina el porcentaje de P no soluble en los primeros 10 mm de suelo (Ecuación 11).

$$conc_{sedP} = 100 * \frac{minP_{act,surf} + minP_{sta,surf} + orgP_{hum,surf} + orgP_{frsh,surf}}{\rho_b * 10 \text{ mm}} \quad \text{Ecuación 11}$$

donde:

- $conc_{sedP}$ = Porcentaje de P no soluble en los primeros 10 mm de suelo (%)
- $minP_{act,surf}$ = P inorgánico activo en los primeros 10 mm de suelo (kg_P/ha)
- $minP_{sta,surf}$ = P inorgánico estable en los primeros 10 mm de suelo (kg_P/ha)
- $orgP_{hum,surf}$ = P orgánico humificado en los primeros 10 mm de suelo (kg_P/ha)
- $orgP_{frsh,surf}$ = P orgánico fresco en los primeros 10 mm de suelo (kg_P/ha)
- ρ_b = Densidad de los primeros 10 mm de suelo (t/m³)

La fase acuática del transporte reactivo de P considera dos especies, P_{org} y P_{min}.

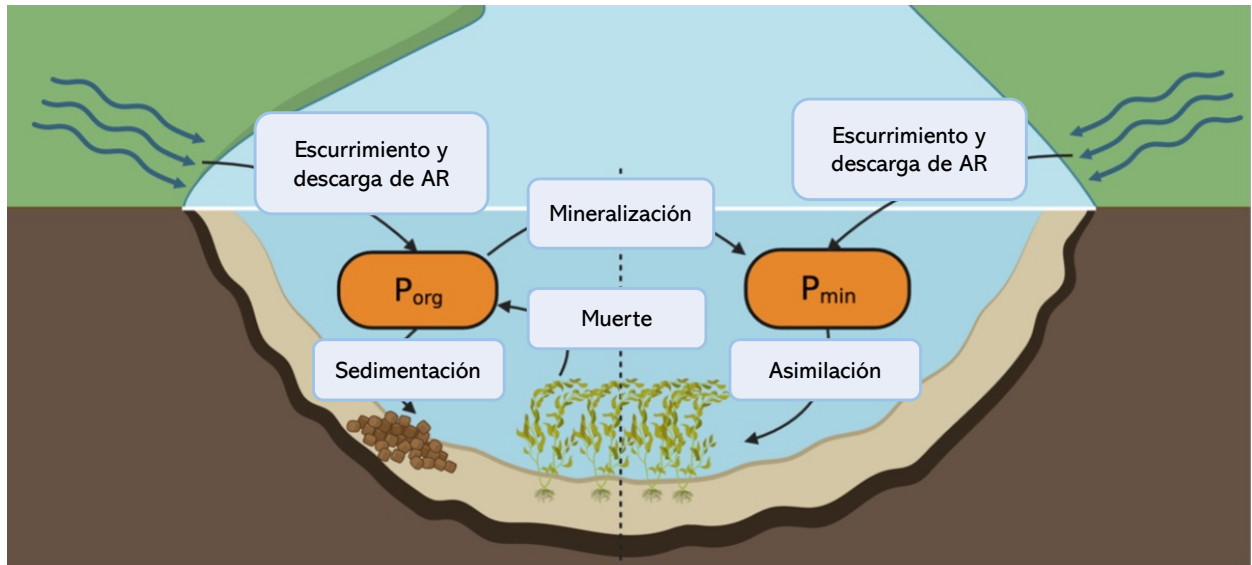


Figura 4: Modelo conceptual del ciclo biogeoquímico de fósforo en la fase acuática del modelo SWAT+

La escorrentía superficial y las fuentes emisoras puntuales de agua residual, aportan tanto P_{org} como P_{min}. Además, el P_{org} aumenta con la muerte de algas y se reduce por biodegradación o sedimentación, mientras que el P_{min} aumenta por la degradación de P_{org} y decrece con el crecimiento algal. Las siguientes ecuaciones describen los cambios de las concentraciones de P_{org} y P_{min},

$$\Delta orgP_{str} = (\alpha_2 * \rho_a * algae - \beta_{P,4} * orgP_{str} - \sigma_5 * orgP_{str}) * TT \quad \text{Ecuación 12}$$

$$\Delta solP_{str} = \left(\beta_{P,4} * orgP_{str} + \frac{\sigma_2}{1000 * depth} - \alpha_2 * \mu_a * algae \right) * TT \quad \text{Ecuación 13}$$

donde:

$orgP_{str}$	=	Concentración de P_{org} en el agua (mg_P/L)
$solP_{str}$	=	Concentración de P_{min} en el agua (mg_P/L)
α_2	=	Fracción de la biomasa algal que es P (mg_P/mg_{algae})
ρ_α	=	Tasa de respiración y de mortandad algal (1/día)
$algae$	=	Biomasa algal al inicio del día (mg_{algae}/L)
$\beta_{P,4}$	=	Tasa de mineralización del P_{org} (1/día)
σ_5	=	Tasa de sedimentación del P_{org} (1/día)
$depth$	=	Profundidad de la columna de agua (m)
μ_α	=	Tasa de crecimiento algal (1/día)
TT	=	Tiempo de residencia de la MO en agua (día)

2.3 Zona de estudio

Endhó es una presa que se encuentra en el centro de México, y se localiza en los municipios de Tula de Allende y Tepetitlán, en el Estado de Hidalgo. Esta presa se localiza en la región hidrológica 16 del Río Pánuco, que tiene como colector principal al río Tula y que termina desembocando en el Golfo de México a través del río Moctezuma, su afluente (SEMARNAT, 2018).

La presa fue construida entre 1947 y 1951 con la finalidad de almacenar agua en los periodos de escasez o para etapas específicas de riego de los cultivos locales en el DR Tula 003. A partir de la construcción del Túnel Emisor Central (TEC) en 1975, la presa Endhó recibe y almacena agua residual proveniente de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y, eventualmente, el agua almacenada se utiliza también para riego en el DR Alfajayucan 100 (Hernández Olmos, 2011). Actualmente, se ubican veinte asentamientos humanos en la ribera de la presa Endhó, de los cuales dos son urbanas con una población mayor a 2,500 habitantes y dieciocho son comunidades rurales. En total hay una población de 17,196 habitantes ribereños (INEGI 2020a).

La zona de estudio abarca la cuenca hidrológica de la presa Endhó con punto de descarga ubicado en la salida de la presa, en las coordenadas 20.16° N y 99.36° O. La cuenca hidrológica de la presa Endhó es el territorio que drena naturalmente a la presa Endhó. Ella ocupa parte del suroeste del Estado de Hidalgo y norte del Estado de México, abarcando un total de 1,994 km² de extensión (CAME-IMTA, 2022).

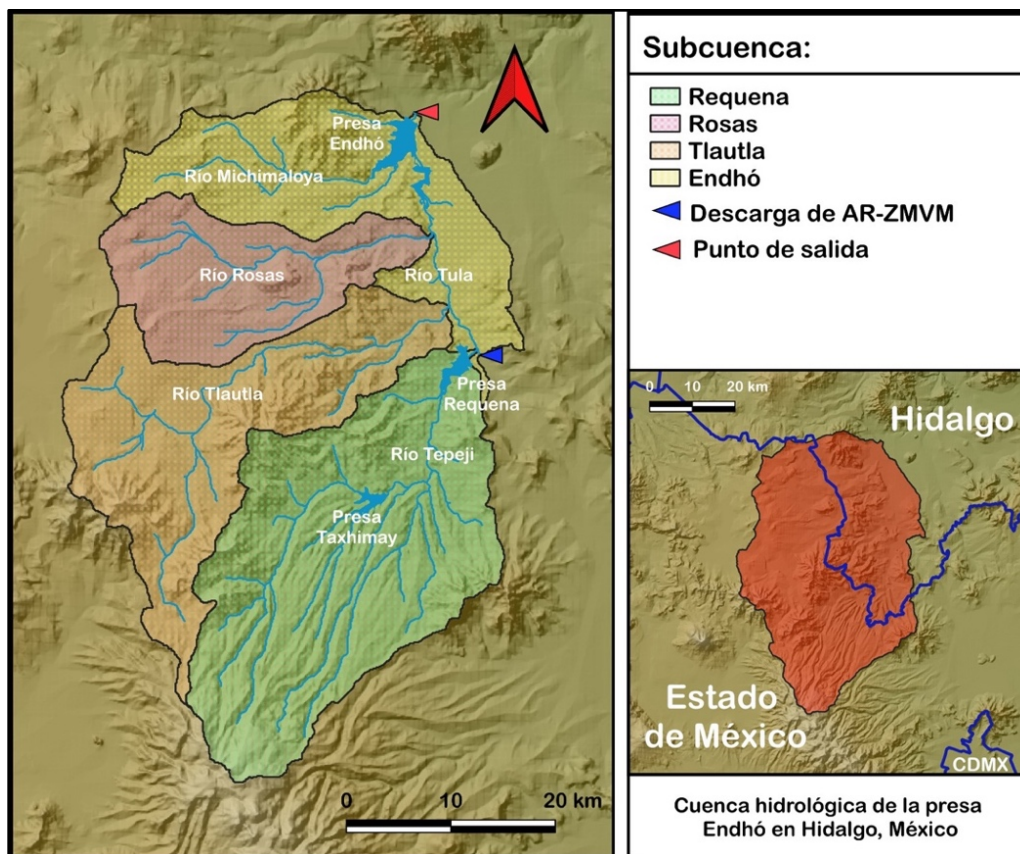


Figura 5: Territorio de la cuenca hidrológica de la presa Endhó, principales ríos y presas

2.3.1 Río principal y tributarios

El río principal de la cuenca hidrológica de presa Endhó es el río Tula, el cual nace en la confluencia del río El Salto y las descargas del TEC y el Túnel Emisor Oriente (TEO). Dicha confluencia ha visto su caudal cambiar con el paso de los años debido a la constante construcción de infraestructura para administrar los recursos hídricos de la ZMVM. En 1975 se concluyó la construcción del TEC, a partir de ese momento el río Tula recibió un AR-ZMVM (SACMEX, 2013). Actualmente, el AR-ZMVM descargada a través del río El Salto, el TEO y TEC alcanza un caudal promedio de $42.8 \pm 7.3 \text{ m}^3/\text{s}$, de los cuales $28.1 \pm 6.4 \text{ m}^3/\text{s}$ ingresan a la PTAR Atotonilco (CAME-IMTA, 2022) y son desviados al canal El Salto-Tlamaco para riego fuera de la cuenca hidrológica de la presa Endhó (Nava Treviño, 2010). El caudal excedente, que no recibe ningún tipo de tratamiento y muestra un promedio de $14.7 \pm 5.9 \text{ m}^3/\text{s}$, es el caudal que alimenta al río Tula en su nacimiento. Además, el río Tula tiene tres afluentes entre su origen y la entrada a la presa Endhó provenientes de las subcuencas Requena, Tlautla y Rosas, los cuales aportaron durante el período de 2010 a 2020 caudales promedio de 5.6 ± 6.4 , 0.9 ± 0.5 y $0.6 \pm 0.3 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente (CAME-IMTA, 2022).

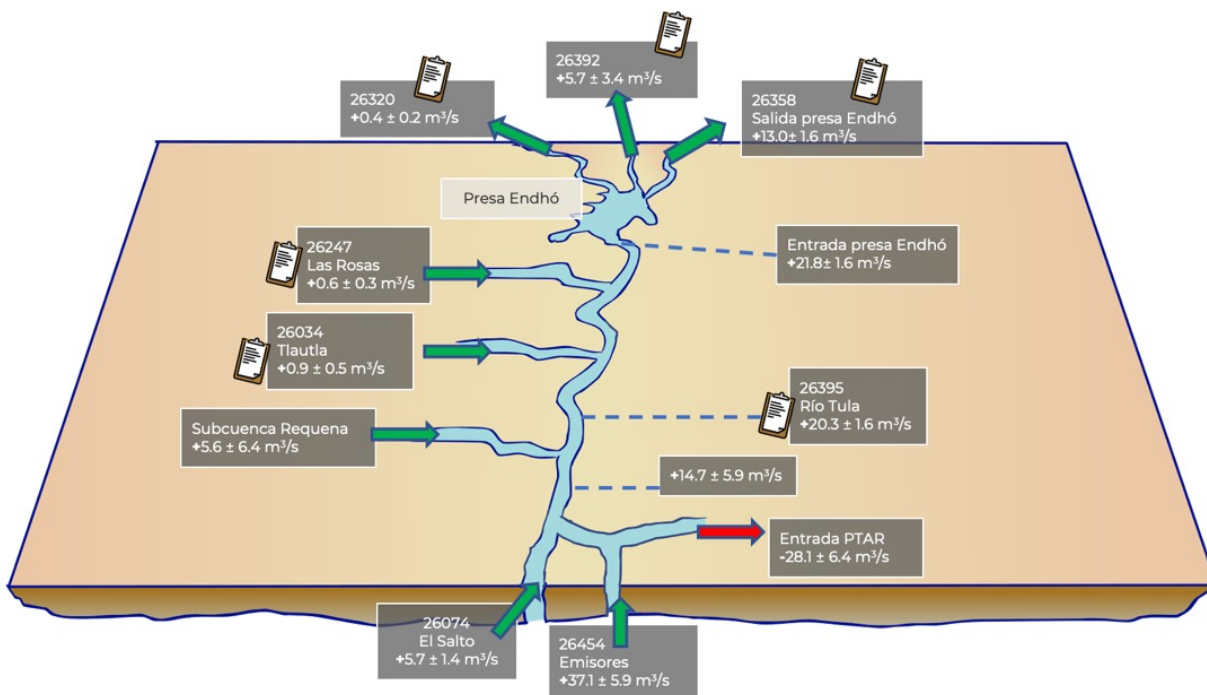


Figura 6: Caudales promedio del río Tula, principal colector en la cuenca hidrológica de la presa Endhó, y sus tributarios (CAME-IMTA, 2022)

2.3.2 Clima

El clima en la cuenca hidrológica de la presa Endhó, es el BS1(h')w(w)ig, el cuál representa un clima seco, semiárido y cálido con una temporada de lluvias en verano y una precipitación en invierno menor al 10 % del total (González Laurrabaquio y Gómez Ponce, 2008). La temperatura media anual es de $17.2^{\circ}C$ con una media mínima de $14.1^{\circ}C$ en enero y una media máxima de $18.9^{\circ}C$ en mayo, representando una oscilación isotermal. La precipitación promedio anual es de 861.1 mm con máxima en el mes de julio con 155.7 mm de precipitación y una mínima durante diciembre con 13.1 mm (SMN, 2023h).

2.3.3 Edafología

El tipo de suelo que se encuentra en una mayor extensión dentro de la cuenca hidrológica es el feozem, un suelo poroso, oscuro y rico en MO que se puede utilizar intensivamente en la agricultura. Además, se encuentra una importante extensión con suelos del tipo luvisol, suelos arcillosos fértiles, y vertisoles fértiles. En total, el 83 % de la zona de estudio o una extensión de $1,654 km^2$ presenta suelos aptos para la agricultura. En cambio, un 10.3 % del área de la cuenca hidrológica, lo que significa un área de $205.3 km^2$, son leptosoles o cambisoles, suelos aptos para pastoreo de ganado. Solamente un 1.8 % del área total está urbanizada y cubierta por materiales, que dificultan la infiltración (INEGI, 2007).

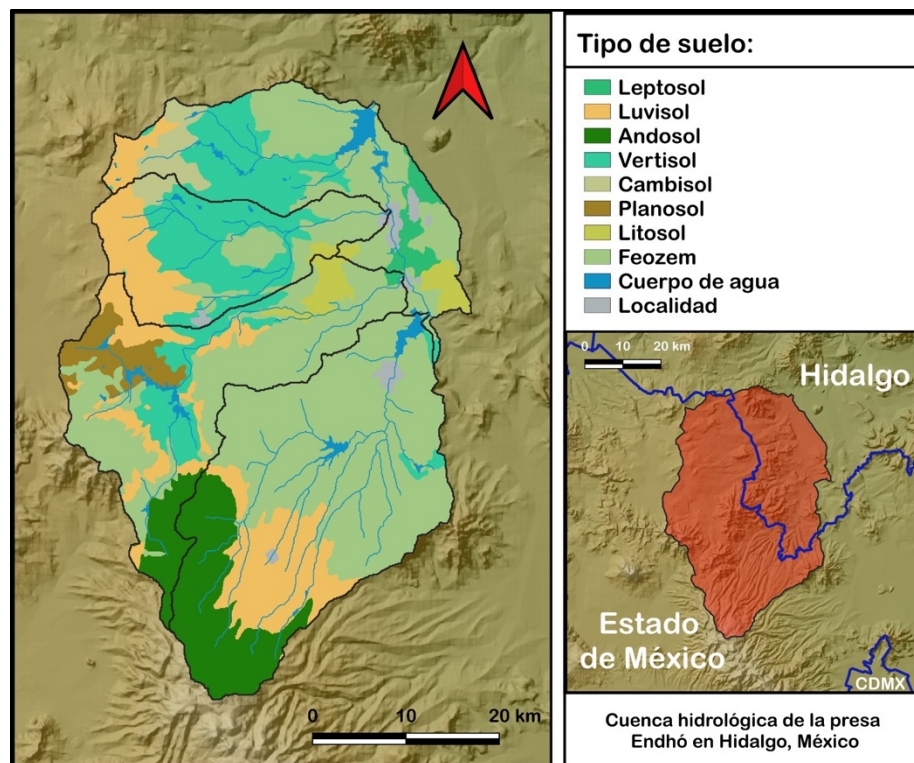


Figura 7: Cobertura espacial edafológica de la cuenca hidrológica de la presa Endhó. Elaborado con información de INEGI (2007)

2.3.4 Uso de suelo

En el área de la cuenca hidrológica dominan tres usos de suelo representativos de zonas rurales: agricultura, pastizal inducido y bosques. El uso de suelo más extendido en la cuenca hidrológica es el agrícola, que cubre 45.4 % de la extensión total de la zona de estudio con un área de 905.3 km². Aunque es menor que la disponibilidad de tipos de suelo aptos para este uso en la cuenca. El pastizal inducido es el segundo uso de suelo más grande en la cuenca hidrológica con 24.3 % de la cobertura total o 484.2 km². Este uso de suelo se puede encontrar en mayor extensión que el esperado a raíz del tipo de suelo que se encuentra. Los bosques, que engloban encino, pino y oyamel, cubren 22.4 % del área total de la cuenca. Sólo 3.7 % del suelo en la cuenca hidrológica está cubierto por matorral Crasicaule, característica del clima semiárido de la región (INEGI, 2013).

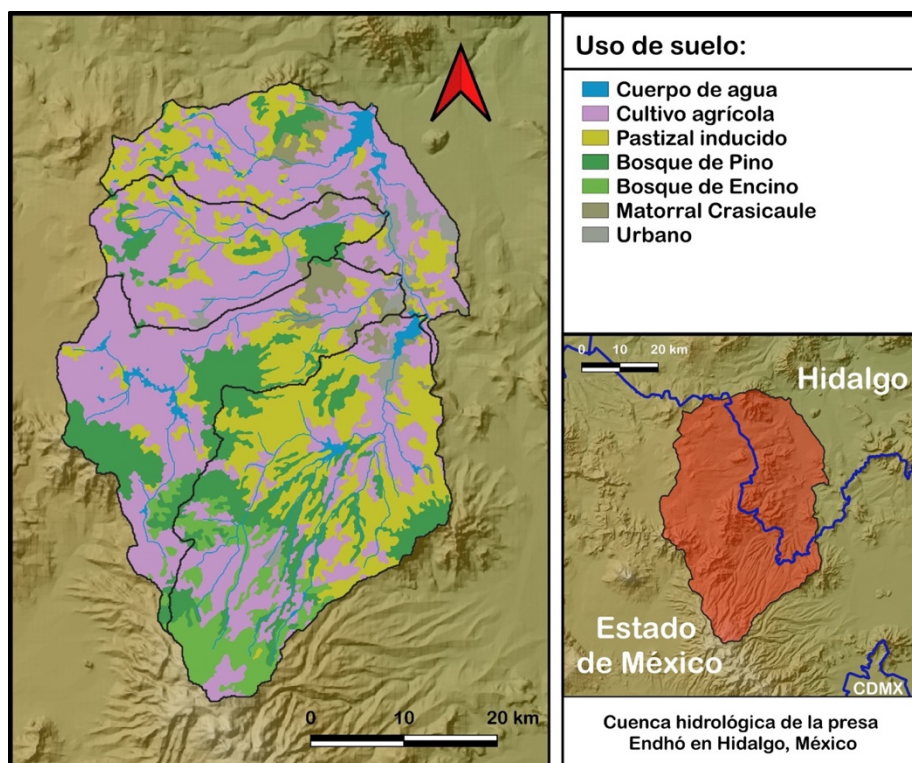


Figura 8: Cobertura espacial de uso de suelo en la cuenca hidrológica de la presa Endhó. Elaborado con información de INEGI (2013)

2.3.5 Demografía

El territorio de la cuenca hidrológica de la presa Endhó cuenta con una población de total de 369,061 habitantes en trece municipios. El 95.7% de la población cuenta con **acceso a agua potable** de manera confiable y 91.8 % tiene **servicio de drenaje** (INEGI, 2020a). Cada habitante de clima semiárido, como el clima en la zona de estudio, utiliza en promedio 203 litros de agua al día cuando tiene acceso a agua potable y 100 litros diarios en caso de no contar con dicho servicio (CONAGUA, 2019a).

Acceso a agua potable: Derecho humano, protegido por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que consiste en que cada miembro de una familia tenga acceso de manera fiable a veinte litros diarios y que la fuente de agua se encuentre a menos de 1 km del lugar de utilización (CNDH, 2014).

Servicio de drenaje: Sistema de tuberías que permite desalojar de la vivienda las aguas utilizadas en el excusado, fregadero, regadera u otras instalaciones similares. La tubería puede conectar con un sistema de alcantarillado municipal, a través del cual se colecta el agua residual doméstica. Aunque igualmente puede conducir a suelo, sistemas sépticos o directamente a un cuerpo de agua (INEGI, 2020b).

De los trece municipios en la cuenca de la presa Endhó solamente existe evidencia de que Atotonilco de Tula, Jilotepec, Tepeji del Río Ocampo y Tula de Allende descargan aguas residuales municipales

directamente a cuerpos de agua superficiales (CONAGUA, 2023a); no se encontró información sobre el destino del agua recolectada en los demás municipios. Los cuatro municipios de Tula de Allende, Jilotepec, Tepeji del Río Ocampo y Atotonilco de Tula son los únicos municipios que recolectan el agua residual doméstica (ARD) en sistemas de alcantarillado y la descargan directamente a cuerpos de agua, concentran el 71.4 % de la población total de la cuenca, pero recolectan solamente el 37.9 % del ARD total generada dentro de la cuenca.

Tabla 4: Datos demográficos de municipios dentro de la zona de estudio. Elaborada con información de INEGI (2020a) y CONAGUA (2023a)

Municipio	Habitantes en la cuenca		Población con agua potable	Población con drenaje	Agua residual colectada
	Total	Ribereños	%	%	m ³ /día
Atotonilco de Tula	887	0	100	96.6	149.16
Chapa de Mota	31,737	0	95.5	81.8	0.00
Huehuetoca	1,473	0	96.8	96.8	0.00
Jilotepec	70,794	0	92.3	90.5	5,833.56
Morelos	4,827	0	94.3	65.0	0.00
Nicolás Romero	1,297	0	95.8	92.8	0.00
Soyaniquilpan de Juárez	14,323	0	94.0	83.7	0.00
Tepeji del Río Ocampo	81,732	0	96.4	94.4	1,483.50
Tepetitlán	2,463	2,463	96.5	91.0	0.00
Tepotzotlán	1,637	0	90.6	84.2	0.00
Timilpan	672	0	100	78.8	0.00
Tula de Allende	110,215	9,045	97.5	97.2	20,278.50
Villa del Carbón	47,004	0	95.9	86.7	0.00
Total	369,061	17,196	95.7	91.8	27,744.72

Asimismo, 17,196 pobladores se encuentran asentados en la ribera de la presa Endhó en los municipios de Tula de Allende y Tepetitlán. Dichos pobladores cuentan con una cobertura de acceso a agua potable del 91.2 % (INEGI, 2020a) y, eventualmente, se descarga el agua residual generada a la presa Endhó sin tratamiento previo (CAME-IMTA, 2022).

2.3.6 Actividades productivas

En la cuenca hidrológica de la presa Endhó se encuentran registros de 43 industrias con permiso para descargar agua residual industrial (ARI) directamente a cuerpos de agua superficiales. De estas industrias, 24 utilizan agua para los servicios básicos en sus instalaciones, mientras que seis se dedican a teñir textiles, una a refinar hidrocarburos, y onceno especifican el uso del agua. Sólo una de estas industrias, identificada como la Cooperativa Cruz Acul, S. C. L., cuenta con una PTAR con tratamiento secundario (CONAGUA, 2023a).

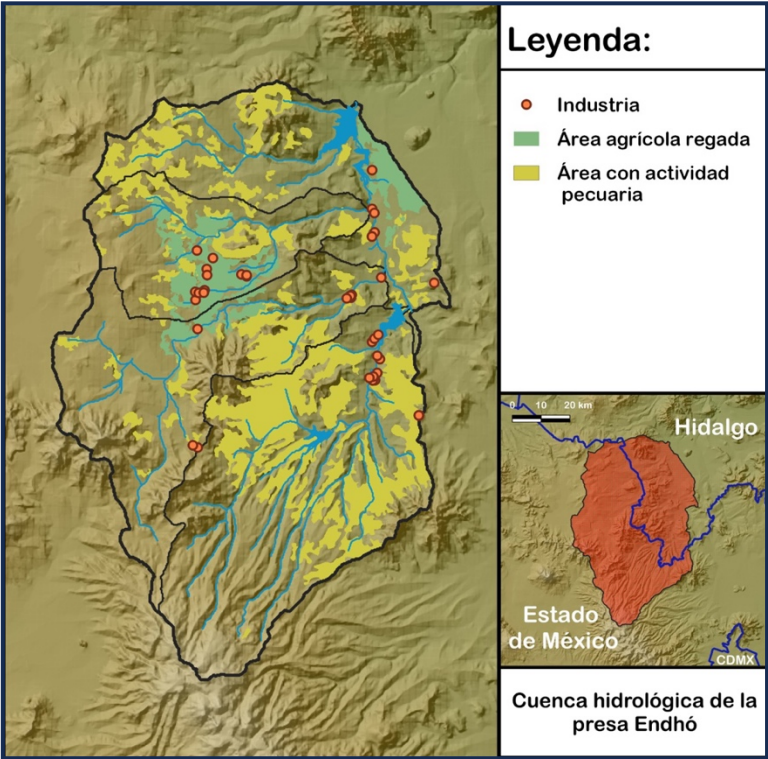


Figura 9: Actividades productivas emisoras en la cuenca hidrológica de la presa Endhó. Elaborado con información de INEGI (2013), CONAGUA (2023a; 2023b)

Tabla 5: Industrias registradas en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDa) en la zona de estudio y uso de agua reportado. Elaborada con información de CONAGUA (2023)

Nombre	Río receptor	Uso de agua	Caudal descargado (m³/día)
Abastecedora de Cal Apasco, S.A. de C.V.	Tepeji	Servicios	0.03
Acabados y Maquilas Mexicanas S. De R.L. de C.V.	Tepeji	Teñido de textiles	11.97
Ángel Monterrubio Muciño	Tula	Servicios	7.51
Autotransportes Valle del Mezquital, S.A. de C.V.	Tula	Servicios	7.30
Bachoco S.A. de C.V. 1	Rosas	Servicios	0.01

Nombre	Río receptor	Uso de agua	Caudal descargado (m³/día)
Bachoco S.A. de C.V. 2	Rosas	Servicios	0.02
Bachoco S.A. de C.V. 3	Rosas	Servicios	0.02
Canmi, S.A. de C.V.	Tlautla	Sin especificar	37.68
Canofil, S.A. de C.V.	Rosas	Teñido de textiles	179.60
Cementos Tolteca, S.A. de C.V. 1	Tula	Sin especificar	38.68
Cementos Tolteca, S.A. de C.V. 2	Tula	Servicios	0.01
Cementos Tolteca, S.A. de C.V. 3	Tula	Servicios	0.03
Cementos Tolteca, S.A. de C.V. 4	Tula	Servicios	0.04
Compañía Hulera Nacional del Centro, S.A.	Tepeji	Servicios	2.19
Cooperativa La Cruz Azul, S. C. L.	Tlautla	Tratamiento secundario	75.90
Donaciano Cruz García	Tlautla	Servicios	0.57
Elvira, S.A. de C.V.	Tepeji	Servicios	0.22
Embotelladora Niágara de México S. de R. L. de C.V.	Rosas	Sin especificar	32.68
The Bank of New York Mellon, S.A. 1	Rosas	Sin especificar	31.68
The Bank Of New York Mellon, S.A. 2	Rosas	Sin especificar	33.68
Flexico, S. de R.L. de C.V.	Rosas	Sin especificar	34.68
Herramientas Truper, S.A. de C.V.	Rosas	Sin especificar	36.68
Inmobiliaria Hadamex, S.A.	Tlautla	Sin especificar	35.68
Lubricantes y Servicios Chapa de Mota, S.A. de C.V.	Tlautla	Servicios	0.95
Manufacturas Kaltex, S. A. de C. V.	Tlautla	Teñido de textiles	174.91
Manufacturas Kaltex, S.A. de C.V. 1	Tlautla	Servicios	66.29
Manufacturas Kaltex, S.A. de C.V. 2	Tlautla	Servicios	412.78
Manufacturas Kaltex, S.A. de C.V. 3	Tepeji	Teñido de textiles	410.00
Olefin, S.A. de C.V.	Tepeji	Servicios	3.29
Pemex Gas y Petroquímica Básica 1	Tepeji	Servicios	0.10
Pemex Gas y Petroquímica Básica 2	Tepeji	Servicios	3.70
Pemex Gas y Petroquímica Básica 3	Tepeji	Servicios	0.20
Pemex Transformación Industrial (Refinería Miguel Hidalgo)	Tula	Refinación hidrocarburos	25,000.00
Pilgrims Pride	Tepeji	Sin especificar	39.68
Rafael Mínguez Alcántara	Tepeji	Servicios	0.58
Regalos Ultramar, S. A. de C. V.	Tepeji	Teñido de textiles	275.34

Nombre	Río receptor	Uso de agua	Caudal descargado (m³/día)
Salmitex Sa de Cv	Tlautla	Sin especificar	40.68
Servicio Toda, S. A. de C. V.	Tula	Servicios	12.96
Tambores Internacionales, S.A. de C.V.	Tepeji	Servicios	0.14
Textiles Nyl-Zon, S.A. de C.V.	Tepeji	Teñido de textiles	0.08
Truper, S.A. de C.V. 1	Rosas	Servicios	111.95
Truper, S.A. de C.V. 2	Rosas	Servicios	30.65
Truper, S.A. de C.V. 3	Rosas	Sin especificar	30.68
Total			27,181.84

Por otro lado, doce de los trece municipios en la cuenca hidrológica de la presa Endhó tienen pastizal para el desarrollo de actividades pecuarias. De acuerdo al Anuario Estadístico de la Producción Ganadera, entre los años 2012 y 2018 se encontraron un promedio anual de más de seis millones de aves, 30 mil ovejas y puercos y quince mil vacas dentro de la cuenca hidrológica de la presa Endhó (SIAP, 2023; SNIB, 2022).

Tabla 6: Información pecuaria en municipios dentro de la zona de estudio. Elaborada con información de SNIB (2022) y SIAP (2023)

Municipio	Área con uso de suelo pastizal en el municipio		Cabezas de ganado promedio			
			Bovino	Porcino	Ovino	Ave
	%	km²	Miles de cabezas			
Atotonilco de Tula	36.32	7.62	0.61	0.35	1.58	3.34
Chapa de Mota	100	57.17	1.35	7.87	3.03	1,083.51
Huehuetoca	48.56	24.56	0.30	0.21	0.71	68.87
Jilotepec	28.41	37.94	1.29	2.78	1.94	1,355.46
Morelos	0	0	0	0	0	0
Nicolás Romero	13.48	4.35	0.13	0.13	0.27	18.24
Soyaniquilpan de Juárez	100	49.77	2.22	7.29	3.25	226.93
Tepeji del Río Ocampo	94.95	133.11	3.44	3.25	3.11	1,425.58
Tepetitlán	5.85	1.67	0.09	0.05	0.22	1.38
Tepotzotlán	47.7	37.75	0.34	0.80	0.73	971.00
Timilpan	42.6	2.50	0.29	0.57	0.84	101.30
Tula de Allende	95.78	49.95	3.36	3.07	6.18	141.02
Villa del Carbón	100	43.01	2.46	4.77	10.39	820.61
Total	22.26	449.40	15.87	31.16	32.24	6,217.25

La actividad agrícola, que es el uso de suelo que cubre mayor extensión en la cuenca hidrológica de la presa Endhó, se extiende a través de 905.3 km², de los cuáles 179.3 km² reciben riego durante la época de estiaje y el resto, 726 km², son cultivos de temporal. El área que presenta cultivos con riego las unidades de riego, la totalidad del DR Jilotepec 044 y una parte del DR Tula 003 (CONAGUA, 2023b). Las unidades de riego en la zona de estudio, se encuentran principalmente en los municipios Jilotepec, Soyaniquilpan de Juárez, Tepeji del Río Ocampo y Tula de Allende. Los principales cultivos son maíz y frijol durante la época de primavera-verano y avena y cebada durante otoño-invierno. Igualmente, se siembra alfalfa como cultivo perenne junto con maíz, coliflor y frijol como cultivos secundarios (CONAGUA, 2023b).

2.3.7 Calidad del agua

Actualmente, el agua de la presa Endhó demuestra hipoxia y concentraciones de nutrientes que la califica como hipereutrófica (CAME-IMTA, 2022). Estas condiciones ocasionan producción de gases tóxicos, (2) ausencia de vida aerobia, (3) crecimiento de macrófitas acuáticas que propician la proliferación de insectos vectores de enfermedades nocivas (Echeverría Alvarez y Lagunes Tejada, 1983) y (4) supervivencia de patógenos gastrointestinales (Cifuentes, 1996). Además, se ha demostrado que las condiciones de baja disponibilidad de oxígeno en cuerpos de agua crean un círculo vicioso, que reduce la capacidad de los sistemas para asimilar MO y nutrientes, aumentando así la carga que el cuerpo de agua contiene e incrementa el riesgo de degradación de los ecosistemas aguas abajo (Carey et al., 2022).

En el año 2018, la COFEPRIS declaró la región en emergencia sanitaria (Reyes, 2019); el año siguiente, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales solicitó al Poder Ejecutivo declarar en emergencia ambiental al río Tula y la presa Endhó (SEMARNAT, 2019). Este proceso sigue en curso.

En el marco de la preocupación de instituciones gubernamentales y protestas de la población ribereña (La Jornada, 2023), la CAME asignó recursos al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) para realizar un proyecto a través del Fideicomiso no. 1490 “Para apoyar los programas, proyectos y acciones ambientales de la Megalópolis”, con la finalidad de definir y dimensionar las acciones y medidas necesarias para mejorar la calidad del agua en la presa Endhó. En este proyecto se elaboró un inventario de emisiones que definió las fuentes emisoras dentro de la cuenca hidrológica de la presa Endhó y su aportación de MO y P anual (Tabla 7).

Tabla 7: Inventario de emisiones anuales por fuente emisora en la cuenca hidrológica de la presa Endhó (CAME-IMTA, 2022)

Fuente emisora	MO	P
	(t/año)	
Túneles Emisores y río El Salto	57,711	6,244
Agua residual doméstica puntual	2,625	131
Agua residual doméstica difusa	4,576	103
Agua residual industrial	609	30
Actividad pecuaria	9,367	932
Total	74,888	7,440

Además, identificó la acumulación de MO en el agua del embalse como la causa raíz de los cuatro efectos expuestos y se establecieron los objetivos de control de cargas externas e internas de MO y nutrientes así como aplicación de oxígeno al agua de la presa. Además, se confirmó la carga externa de fósforo como regulador de la carga interna en el embalse (CAME-IMTA, 2022). Debido a lo anterior, se estableció como objetivo la reducción de 95 % de las cargas externas de MO y P:

$$C_{MO,año,obj} = 0.05 * C_{00,MO,año} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$C_{P,año,obj} = 0.05 * C_{00,P,año} \quad \text{Ecuación 15}$$

donde:

$C_{x,año,obj}$ = Carga máxima anual de la sustancia x en la entrada de la presa Endhó para alcanzar los objetivos de control de carga de nutrientes (mg/L)

$C_{x,sim}$ = Concentración promedio de la sustancia x en la entrada de la presa Endhó en la simulación sim (mg/L)

3 Metodología

A continuación se presentan los materiales y métodos que se utilizaron y aplicaron para realizar las actividades necesarias para cumplir con los objetivos de esta tesis (cap. 1.2).

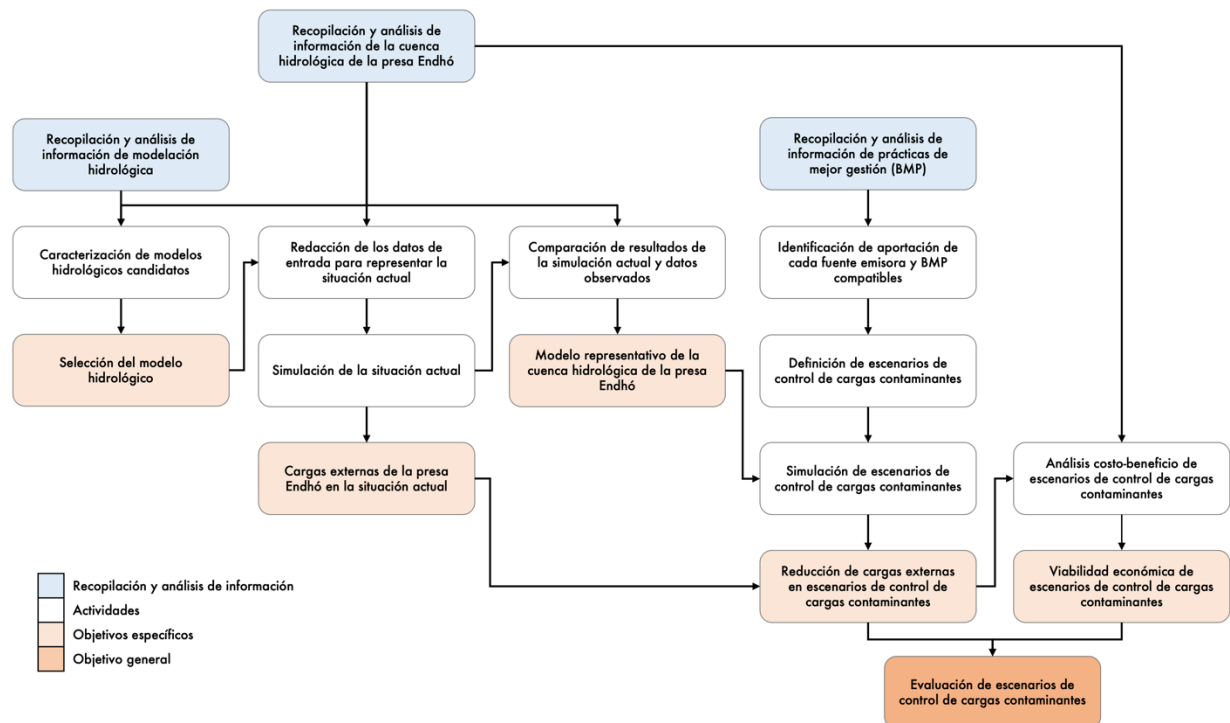


Figura 10: Diagrama de flujo representativo de la metodología del trabajo de investigación

3.1 Selección del modelo de cuenca hidrológica

Primero se formularon los requisitos preliminares para selección de modelos de acuerdo a las características de la zona de estudio y del trabajo de investigación (Tabla 8).

Tabla 8: Requisitos preliminares para la selección de modelos candidatos

Característica	Requisito
Licencia de software	El modelo debe estar disponible bajo una licencia de acceso libre para su uso y se debe permitir la distribución del los trabajos que realicen una aplicación del modelo
Escala espacial	El modelo seleccionado deberá ser capaz de procesar datos o información espacial dentro de la zona de estudio
Diferenciación espacial	El modelo debe ser capaz de representar diferenetes tipos y usos de suelo dentro del área de estudio

Característica	Requisito
Escala temporal	El modelo debe ser capaz de simular el transporte reactivo de MO y P a lo largo de más de cinco años de forma continua
Adaptabilidad	El modelo debe ser capaz de simular cuencas hidrológicas ubicadas en climas subtropicales

Para los modelos preseleccionados de acuerdo con la Tabla 8, se aplicaron criterios de evaluación (Tabla 9).

Tabla 9: Criterios de selección y de calificación de los modelos candidatos

Aspecto de la simulación	Criterio	Calificación
Interacción superficie-subsuelo	¿El modelo simula la infiltración de la escorrentía superficial y/o la saturación gradual del suelo añadiendo el afloramiento de agua, en caso de que el suelo se encuentre sobresaturado?	(2): Infiltración y saturación gradual (1): Sólo infiltración (0): Ninguno
Cuerpos de agua	¿Tiene el modelo la capacidad de simular cuerpos de agua loticos y/o lenticos?	(1): Ambos (0.5): Uno de ellos (0): Ninguno
Agricultura	¿Tiene el modelo la capacidad de diferenciar los requisitos nutricionales de diferentes cultivos en las diferentes etapas de crecimiento?	(1): Cultivos y etapas (0.5): Sólo cultivos (0): Ninguno
Fuentes emisoras	¿Puede el modelo simular la emisión continua y variable de sustancias por fuentes difusas y/o puntuales?	(1): Ambas (0.5): Una de ellas (0): Ninguna
Transporte reactivo de MO	¿Qué procesos del transporte reactivo de MO simula el modelo? Se consideran: (a) aportación antropogénica difusa de MO a suelo, (b) humificación de MO, (c) erosión del suelo, (d) desoxigenación y (e) sedimentación de MO en cuerpos de agua	(0 – 2.5): Cada proceso considerado presenta valor de 0.5
Transporte reactivo de P	¿Qué procesos del transporte reactivo de P simula el modelo? Se consideran: (a) advección-dispersión, (b) transformación de P disuelto a particulado y viceversa, (c) crecimiento y degradación de algas, (d) sorción/desorción e (e) intercambio de P particulado con el sedimento	(0 – 2.5): Cada proceso considerado presenta valor de 0.5

De esta manera, cada modelo candidato obtuvo una calificación entre cero y diez, seleccionando el modelo con calificación más alta.

3.2 Escenario actual

En el capítulo 4.1 se describen los resultados de la selección del modelo y se justifica la selección del software SWAT+. Consecuentemente, se listó la información necesaria para elaborar un modelo representativo de la zona de estudio y las emisiones antropogénicas de nutrientes y MO en el área con el

software SWAT+. Se definió el formato de los datos necesarios y se procedió a recopilar, analizar y procesar dicha información de entrada al modelo. Finalmente, las tablas de entrada, que contienen los datos necesarios para representar la hidrología y las emisiones antropogénicas en la zona de estudio, fueron incluidas en el software SWAT+ y se simuló el transporte reactivo de CBOD y P en la zona de estudio durante el período entre los años 2012 y 2018.

3.2.1 Hidrología

Se consiguieron mapas de relieve continental en formato raster, que cubran la totalidad de la zona de estudio y se identificaron las subcuencas, acorde a la definición de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), que se encuentran total- o parcialmente en la cuenca hidrológica de la presa Endhó, y se recuperaron los mapas hidrográficos de las subcuencas identificadas (INEGI, 2000). Las claves de las subcuencas identificadas fueron las siguientes: RH26Dj, RH26Dk, RH26Dl, RH26Dm, RH26Do y RH26Dq.

Se subieron los archivos de relieve continental, cuerpos de agua lóticos y CALE, al complemento SWAT+ en QGIS, se ubicó el “inlet” de la cuenca hidrográfica en la localización de la confluencia del TEC, el TEO y el río El Salto y se definió el “outlet” de cada una de las subcuencas en la localización de la confluencia de cada río secundario con el principal tributario y en la salida de la presa Endhó.

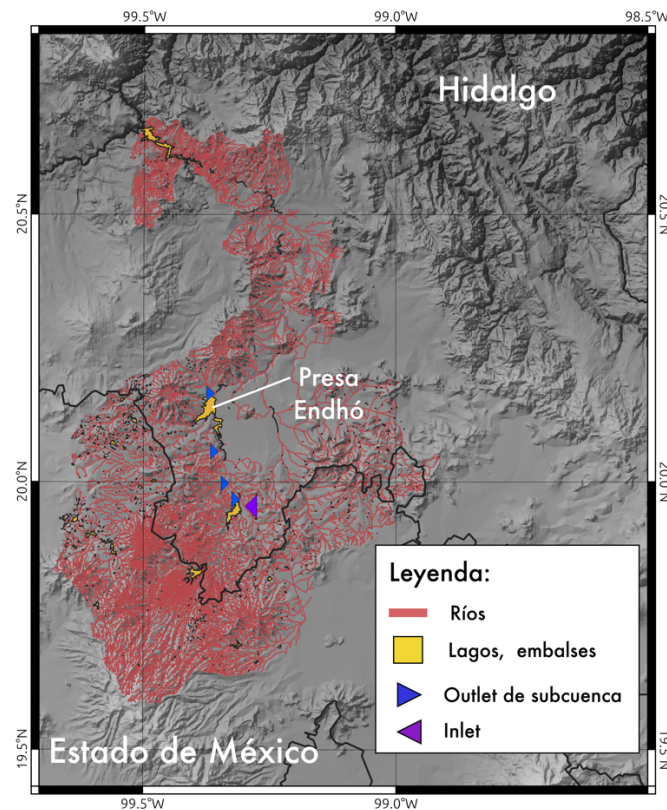


Ilustración 11: Relieve continental, red hidrográfica, ubicación de inlet en la cuenca hidrológica de la presa Endhó y de outlet de cada subcuenca. Elaborado con información de (INEGI, 2000)

3.2.1.1 Caracterización del suelo

Se obtuvieron los mapas de edafología (INEGI, 2007) y de cobertura de vegetación (INEGI, 2013), en formato vectorizado a escalas 1:250,000, los cuales fueron convertidos a raster para hacer compatible la información con el modelo. Los mapas identificados fueron (1) Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250 000 Serie II Continuo Nacional Pachuca, (2) Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250 000 Serie II Continuo Nacional Ciudad de México, (3) Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 serie V Conjunto Nacional Pachuca de Soto y (4) Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 serie V Conjunto Nacional Ciudad de México.

Se definieron equivalencias entre la clasificación de suelos de la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo 2014 y la clasificación de la base de datos de SWAT+. Se definió cada tipo de suelo presente en la cuenca hidrológica con la clave compatible de SWAT+ mediante modificación de las propiedades del archivo rasterizado en QGIS. Se realizó el mismo procedimiento con el archivo de cobertura de vegetación, definiendo equivalencias de uso de suelo entre el Catálogo de Tipos de Vegetación Natural e Inducida de México y la base de datos de SWAT+. Las equivalencias utilizadas se pueden encontrar en el Anexo 7.1.

Se ingresaron los dos mapas al complemento SWAT+ en QGIS para crear las unidades de respuesta de paisaje (LSU por sus siglas en inglés) y HRU del modelo. Para hacer más eficiente la simulación, se eliminaron las LSU que tuvieran un área menor al 10 % de su HRU asignada (C.J. Chawanda, comunicación personal, marzo 2023).

3.2.1.2 Climatología

Se recopiló un mapa de archivo vectorizado con la localización geográfica de las estaciones climatológicas en México. Se compararon los archivos de la localización geográfica de las estaciones y la delimitación de la cuenca hidrológica para identificar las estaciones dentro de la zona de estudio.

Se descargó la información perteneciente a las estaciones climatológicas dentro de la zona de estudio con datos diarios de precipitación, temperatura máxima y mínima. Se seleccionaron los datos disponibles entre los años 2012 y 2018 y se identificaron las estaciones climatológicas con más de 50 % de los datos posibles en dicho período (Tabla 10).

Tabla 10: Ubicación de estaciones climatológicas dentro de la cuenca hidrológica de la presa Endhó con datos diarios de precipitación y temperaturas máxima y mínima durante el período entre 2012 y 2018

Estación		Ubicación			Referencia
Nombre	ID	Latitud	Longitud	Altitud (m)	
El Palmito	15333	19.917	-99.680	2,641	SMN, 2023g
Jasso	13075	19.990	-99.332	2,061	SMN, 2023a
Villa del Carbón	15132	19.782	-99.473	2,496	SMN, 2023f
Oxthoc	15064	20.120	-99.544	2,353	SMN, 2023e
Presa Danxho	15024	19.886	-99.555	2,490	SMN, 2023d

Estación		Ubicación			Referencia
Nombre	ID	Latitud	Longitud	Altitud (m)	
Presa Requena	13084	19.964	-99.312	2,123	SMN, 2023c
Presa Endhó	13080	20.155	-99.355	2,496	SMN, 2023b

A continuación, se recopiló y procesó información climatológica adicional (Tabla 11), para cada estación climatológica, misma que se conjuntó al modelo en el software SWAT+Editor.

Tabla 11: Datos climatológicos requeridos para la construcción del modelo

Parámetro	Periodicidad	Unidad	Desviación estándar	Asimetría
Precipitación	Diaria y media mensual	mm/día	Mensual	Mensual
Temperatura máxima y mínima		°C	Mensual	NA
Humedad relativa		%	NA	NA
Radiación solar		MJ/(m ² *día)	NA	NA
Velocidad del viento		m/s	NA	NA
Temperatura en el punto de rocío		°C	NA	NA
Días lluviosos	Mensual	#/mes	NA	NA
Precipitación máxima durante media hora		mm/hh	NA	NA
Probabilidad de día lluvioso precedido de día lluvioso	Media mensual	%	NA	NA

NA: no aplica

Los datos de humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento se obtuvieron del Proyecto de Predicción de los Recursos Energéticos Mundiales (POWER, por sus siglas en inglés) del Centro de Investigación Langley de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés), financiado por el Programa de Ciencias de la Tierra/Ciencias Aplicadas de la NASA (NASA, 2023). Se solicitó a POWER datos diarios en las siete ubicaciones de las estaciones climatológicas identificadas (Tabla 10) durante el período entre 2012 y 2018 de los parámetros “Wind Speed at 2 Meters”, “All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance” y “Relative Humidity at 2 Meters”.

A continuación, se muestra el cálculo correspondiente a la información climatológica adicional para cada una de las estaciones identificadas. Se calculó la temperatura en el punto de rocío diaria con la Ecuación 16 (Lawrence, 2005),

$$T_{dew} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - \frac{100 - hum_{rel}}{5} \quad \text{Ecuación 16}$$

dónde:

$$\begin{aligned}
T_{dew} &= \text{Temperatura en el punto del rocío (}^{\circ}\text{C)} \\
T_{max} &= \text{Temperatura máxima (}^{\circ}\text{C)} \\
T_{min} &= \text{Temperatura mínima (}^{\circ}\text{C)} \\
hum_{rel} &= \text{Humedad relativa (\%)}
\end{aligned}$$

Se calcularon los valores medios mensuales en el intervalo de tiempo de interés de los siguientes parámetros: temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, número de días lluviosos al mes, radiación solar, temperatura en el punto de rocío, probabilidad de un día lluvioso precedido por otro día lluvioso, velocidad del viento, humedad relativa. Además, se calcularon las desviaciones estandar media mensual de los siguientes parámetros: temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y se calculó la asimetría media mensual de los valores de precipitación.

Finalmente, se calculó la precipitación máxima durante media hora en un mes con la (R. Srinivasan, comunicación personal, 26 de junio de 2023):

$$pcp_{hr} = \frac{\max(pcp_j)}{3} \quad \text{Ecuación 17}$$

dónde:

$$\begin{aligned}
pcp_{hr} &= \text{Precipitación máxima alcanzada en un periodo continuo de media hora durante el mes (mm)} \\
pcp_j &= \text{Precipitación diaria máxima alcanzada durante el mes j (mm)}
\end{aligned}$$

Finalmente, se recopiló la información geográfica de todas las estaciones climatológicas identificadas y se le agregaron los datos climatológicos diarios, en un archivo csv, y de medias mensuales, en otro archivo csv (Anexo 7.2). Dicha información se agregó a SWAT+Editor en su pestaña “climate”.

3.2.2 Inventario de emisiones antropogénicas

Se consideraron las siguientes fuentes emisoras antropogénicas: las descargas de TEC, TEO y río El Salto (AR-ZMVM), agua residual doméstica colectada (ARDp) y sin colectar (ARDd), agua residual industrial (ARI) y emisiones por actividad pecuaria (PEC) en la cuenca hidrológica de la presa Endhó.

Como se observa en Figura 12, el modelo elaborado considera que las emisiones de AR-ZMVM, ARDp y ARI se descargan de forma directa a ríos o embalses dentro de la zona de estudio, las emisiones provenientes de ARDd se descargan homogéneamente en la zona terrestre de la cuenca, con la excepción de las descargas de comunidades ribereñas, las cuáles descargan a la presa Endhó, y las emisiones derivadas de la actividad pecuaria (Figura 9) se descargan de forma homogénea en el área con pastizal inducido.

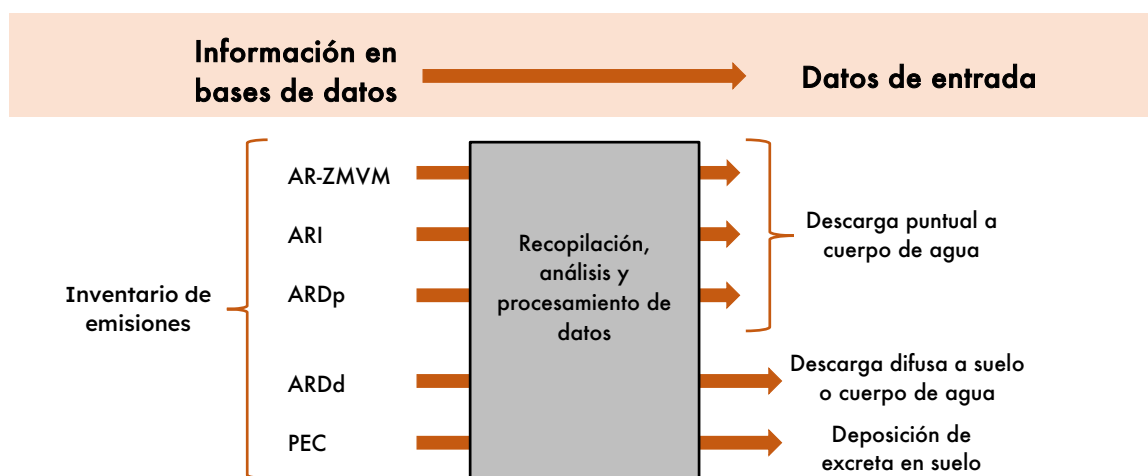


Figura 12: Metodología de análisis y procesamiento del inventario de emisiones antropogénicas

La información requerida para representar las emisiones antropogénicas es la ubicación de la emisión y la carga emitida (Tabla 10). Los parámetros de interés fueron las cargas de nitrógeno orgánico (N_{org}), nitrógeno amoniacal (NH_3), NO_3^- , nitrito (NO_2^-), P_{min} , P_{org} , CBOD, OD y sólidos suspendidos totales (SST).

Tabla 12: Información requerida para representar las emisiones antropogénicas en la zona de estudio

Información	Unidad	Fuente emisora	Calculada con información de
Ubicación	NA	AR-ZMVM	CONAGUA, 2023b
		ARI	CONAGUA, 2023a
		ARDp	
		ARDd	CAMe-IMTA, 2022
		PEC	INEGI, 2007
Caudal	m ³ /día	AR-ZMVM	OCAVM (Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México de la CONAGUA), comunicación personal, 2021
		ARI	CONAGUA, 2023a
		ARDp	
		ARDd	INEGI, 2020a
Excreta generada	kg/día	PEC	SNIB, 2022 y SIAP, 2023
Cargas de sustancias	kg/día	AR-ZMVM	CONAGUA, 2023c
		ARI	Tchobanogolous et al., 2014; CONAGUA, 2023C; Tomei et al., 2016; Yang et al., 2020
		ARDp	Tchobanogolous et al., 2014
		ARDd	
		PEC	Polprasert 2007

NA: no aplica

promedio del río Tula (Q_{Salto}) y de los túneles emisores (Q_{TE}) (Ecuación 18) y se estimó la carga contaminante mensual al multiplicar los caudales promedio mensuales con las concentraciones promedio de cada sustancia en la estación de monitoreo de calidad del agua DLHID1445M1 (Ecuación 19).

$$\bar{Q}_{ZMVM,j} = Q_{ZMVM_{in},j} + Q_{Salto_{in},j} - \bar{Q}_{DR,j} \quad \text{Ecuación 18}$$

dónde:

- $\bar{Q}_{ZMVM,j}$ = Caudal promedio mensual que ingresa a la cuenca hidrológica Endhó proveniente de la ZMVM y el río El Salto durante el mes j (m^3/s)
- $Q_{ZMVM_{in},j}$ = Caudal que ingresa a la subcuenca por la confluencia del TEO y el TEC durante el mes j (m^3/s)
- $Q_{Salto_{in},j}$ = Caudal que ingresa a la subcuenca por el río El Salto durante el mes j (m^3/s)
- $\bar{Q}_{DR,j}$ = Caudal promedio que se desvía al canal El Salto-Tlamaco aguas abajo de la confluencia del río El Salto, el TEO y el TEC durante el mes j (m^3/s)

$$\dot{m}_{x,ZMVM,j} = c_{x,ZMVM,j} * \bar{Q}_{ZMVM,j} * \frac{48,600 \text{ s}}{1 \text{ día}} * \frac{10^3 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \quad \text{Ecuación 19}$$

dónde:

- $\dot{m}_{x,ZMVM,j}$ = Emisión diaria promedio del constituyente x en el AR-ZMVM durante el mes j ($\text{kg}/\text{día}$)
- $c_{x,ZMVM,j}$ = Concentración promedio del constituyente x durante el mes j en el AR-ZMVM (mg/L)
- $\bar{Q}_{ZMVM,j}$ = Caudal promedio mensual que ingresa a la cuenca hidrológica Endhó proveniente de la ZMVM y el río El Salto durante el mes j (m^3/s)

A continuación, se consultaron los valores de calidad de agua reportados por la estación DLHID1445M1 entre el período de 2012 a 2018. Se descartaron los datos atípicos usando el método del rango intercuartil (IQR, por sus siglas en inglés) y se calcularon los valores promedio mensuales de los parámetros de interés (SST, N_{org} , NH_3 , NO_3 , NO_2 , P_{min} , P_{org} , CBOD y OD) con los valores depurados (Tabla 13). Los datos sin procesar de la estación de calidad de agua se presentan en el Anexo 7.4.1.

Tabla 13: Caracterización promedio mensual del agua residual proveniente de la Zona Metropolitana del Valle de México y el río El Salto

Mes	SST	N_{org}	NH_3	NO_3	NO_2	P_{min}	P_{org}	CBOD	OD
	mg/L								
Enero	113.33	2.74	17.26	0.07	0.01	1.31	3.70	198.65	2.73
Febrero	238.00	23.89	28.09	0.15	0.00	1.01	5.68	279.42	1.93
Marzo	163.20	29.26	23.75	0.24	0.03	1.52	2.75	178.40	2.47
Abril	138.80	23.03	19.52	0.77	0.03	0.15	1.63	230.54	1.63
Mayo	130.60	21.79	29.26	0.30	0.01	1.14	7.91	138.44	1.69

Mes	SST	N _{org}	NH ₃	NO ₃	NO ₂	P _{min}	P _{org}	CBOD	OD
	mg/L								
Junio	143.00	14.16	17.46	0.07	0.02	0.51	4.04	94.71	2.67
Julio	217.00	15.49	14.85	0.24	0.01	1.06	7.18	117.22	1.99
Agosto	86.80	14.31	8.69	0.22	0.01	1.04	7.75	122.32	2.19
Septiembre	65.00	11.07	15.98	0.45	0.01	0.07	1.43	80.12	1.10
Octubre	144.00	12.75	24.46	0.22	0.02	1.23	4.46	71.81	2.55
Noviembre	117.00	15.71	8.49	0.15	0.02	0.00	0.01	123.54	0.50
Diciembre	150.00	36.35	20.24	0.90	0.02	0.41	2.17	108.16	1.00

Se redactó un csv con información de caudales y emisiones del AR-ZMVM, se le otorgó la misma ubicación del inlet de la cuenca hidrológica de la presa Endhó y se agregó al software SWAT+Editor en la pestaña “connections” > “point sources / inlet”.

3.2.2.2 Descargas de agua residual doméstica generada en la zona de estudio

Se recopiló información de las localidades dentro de la zona de estudio, el municipio al que pertenecen, la población total, las viviendas habitadas totales, las viviendas con servicio de agua potable y las viviendas con servicio de drenaje (INEGI, 2020a). Se calculó el caudal diario de ARD generada por cada localidad con la Ecuación 20:

$$Q_{ARD,loc,mun} = 0.7 * n_{hab,loc} * \left(\frac{n_{VAP,loc}}{n_{TVH,loc}} \right) * 203 \text{ L/día} + \left(1 - \frac{n_{VAP,loc}}{n_{TVH,loc}} \right) * 100 \text{ L/día} \quad \text{Ecuación 20}$$

dónde:

$Q_{ARD,loc,mun}$ = Caudal diario de ARD generado por la localidad “loc” en el municipio “mun” (L/día)

$n_{hab,loc}$ = Número de habitantes en la localidad “loc”

$n_{VAP,loc}$ = Número de viviendas con acceso de agua potable en la localidad “loc”

$n_{TVH,loc}$ = Número de viviendas habitadas en la localidad “loc”

Se calcularon los caudales de ARD generados en un municipio sumando todos los caudales generados por las localidades de cada municipio con la Ecuación 21:

$$Q_{ARD,mun} = \sum_{loc=1}^{n_{loc,mun}} Q_{ARD,loc,mun} \quad \text{Ecuación 21}$$

dónde:

$Q_{ARD,mun}$ = Caudal diario de ARD generada en el municipio “mun” (L/día)

$n_{loc,mun}$ = Número de localidades en el municipio “mun”

$Q_{ARD,loc,mun}$ = Caudal diario de ARD generado por la localidad “loc” en el municipio “mun” (L/día)

Acto seguido, se calcularon las cargas contaminantes de ARDd y ARDp multiplicando (Ecuación 22) los respectivos caudales con las concentraciones de las sustancias de interés en agua residual doméstica (Tabla 14).

$$\dot{m}_{x,ARD,mun} = c_{x,ARD} * Q_{ARD,mun} * \frac{48,600 \text{ s}}{1 \text{ día}} * \frac{10^3 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \quad \text{Ecuación 22}$$

dónde:

$\dot{m}_{x,ARD,mun}$ = Emisión diaria del constituyente x en ARD generada en el municipio “mun” (kg/día)

$c_{x,ARD}$ = Concentración típica del constituyente x en ARD (mg/L)

$Q_{ARD,mun}$ = Caudal diario de ARD generada en el municipio “mun” (L/día)

Tabla 14: Caracterización de ARD típica en efluente concentrado (Tchobanoglous et al., 2014), aquí expresado en nomenclatura de SWAT+

ARD típica para la zona de estudio	SST	N _{org}	NH ₃	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	P _{min}	P _{org}	CBOD	OD	T
	mg/L									°C
	400.00	25.00	45.00	0.00	0.00	8.00	4.00	350.00	1.00	20.00

A continuación, se obtuvieron los permisos de descarga de ARD de los municipios dentro de la cuenca hidrológica de la presa Endhó (CONAGUA, 2023) con información sobre caudal diario descargado y localización geográfica de la descarga, presentados en el Anexo 7.6.1. Se subió mapa con la localización geográfica de las descargas municipales y el archivo de la cuenca hidrológica de la presa Endhó a QGIS y, con la herramienta “Intersection”, se identificaron las descargas que se encuentren dentro de la zona de estudio. Se asumió que, si un municipio tiene un caudal permitido más grande que su caudal de ARD generada, el caudal descargado en los puntos permitidos es el caudal de ARD generada repartido de manera relativa a la magnitud del caudal permitido en cada punto de descarga. (Figura 14)

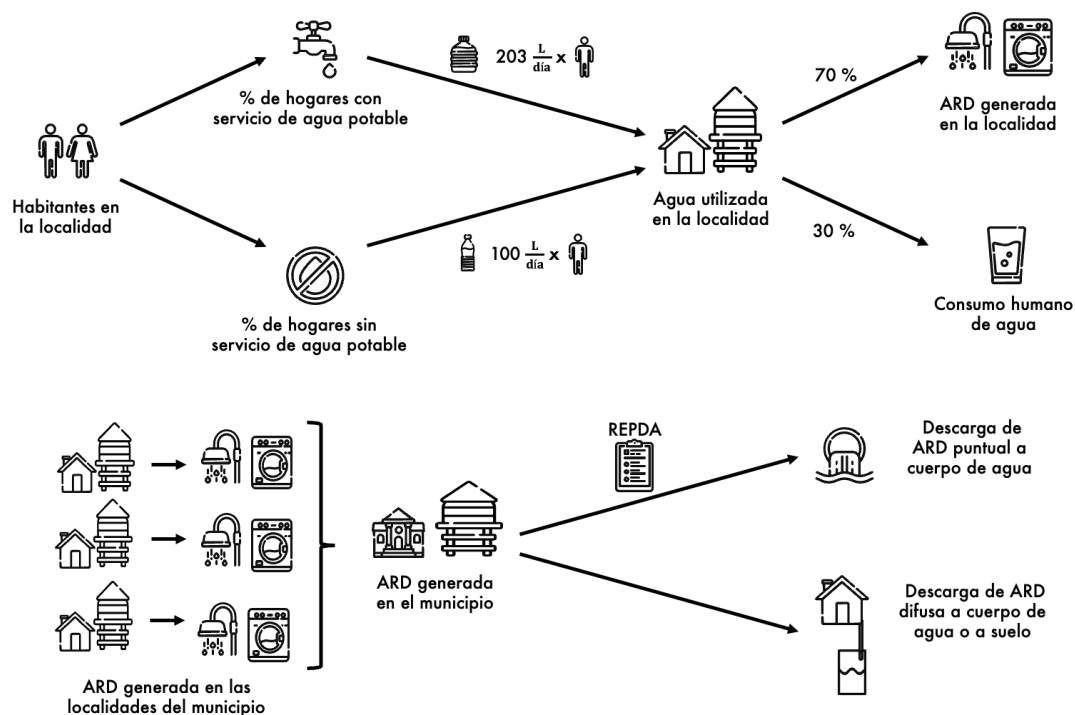


Figura 14: Metodología para cálculo de caudales descargados de agua residual doméstica y diferenciación entre colectada y no colectada. REPDA se refiere a información obtenida de CONAGUA (2023).

El caudal y las emisiones descargadas por cada punto de descarga municipal identificado se añadió a la tabla de entrada con las emisiones puntuales (Anexo 7.6.3.1) y se añadió al software SWAT+Editor en su pestaña “point sources”.

Además, el caudal y las emisiones que se identificaron como descarga de ARDd se añadieron en la pestaña “structural” > “septic systems” de SWAT+Editor y se agregaron sistemas sépticos funcionales a todos los usos de suelo en la cuenca hidrológica, menos a cuerpo de agua, en la pestaña “land use management” > “land use management”

3.2.2.3 Descarga de agua residual industrial

Se identificaron los permisos para descargar agua residual otorgados a industrias dentro de la cuenca hidrológica de la presa Endhó y se recopiló información sobre caudal diario descargado, localización geográfica de cada una y uso del agua anterior a la descarga (CONAGUA, 2023a), que se puede consultar en el Anexo 7.6.1. Se elaboró una base de datos con las concentraciones típicas de las sustancias de interés (SST, N_{org} , NH_3 , NO_3 , NO_2 , P_{min} , P_{org} , CBOD y OD), en cada uso de agua (Tabla 15). Posteriormente, se calculó la carga contaminante de ARI al multiplicar el caudal descargado por cada industria con las concentraciones de sustancias de interés con la Ecuación 23.

Tabla 15: Caracterización de diferentes tipos de agua residual utilizada en la industria. Elaborado con información de CONAGUA, 2023C¹; Tchobanoglous et al., 2014²; Tomei et al., 2016³ y Yang et al., 2020⁴

Tipo de ARI	SST	N _{org}	NH ₃	NO ₃ ⁻	NO ₂	P _{min}	P _{org}	CBOD	OD	T
	mg/L									°C
Refinación hidrocarburos ¹	101.42	12.70	11.94	2.33	0.03	0.66	3.85	82.64	2.68	20.65
Servicios ²	400.00	25.00	45.00	0.00	0.00	8.00	4.00	350.00	1.00	20.00
Sin especificar ¹	35.82	9.57	11.00	0.46	0.02	0.55	2.16	102.75	2.58	18.98
Teñido de textiles ³	499.5	0.00	14.33	6.06	0.91	3.20	0.00	172.00	1.00	35.00
Tratamiento secundario ⁴	3.58	0.96	0.22	0.18	0.02	0.55	2.16	102.75	2.58	18.98

$$\dot{m}_{x,ARI,k} = c_{x,ARI,ind} * Q_{ARI,k} * \frac{48,600 \text{ s}}{1 \text{ día}} * \frac{10^3 L}{1 m^3} * \frac{1 kg}{10^6 mg}$$

Ecuación 23

dónde:

$\dot{m}_{x,ARI,k}$ = Emisión diaria del constituyente x en el ARI de la industria k (kg/día)

$c_{x,ARI,ind}$ = Concentración típica del constituyente x en ARI del tipo “ind” (mg/L)

$Q_{ARI,k}$ = Caudal diario de descarga de ARI por la industria k (m³/día)

Finalmente, el caudal y las emisiones descargadas por cada industria identificada se añadió a la tabla de entrada con las emisiones puntuales (Anexo 7.6.3.1) y se añadió al software SWAT+Editor en su pestaña “point sources”.

3.2.2.4 Deposición de excreta al suelo por actividad pecuaria

La Figura 15 muestra el área con uso de suelo pastizal dentro de la zona de estudio en cada municipio (INEGI, 2007), la producción de excreta diaria de ganado bovino, avícola, porcícola y ovino y la conformación de la excreta de cada uno de los tipos de ganado mencionados anteriormente.

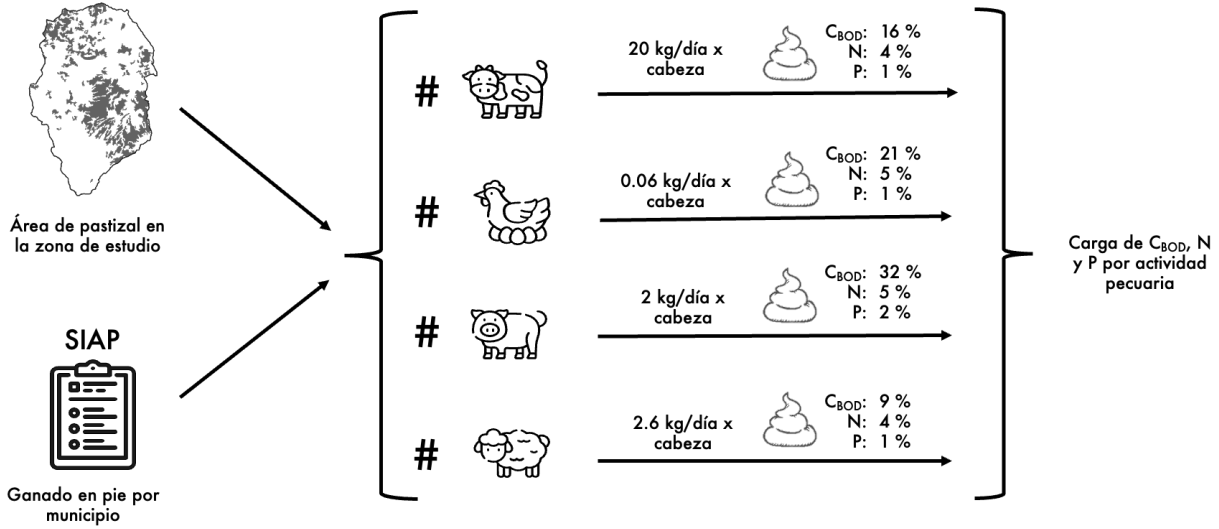


Figura 15: Determinación de las emisiones por actividad pecuaria en la zona de estudio. Elaborado con información de Polprasert (2007)

Posteriormente, se determinó el número de cabezas de ganado promedio en la cuenca hidrológica de la presa Endhó consultando los anuarios estadísticos agropecuarios entre 2012 y 2018 (SIAP, 2023) y se calculó la masa de excreta generada diariamente al multiplicar el porcentaje de área pastizal en relación al área total y el ganado en pie total de cada tipo para los diferentes municipios (Ecuación 24).

$$\dot{m}_{exc, gan, mun} = m_{tot, exc, gan, mun} * \frac{A_{pas, mun, cuenca}}{A_{pas, mun, total}} \quad \text{Ecuación 24}$$

dónde:

$m_{exc, gan, mun}$ = Excreta generada anualmente por ganado “gan” en el municipio “mun” dentro de la zona de estudio (kg/año)

$m_{tot, exc, gan, mun}$ = Excreta generada anualmente en el municipio “mun” por ganado “gan” (kg/año)

$A_{pas, mun, cuenca}$ = Área de pastizal dentro de la zona de estudio en el municipio “mun” (km²)

$A_{pas, mun, total}$ = Área total de pastizal en el municipio “mun” (km²)

Finalmente, las cargas de CBOD, P y N emitidas por actividad pecuaria se obtuvieron al multiplicar el porcentaje (peso a peso) de cada sustancia (Polprasert, 2007) con la masa de excreta (Ecuación 25).

$$\dot{m}_{x, PEC} = \sum_{mun=1}^{n_{mun}} \sum_{gan=1}^{n_{gan}} m_{exc, gan, mun} * \omega_{x: exc, gan} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ día}} \quad \text{Ecuación 25}$$

dónde:

$\dot{m}_{x, PEC}$ = Emisión diaria del constituyente x aportado a la zona de estudio por actividad pecuaria (kg/(ha * día))

- $\omega_{x:exc, gan}$ = Parte de la excreta del animal “gan” que es constituyente x (kg_x/kg_{exc})
- n_{mun} = Número total de municipios en la zona de estudio
- n_{gan} = Número total de tipos de ganado considerados
- $m_{exc, gan, mun}$ = Excreta generada anualmente por ganado “gan” en el municipio “mun” dentro de la zona de estudio ($kg/año$)

3.2.3 Cargas contaminantes en el escenario actual

Se simuló el transporte reactivo de nutrientes en el software SWAT+Editor con la información representativa de la hidrología y las emisiones antropogénicas actuales presentadas en los capítulos 4.2.1 y 4.2.2. Se le consignó al modelo simular el período de tiempo entre el 1 de enero del 2012 y el 31 de diciembre de 2018, con dos años al inicio de la simulación designados para el entrenamiento del modelo, y que imprima los resultados de caudales promedio mensuales y las cargas de las sustancias de interés en las secciones de la red hidrológica donde el caudal ingresa a la presa Endhó, estas secciones tienen el ID en SWAT+ de “channel 09”, que representa la entrada del río Tula a la presa Endhó, y “channel 59” y “channel 70”, representativos de dos cauces que ingresan por el oeste de la presa Endhó. Finalmente, se sumaron las cargas mensuales de CBOD y P de las tres secciones identificadas para estimar las cargas de CBOD y P mensuales totales que ingresan a la presa Endhó.

3.3 Desempeño del modelo hidrológico

A continuación, se describe la metodología aplicada para evaluar el desempeño del modelo. La validación de un modelo consiste en la comparación de valores reportados por muestreos en campo y los resultados de la simulación. Se validaron dos aspectos de este modelo; la simulación hidrológica y la simulación del transporte reactivo de nutrientes. En la validación de la hidrología se compararon datos simulados y medidos en campo de caudales promedio mensuales; en la validación del transporte reactivo de nutrientes se compararon las cargas mensuales de CBOD y de P simuladas y determinadas con base en mediciones en campo.

3.3.1 Recopilación y procesamiento de datos de campo y resultados de la simulación

Por un lado, se identificaron las estaciones hidrométricas que se encuentran en la zona de estudio (CONAGUA, 2023b) y se recopilaron datos de caudales mensuales observados en estas estaciones hidrométricas y se seleccionaron las que reportaran valores para una mayoría de los datos posibles para el periodo entre 2012 y 2018 (Dirección Local de la CONAGUA en Hidalgo, comunicación personal, 2021). Los datos que se obtuvieron son la ubicación de las estaciones hidrométricas y los valores mensuales de caudal medido en m^3/mes , estos datos se presentan en el Anexo 7.3.2, y se calcularon los caudales mensuales promedio en m^3/s (Ecuación 26). Por otro lado, se recopilaron los resultados de los caudales mensuales simulados en la simulación del escenario actual, presentados en el capítulo xx (4.2.3) y que se encuentran en el Anexo xx, en las secciones hidrológicas con el ID de SWAT+ “channel 013”, “channel 015” y “channel 033” (Tabla 32).

$$\bar{Q}_{x,j} = Q_{x,j} * \frac{1 \text{ día}}{3,600 \text{ s}} * \frac{n_j}{1 \text{ mes}} \quad \text{Ecuación 26}$$

dónde:

$$\begin{aligned} \bar{Q}_{x,j} &= \text{Caudal promedio observado en la estación x durante el mes j (m}^3\text{/s)} \\ Q_{x,j} &= \text{Caudal total mensual observado en la estación x durante el mes j (m}^3\text{)} \\ n_j &= \text{Número total de días durante el mes j} \end{aligned}$$

Para obtener los valores observados de cargas mensuales de CBOD y P se obtuvo la localización geográfica de las estaciones de monitoreo de calidad de agua en México y se seleccionaron aquellas que se encuentran en la zona de estudio y que tuvieran datos para el período entre 2012 y 2018 (CONAGUA, 2023C). Los datos que se obtuvieron son la ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad de agua y los valores de concentración de los parámetros CBOD y P medido en mg/L, estos datos se presentan en el Anexo 7.4.2. Además, se recuperaron los datos de caudales promedio en m³/s y las cargas de CBOD y P en t/mes mensuales de las secciones hidrológicas dónde su ubican las estaciones de monitoreo de calidad de agua, estas secciones presentan los ID de SWAT+ “channel 13”, “channel 11” y “channel 10” (Tabla 32) y se presentan en el Anexo . Finalmente, se calculó las cargas mensuales de CBOD y P con los datos observados de las concentraciones de ambas sustancias (Ecuación 27).

$$\dot{m}_{p,j} = c_{p,x,j} * \bar{Q}_{x,j} * \frac{1,000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ t}}{10^9 \text{ mg}} * \frac{86,400 \text{ s}}{1 \text{ día}} * \frac{n_j}{1 \text{ mes}} \quad \text{Ecuación 27}$$

dónde:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{p,j} &= \text{Carga mensual de la sustancia p durante el mes j (t/mes)} \\ c_{p,x,j} &= \text{Concentración observada de la sustancia p en la sección hidrológica x durante el mes j (mg/L)} \\ \bar{Q}_{x,j} &= \text{Caudal promedio simulado en la sección hidrológica x durante el mes j (m}^3\text{/s)} \\ n_j &= \text{Número total de días durante el mes j} \end{aligned}$$

3.3.2 Comparación de simulaciones con observaciones en campo

La validación del modelo se llevó a cabo siguiendo la metodología presentada por Moriasi et al. (2007), donde se presentan tres estadísticos: el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), la raíz del error cuadrático medio normalizado (RSR) y el porcentaje de parcialidad (PBIAS). El NSE evalúa la habilidad predictiva de un modelo hidrológico y se calcula con la Ecuación 28, el RSR evalúa la magnitud estandarizada de los errores entre la simulación y los datos observados (Ecuación 29) y, finalmente, el PBIAS evalúa la tendencia del modelo a sobre- o infraestimar valores y se calcula con la Ecuación 30.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{n_{j,tot}} (X_{o,j} - X_{m,j})^2}{\sum_{j=1}^{n_{j,tot}} (X_{m,j} - \bar{X}_o)^2} \quad \text{Ecuación 28}$$

$$RSR = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^{n_{j,tot}} (X_{o,j} - X_{m,j})^2}}{\sigma_m} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$PBIAS = 100 \% * \frac{\sum_{j=1}^{n_{j,tot}} X_{m,j} - X_{o,j}}{\sum_{j=1}^{n_{j,tot}} X_{o,j}} \quad \text{Ecuación 30}$$

donde:

- NSE = Coeficiente de eficiencia Nash-Sutcliffe
- $n_{j,tot}$ = Número de observaciones durante el periodo de la validación (aquí # meses)
- $X_{o,j}$ = Valor observado del parámetro X durante el mes j (m^3/s) o (kg/mes)
- $X_{m,j}$ = Valor simulado del parámetro X durante el mes j (m^3/s) o (kg/mes)
- $\bar{X}_o$ = Promedio mensual del valor observado del parámetro X (m^3/s) o (kg/mes)
- RSR = Raíz del error cuadrático medio
- σ_m = Desviación estándar de los valores simulados (m^3/s) o (kg/mes)
- $PBIAS$ = Porcentaje de parcialidad (%)

Finalmente, con los resultados de los tres estadísticos se evaluó el desempeño del modelo de simular la hidrología y el transporte reactivo de nutrientes comparando los valores calculados de los estadísticos con los rangos de desempeño de un modelo hidrológico (Tabla 16).

Tabla 16: Rangos de desempeño de un modelo para simulación hidrológica y de transporte reactivo de nutrientes a partir de los estadísticos NSE, RSR y PBIAS (Moriasi et al., 2007)

Desempeño	NSE	RSR	PBIAS (%)	
			Hidrología	Nutrientes
Excelente	> 0.75	< 0.50	< 10	< 25
Bueno	> 0.65	< 0.60	< 15	< 40
Satisfactorio	> 0.60	< 0.70	< 25	< 70
Insatisfactorio	< 0.60	> 0.70	> 25	< 70

3.4 Escenarios de control de cargas contaminantes

Para evaluar escenarios de control de emisiones antropogénicas, primeramente se le otorgó un orden de prioridad a las fuentes emisoras acorde a la magnitud de su aportación a las cargas que contribuyen a la acumulación de MO en el cuerpo de agua. A continuación, se definen las BMP que se pueden implementar

a cada una de ellas y, después, se evalúan las repercusiones que la implementación de las BMP tiene en la carga contaminante y el entorno ambiental y económico de la zona de estudio.

3.4.1 Identificación de escenarios de control de cargas contaminantes

3.4.1.1 Aportación a la acumulación de la materia orgánica en el cuerpo de agua

Primero, se consideró que la reducción en las cargas externas de CBOD y P resultante de la erradicación total de las emisiones de una fuente, sin modificar las emisiones de todas las demás fuentes, es igual a la aportación de esa misma fuente a las cargas externas en el escenario actual. Así, se simularon cinco escenarios, donde cada uno representa la reducción al 100 % de las emisiones de una fuente emisora diferente.

Tabla 17: Simulaciones elaboradas para el cálculo de la atenuación natural y la aportación a la carga externa de cada una de las fuentes emisoras

Escenario	Emisiones eliminadas	Situación representada
1	AR-ZMVM	Carga de CBOD y P de AR-ZMVM igual a 0 kg/día
2	ARDp	Carga de CBOD y P de ARDp igual a 0 kg/día
3	ARI	Carga de CBOD y P de ARI igual a 0 kg/día
4	ARDd	Carga de CBOD y P de ARDd igual a 0 kg/día
5	PEC	Excreta generada dentro de la zona de estudio igual a 0 kg/día

Para cada escenario (Tabla 17), se le ordenó al modelo simular el período de tiempo entre el 1 de enero del 2012 y el 31 de diciembre de 2018, con dos años al inicio de la simulación designados para el entrenamiento del modelo, y que imprima los resultados de caudales promedio mensuales y las cargas de las sustancias de interés en las secciones de la red hidrológica afluentes de la presa Endhó, estas secciones tienen el ID en SWAT+ de “channel 09”, “channel 59” y “channel 70”. Después, se sumaron las cargas mensuales de CBOD y P de las tres secciones identificadas para estimar las cargas externas de CBOD y P mensuales totales de la presa Endhó.

Se calculó la aportación a las cargas externas de CBOD y P con los resultados de las cargas externas simuladas en cada escenario (Tabla 17) comparadas con las cargas externas del escenario actual aplicando la Ecuación 31 (Jayme-Torres y Hansen, 2017).

$$CE_{p,S} = \dot{m}_{p,0,CE} - \dot{m}_{p,S,CE} \quad \text{Ecuación 31}$$

donde:

$$CE_{p,S} = \text{Aportación a la carga externa de la sustancia p de la fuente emisora S (t/año)}$$

$\dot{m}_{p,0,CE}$ = Carga externa de la sustancia p en el escenario actual (t/año)

$\dot{m}_{p,S,CE}$ = Carga externa de la sustancia p en el escenario representativo de la eliminación de las emisiones provenientes de la fuente emisora S (t/año)

Finalmente, se calculo la fracción de las cargas que promueven la acumulación de materia orgánica en la presa Endhó, que provenien de cada fuente emisora (Ecuación 32). Se considero que la materia alóctona en la presa Endhó, constituye el 71.3 % de la MO total, y el restante 28.7 % de la MO total es de origen autóctono (CAME-IMTA, 2022).

$$x_{CA,S} = \left(\frac{CE_{cbod,S}}{CE_{cbod,0}} \right) * x_{CA,cbod} \left(\frac{CE_{P,S}}{CE_{P,0}} \right) * x_{CA,P} \quad \text{Ecuación 32}$$

donde:

$x_{CA,S}$ = Fracción de las cargas que promueven la acumulación de materia orgánica en la presa Endhó proveniente de la fuente emisora S

$CE_{cbod,S}$ = Aportación a la carga externa de CBOD de la fuente emisora S (t/año)

$CE_{cbod,0}$ = Carga externa de CBOD en el escenario actual (t/año)

$x_{CA,cbod}$ = Fracción alóctona de la MO en la presa Endhó

$CE_{P,S}$ = Aportación a la carga externa de P de la fuente emisora S (t/año)

$CE_{P,0}$ = Carga externa de P en el escenario actual (t/año)

$x_{CA,P}$ = Fracción autóctona de la MO en la presa Endhó

3.4.1.2 Propuesta de implementación de prácticas de mejor gestión

Se propusieron BMP para cada fuente emisora que alcancen un mínimo de 95 % de remoción de emisiones de CBOD y P, además, se presentan BMP que posibiliten la recuperación de P en las fuentes emisoras donde sea posible (Tabla 18).

Tabla 18: BMP propuestas para la elaboración de escenarios para control de cargas contaminantes y eficiencias de remoción

Fuente emisora	Sin recuperación de P				Con recuperación de P			
	BMP	Eficiencia de remoción (%)			BMP	Eficiencia de remoción (%)		
		CBOD	P _{min}	P _{org}		CBOD	P _{min}	P _{org}
AR-ZMVM	EBPR	99	95	99	RQP + TBC	95	99	88
ARI								
ARDp								
ARDd	Humedal	95	95	95	NA			
PEC	RCG_5	95	95	95	NA			

Acto seguido, se elaboraron escenarios para control de emisiones, donde se representó la implementación gradual de diferentes BMP en las fuentes emisoras, de acuerdo con su prioridad (Tabla 35), hasta alcanzar un control de todas las emisiones antropogénicas en la zona de estudio. Además, se consideró una implementación de BMP sin recuperación de P y otra con recuperación de P (Tabla 19).

Tabla 19: Escenarios candidatos de control de emisiones antropogénicas mediante implementación gradual de BMP sin recuperación de P (I – V) y con recuperación de P (VI – X) en fuentes emisoras antropogénicas

Escenario de control	Implementación de BMP				
	AR-ZMVM	ARDp	PEC	ARI	ARDd
I	EBPR	NA	NA	NA	NA
II	EBPR	EBPR	NA	NA	NA
III	EBPR	EBPR	RCG_5	NA	NA
IV	EBPR	EBPR	RCG_5	EBPR	NA
V	EBPR	EBPR	RCG_5	EBPR	Humedal
VI	RQP + TBC	NA	NA	NA	NA
VII	RQP + TBC	RQP + TBC	NA	NA	NA
VIII	RQP + TBC	RQP + TBC	RCG_5	NA	NA
IX	RQP + TBC	RQP + TBC	RCG_5	RQP + TBC	NA
X	RQP + TBC	RQP + TBC	RCG_5	RQP + TBC	Humedal

3.4.2 Evaluación de escenarios de control de cargas contaminantes

3.4.2.1 Simulación de escenarios y reducción de cargas de CBOD y P

Se calcularon las emisiones restantes después de la implementación de diferentes BMP en el AR-ZMVM, ARDp, ARI, ARDd y la generación de excreta por PEC después de la implementación de RCG – 5 (Ecuación 33). Los valores de eficiencias de remoción de las diferentes BMP se encuentran en la Tabla 1.

$$\dot{m}_{x,AR,BMP} = \frac{100\% - \gamma_{x,BMP}}{100\%} * \dot{m}_{x,AR,0} \quad \text{Ecuación 33}$$

donde:

- $\dot{m}_{x,AR,BMP}$ = Emisión diaria del constituyente x en agua residual de origen “AR” después de la aplicación de “BMP” (kg/día)
- $\gamma_{x,BMP}$ = Eficiencia de remoción del constituyente x después de la aplicación de “BMP” (%)
- $\dot{m}_{x,AR,0}$ = Emisión diaria promedio del constituyente x en agua residual de origen “AR” en el escenario actual (kg/día)

Se representó la implementación de BMP presentada en los escenarios I – X (Tabla 19) mediante modificaciones a los datos de entrada del modelo utilizados para simular el escenario actual (Tabla 20).

Tabla 20: Modificación de datos de entrada para representar la implementación de BMP en fuentes emisoras

Fuente emisora	Datos de entrada modificados
AR-ZMVM	Emisiones diarias de AR-ZMVM presentadas en Anexo 7.5.1
ARDp	Emisiones diarias de descargas municipales presentadas en Anexo 7.6.2
PEC	Excreta diaria producida presentada en la Tabla 31
ARI	Emisiones diarias de descargas industriales presentadas en Anexo 7.6.2
ARDd	Emisiones diarias de descarga difusa de agua residual doméstica presentada en la Tabla 29

Para cada uno de los escenarios I – X (Tabla 19) se le consignó al modelo simular el período de tiempo entre el 1 de enero del 2012 y el 31 de diciembre de 2018, con dos años al inicio de la simulación designados para el entrenamiento del modelo, y que imprima los resultados de caudales promedio mensuales y las cargas de las sustancias de interés en las secciones de la red hidrológica dónde el caudal ingresa a la presa Endhó, estas secciones tienen el ID en SWAT+ de “channel 09” y “channel 59” y “channel 70”. Finalmente, se sumaron las cargas mensuales de CBOD y P de las tres secciones identificadas para estimar las cargas anuales promedio de CBOD y P que ingresan a la presa Endhó.

3.4.2.2 Análisis costo-beneficio

Las cargas de CBOD y P en cada escenario se compararon con los objetivos de reducción de cargas contaminantes anteriormente propuestos (CAME-IMTA, 2022), los cuales consisten en la reducción del 95 % en las cargas de CBOD y P.

En caso de que la reducción de las cargas de CBOD y/o P no alcanzaran el 95 % del escenario actual, se calculó la cantidad de Phoslock (Ecuación 34), un adsorbente selectivo de PO_4^{3-} , y el número de sistemas de oxigenación hipolimnética (Ecuación 35) necesarios para alcanzar dicha reducción. Para ello se considera una tonelada de Phoslock para remover 34 kg de P como PO_4^{3-} (Blázquez-Pallí, 2015), que cada oxigenador aporta oxígeno suficiente para degradar aeróbicamente 1,370 t de CBOD al año y que se requieren cuatro oxigenadores adicionales aunque se haya alcanzado el objetivo de reducción de carga externa de CBOD (CAME-IMTA, 2022).

$$m_{PHOS,EC} = (CE_{P,EC} - 0.05 * CE_{P,0}) * \frac{1,000 t_{Phoslock}}{34 t_P} \quad \text{Ecuación 34}$$

$$n_{HOS} = (CE_{CBOD,EC} - 0.05 * CE_{CBOD,0}) * \frac{1}{1,370 t_{CBOD}} + 4 \quad \text{Ecuación 35}$$

donde:

$m_{PHOS,EC}$ = Masa de Phoslock requerido en el escenario de control “EC” (t/año)

$CE_{P,EC}$ = Carga externa de P en el escenario de control “EC” (t/año)
 $CE_{P,0}$ = Carga externa de P en el escenario actual (t/año)
 $n_{HOS,EC}$ = Número requerido de oxigenadores hipoliméticos en el escenario de control “EC”
 $CE_{CBOD,EC}$ = Carga externa de CBOD en el escenario de control “EC” (t/año)
 $CE_{CBOD,0}$ = Carga externa de CBOD en el escenario actual (t/año)

A continuación, se recopiló información para cada escenario I – X (Tabla 19) de las BMP, que reducen emisiones, implementadas en cada fuente emisora, la capacidad de las PTAR y los humedales instalados, el número de oxigenadores y la cantidad de Phsolock requeridos (Tabla 21).

Tabla 21: Dimensión de las BMP, que reducen emisiones y que remueven contaminantes en el cuerpo de agua, en cada escenario de control de cargas contaminantes necesarias para lograr el objetivo de reducción de cargas externas

EC	AR-ZMVM		ARDp		PEC	ARI		ARDd		Cuerpo de agua	
	BMP	CI (m³/s)	BMP	CI (m³/s)	BMP	BMP	CI (m³/s)	BMP	CI (m³/s)	HOS (#)	PHOS (t/año)
I	EBPR	79.00	NA		NA	NA		NA		6	12,911.29
II	EBPR	79.00	EBPR	0.32	NA	NA		NA		4	9,856.18
III	EBPR	79.00	EBPR	0.32	RCG_5	NA		NA		4	2,525.54
IV	EBPR	79.00	EBPR	0.32	RCG_5	EBPR	0.31	NA		4	1,334.00
V	EBPR	79.00	EBPR	0.32	RCG_5	EBPR	0.31	Humedal	0.53	4	1,102.50
VI	RQP + TBC	79.00	NA		NA	NA		NA		7	19,958.72
VII	RQP + TBC	79.00	RQP + TBC	0.32	NA	NA		NA		6	16,929.19
VIII	RQP + TBC	79.00	RQP + TBC	0.32	RCG_5	NA		NA		6	9,598.01
IX	RQP + TBC	79.00	RQP + TBC	0.32	RCG_5	RQP + TBC	0.32	NA		6	8,510.07
X	RQP + TBC	79.00	RQP + TBC	0.32	RCG_5	RQP + TBC	0.32	Humedal	0.53	6	8,278.30

EC: Escenario de control; CI: Capacidad instalada; PHOS: Phsolock; HOS: Sistema de oxigenación hipolimética

Posteriormente, se calcularon los costos de construcción de la implementación de las BMP en cada escenario con las siguientes ecuaciones, que se desarrollaron con los datos de la Tabla 2 y se ajustó el valor monetario considerando la conversión a pesos mexicanos (mxn) y la inflación al 1 de Enero de 2024:

$$v_{cons,EBPR,FE} = 10^6 \text{ mxn} * 12.39 * (1,000 * CI_{FE})^{0.66} \quad \text{Ecuación 36}$$

$$v_{cons,RQP+TBC,FE} = 10^6 \text{ mxn} * (382.60 * CI_{FE} + 9.81 * (1,000 * CI_{FE})^{0.66}) \quad \text{Ecuación 37}$$

$$v_{cons,Hum} = 5,525.61 \text{ mxn} * CI_{ARDd} \quad \text{Ecuación 38}$$

$$v_{cons,HOS} = n_{HOS} * 128,505 * 10^6 \text{ mxn} \quad \text{Ecuación 39}$$

donde:

$$\begin{aligned} V_{cons,EBPR,FE} &= \text{Costo de la construcción de la(s) PTAR con EBPR para el control de la fuente emisora "FE" (mxn)} \\ n_{FE} &= \text{Número de fuentes emisoras} \\ CI_{FE} &= \text{Capacidad instalada necesaria en la BMP para controlar la fuente emisora "FE" (L/s)} \\ V_{cons,RQP+TBC,FE} &= \text{Costo de la construcción de PTAR con RQP+TBC para el control de la fuente emisora "FE" (mxn)} \end{aligned}$$

De forma similar, se calcularon los costos operativos anuales de de la implementación de las BMP en cada escenario con las siguientes ecuaciones, que se desarrollaron con los datos de la Tabla 2 y se ajustó el valor monetario consdierando la conversión a pesos mexicanos (mxn) y la inflación al 1 de Enero de 2024:

$$v_{oper,EBPR,FE} = 10^6 \text{ mxn} * 66.08 * CI_{FE} + 632.5 \text{ mxn} * \dot{m}_{LA} \quad \text{Ecuación 40}$$

$$v_{oper,RQP+TBC,FE} = 10^6 \text{ mxn} * (1.18 + 26.07 * CI_{FE}) + 632.5 \text{ mxn} * \dot{m}_{LA} \quad \text{Ecuación 41}$$

$$v_{oper,Hum} = 10,280 \text{ mxn} * CI_{ARDd} \quad \text{Ecuación 42}$$

$$v_{oper,RCG} = 10^6 * 341.12 \text{ mxn} * x_{RCG} \quad \text{Ecuación 43}$$

$$v_{oper,HOS} = 6.39 * 10^6 \text{ mxn} * n_{HOS} \quad \text{Ecuación 44}$$

$$v_{oper,PHOS} = 64.91 \text{ mxn} * m_{PHOS,EC} \quad \text{Ecuación 45}$$

donde:

$$\begin{aligned} v_{oper,EBPR,FE} &= \text{Costo operativo de la(s) PTAR con EBPR para el control de la fuente emisora "FE" (mxn/año)} \\ \dot{m}_{LA} &= \text{Lodos activados generados durante el tratamiento de agua residual (kg/año)} \\ CI_{FE} &= \text{Capacidad instalada necesaria en la BMP para controlar la fuente emisora FE (L/s)} \\ V_{oper,RQP+TBC,FE} &= \text{Costo operativo de PTAR con RQP+TBC (mxn/año)} \\ V_{oper,Hum} &= \text{Costo operativo de Humedales (mxn/año)} \\ V_{oper,RCG} &= \text{Costo operativo de la reducción de cabeza de ganado (mxn/año)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
x_{RCG} &= \text{Fracción de la reducción de cabezas de ganado (mxn/año)} \\
v_{oper,HOS} &= \text{Costo operativo de un oxigenador hipolimnético (mxn/año)} \\
n_{HOS} &= \text{Número de oxigenadores hipolimnéticos requeridos} \\
v_{oper,PHOS} &= \text{Costo operativo de la aplicación requerida del absorbente selectivo Phoslock (mxn/año)} \\
m_{PHOS,EC} &= \text{Cantidad de absorbente selectivo Phoslock (kg/año)}
\end{aligned}$$

Finalmente, se consideró un tiempo de vida del proyecto de 20 años y se calculó el costo total de la implementación de BMP en cada escenario I – X (Ecuación 46)

$$v_{cost,EC} = \sum_{BMP=1}^{n_{BMP}} \left(\sum_{FE=1}^{n_{FE}} (v_{cons,BMP,FE}) + v_{oper,BMP} * n_{vup} \right) \quad \text{Ecuación 46}$$

donde:

$$\begin{aligned}
v_{cost,EC} &= \text{Costo total de la implementación de BMP en el escenario “EC” (mxn)} \\
n_{BMP} &= \text{Número de BMP consideradas} \\
n_{FE} &= \text{Número de fuentes emisoras identificadas en el área de estudio} \\
v_{cons,BMP,FE} &= \text{Costo de construcción de la BMP “BMP” para la fuente emidora “FE” (mxn)} \\
v_{oper,BMP} &= \text{Costos operativos anuales de la implementación de la BMP “BMP” (mxn/año)} \\
n_{vup} &= \text{Número de años de vida útil del proyecto (año)}
\end{aligned}$$

A continuación, se identificaron los beneficios, que la reducción propuesta por CAME-IMTA (2022) significarían en la región de la cuenca hidrológica de la presa Endhó. Por un lado, se determinaron la reducción de las CE de CBOD y P como beneficios ambientales y, por el otro lado, los beneficios socioeconómicos identificados fueron la producción de estruvita, el ahorro en gastos de salud por la reducción de enfermos gastrointestinales y el incremento de la derrama económica por turismo lacustre.

El incremento potencial de turistas se estimó comparando el sector turístico de un cuerpo de agua con características similares a la presa Endhó, accesibilidad, clima y lejanía con la ZMVM, pero con una mejor calidad del agua. El cuerpo de agua seleccionado fue la presa Temascal, en el Estado de México. Se recopiló información de los viajes al año que se realizan al cuerpo de agua referencia (SECTUR, 2023) y se ajustó los viajes esperados al tamaño de la presa Endhó relativa a la presa Temascal (Ecuación 47).

$$n_{tur,End} = n_{tur,Tem} * \frac{d_{End}}{d_{Tem}} \quad \text{Ecuación 47}$$

donde:

$$\begin{aligned}
n_{tur,End} &= \text{Número de viajes por turismo al año esperados en la presa Endhó (viaje/año)} \\
n_{tur,Tem} &= \text{Número de viajes por turismo al año registrados a la presa Temascal (viaje/año)} \\
d_{End} &= \text{Perímetro de la presa Endhó (km)}
\end{aligned}$$

$$d_{Tem} = \text{Perímetro de la presa Tamsacal (km)}$$

Además, se estimó el número de enfermedades que, potencialmente, ocurren debido a la mala calidad del agua en la presa Endhó considerando que se ha reportado que anualmente la población con un contacto directo con el agua de la presa, la población ribereña, tiene un 18 % de probabilidad (Mara et al., 2017) a padecer de una enfermedad gastrointestinal adicional a la probabilidad sin dicho contacto directo (Ecuación 48).

$$n_{DD,End} = n_{hab,End} * r_{DD} * v_{DD} \quad \text{Ecuación 48}$$

donde:

$n_{DD,End}$ = Número de casos de enfermedades gastrointestinales ocasionados por el contacto directo con el agua de la presa Endhó (hab/año)

$n_{hab,End}$ = Población ribereña de la presa Endhó (hab)

r_{DD} = Probabilidad anual de desarrollar un caso de enfermedad gastrointestinal por el contacto directo con el agua de la presa Endhó (1/año)

Se consideró que los beneficios por incremento del turismo y la reducción de incidencia de enfermedades gastrointestinales se obtienen al alcanzar la reducción de las cargas de CBOD y P propuestas. Así, todos los escenarios I – X presentan dichos beneficios. Además, los beneficios por producción de estruvita y la reducción de las CE de CBOD y P dependen de cada escenario, la información necesaria para calcular los valores de los beneficios identificado se muestran en la

Tabla 22: Dimensión de los beneficios ocasionados en cada escenario de control de cargas contaminantes

EC	Socioeconómicos			Ambientales	
	Incremento en turistas (viaje/año)	Reducción de enfermos gastrointestinales (hab/año)	Producción de estruvita (t/año)	Reducción en la CE de CBOD (t/año)	Reducción en la CE de P (t/año)
I	117,621	3,095.28	0.00	52,557.63	2,798.95
II	117,621	3,095.28	0.00	54,503.98	2,902.82
III	117,621	3,095.28	0.00	54,503.98	3,152.07
IV	117,621	3,095.28	0.00	55,078.19	3,192.58
V	117,621	3,095.28	0.00	55,307.78	3,200.45
VI	117,621	3,095.28	2,552.72	50,433.53	2,559.34
VII	117,621	3,095.28	2,667.01	52,301.53	2,662.34
VIII	117,621	3,095.28	2,667.01	52,317.53	2,911.60
IX	117,621	3,095.28	2,708.00	52,852.53	2,948.59
X	117,621	3,095.28	2,708.00	53,067.53	2,956.47

EC: Escenarios de control

Posteriormente, se calcularon los valores de los beneficios derivados de la implementación de las BMP en cada escenario con las siguientes ecuaciones, que se desarrollaron con los datos de la Tabla 3, y se ajustó el valor monetario considerando la conversión a pesos mexicanos (mxn) y la inflación al 1 de Enero de 2024:

$$v_{bene,tur} = 3,272 \frac{mxn}{viaje} * n_{tur,End} \quad \text{Ecuación 49}$$

$$v_{bene,DD} = 20,886.04 \frac{mxn}{hab} * n_{DD,End} \quad \text{Ecuación 50}$$

$$v_{bene,est} = \frac{11,920 \text{ mxn}}{1 \text{ t}} * \sum_{FE,RQP=1}^{n_{FE,RQP}} (ET_{P,FE,RQP} * 0.95 * 0.99) \quad \text{Ecuación 51}$$

$$v_{bene,CBOD} = (CE_{CBOD,0} - CE_{CBOD,EC}) * \frac{3,380 \text{ mxn}}{1 \text{ t}} \quad \text{Ecuación 52}$$

$$v_{bene,P} = (CE_{P,0} - CE_{P,EC}) * \frac{915,920 \text{ mxn}}{1 \text{ t}} \quad \text{Ecuación 53}$$

donde:

- $v_{bene,tur}$ = Valor anual del beneficio por incremento turístico (mxn/año)
- $n_{tur,End}$ = Número de viajes por turismo al año esperados en la presa Endhó (viaje/año)
- $v_{bene,DD}$ = Valor anual del beneficio por disminución de enfermedades gastrointestinales (mxn/año)
- $n_{DD,End}$ = Número de casos de enfermedades gasterintestinales ocasionados por el contacto directo con el agua de la presa Endhó (hab/año)
- $v_{bene,est}$ = Valor anual del beneficio por producción de estruvita (mxn/año)
- $n_{FE,RQP}$ = Número de fuentes emisoras con implementación de RQP
- $ET_{P,FE,RQP}$ = Emisión total de fósforo en la fuente emisora “FE” con implementación de RQP (t/año)
- $v_{bene,CBOD}$ = Valor anual del beneficio por disminución de la CE de CBOD (mxn/año)
- $CE_{CBOD,0}$ = Carga externa de CBOD a la presa Endhó en el escenario actual (t/año)
- $CE_{CBOD,EC}$ = Carga externa de CBOD a la presa Endhó en el escenario de control “EC” (t/año)
- $v_{bene,P}$ = Valor anual del beneficio por disminución de la CE de P (mxn/año)
- $CE_{P,0}$ = Carga externa de P a la presa Endhó en el escenario actual (t/año)
- $CE_{P,EC}$ = Carga externa de P a la presa Endhó en el escenario de control “EC” (t/año)

Finalmente, se sumaron todos los beneficios y se consideró que éstos ocurren anualmente durante la vida útil del proyecto y se restó el costo total de la implementación de las BMP para cada uno de los escenario (Ecuación 54).

$$v_{EC} = \sum_{i=1}^{n_{bene}} (v_{bene,i,EC}) * n_{vup} - v_{cost,EC} \quad \text{Ecuación 54}$$

donde:

- v_{EC} = Retorno monetario de la implementación de BMP en el escenario de control “EC” (mxn)
- n_{bene} = Número de beneficios identificados
- $v_{bene,i,EC}$ = Valor del beneficio i en el escenario de control “EC” (mxn/año)
- n_{vup} = Número de años de vida útil del proyecto (año)
- $v_{cost,EC}$ = Costo total de la implementación de BMP en el escenario de control “EC” (mxn)

4 Resultados y discusión

4.1 Selección del modelo de cuenca hidrológica

Inicialmente, se propusieron como posibles candidatos a 13 diferentes modelos (Tabla 23), que describen procesos a escala de cuencas hidrológicas, en concordancia con las publicaciones de Borah et al. (2019), Yuan et al. (2020) y Neumann et al. (2021).

Tabla 23: Modelos de cuenca hidrológica evaluados

Nombre	Abreviación	Sitio web	Referencia
Annualized Agricultural Nonpoint Source Pollution Model	AnnAGNPS	https://www.ars.usda.gov/southeast-area/oxford-ms/national-sedimentation-laboratory/watershed-physical-processes-research/research/agnps/	Bingner et al., 2018
Agricultural Policy Environmental Extender Model	APEX	https://epicapex.tamu.edu/apex/	Williams et al., 2015
Distributed Parameter Large Basin Runoff Model	DLBRM	https://csdms.colorado.edu/wiki/Model:DLBRM	Croley et al., 2015
Dynamic Watershed Simulation Model	DWSM	https://www.midatlanticrisa.org/data-tools/water-model-tool/items/dwsm.html	Borah et al., 2001
Generalized Watershed Loading Function	GWLF-E	https://wikiwatershed.org/kbcategories/mapshed-watershed-modeling-tool-guide/	Evans y Corradini, 2016
Windows Hydrological Simulation Program – Fortran	WinHSPF	https://water.usgs.gov/software/HSPF/	Bicknell et al., 2005
The Hydrological Predictions for the Environment	HYPE	https://hypeweb.smhi.se/	SMHI, 2019
Integrated Catchment Model	INCA	https://incamodels.org/	Jackson-Blake et al., 2016
MIKE Système Hydrologique Européen	MIKE SHE	https://www.dhigroup.com/technologies/mikepoweredbydhi/mike-she	DHI, 2023
Global Nutrient Export from Watersheds 2	NEWS2	https://marine.rutgers.edu/globalnews/GNE	Mayorga et al., 2010
Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs	InVEST	https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest	NCP, 2023
Soil and Water Assessment Tool +	SWAT+	https://swat.tamu.edu/	Bieger et al., 2017
Storm Water Management Model	SWMM	https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm	Rossman, 2004

De estos modelos, solamente siete cumplieron con los criterios de selección para ser considerados como modelos candidatos (Tabla 24), dichos modelos fueron AnnAGNPS, APEX, GWLF-E, HYPE, INCA, InVEST y SWAT+.

Tabla 24: Alcances y limitaciones de modelos hidrológicos en función de las características de la zona de estudio

Modelo	Licencia de software	Escala espacial	Diferenciación espacial	Escala temporal	Adaptabilidad
AnnAGNPS	✓	✓	✓	✓	✓
APEX	✓	✓	✓	✓	✓
DLBRM	✓	✓	✓	✓	NE
DWSM	✓	✓	Rectángulo, homogéneo	Por evento	NE
GWLF-E	✓	✓	✓	✓	✓
WinHSPF	✓	✓	✓	Por evento	✓
HYPE	✓	✓	✓	✓	✓
INCA	✓	✓	✓	✓	✓
MIKE SHE	Licencia de 579 € al mes	✓	✓	✓	✓
NEWS2	✓	> 2,000 km ²	✓	✓	✓
InVEST	✓	✓	✓	✓	✓
SWAT+	✓	✓	✓	✓	✓
SWMM	✓	✓	Rectángulo, homogéneo	✓	✓

NE: No Encontrado; ✓: Cumple

La evaluación y la calificación de cada uno de estos siete modelos demostró que el modelo SWAT+ es el más apropiado para simular los procesos hidrológicos y de transporte reactivo de MO y P en la cuenca hidrológica de la presa Endhó y para evaluar escenarios de control de cargas contaminantes (Tabla 25).

Tabla 25: Evaluación de modelos candidatos en función de las características de la modelación de transporte reactivo de nutrientes

Criterio de selección	AnnAGNPS	APEX	GWLF-E	HYPE	INCA	InVEST	SWAT+
Interacción superficie-subsuelo	Solo infiltración	Solo infiltración	Solo infiltración	Infiltración; saturación	Infiltración; saturación	Solo infiltración	Infiltración; saturación
Cuerpos de agua	Lóticos y lénticos	Lóticos y lénticos	Lóticos y lénticos	Lóticos y lénticos	Lóticos	Lóticos y lénticos	Lóticos y lénticos
Agricultura	Cultivos y etapas	Cultivos y etapas	Solo cultivos	Solo cultivos	Solo cultivos	Cultivos y etapas	Cultivos y etapas

Criterio de selección	AnnAGNPS	APEX	GWLF-E	HYPE	INCA	InVEST	SWAT+
Fuentes emisoras	Solo difusas	Difusas y puntuales	Difusas y puntuales	Solo difusas	Solo difusas	Ninguna	Difusas y puntuales
Transporte reactivo de MO	(a) – (e)	(a) – (e)	(b) – (e)	(b) – (e)	(a) – (e)	Ninguno	(a) – (e)
Transporte reactivo de P	Reacción de primer orden	(a), (b)	(a)	(a) – (e)	(a) – (e)	Ninguno	(a) – (e)
Calificación final	6.5	7.5	6	8.5	8.5	3	10

4.2 Escenario actual

4.2.1 Hidrología

El modelo representa el territorio cuyo drenaje natural dirige el agua a la presa Endhó. En dicho territorio se identificaron 67 clasificaciones diferentes de tipos de suelo con el sistema de clasificación de la información recopilada (INEGI, 2007) y se logró equiparar con 19 suelos en la base de datos proporcionada en el software SWAT+, de acuerdo con la tabla presentada en el Anexo 7.1. Por otro lado, las clasificaciones de uso de suelo identificadas en la cuenca hidrológica de la presa Endhó fueron 18, de acuerdo a los mapas consultados (INEGI, 2013) y se encontraron equivalencia a siete clasificaciones de uso de suelo presentes en la base de datos SWAT+ (Figura 16).

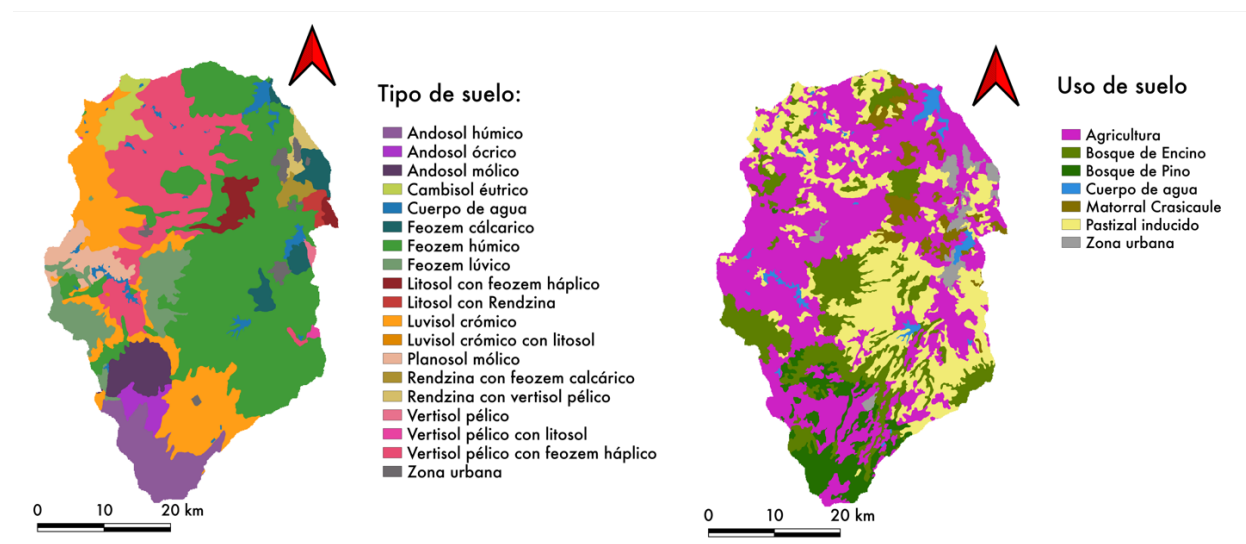


Figura 16: Mapas edafológicos utilizados en el modelo de la cuenca hidrológica de la presa Endhó: clasificación de tipos de suelo (izquierda) y de usos de suelo (derecha) de acuerdo con la base de datos proporcionada con SWAT+

Además, se identificaron siete estaciones climatológicas dentro de la cuenca (Figura 17). Tres de ellas, Jasso, Presa Requena y Presa Endhó, se encuentran en la zona baja de la cuenca hidrológica y a lo largo del río Tula. Las otras cuatro estaciones se encuentran en la zona de montaña del área de estudio, éstas son El Palmito, Villa del Carbón, Oxtoc y Presa Danxhó. Además, se encontraron estaciones en tres de las cuatro subcuencas identificadas en el área de estudio. La subcuenca Requena contiene a la estación Villa del Carbón, la subcuenca Endhó a Oxtoc, Presa Requena y Presa Endhó y, finalmente, a la subcuenca Tlautla le pertenecen El Palmito, Presa Danxhó y Jasso. Solamente la subcuenca Rosas no presenta una estación climatológica.

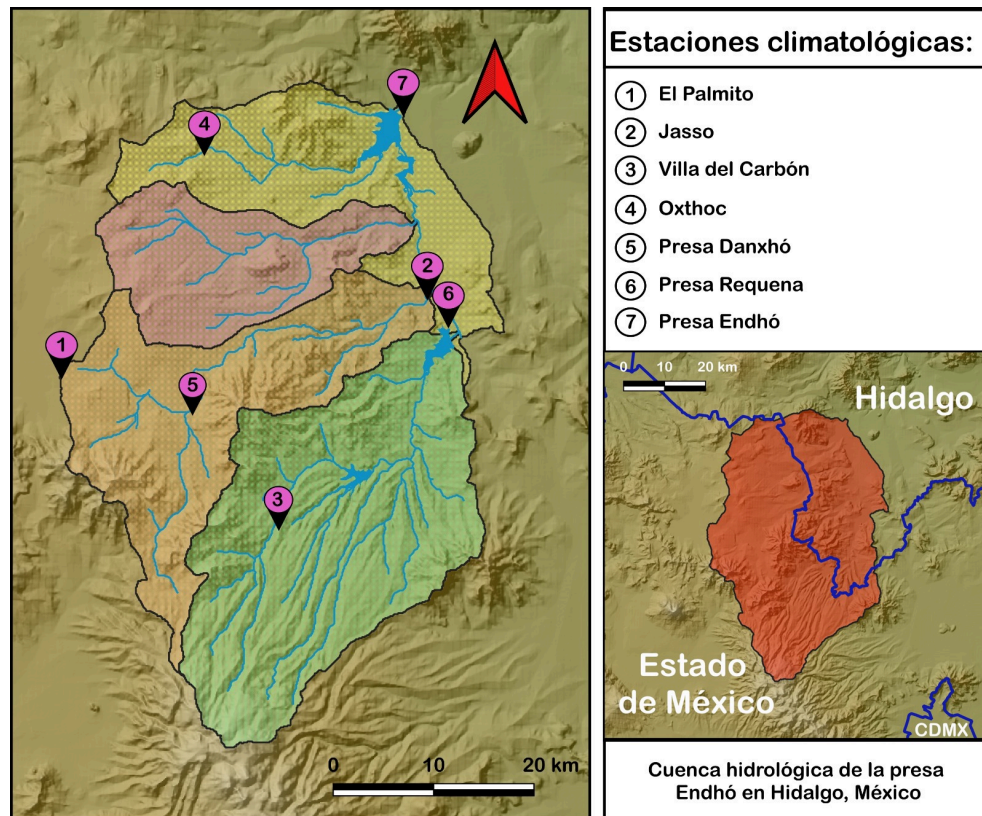


Figura 17: Estaciones climatológicas en la cuenca hidrológica de la presa Endhó. Elaborado con información de SMN (2023)

El climograma, que muestra medias mensuales de precipitación y temperatura (Figura 18), demuestra que en todas las estaciones climatológicas los regímenes de lluvias se encuentran dentro de los parámetros climatológicos normales al definir claramente la diferencia entre la época de lluvias, mayo a octubre, y la de estiaje, noviembre a abril, y que el clima de la zona es isotérmico, con una variación menor a 5 °C. cada una de las estaciones climatológicas identificadas en la zona de estudio. Además, se puede observar una clara diferencia en la precipitación y la temperatura media observada dependiendo de la altitud dónde se realizaron las mediciones. Las estaciones climatológicas que se encuentran en la zona alta de la cuenca, El Palmito, Villa del Carbón, Presa Danxhó y Oxtoc, muestran mayor precipitación y menor temperatura que las estaciones ubicadas en la cuenca baja, Presa Requena, Jasso y Presa Endhó.

En general, la red de estaciones climatológicas en la cuenca hidrológica es suficientemente densa y bien distribuida, asegurando así una cobertura representativa de la variabilidad de las condiciones climáticas en toda la cuenca.

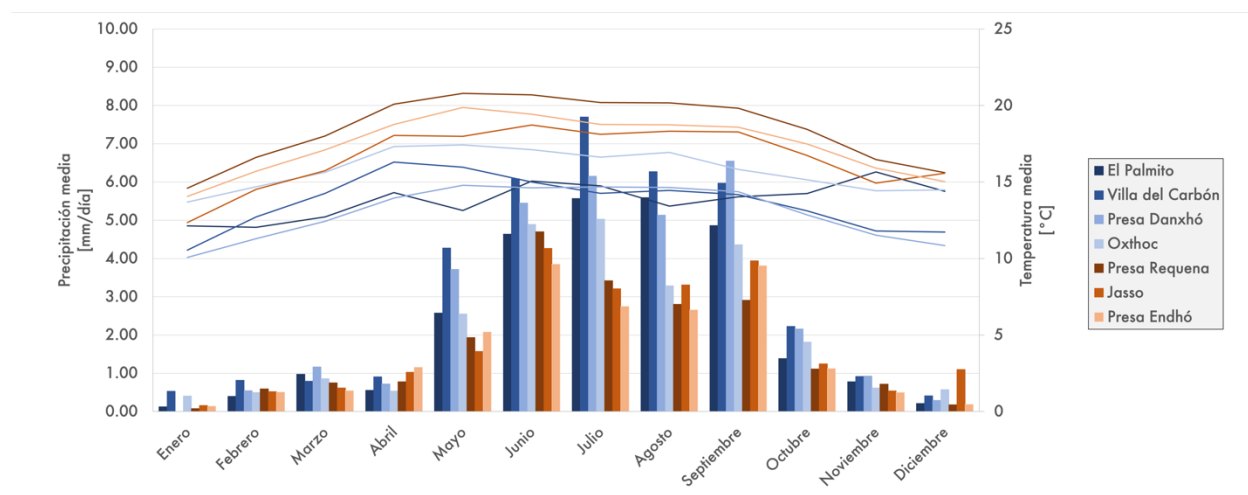


Figura 18: Climograma de las estaciones climatológicas utilizadas en el modelo de la cuenca hidrológica de la presa Endhó. Precipitación media por mes (barras) y temperatura media mensual (líneas) de estaciones climatológicas en la parte alta (azul) y baja (naranja) de la cuenca. Elaborado con información de SMN (2023)

La información climatológica, de relieve continental, de tipo y usos de suelo, puesta a disposición por las instituciones gubernamentales CONAGUA (SMN, 2023), INEGI (2007; 2013) y NASA (2023), es suficiente para simular la hidrología de la zona de estudio.

4.2.2 Inventario de emisiones antropogénicas

La Tabla 26 presenta las emisiones anuales de CBOD, $P_{\min}$, P_{org} y P en toneladas por año de las fuentes emisoras identificadas en la cuenca hidrológica de la presa Endhó. La fuente AR-ZMVM es la que contribuye con la mayor cantidad de CBOD, registrando una emisión anual de 58,068.28 t/año. En cuanto a fósforo, esta misma fuente emite 384.74 t/año de $P_{\min}$, 2,618.45 t/año de P_{org} , y un total de 3,003.00 t/año de P . La fuente emisora que contribuye la segunda mayor aportación es la PEC, seguida del ARDd y ARDp. Finalmente, los menores valores los presenta el ARI con una emisión de 919.37 t/año de CBOD y 45.66 t/año de P .

Tabla 26: Emisiones anuales de CBOD, P_{org} y $P_{\min}$ por cada fuente emisora en la cuenca hidrológica de la presa Endhó

Fuente emisora	Emisión de CBOD (t/año)	Emisión de $P_{\min}$ (t/año)	Emisión de P_{org} (t/año)	Emisión de P (t/año)
AR-ZMVM	58,068.28	384.74	2,618.45	3,003.00
ARDp	3,544.39	81.01	40.51	121.52
ARDd	5,816.59	132.95	66.48	199.43
ARI	919.37	9.28	36.38	45.66

Fuente emisora	Emisión de CBOD (t/año)	Emisión de P_{min} (t/año)	Emisión de P_{org} (t/año)	Emisión de P (t/año)
PEC	10,372.52	293.21	513.11	806.32
Total	78,721.15	2,515.44	1,660.88	4,166.65

El agua residual descargada por trasvase se identifica como la fuente emisora dominante en la cuenca hidrológica de la presa Endhó. Específicamente, el AR-ZMVM (Área Metropolitana de la Ciudad de México) contribuye con el 73.76 % del total de CBOD emitido en la cuenca y con el 72.07 % del P total, según se detalla en la Tabla 26. Esta región, que se encuentra fuera de la cuenca hidrológica de la presa Endhó, es la principal responsable de la mayoría absoluta de las emisiones tanto de CBOD como de P. El inventario de emisiones de la cuenca hidrológica de la presa Endhó, presentado en el informe de CAME-IMTA (2022), estima que el AR-ZMVM aporta el 77.06 % del CBOD y el 83.92 % del P total emitidos en la cuenca (Tabla 7). Este fenómeno de descarga de agua residual en una cuenca diferente de aquella en la que se originó es inusual y afecta únicamente a las cuencas hidrológicas con esta característica específica (Rollason et al., 2021).

El carácter difuso de la mayoría de las emisiones generadas dentro de la cuenca hidrológica de la presa Endhó refleja la identidad de la zona como mayoritariamente rural. En esta cuenca, el 78.35 % de la emisión de CBOD proviene de fuentes difusas como ARDd y PEC, mientras que para el P, esta cifra alcanza el 86.39 % del total de las emisiones generadas dentro de la zona de estudio (Tabla 26). Estas cifras destacan la influencia significativa de las fuentes difusas en las emisiones totales de contaminantes en la cuenca. El inventario de emisiones de CAME-IMTA (2022) confirma esta tendencia, mostrando en sus propios resultados que el 81.11 % de las emisiones de CBOD y el 86.5 % de las emisiones de P generadas dentro de la cuenca hidrológica de la presa Endhó son difusas. Este patrón es característico de cuencas hidrológicas con bajo nivel de desarrollo urbano, las cuales muestran una fracción elevada de emisiones difusas, como se ha documentado en estudios previos (Chen et al., 2015). Estas cifras subrayan la preponderancia de fuentes rurales y difusas en la carga de contaminantes en la cuenca, reflejando su escasa urbanización y el predominio de actividades agrícolas y rurales.

El inventario de emisiones realizado en este trabajo es confiable. Una comparación de las estimaciones de las emisiones de CBOD y P por fuente emisora entre este estudio (Tabla 26) y el informe de CAME-IMTA (2022), presentado en la Tabla 7, muestra una notable similitud en los resultados. Esta consistencia entre dos metodologías diferentes aporta certidumbre en la validez de los resultados obtenidos. Sin embargo, se observa una diferencia significativa en las estimaciones de las emisiones de P en el AR-ZMVM. La estimación de este trabajo indica que la emisión de P es el 48.25 % de la presentada por CAME-IMTA (2022). Esta diferencia se atribuye a la caracterización de la calidad del agua del AR-ZMVM. En este trabajo, se utilizaron datos observados de una estación de monitoreo de calidad del agua en el lugar, lo que proporciona una representación más precisa de las condiciones locales. En contraste, el estudio de CAME-IMTA (2022) se basó en la caracterización típica de un agua doméstica, que tiende a mostrar concentraciones más elevadas de P_{min} y P_{org} . Esta variación en la metodología de caracterización explica la discrepancia en las estimaciones y subraya la importancia de utilizar datos observacionales específicos para obtener una evaluación más precisa de las emisiones.

A continuación, se presentan los resultados del cálculo de las cargas anuales emitidas por cada una de las fuentes emisoras de forma más detallada.

4.2.2.1 Agua residual proveniente de la ZMVM y río El Salto

Los valores mensuales de caudal y cargas emitidas por AR-ZMVM durante el período entre los años 2012 y 2018 se encuentran en el Anexo 7.5.1. La Tabla 27 presenta valores de emisiones anuales de CBOD, P_{org} y P_{min} y el caudal promedio durante el período entre los años 2012 y 2018. El caudal promedio varía significativamente a lo largo de los años, con un mínimo de 12.73 m³/s en 2015 y un máximo de 25.51 m³/s en 2014. El promedio anual del caudal es de 16.39 m³/s, con una desviación estándar de 4.36 m³/s, lo que indica una variabilidad moderada en el flujo de agua. Las emisiones de CBOD, P_{org} y P_{min} también presentan una considerable variabilidad anual.

Tabla 27: Caudales promedio y emisiones anuales de MO, representada por CBOD, y P del AR-ZMVM

Año	Caudal promedio	Emisión de CBOD	Emisión de P_{min}	Emisión de P_{org}
	(m ³ /s)	(t)	(t)	(t)
2012	13.90	55,116.13	388.65	2,748.67
2013	16.42	52,260.95	314.89	2,042.82
2014	25.51	88,843.12	661.53	4,198.44
2015	12.73	46,550.46	309.42	2,219.82
2016	16.13	57,881.66	365.93	2,611.21
2017	13.07	44,698.70	264.86	1,975.98
2018	16.99	61,126.92	387.91	2,532.21
Promedio anual	16.39 ± 4.36	58,068.28 ± 14,777.95	384.74 ± 130.33	2,618.45 ± 755.41

4.2.2.2 Descargas de agua residual doméstica generada en la zona de estudio

Se identificaron 21 ubicaciones dónde se descarga agua residual doméstica de forma puntual, las cuales se concentran en cuatro municipios. Seis descargan agua del municipio de Tula de Allende, cuatro de Atotonilco de Tula, diez de Tepejí del Río Ocampo y una le da servicio a Jilotepec (Anexo 7.6.1). En conjunto, el ARDp descargada alcanza un caudal de 27,744.52 m³/día y emite 3,544.39 t de CBOD y 121.52 t de P cada año (Tabla 28).

Tabla 28: Caudales y emisiones de CBOD y P diarias de agua residual doméstica puntual en la cuenca hidrológica de la presa Endhó

Municipio	Caudal (m ³ /día)	Emisión de CBOD (t/año)	Emisión de P_{min} (t/año)	Emisión de P_{org} (t/año)
Tula de Allende	20,278.50	2,590.58	59.21	29.61

Municipio	Caudal (m³/día)	Emisión de CBOD (t/año)	Emisión de P _{min} (t/año)	Emisión de P _{org} (t/año)
Atotonilco de Tula	149.16	19.06	0.43	0.22
Tepeji del Río Ocampo	1,483.50	189.52	4.33	2.17
Jilotepec	5,833.56	745.24	17.03	8.52
Total	27,744.72	3,544.39	81.01	40.51

Además, la Tabla 29 muestra los caudales promedio y la emisión de CBOD y P del ARDd. Los valores estimados de cargas emitidas de CBOD y P, 5,816.59 y 199.43 t/año respectivamente

Tabla 29: Caudal diario y cargas emitidas anuales por agua residual doméstica generada en la cuenca hidrológica de la presa Endhó

Municipio	ARD generada	ARDd			
	Caudal promedio	Caudal promedio	Emisión		
			CBOD	P _{min}	P _{org}
	m³/día	m³/día	t/año		
Atotonilco de Tula	180.06	30.90	3.95	0.09	0.05
Chapa de Mota	6,296.81	6,296.81	804.42	18.39	9.19
Huehuetoca	294.14	294.14	37.58	0.86	0.43
Jilotepec	13,810.64	7,977.08	1,019.07	23.29	11.65
Morelos	951.67	951.67	121.58	2.78	1.39
Nicolás Romero	257.71	257.71	32.92	0.75	0.38
Soyaniquilpan de Juárez	2,818.99	2,818.99	360.13	8.23	4.12
Tepeji del Río de Ocampo	16,291.95	14,808.45	1,891.78	43.24	21.62
Tepetitlán	491.03	491.03	62.73	1.43	0.72
Tepotzotlán	316.42	316.42	40.42	0.93	0.46
Timilpan	136.42	136.42	17.43	0.40	0.20
Tula de Allende	22,086.40	1,807.90	230.96	5.28	2.64
Villa del Carbón	9,343.54	9,343.54	1,193.64	27.28	13.64
Total	73,275.78	45,531.06	5,816.59	132.95	66.48

ARD: Agua residual doméstica; ARDd: Agua residual doméstica difusa

4.2.2.3 Descarga de agua residual industrial

Se identificaron 43 industrias, que descargan agua residual industria, 24 de ellas descargan agua utilizada en servicios sanitarios, seis utilizan el agua para teñir textiles, once no especifican un uso de agua, una utiliza el agua para torres de enfriamiento en la refinación de hidrocarburos y una descarga agua después de

un tratamiento secundario (Anexo 7.6.1). En conjunto, el ARI descargada alcanza un caudal de 0.31 m³/s y emite 919.37 t de CBOD y 45.66 t de P cada año (Tabla 30). Estos valores son menores a los reportados por CAME-IMTA, que estimó una emisión anual de 4,576 y 103 t de MO y P (Tabla 7), respectivamente (2022).

Tabla 30: Caudal diario y cargas emitidas anuales por agua residual industrial en la cuenca hidrológica de la presa Endhó

Municipio	Número de industrias	ARI descargada (m ³ /día)	Emisión de CBOD (t/año)	Emisión de P _{min} (t/año)	Emisión de P _{org} (t/año)
Atotonilco de Tula	1	7.51	0.96	0.02	0.01
Chapa de Mota	2	38.63	1.53	0.01	0.03
Jilotepec	8	278.92	23.38	0.45	0.32
Soyaniquilpan	5	244.00	13.69	0.22	0.05
Tepeji del Río Ocampo	19	1,477.86	121.65	2.47	0.81
Tula de Allende	8	25,134.92	758.15	6.11	35.17
Total	43	27,181.84	919.37	9.28	36.38

4.2.2.4 Deposición de excreta al suelo por actividad pecuaria

La Tabla 31 presenta la excreta generada en t/año y las emisiones de CBOD, P_{min} y P_{org} relacionadas a la deposición de dicha excreta para las poblaciones de ganado porcino, bovino, ovino y avícola en la cuenca hidrológica de la presa Endhó. Los valores máximos los presenta el ganado avícola, con 376.43 t anuales de excreta generada y 6,367.99, 459.13 y 262.36 t/año de CBOD, P_{min} y P_{org}, respectivamente. El ganado responsable de la segunda emisión más grande de CBOD es el bovino y de P_{min} y P_{org} es el porcino. El ganado que menos emite CBOD, P_{min} y P_{org} es el ovino. En total, la PEC genera 891.22 toneladas anuales de excreta, emitiendo 10,371.52, 513.11 y 293.21 t/año de CBOD, P_{min} y P_{org}, respectivamente.

Tabla 31: Excreta generada y emisiones de CBOD, P_{org} y P_{min} anualmente por tipo de ganado identificado dentro de la cuenca hidrológica de la presa Endhó

Tipo de ganado	Excreta generada (t/año)	Emisión de CBOD (t/año)	Emisión de P _{min} (t/año)	Emisión de P _{org} (t/año)
Porcino	63.89	725.16	27.65	15.80
Bovino	362.00	3,185.94	16.53	9.45
Ovino	89.01	92.43	9.80	5.60
Avícola	376.43	6,367.99	459.13	262.36
Total	891.33	10,371.52	513.11	293.21

4.2.3 Cargas contaminantes del escenario actual

La Figura 19 presenta las cargas mensuales externas a la presa Endhó de CBOD, en azul, y P, en naranja, resultantes de la simulación del escenario actual entre Enero de 2014 hasta Junio de 2018.

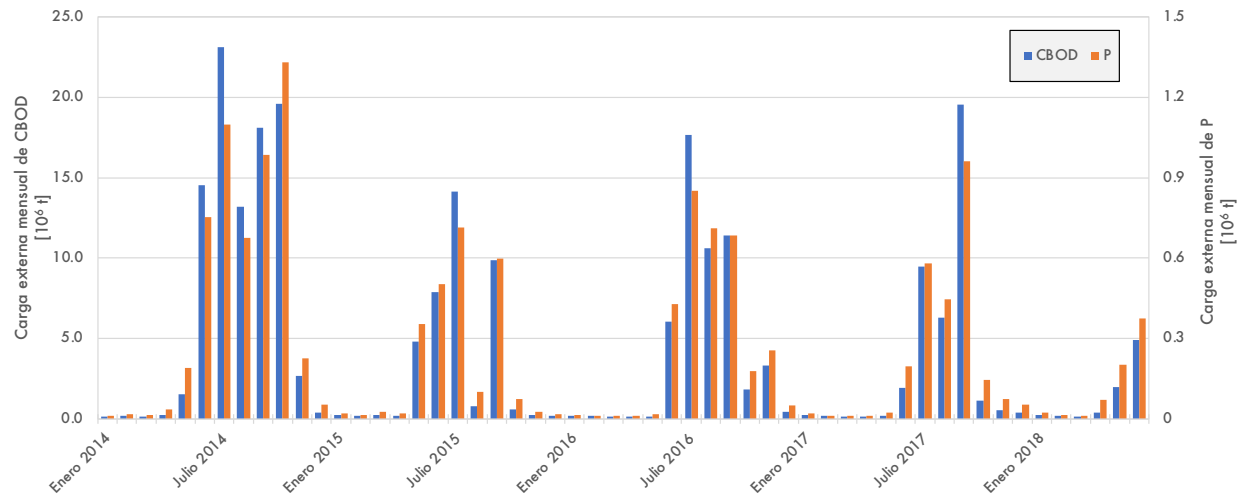


Figura 19: Resultados de la simulación del escenario actual presentando datos de cargas externas mensuales a la presa Endhó de CBOD y P desde enero de 2014 hasta junio de 2018

4.3 Desempeño del modelo hidrológico

4.3.1 Recopilación y procesamiento de datos de campo

De las 811 estaciones hidrométricas en México (CONAGUA, 2023b), se identificaron tres con información dentro de la zona de estudio: Jasso II, Tlautla y Las Rosas. Además, se identificaron 39 sitios de monitoreo de calidad de agua y se seleccionaron los sitios DLHID1442, DLHID1439 y DLHID1440 más cercanos a las estaciones hidrométricas seleccionadas (Figura 20).

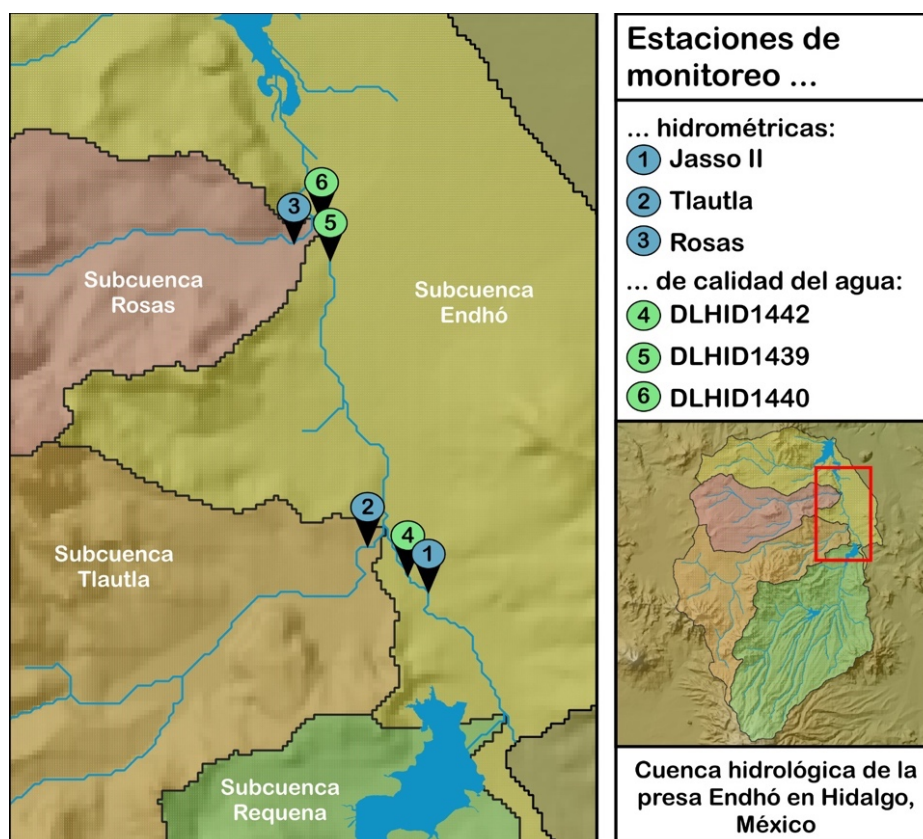


Figura 20: Localización geográfica de las estaciones hidrométricas y los sitios de monitoreo de calidad de agua seleccionados, para evaluar el desempeño del modelo de transporte reactivo de nutrientes en la cuenca hidrológica de la presa Endhó. Elaborado con información de CONAGUA (2023b, 2023c)

De esta manera, se logró la selección de estaciones que representen los aspectos más importantes de la hidrología y del transporte reactivo de nutrientes. Las estaciones hidrométricas representan las subcuencas de cada uno de los tributarios del río Tula entre su inicio y llegada a la presa Endhó y las estaciones de monitoreo de calidad de agua representan el transporte reactivo de nutrientes a lo largo del río Tula, que es el principal colector dentro de la zona de estudio (Tabla 32).

Tabla 32: Estaciones hidrométricas y sitios de monitoreo de calidad de agua con información utilizada para la validación del modelo del transporte reactivo de nutrientes en la cuenca hidrológica de la presa Endhó

Estación/sitio	Nombre	Área que representa	ID SWAT+ de la sección hidrológica
Estación hidrométrica	Jasso II	AR-ZMVM subcuenca Requena	channel 013
	Tlautla	Subcuenca Tlautla	channel 015
	Las Rosas	Subcuenca Rosas	channel 033
Sitio de monitoreo de calidad de agua	DLHID1442	AR-ZMVM y subcuenca Requena	channel 013

Estación/sitio	Nombre	Área que representa	ID SWAT+ de la sección hidrológica
	DLHID1439	DLHID1442 y subcuenca Tlautla	channel 011
	DLHID1440	DLHID1439 y Tula de Allende	channel 010

Dicha selección facilita la evaluación del desempeño de la simulación hidrológica del modelo en las subcuencas Requena, Tlautla y Las Rosas de forma independiente. Existe una falta de información para el caudal del río Michimaloya, aunque, debido a la importante diferencia entre los caudales que entran a la presa Endhó por el río Tula y el reducido caudal del río Michimaloya, se considera que la simulación es representativa de la realidad.

Por otro lado, los sitios de monitoreo de calidad de agua seleccionadas para la validación permiten evaluar la simulación del transporte reactivo de nutrientes en puntos estratégicos sobre el río Tula, principal colector de la cuenca.

4.3.2 Hidrología

La Figura 21 muestra tres hidrogramas comparando datos observados con los valores de caudales simulados en las secciones hidrológicas donde se encuentra cada una de las estaciones hidrométricas. En los tres canales, los tiempos en los que ocurren los picos de caudal en los datos simulados coinciden bien con los datos observados, indicando que el modelo captura adecuadamente la ocurrencia de eventos de precipitación y los procesos de escorrentía superficial.

Además, el gráfico superior muestra la comparación entre el segmento hidrológico Channel 013 y la estación hidrométrica Jasso II y presenta picos y valles de caudales simulados y observados con buena coincidencia. Sin embargo, se observa una constante tendencia a infraestimar los valores observados, por parte de la simulación. En la gráfica intermedia los valores observados en la estación hidrométrica Tlautla y los valores simulados del segmento hidrológico representativo de SWAT+, Channel 015, los picos coinciden en términos de tiempo, pero hay diferencias notables en la magnitud, especialmente en los picos de 2014 y 2016 donde los valores simulados son mayores que los observados y el pico de 2015 donde lo contrario se observa. Finalmente, la gráfica inferior de valores de caudales simulados en el segmento Channel 033 muestra una buena coincidencia con los valores observados en la estación hidrométrica Las Rosas con la misma discrepancia en los picos presentados para el año 2015 donde los valores simulados son notoriamente menores a los observados.

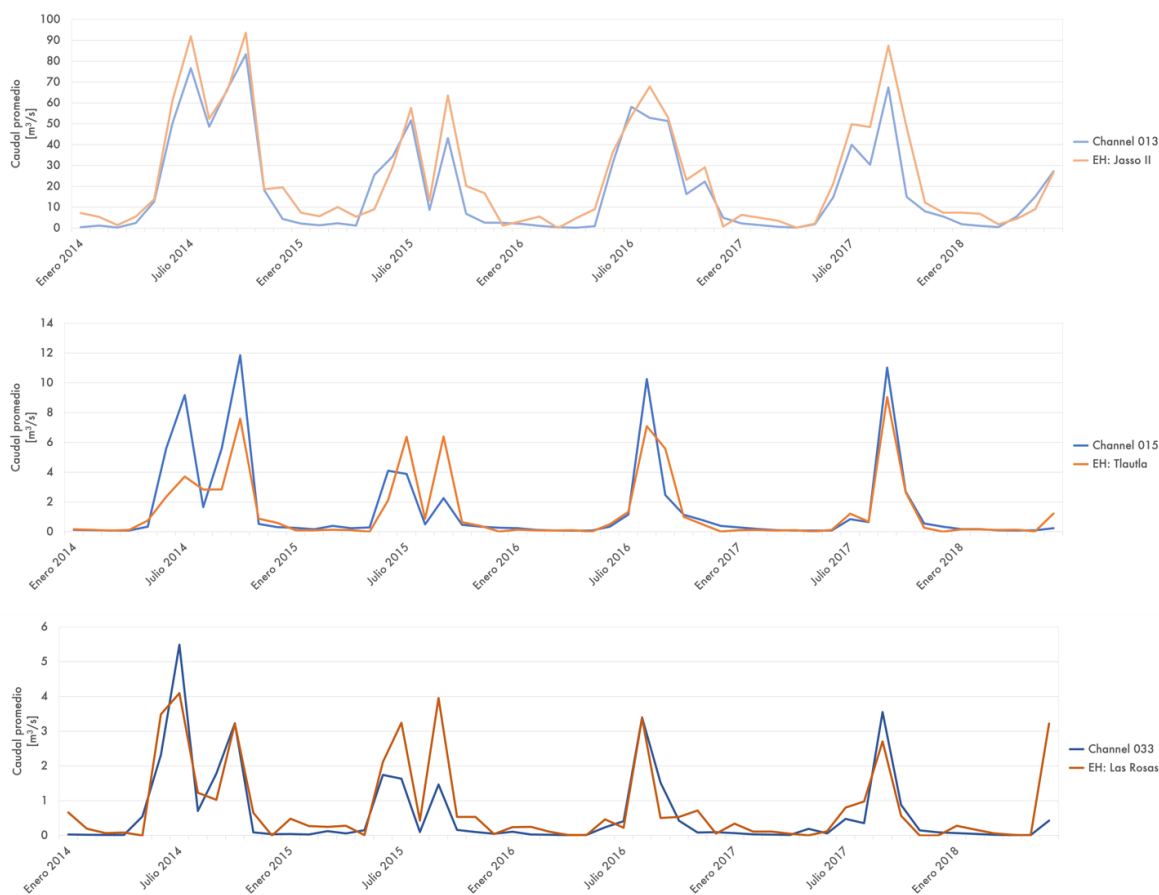


Figura 21: Hidrograma de caudales observados (naranja) en las estaciones hidrométricas (de arriba abajo) Jasso II, Tlautla y Las Rosas y caudales simulados (azul) en las secciones hidrológicas del modelo SWAT+ de la cuenca hidrológica de la presa Endhó (de arriba abajo) Channel 013, Channel 015 y Channel 033

La Tabla 33 muestra los valores de los estadísticos NSE, RSR y PBIAS al comparar los conjuntos de valores simulados en el modelo SWAT+ y observados en las estaciones hidrométricas Jasso II, Tlautla y Las Rosas. Además, muestra las evaluaciones que se asocian con los resultados de los estadísticos. La estación Jasso II muestra una clasificación excelente de NSE y RSR y un PBIAS satisfactorio. La comparación de resultados de la modelación hidrológica con datos observados demuestran tres evaluaciones de excelente desempeño (NSE y RSR de Jasso II y NSE de Las Rosas), dos de buen desempeño (NSE y PBIAS en Tlautla) y cuatro satisfactorias (RSR de Tlautla y Las Rosas y PBIAS de Jasso II y Las Rosas).

Tabla 33: Valores de los estadísticos y evaluación del desempeño del modelo de la simulación hidrológica

Parámetro	Estación	NSE		RSR		PBIAS	
Caudal medio mensual	Jasso II	E	0.84	E	0.36	S	-22
	Tlautla	B	0.73	S	0.67	B	14
	Las Rosas	E	0.77	S	0.62	S	-24

E: Excelente; B: Bueno; S: Satisfactorio; I: Insatisfactorio

La simulación hidrológica realizada mediante el modelo SWAT+ exhibe una habilidad consistente para capturar las tendencias estacionales en la cuenca de la presa Endhó. Tanto los datos observados como los simulados reflejan un patrón anual caracterizado por caudales elevados durante la temporada de lluvias, que abarca desde mayo hasta octubre, seguidos por una disminución marcada durante la temporada de estiaje. Este comportamiento es típico de climas subtropicales, como el que predomina en dicha cuenca. La evaluación de la habilidad predictiva del modelo se sustenta en el análisis del estadístico NSE, el cual indica una buena o mejor capacidad del modelo para predecir los caudales observados. Este indicador es fundamental en la hidrología para valorar la precisión de los modelos, donde valores cercanos a la unidad indican una excelente concordancia entre los datos simulados y observados. Además, la literatura previa respalda el uso del modelo SWAT+ en regiones con características climáticas similares (Luo et al., 2013).

Además, la calibración del modelo representa una oportunidad crucial para mejorar significativamente su capacidad de predicción cualitativa. La comparación entre los datos observados y los valores simulados en los tres sitios analizados muestra diferencias tanto en la magnitud de los picos como en los valles a lo largo del período de simulación, como se observa en la Figura 21. Este resultado se ve reflejado en los estadísticos estandarizados RSR y PBIAS, los cuales indican un desempeño satisfactorio del modelo (Tabla 33). Es importante destacar que el modelo muestra deficiencias moderadas al simular la magnitud de los caudales, lo cual sugiere la necesidad de ajustar los parámetros del modelo a través de un proceso de calibración. Estudios previos realizados en cuencas con características similares han demostrado mejoras significativas después de aplicar una calibración (Zhang et al., 2015). En contraste, este estudio no incluyó dicho proceso. Es fundamental considerar también otros factores externos que pueden influir en la capacidad del modelo, como los fenómenos meteorológicos extremos. Estos eventos pueden tener un impacto considerable en la dinámica hidrológica de la cuenca (Tan et al., 2020).

En resumen, la simulación hidrológica con el modelo SWAT+ en la cuenca de la presa Endhó no solo logra captar adecuadamente las variaciones estacionales del caudal, sino que también presenta una capacidad robusta de predicción. Sin embargo, el modelo presenta inexactitudes en la predicción cualitativa de los caudales y, se considera que la calibración del modelo SWAT+ representaría una estrategia efectiva para corregir las deficiencias identificadas.

4.3.3 Transporte reactivo de CBOD y P

La Figura 22 presenta hidrogramas que muestran la carga de CBOD medida y simulada en diferentes puntos del río Tula (Figura 20) a lo largo del tiempo, desde enero de 2014 hasta enero de 2018. Cada gráfico compara los datos de carga de DQO entre dos canales distintos. En el gráfico superior, se compara la carga de CBOD entre las observaciones en la estación DLHID1442 y los resultados de la simulación en la sección hidrológica Channel 013. Se observa que ambas curvas presentan patrones similares con picos pronunciados en las mismas fechas, sugiriendo una alta concurrencia en la variación temporal de la carga de CBOD entre estos dos conjuntos de datos. Sin embargo, se observa que en los picos los valores simulados se encuentran por encima de los valores observados. El segundo gráfico compara las cargas observadas en la estación DLHID1439 y simuladas en Channel 011, mientras que el tercer gráfico hace lo mismo entre la estación DLHID1440 y el Channel 010. En ambos casos, se aprecia nuevamente una alta similitud en los patrones de las curvas, con picos coincidentes en varias fechas, lo que indica una tendencia consistente en

la variación de la CBOD a través del tiempo y, a diferencia del gráfico superior, no se muestran diferencias importantes en los picos. En general, todos los gráficos muestran un patrón recurrente de picos elevados seguidos por periodos de bajas cargas de CBOD, lo cual representa las tendencias estacionales que afectan la calidad del agua en el río Tula.

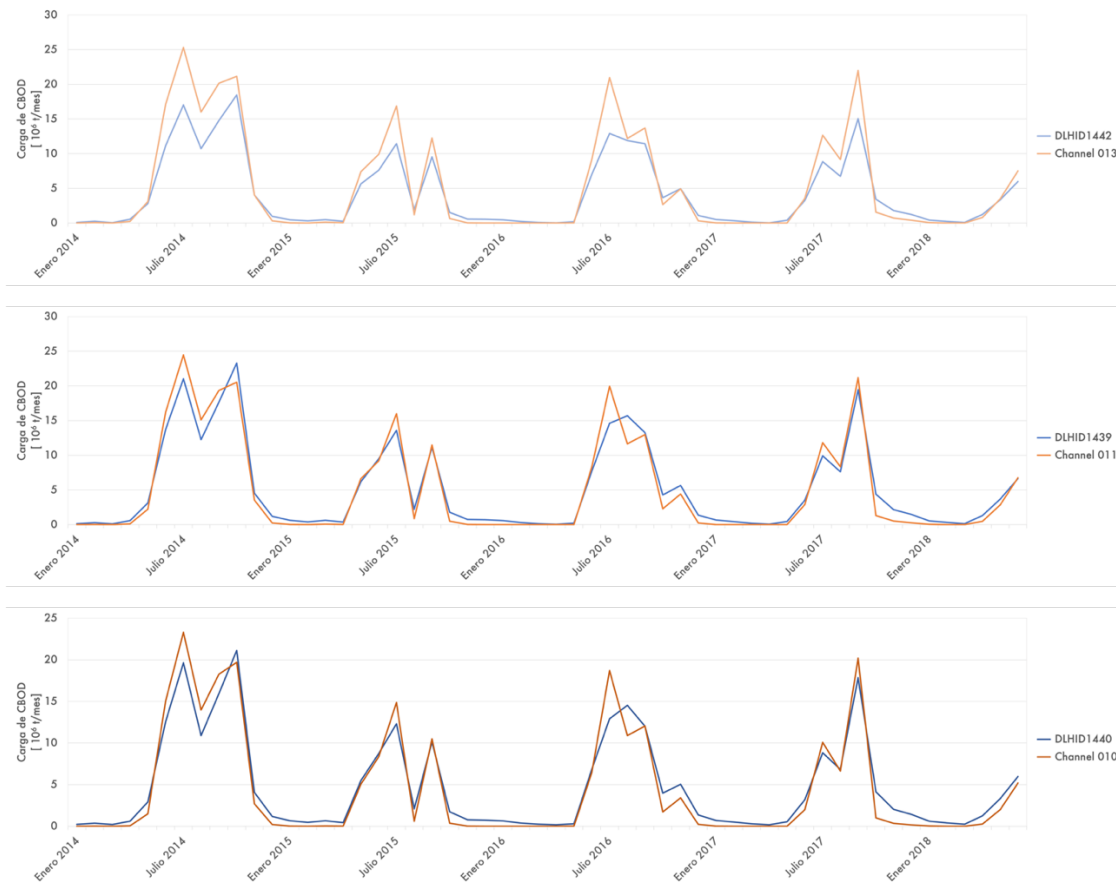


Figura 22: Hidrograma de cargas de CBOD observadas (naranja) en las estaciones de monitoreo de calidad de agua (de arriba abajo) DLHID1442, DLHID1439 y DLHID1440 y cargas de CBOD simuladas (azul) en las secciones hidrológicas del modelo SWAT+ de la cuenca hidrológica de la presa Endhó (de arriba abajo) Channel 013, Channel 011 y Channel 010

La Figura 23 presenta hidrogramas que muestran cargas simuladas y observadas de P en los mismos puntos a lo largo del río Tula (Figura 20) que los datos de cargas mensuales de CBOD. Similar a lo observado en las gráficas de la Figura 22, todos los gráficos muestran un comportamiento cíclico de picos elevados seguidos por periodos de bajas cargas de P, señal de las tendencias estacionales que afectan a estas cargas.

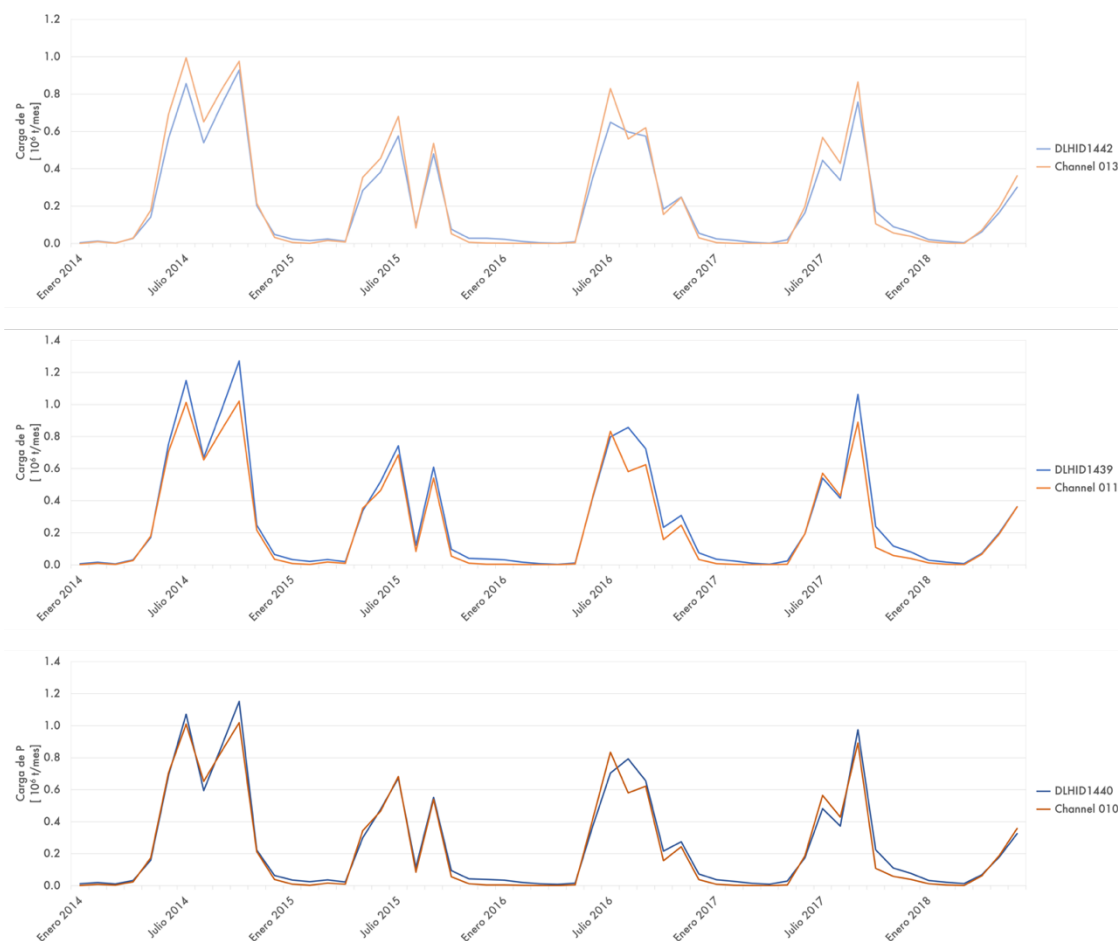


Figura 23: Hidrograma de cargas de P observadas (naranja) en las estaciones de monitoreo de calidad de agua (de arriba abajo) DLHID1442, DLHID1439 y DLHID1440 y cargas de P simuladas (azul) en las secciones hidrológicas del modelo SWAT+ de la cuenca hidrológica de la presa Endhó (de arriba abajo) Channel 013, Channel 011 y Channel 010

Los resultados de modelación del transporte reactivo (Tabla 34) muestran, de las 18 calificaciones, 16 con excelente desempeño y solamente dos se clasificaron con desempeño bueno. Sin embargo, las dos calificaciones con buen desempeño son estadísticos, que se relacionan con el sitio de monitoreo DLHID1442.

Tabla 34: Valores de los estadísticos y evaluación del desempeño del modelo en la simulación del transporte reactivo de CBOD y P

Parámetro	Estación	NSE		RSR		PBIAS	
Carga mensual de CBOD	DLHID1442	B	0.74	B	0.51	E	19
	DLHID1439	E	0.94	E	0.24	E	-4
	DLHID1440	E	0.92	E	0.28	E	-6
Carga mensual de P	DLHID1442	E	0.97	E	0.17	E	10

Parámetro	Estación	NSE		RSR		PBIAS	
	DLHID1439	E	0.95	E	0.21	E	-14
	DLHID1440	E	0.96	E	0.22	E	-7

E: Excelente; B: Bueno; S: Satisfactorio; I: Insatisfactorio

Por un lado, los resultados de la comparación de datos simulados y observados de cargas de CBOD señalan que el modelo puede mejorar si se considera la relación entre la tasa de descomposición de MO y la disponibilidad de nutrientes. Los hidrogramas comparativos de la Figura 22 muestran que, de manera constante, los valores simulados son más elevados que los valores observados en los picos, mientras que en los valles ocurre lo contrario. Esto indica que el modelo está sobreestimando la carga de CBOD durante la época de lluvias y subestimándola durante la época de estiaje. Se ha demostrado que ríos con enriquecimiento de nutrientes, como el río Tula, presentan una reducida capacidad para descomponer MO en condiciones de elevado caudal y altas cargas de nutrientes, y que el sedimento puede incrementar la carga de MO cuando el caudal y la carga de nutrientes autóctonas disminuyen (Bumpers et al., 2023). La degradación de la materia orgánica en cuerpos de agua lóticos, tal como se representa en el modelo SWAT+, depende únicamente de la temperatura del agua (Ecuación 8). Estudios previos han identificado esta deficiencia y han desarrollado modificaciones al modelo SWAT que han mostrado resultados más precisos (Jang et al., 2012).

Por otro lado, los resultados de las cargas de P apuntan a que el río Tula se encuentra saturado con nutrientes, lo cual reduce su capacidad de retención de P por debajo de lo esperado. Los hidrogramas que representan valores en las secciones hidrológicas Channel 011 y Channel 013 (Figura 23) muestran cargas simuladas por debajo de las observadas en las estaciones DLHID1439 y DLHID1440, respectivamente, en contraste con la estación DLHID1442 ubicada aguas arriba. Los estadísticos PBIAS calculados con datos de dichas estaciones (Tabla 33) muestran, a diferencia de la estación DLHID1442 anterior a la confluencia de los ríos Tlautla y Tula, valores negativos que señalan una tendencia del modelo a subestimar los valores. La capacidad de retención de sistemas fluviales se ve reducida por el enriquecimiento de P (Bumpers et al., 2023). Además, el valor asignado al parámetro con mayor influencia en la asimilación de P en ríos, la tasa de enriquecimiento de P, en el modelo de la cuenca hidrológica de la presa Endhó fue 1, el valor que el modelo SWAT+ utiliza a menos que se cambie manualmente, mientras que estudios han encontrado que modelos representativos de ríos con baja capacidad de retención logran un mejor desempeño con valores debajo de 0.6 (Dakhlalla y Parajuli, 2019).

Similar al aspecto hidrológico, la simulación tiene la capacidad de representar de forma correcta las tendencias estacionales de las cargas contaminantes, pero el modelo muestra deficiencias moderadas al simular la magnitud de las cargas de CBOD y P. El modelo SWAT+ muestra la capacidad de representar el transporte reactivo en la cuenca hidrológica de la presa Endhó, pero es importante en aplicaciones futuras implementar una calibración del modelo con datos observados de caudales y cargas de CBOD y P

4.4 Escenarios de control de cargas contaminantes

4.4.1 Identificación de escenarios candidatos

La Tabla 35 presenta la aportación a las cargas externas de CBOD y P de las fuentes emisoras AR-ZMVM, ARDp, ARDd, ARI y PEC en la presa Endhó y su aportación a la acumulación de MO en la presa Endhó.

Tabla 35: Aportación a las CE de CBOD, P y a la acumulación de MO en la presa Endhó por fuente emisora en la cuenca hidrológica de la presa Endhó

Fuente emisora	Carga externa		Aportación por fuente emisora		
	CBOD	P	CE de CBOD	CE de P	Acumulación de MO en la presa Endhó
	t/año		%		
AR-ZMVM	52,432.33	2,849.79	93.76	83.61	90.85
ARDp	2,551.24	108.67	4.56	3.19	4.17
ARDd	281.23	9.84	0.50	0.29	0.44
ARI	633.81	41.83	1.13	1.23	1.16
PEC	0.21	271.01	0.00	7.95	2.28
Fuentes antropogénicas	55,898.82	3,281.14	99.96	96.27	98.90
Total	55,921.53	3,408.35	100.00	100.00	100.00

Se puede observar que la actividad antropogénica es la causante de la acumulación de MO en la presa Endhó, ya que el 98.90 % de la acumulación de MO en la presa Endhó es causado por cargas contaminantes de origen antropogénico. Esto es un fenómeno observado mundialmente, donde actividades asociadas al desarrollo humano han aportado al incremento de cuerpos de agua con una acumulación de MO que afecta la calidad del ecosistema (Venturino et al., 2016). Además, se presenta a la descarga de agua residual proveniente de otra cuenca como la principal aportadora a la contaminación en la presa Endhó, pues el 90.85 % de las cargas contaminantes que aportan a la acumulación de MO en la presa Endhó se emite en la descarga de AR-ZMVM. El efecto negativo en la calidad del ecosistema de la cuenca receptora de agua residual por trasvase es común, aunque una buena evaluación del riesgo ambiental que considere tanto la cuenca donante como la receptora ha demostrado mitigar los efectos negativos de la transferencia de agua entre cuencas (Zhuang, 2016).

La Figura 24 presenta la comparación entre la emisión antropogénica y la carga externa de CBOD (izquierda) y P (derecha). Los resultados presentados señalan que la atenuación natural de los contaminantes es mayor durante su transporte terrestre en comparación con su transporte acuático. Según los datos recopilados, más del 95 % del CBOD y del P emitidos en el ARDd se atenúan durante su transporte hasta la presa Endhó. En la PEC, esta cifra alcanza el 60 %. En contraste, la atenuación de las emisiones provenientes de fuentes puntuales no supera el 31.06 % en ninguna de las áreas estudiadas, ya sea el ARDp o el ARI, ni para ninguna de las sustancias, CBOD o P. Se razona que esto es debido a que las emisiones de fuentes difusas tienen una mayor oportunidad de interacción con el medio ambiente por la reducida velocidad de transporte en el suelo en comparación con el transporte en ríos (Simpson et al., 2019).

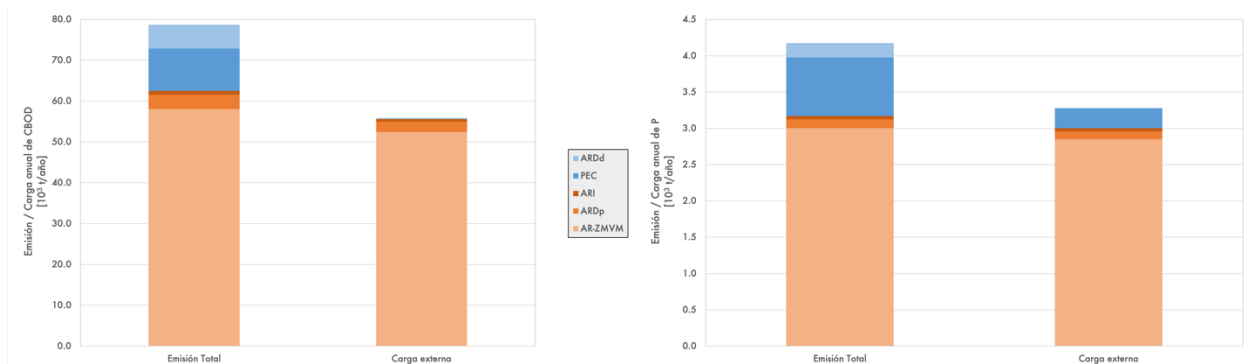


Figura 24: Aportación a la carga externa de CBOD y P de la presa Endhó segregada por fuente emisora

Además, la atenuación natural de la MO, representada por el parámetro CBOD, es ligeramente mayor en comparación con la de P. Los datos muestran que el 28.99 % del CBOD emitido es retenido durante su transporte a la presa Endhó, mientras que solo el 21.25 % del P emitido es atenuado en el mismo trayecto. Esta diferencia en la atenuación natural entre CBOD y P puede atribuirse a las distintas propiedades físicas y químicas de estos contaminantes, que afectan su interacción con el medio ambiente durante el transporte. Es importante mencionar que el modelo utilizado en el estudio considera una tasa de degradación única para el CBOD, sin diferenciar su origen (Ecuación 8).

Sin embargo, es posible que la atenuación natural de la materia orgánica sea diferente si se consideraran diferentes tasas de degradación basadas en la biodegradabilidad específica de las fuentes. Un estudio realizado por Hansen et al. (2022) encontró una menor degradación del CBOD al incorporar diferentes tasas de degradación en el modelo. Estos hallazgos sugieren que una aproximación más detallada y diferenciada podría mejorar la precisión de las estimaciones de atenuación natural, lo que a su vez podría influir en las estrategias de manejo y mitigación de la contaminación.

En conclusión, el orden de prioridad de las fuentes emisoras de la mayor aportadora a la acumulación de la MO en la presa Endhó hasta la menor es el siguiente: AR-ZMVM, ARDp, PEC, ARI y ARDd. (Tabla 35). Se desarrollaron escenarios de control, que representen la gradual implementación de BMP en fuentes emisoras. Además, se propusieron escenarios con y sin BMP, que recuperen y reciclen P (Tabla 36).

Tabla 36: Escenarios candidatos de control de cargas contaminantes mediante implementación gradual de BMP sin recuperación de P (I – V) y con recuperación de P (VI – X) en fuentes emisoras antropogénicas y emisión total resultante en cada escenario de control de cargas contaminantes

Escenario de control		Implementación de BMP					Emisión total (10 ³ t/año)	
		AR-ZMVM	ARDp	PEC	ARI	ARDd	CBOD	P
Actual		NA	NA	NA	NA	NA	78.72	4.18
SRP	I	EBPR	NA	NA	NA	NA	21.23	1.22
	II	EBPR	EBPR	NA	NA	NA	17.72	1.10
	III	EBPR	EBPR	RCG_5	NA	NA	7.87	0.34

Escenario de control		Implementación de BMP					Emisión total (10^3 t/año)	
		AR-ZMVM	ARDp	PEC	ARI	ARDd	CBOD	P
	IV	EBPR	EBPR	RCG_5	EBPR	NA	7.00	0.29
	V	EBPR	EBPR	RCG_5	EBPR	Humedal	1.24	0.10
CRP	VI	RQP + TBC	NA	NA	NA	NA	23.56	1.49
	VII	RQP + TBC	RQP + TBC	NA	NA	NA	20.19	1.38
	VIII	RQP + TBC	RQP + TBC	RCG_5	NA	NA	10.34	0.61
	IX	RQP + TBC	RQP + TBC	RCG_5	RQP + TBC	NA	9.46	0.57
	X	RQP + TBC	RQP + TBC	RCG_5	RQP + TBC	Humedal	3.94	0.38

SRP: Sin recuperación de P; CRP: Con recuperación de P

4.4.2 Evaluación de escenarios

La Figura 25 presenta las cargas externas de CBOD (en azul) y P (en naranja) resultantes después de la implementación de BMP para controlar las cargas contaminantes en los escenarios I – X (Tabla 36). Además, se compara con la carga externa actual (línea roja) y el objetivo de reducción de ambas cargas (línea verde).

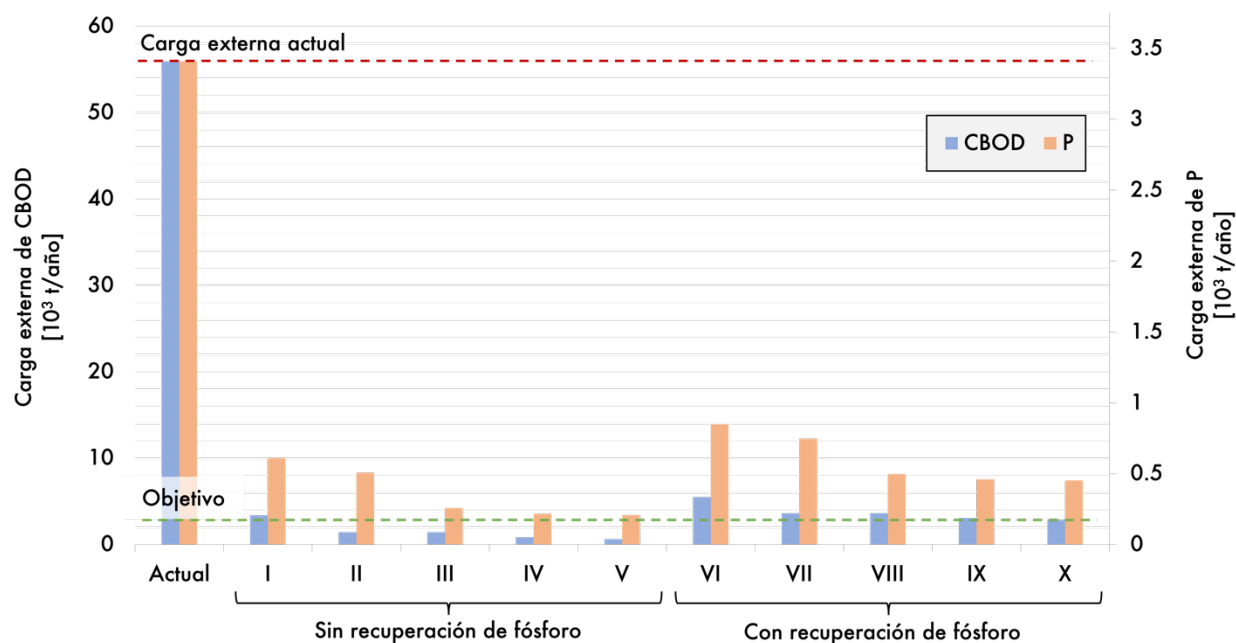


Figura 25: Cargas externas de CBOD y P resultantes para cada escenario de control de cargas contaminantes

Se observa que el control de cargas contaminantes de P tiene una mayor dificultad que el control de la carga contaminante de CBOD. En todos los escenarios de control de cargas contaminantes hay una reducción mayor en la carga resultante de CBOD que de P, después de implementar BMP para controlar emisiones, esto puede deberse a la mayor dificultad de remover P en agua residual (Cornel y Schaum, 2009) y, además, que la propia degradación de MO en los cuerpos agua, representa una fuente autóctona de P (Bartoszek, 2023). Además, se identifica la necesidad de una implementación adicional de BMP que reduzca las cargas contaminantes dentro del cuerpo de agua, pues en ningún escenario simulado se alcanza el objetivo de

reducción de la CE de P de 95 % de la carga externa en el escenario actual. La aplicación de BMP que inactiven P dentro del cuerpo de agua ha sido crucial para la remediación de cuerpos de agua (Yang et al., 2024). Sin embargo, se ha encontrado que la reducción de P biológicamente disponible en cuerpos de agua es menor que el P inactivado. Esto debe de considerarse, pues afecta la eficiencia de los tratamientos en el cuerpo de agua (Wang et al., 2017)

En la Tabla 37 se presentan los costos de implementación de BMP considerados en cada escenarios (Tabla 36) y el valor de los beneficios. Los costos se separan por la ubicación de la implementación de BMP, en fuentes emisoras se consideraron los BMP presentados en la Tabla 36 y en el cuerpo de agua la aplicación de Phoslock y la oxigenación hpolimnética. Los beneficios ambientales fueron la disminución en las cargas externas de P y CBOD, mientras que los socioeconómicos consideraron el incremento de turismo, la disminución de la incidencia de enfermedades gastrointestinales y la producción de estruvita.

Tabla 37: Valor de los costos de la implementación de BMP en fuentes emisoras y dentro del cuerpo de agua y los beneficios ambientales y socioeconómicos de cada escenario de control de emisiones antropogénicas

EC		Costos de la implementación de BMP (10 ⁶ mxn)			Valor de los beneficios (10 ⁶ mxn)		
		Fuentes emisoras	Cuerpo de agua	Total	Ambientales	Socio-económicos	Total
SRP	I	43,907.87	18,365.76	62,273.63	55,348.90	8,990.24	64,339.14
	II	45,170.68	13,864.91	59,035.59	57,402.66	8,990.24	66,392.91
	III	51,327.95	4,347.91	55,675.86	61,968.39	8,990.24	70,958.64
	IV	52,426.12	2,801.00	55,227.13	62,755.05	8,990.24	71,745.30
	V	52,537.39	2,500.46	55,037.84	62,917.04	8,990.24	71,907.29
CRP	VI	33,653.76	27,782.36	61,436.12	50,794.81	8,990.24	59,785.06
	VII	34,772.89	23,581.98	58,354.87	52,826.57	9,599.04	62,425.62
	VIII	40,930.15	14,064.30	54,994.46	57,393.88	9,626.30	67,020.18
	IX	41,872.50	12,651.89	54,524.39	58,112.97	9,626.30	67,739.27
	X	41,983.76	12,351.00	54,334.76	58,274.00	9,636.07	67,910.07

La implementación de BMP que reduzcan CBOD y P en el sitio de su emisión es económicamente preferible a la implementación de BMP en el sitio donde se produce la contaminación. El análisis de los diferentes escenarios muestra que el escenario I presenta costos totales mayores que el escenario II, el cual a su vez presenta costos menores que el escenario III y, así sucesivamente, hasta el escenario VI. Esta tendencia se mantiene del escenario VI al X, evidenciando que los costos totales disminuyen a medida que más fuentes emisoras implementan BMP para reducir sus emisiones en el punto de origen. A medida que se incrementa el número de fuentes emisoras que adoptan BMP para reducir sus emisiones, se observa una reducción en el costo total de las BMP requeridas para alcanzar el objetivo de control de cargas contaminantes. Esto sugiere que la adopción de medidas preventivas en el origen de la contaminación es más costo-efectiva que las medidas correctivas aplicadas en el sitio de acumulación de contaminantes. De forma similar, el estudio de Tammeorg et al. demostró que la reducción de emisiones en la fuente es la forma más sostenible de controlar las cargas contaminantes en lagos, reforzando la conclusión de que las estrategias preventivas son

más eficientes y sostenibles. Aunque es posible complementar las BMP que reducen contaminantes en el cuerpo de agua, es importante considerar que estas prácticas también pueden generar productos económicamente valiosos y aumentar la competitividad de las mismas. Esta sinergia entre la reducción de contaminantes y la generación de beneficios económicos adicionales, como lo menciona Tammeorg et al. (2022), subraya la importancia de implementar BMP de manera estratégica, tanto en el sitio de emisión como en el sitio de acumulación, para maximizar tanto los beneficios ambientales como los económicos.

Además, se demuestra que es indispensable el desarrollo de instrumentos económicos respaldados en el mercado para incentivar la realización de proyectos enfocados a la mejora de la calidad del agua. En todos los escenarios, los beneficios ambientales, los cuales actualmente no tienen un valor de mercado, son responsables de más del 80 % del valor total de los beneficios. Casos de éxito han demostrado la plausibilidad de implementar dichos instrumentos, especialmente en países en desarrollo, aunque se requirió del fortalecimiento paralelo de las instituciones encargadas de implementar el control de cargas contaminantes (Kathuria, 2006)

En la Figura 26 se presentan los costos (en rojo), beneficios totales (en verde) de cada escenario I – X (Tabla 36) y el retorno final a 20 años. Estos resultados indican que la inclusión de más fuente emisoras en la implementación de control de emisiones es económicamente preferible. Pues los escenarios con un mayor número de fuentes emisoras con BMP para reducir emisiones, los escenarios V y X, muestran un mayor retorno positivo en comparación a sus equivalentes con menos fuentes emisoras con BMP para reducir emisiones. En la mayoría de casos se ha encontrado que un control de emisiones tanto difusas como puntuales es esencial para alcanzar una mejor en la calidad de agua de lagos contaminados (Rissman y Carpenter, 2015).

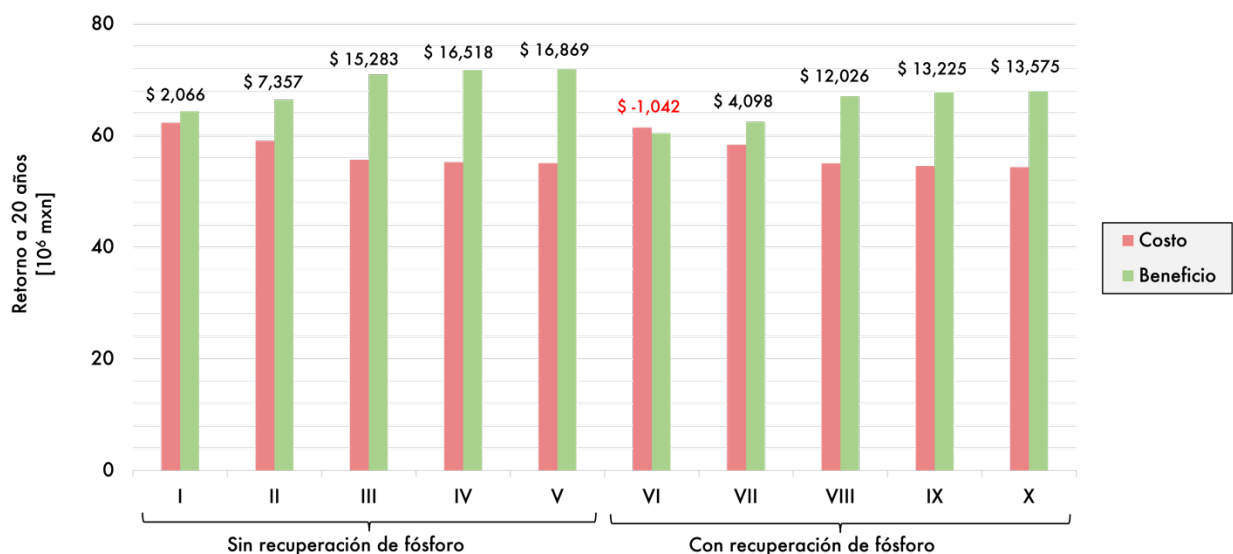


Figura 26: Costos, beneficios y retorno a 20 años de la aplicación de escenarios de control de cargas contaminantes

Además, se puede observar, que la implementación de BMP sin recuperación de fósforo es económicamente preferible a la implementación de BMP con recuperación de fósforo, hallazgo que ha sido expuesto en evaluaciones similares (Bashar et al., 2018; García-Belinchón et al., 2013). Asimismo, se considera

pertinente considerar que, debido a la escasez mundial de fertilizante y el incremento de los precios de cultivos, actualmente se está incrementando el valor de la estruvita como fertilizante alternativo (Achilleos et al., 2022). En un futuro cercano, dicho incremento en el valor de mercado de la estruvita, puede modificar los resultados de la evaluación económica y favorecer la implementación de BMP con recuperación de P.

Esto nos lleva a la conclusión que el escenario más lucrativo actualmente, es el V, que representa el control de emisiones en todas las fuentes con implementación de BMP pero sin recuperación de P (Figura 26). Aunque es importante considerar que esta evaluación no considero aspectos puramente sociales y la zona de estudio ha sido terreno de importantes conflictos sociales que han influenciado en la administración hídrica de la región (La Jornada, 2023).

Los resultados demuestran que, si se busca mejorar la calidad del agua en la presa Endhó, no es suficiente el control de las emisiones provenientes de la ZMVM. Más bien, es necesario un control adicional de las emisiones generadas dentro de la cuenca hidrológica de la presa Endhó, preferiblemente de todas las fuentes tanto puntuales como difusas. Esto afirma los resultados obtenidos en CAME-IMTA (2022), aun cuando se considera la atenuación de las cargas contaminantes en agua y suelo. Además, se comprueba la viabilidad ambiental y económica del control de emisiones antropogénicas en la zona de estudio.

5 Conclusiones

El modelo SWAT+ mostró ser apto para representar la hidrología y el transporte reactivo de CBOD y P en la cuenca hidrológica de la presa Endhó, aunque la implementación de una calibración se mantiene pendiente, ya que, aunque la simulación tiene la capacidad de representar de forma correcta las tendencias estacionales, el modelo muestra deficiencias moderadas al simular la magnitud de las cargas de CBOD y P

Se presentó un inventario de emisiones antropogénicas representativo de las fuentes emisoras en la zona de estudio y se identificó que el AR-ZMVM es la fuente dominante en las emisiones totales, mientras que las fuentes difusas son responsables de la mayoría de las emisiones generadas dentro de la cuenca hidrológica.

Paralelamente, se identificó que la actividad antropogénica es la causante de la acumulación de MO en la presa Endhó y, más detalladamente, la descarga de agua residual proveniente de otra cuenca, el AR-ZMVM, es la causante principal de la contaminación en la presa Endhó. Además, se observó que las emisiones puntuales generadas dentro de la cuenca hidrológica son una prioridad por encima de las emisiones difusas, debido a la mayor atenuación natural de las últimas.

Finalmente, se demostró la necesidad de la reducción de la carga de P en el cuerpo de agua adicional al control de emisiones para alcanzar una mejora en la calidad de agua de la presa Endhó. Sin embargo, la implementación del control de cargas contaminantes en la cuenca hidrológica de la presa Endhó es posible y viable económicamente. Se presentó el control de las descargas puntuales de agua residual de la ZMVM, doméstica e industrial y de las emisiones difusas por agua residual doméstica y actividad pecuaria como el escenario más apto para implementar con BMP que se enfoquen en la reducción máxima posible de las emisiones, sin considerar una recuperación de P.

5.1 Recomendaciones

Se desconoce el efecto que el control de las emisiones antropogénicas tendrá en la infiltración y la calidad del agua subterránea. El acoplamiento de un modelo hidrológico subterráneo con el modelo presentado en este trabajo puede ampliar el alcance de la evaluación presentada.

6 Referencias

- Abyar, H., Nowrouzi, M. y Rostami, A. (2022). A comprehensive study of biological phosphorus removal systems from economic and environmental perspectives based on the optimization approach. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102811. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102811>
- Achilleos, P., Roberts, K. R. y Williams, I. D. (2022) Struvite precipitation within wastewater treatment: A problem or a circular economy opportunity?. *Heliyon*, 8(7), e09862. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09862>
- Amdur, M. O. (1989). Health effects of air pollutants: Sulfuric acid, the old and the new. *Environmental Health Perspectives*, 81, 109-122. <https://doi.org/10.1289/ehp.8981109>
- ASABE [American Society of Agricultural and Biological Engineers] (2017) *Guidelines for Calibrating, Validating, and Evaluating Hydrologic and Water Quality (H/WQ) Models*. ASABE Engineering Practice. Recuperado de: <https://swat.tamu.edu/media/115778/ep621.pdf>
- Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., Santhi, C., Harmel, R. D., Van Griensven, A., Van Liew, M. W. y Kannan, N. (2012). SWAT: Model Use, Calibration, and Validation. *Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers)*(4), 1241–1247. <https://swat.tamu.edu/media/90102/azdezas.pdf>
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S. y Williams, J. R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73–89. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>
- Bartoszek, L. (2023) The effect of natural organic matter (NOM) on the distribution and resources of mobile phosphorus in the bottom sediments of small retention reservoirs. *Aquatic Sciences*, 85, 107. <https://doi.org/10.1007/s00027-023-01003-4>
- Bashar, R., Gungor, K., Karthikeyan, K. G. y Barak, P. (2018) Cost effectiveness of phosphorus removal processes in municipal wastewater treatment. *Chemosphere*, 197, 280-290. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.169>
- Benedini, M. y Tsakiris, G. (2013). Mathematical Interpretation of Pollution Transport en *Water Quality Modelling for Rivers and Streams* (Vol. 70, 27-33). Springer Netherlands. ISBN 978-9400755086
- Bicknell, B. R., Imhoff, J. C., Kittler, J. L. y Donigan, A. S. (1996). *Hydrological Simulation Program - Fortran: User's Manual for Release 11*. United States Environmental Protection Agency.
- Bieger, K., Arnold, J. G., Rathjens, H., White, M. J., Bosch, D. D., Allen, P. M., Volk, M. y Srinivasan, R. (2017). Introduction to SWAT+, A Completely Restructured Version of the Soil and Water Assessment Tool. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 53(1), 115–130. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12482>
- Bingner, R. L., Theurer, F. D. y Yuan, Y. (2018) *AnnAGNPS Technical Processes*. USDA [United States Department of Agriculture]. Recuperado de: https://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/AGNPS/downloads/AnnAGNPS_Technical_Documentation.pdf
- Blázquez-Pallí, N. (2015) Restoration of eutrophic lakes via nutrient inactivation in sediments and water. A comparison of two methods to reduce internal phosphorus cycling in lakes: Aluminium versus Phoslock. PhD thesis, *SLU, Sveriges Lantbruksuniversitet*. 10.13140/RG.2.2.20440.96001
- Blomquist, W. y Schlager, E. (2005) Political Pitfalls of Integrated Watershed Management. *Society & Natural Resources*, 18(2), 101-117. <https://doi.org/10.1080/08941920590894435>
- Borah, D. K., Ahmadisharaf, E., Padmanabhan, G., Imen, S. y Mohamoud, Y. M. (2019). Watershed Models for Development and Implementation of Total Maximum Daily Loads. *Journal of Hydrologic Engineering*, 24(1), Artículo 03118001, 3118001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001724](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001724)

- Borah, D. K., Xia, R. y Bera, M. (2001) *DWSM – A Dynamic Watershed Simulation Model for Studying Agricultural Nonpoint Source Pollution*. ASABE [American Society of Agricultural and Biological Engineers]. Recuperado de:
<https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?JID=5&AID=7317&CID=sca2001&T=1>
- Bumpers, P. B., Rosemond, A. D., Manning, D. W. P., Kominoski, J. S., Benstead, J. P y Demi, L. M. (2023) Experimental nutrient enrichment of forest streams reduces ecosystem nitrogen and phosphorus storage. *Limnology and Oceanography*, 68(7), 1670-1685.
<https://doi.org/10.1002/lno.12376>
- Burnett, K., Wada, C. y Balderston, A. (2017) Benefit-cost analysis of watershed conservation on Hawai'i Island. *Ecological Economics*, 131, 262-274. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.09.013>
- Camacho, C. (2007, 17 de febrero). Altamente contaminadas, dos presas de Hidalgo. *La Jornada*. Recuperado de:
<https://www.jornada.com.mx/2007/02/17/index.php?section=estados&article=033n1est>
- Carey, C. C., Hanson, P. C., Thomas, R. Q., Gerling, A. B., Hounshell, A. G., Lewis, A. S. L., Lofton, M. E., McClure, R. P., Wander, H. L., Woelmer, W. M., Niederlehner, B. R. y Schreiber, M. E. (2022). Anoxia decreases the magnitude of the carbon, nitrogen, and phosphorus sink in freshwaters. *Global Change Biology*, 28(16), 4861–4881.
<https://doi.org/10.1111/gcb.16228>
- CARD [Center for Agricultural and Rural Development]. (2023). *SWAT Literature Database for Peer-Reviewed Journal Articles*. Iowa State University of Science and Technology.
https://www.card.iastate.edu/swat_articles/
- Chen, D., Hu, M., Guo, Y. y Dahlgren, R. A. (2015) Reconstructing historical changes in phosphorus inputs to rivers from point and nonpoint sources in a rapidly developing watershed in eastern China, 1980-2010. *Science of The Total Environment*, 533, 196-204.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.079>
- Chow, V. T., Maidment, D. R. y Mays, L. W. (1988). *Muskingum-Cunge Method en Applied Hydrology* (Vol. 1, pp. 302-309). McGraw-Hill, Inc. ISBN 0-07-010810-2
- Cifuentes, E. (1996). *Impact of wastewater irrigation on intestinal infections in a farming population in Mexico*. PhD thesis, London School of Hygiene & Tropical Medicine.
<https://doi.org/10.17037/PUBS.00682293>
- CAME-IMTA [Comisión Ambiental de la Megalópolis e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua]. (2022). *Informe del proyecto "Dimensión del mejoramiento de la calidad del agua de la presa Endhó, Hgo. " realizado bajo convenio con el Fideicomiso No. 1490 "Para apoyar los programas, proyectos y acciones ambientales de la Megalópolis"*
- CNDH [Comisión Nacional de los Derechos Humanos] (2014). *El derecho humano al agua potable y saneamiento (núm. SALU/CART/028)*. Recuperado de: <https://www.cndh.org.mx/documento/el-derecho-humano-al-agua-potable-y-saneamiento#:~:text=El%20derecho%20humano%20al%20agua%20es%20indispensable%20para%20vivir%20dignamente,s%C3%B3lo%20como%20un%20bien%20econ%C3%B3mico.>
- CONAGUA [Comisión Nacional del Agua] (2019a). *Proyectos de Agua Potable en Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado* (Vol. 4, pp. 7-32). ISBN: 978-607-626-036-4
- CONAGUA [Comisión Nacional del Agua] (2019b). *Identificación y análisis de procesos en Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales* (Vol. 25, pp 193-232). ISBN: 978-607-626-015-9
- CONAGUA [Comisión Nacional del Agua] (2019c). *Consideraciones de planeación en Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales - Humedales Artificiales* (Vol. 30, pp. 79-84). ISBN: 978-607-626-010-4
- CONAGUA [Comisión Nacional del Agua] (2023a). *Registro Público de Derechos de Agua*.
<https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>

- CONAGUA [Comisión Nacional del Agua] (2023b) Sistema Nacional de Información del Agua. SEMARNAT [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales]. Recuperado de: <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/>
- CONAGUA [Comisión Nacional del Agua]. (2023c). *Red Nacional de Medición de la Calidad del Agua*. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>
- Cornel P. y Schaum, C. (2009) Phosphorus recovery from wastewater: needs, technologies and costs. *Water Science & Technology*, 59(6), 1069-1076. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.045>
- Croley, T. E., He, C. y Lee, D. H. (2005). Distributed-Parameter Large Basin Runoff Model. II: Application. *Journal of Hydrologic Engineering*, 10(3), 182–191. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2005\)10:3\(182\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2005)10:3(182))
- Daggupati, P., Yen, H., White, M. J., Srinivasan, R., Arnold, J. G., Keitzer, C. S. y Sowa, S. P. (2015). Impact of model development, calibration and validation decisions on hydrological simulations in West Lake Erie Basin. *Hydrological Processes*, 29(26), 5307–5320. <https://doi.org/10.1002/hyp.10536>
- Dakhlalla, A. O. y Parajuli, P. B. (2019) Assessing model parameters sensitivity and uncertainty of streamflow, sediment, and nutrient transport using SWAT. *Information Processing in Agriculture*, 6(1), 61-72. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.08.007>
- Deng, X., Zhao, Y., Wu, F., Lin, Y., Lu, Q y Dai, J. (2011) Analysis of the trade-off between economic growth and the reduction of nitrogen and phosphorus emissions in the Poyang Lake Watershed, China. *Ecological Modelling*, 222(2), 330-336. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.08.032>
- DHI. (2023). *MIKE SHE: User Guide and Reference Manual*. https://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/Water_Resources/MIKE_SHE_Print.pdf
- Díaz, R. J. y Breitburg, D. L. (2009). The Hypoxic Environment en J. G. Richards, A. P. Farrell, C. J. Brauner (Ed.), *Fish Physiology: Hypoxia* (1 ed., Vol. 27, pp. 1-23). Elsevier. ISBN: 978-0-12-374632-0
- Dingman, S. L. (2015). Runoff Generation and Streamflow en *Physical Hydrology* (3 ed., pp. 618-643). Waveland Press, Inc. ISBN: 978-1-4786-1118-9
- Dorgham, M. M. (2013). Effects of Eutrophication en A. A. Ansari, S. S. Gill (Ed.), *Eutrophication: Causes, Consequences and Control* (Vol. 2, pp. 29-44). Springer Dordrecht. ISBN: 978-94-007-7813-9
- Echeverría Álvarez, E. y Lagunes Tejada, A. (1983) Determinación de la toxicidad de varios insecticidas en larvas de mosquito Culex sp. (Diptera: Culicidae) provenientes de la presa Endho de Tula, Hgo. *Folia entomol. Mex.* 54, 122–123.
- Evert, K. (2010). 1570 drainage basin en K. Evert, E. B. Ballard, D. J. Elsworth, I. Oquiñena, J. M. Schmerber y R. E. Stipe (Ed.), *Encyclopedic Dictionary of Landscapes and Urban Planning* (Vol. 1, pp. 257-258). Springer-Verlag. ISBN: 978-3-540-76455-7
- Fernández-Delgado, M., del Amo-Mateos, E., García-Cubero, M. T., Coca, M. y Lucas, S. (2021) Phosphorus recovery from organic waste for its agronomic valorization: technical and economic evaluation. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 97(1), 167-178. <https://doi.org/10.1002/jctb.6926>
- Ferraro, P. J., Lawlor, K., Mullan, K. L. y Pattanayak, S. K. (2012) Forest Figures: Ecosystem Services Valuation and Policy Evaluation in Developing Countries. *Review of Environmental Economics and Policy*, 6(1), 20-24. <https://doi.org/10.1093/reep/rer019>
- García-Belinchón, C., Rieck, T., Bocuhy, L., Galí, A., Rougé, P. y Fàbregas, C. (2013) Struvite recovery: pilot-scale results and economic assessment of different scenarios. *Water Practice and Technology*, 8(1), 119-130. <https://doi.org/10.2166/wpt.2013.013>
- Getahun, E. y Keefer, L. (2016) Integrated modeling system for evaluating water quality benefits of agricultural watershed management practices: Case study in the Midwest. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 8, 14-29. <https://doi.org/10.1016/j.swaqe.2016.06.002>
- Glibert, P. M., Landsberg, J. H., Evans, J. J., Al-Sarawi, M. A., Faraj, M., Al-Jarallah, M. A., Haywood, A., Ibrahim, S., Klesius, P., Powell, C. y Shoemaker, C. (2002). A fish kill of massive

- proportion in Kuwait Bay, Arabian Gulf, 2001: the roles of bacterial disease, harmful algae, and eutrophication. *Harmful Algae*, 1(2), 215–231. [https://doi.org/10.1016/S1568-9883\(02\)00013-6](https://doi.org/10.1016/S1568-9883(02)00013-6)
- González Laurrabaquio, J. C. y Gómez Ponce, M. A. (2008) *Estudio Biológico-Pesquero, Socioeconómico y Elaboración del Plan de Manejo del Embalse de la Presa Requena, Municipio de Tepeji del Río de Ocampo*. UAEH (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo). Recuperado de: <http://docencia.uaeh.edu.mx/estudios-pertinencia/docs/hidalgo-municipios/Tepeji-Del-Rio-De-Ocampo-Informe-Final-Presa-Requena.pdf>
- Hansen, A. M., Díaz-Valencia, S. y Sandoval-Chacón, D. A. (2022) Natural attenuation and its impact on reactive carbon loads to a eutrophic reservoir located in a mountain temperate zone. *Applied Geochemistry*, 146, 105466. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2022.105466>
- Helming, J. y Reinhard, S. (2009) Modelling the economic consequences of the EU Water Framework Directive for Dutch agriculture. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 114–123. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.07.002>
- Hernández Olmos, P. A. (2011, 3 de marzo) Con punto de acuerdo, por el que se exhorta al Ejecutivo Federal a implantar por la secretaría de salud, la CONAGUA y la SEMARNAT medidas sanitarias y ambientales para subsanar los problemas de salud y daños ambientales producidos por la presa Endhó, en hidalgo, a cargo de la diputada Paula Angélica Hernández Olmos, del grupo parlamentario del PRI.. *Gaceta Parlamentaria*. Recuperado de: http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2011/03/asun_2743232_20110303_1299169484.pdf
- Hernández-Sancho, F., Molinos-Senante, M. y Sala-Garrido, R. (2010) Economic valuation of environmental benefits from wastewater treatment processes: An empirical approach for Spain. *Science of The Total Environment*, 408(4), 953–957. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.028>
- Higgins, S. N., Paterson, M. J., Hecky, R. E., Schindler, D. W., Venkiteswaran, J. J. y Findlay, D. L. (2018). Biological Nitrogen Fixation Prevents the Response of a Eutrophic Lake to Reduced Loading of Nitrogen: Evidence from a 46-Year Whole-Lake Experiment. *Ecosystems*, 21(6), 1088–1100. <https://doi.org/10.1007/s10021-017-0204-2>
- Hooghoudt, S. B. (1940). Bijdragen tot de kennis van eenige natuurkundige grootheden van den grond: Algemeene beschouwing van het probleem van de detailontwatering en de infiltratie door middel van parallel loopende drains, greppels, slooten en kanalen en Verslagen van landbouwkundige onderzoekingen der rijkslandbouwproefstations (Vol. 46, pp. 515–707). Algemeene Landsdrukkerij. <https://edepot.wur.nl/250838>
- Ibañez, R. (2011) Pesca Deportiva-Recreativa como un Atractivo Turístico en México. Caracterización, Estimación de su Demanda Futura y Efecto Multiplicador a Otros Sectores. *Revista de Investigación en Turismo y Desarrollo Local*, 4(10), 1–20. <https://www.eumed.net/rev/turydes/10/ri.htm>
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía]. (2000). *Modelos Digitales de Elevación. Pachuca de Soto y Ciudad de México*. <https://www.inegi.org.mx/temas/relieve/continental/#mapas>
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía]. (2007). *Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250 000 Serie II Continuo Nacional Pachuca y Ciudad de México (II)*. <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/#mapas>
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía]. (2013). *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 serie V Conjunto Nacional Pachuca de Soto y Ciudad de México (V)*. <https://www.inegi.org.mx/temas/ususuelo/>
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía]. (2020a). *Censo de Población y Vivienda 2020: Principales resultados por localidad: México e Hidalgo*. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#datos_abiertos
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía]. (2020b). *Glosario del Censo de Población y Vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/app/glosario/default.html?p=cpv2020>
- Jackson-Blake, L. A., Wade, A. J., Fitter, M. N., Butterfield, D., Couture, R.-M., Cox, B. A., Crossman, J., Ekholm, P., Halliday, S. J., Jin, L., Lawrence, D., Lepistö, A., Lin, Y., Rankinen, K.

- y Whitehead, P. G. (2016). The INtegrated CAatchment model of phosphorus dynamics (INCA-P): Description and demonstration of new model structure and equations. *Environmental Modelling & Software*, 83, 356–386. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.05.022>
- Jang, J., Jung, K. y Yoon, G. G. (2012) Modification of SWAT model for simulation of organic matter in Korean watersheds. *Water Science & Technology*, 66(11), 2355-2362. <https://doi.org/10.2166/wst.2012.465>
- Jayme-Torres, G. y Hansen, A. M. (2018). Nutrient loads in the river mouth of the Río Verde basin in Jalisco, Mexico: How to prevent eutrophication in the future reservoir? *Environmental Science and Pollution Research*, 25(21), 20497–20509. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0334-2>
- Kathuria V. (2006) Controlling water pollution in developing and transition countries—lessons from three successful cases. *Journal of Environmental Management*, 78(4), 405-426. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.05.007>
- Khare, Y. P., Naja, G. M., Paudel, R. y Martinez, C. J. (2020) A watershed scale assessment of phosphorus remediation strategies for achieving water quality restoration targets in the western Everglades. *Ecological Engineering*, 143, 105663. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105663>
- Kraus, T., Bergamaschi, B. A., Hernes, P. J., Doctor, D., Kendall, C., Downing, B. D. y Losee, R. F. (2011). How reservoirs alter drinking water quality: Organic matter sources, sinks, and transformations. *Lake and Reservoir Management*, 27(3), 205–219. <https://doi.org/10.1080/07438141.2011.597283>
- Kristensen, E. y Holmer, M. (2001). Decomposition of plant materials in marine sediment exposed to different electron acceptors (O₂, NO₃[–], and SO₄^{2–}), with emphasis on substrate origin, degradation kinetics, and the role of bioturbation. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 65(3), 419–433. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(00\)00532-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(00)00532-9)
- La Jornada (2023, 10 de abril). Protestan en Semarnat por contaminación en presa Endhó. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/notas/2023/04/10/politica/protestan-en-semarnat-por-contaminacion-en-presa-presa-endho/?from=homeonline&block=ultimasnoticias>
- Lawrence, M. G. (2005). The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air: A Simple Conversion and Applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86(2), 225–234. <https://doi.org/10.1175/BAMS-86-2-225>
- Li, L. (2019). Watershed Reactive Transport. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 85(1), 381–418. <https://doi.org/10.2138/rmg.2018.85.13>
- Lin, J. Chen, Y. y Chang, C. (2020) Costs and environmental benefits of watershed conservation and restoration in Taiwan. *Ecological Engineering*, 142, 105633. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105633>
- Luo Q., Li, Y., Wang, K. y Wu, J. (2013) Application of the SWAT model to the Xiangjiang river watershed in subtropical central China. *Water Science & Technology*, 67(9), 2110-2116. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.100>
- Lüneberg, K., Schneider, D., Siebe, C. y Daniel, R. (2018) Drylands soil bacterial community is affected by land use change and different irrigation practices in the Mezquital Valley, Mexico. *Scientific Reports*, 8, 1413. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19743-x>
- Lürling, M. y Miccu, M. (2020) Mitigating eutrophication nuisance: in-lake measures are becoming inevitable in eutrophic waters in the Netherlands. *Hydrobiologia*, 847, 4447-4467. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04297-9>
- Mara, D. D., Sleight, P. A., Blumenthal, U. J. y Carr, R. M. (2007) Health risks in wastewater irrigation: Comparing estimates from quantitative microbial risk analyses and epidemiological studies. *Journal of Water & Health*, 5(1), 39-50. <https://doi.org/10.2166/wh.2006.055>
- Marks, J. C. (2019). Revisiting the Fates of Dead Leaves That Fall into Streams. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 50(1), 547–568. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110218-024755>
- Marques-dos-Santos, C., Serra, J., Attard, G., Marcháis, U., Calvet, S. y Amon, B. (2023). Available Technical Options for Manure Management in Environmentally Friendly and Circular Livestock

- Production en T. Bartzanas (Ed.), Technology for Environmentally Friendly Livestock Production (Vol. 1, pp. 147-176). Springer Cham. ISBN: 978-3-031-19729-1
- Marsh, G. A. y Fairbridge, R. W. (1999). Lentic and lotic ecosystems en *Environmental Geology. Encyclopedia of Earth Science*. (pp. 381-388). Springer Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-4494-1_204
- Marti, E., Aumatell, J., Godé, L., Poch, M. y Sabater, F. (2004) Nutrient Retention Efficiency in Streams Receiving Inputs from Wastewater Treatment Plants. *Surface Water Quality*, 33(1), 285-293. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.2850>
- Mathai, P. P., Dunn, H. M., Magnone, P., Zhang, Q., Ishii, S., Chun, C. L. y Sadowsky, M. J. (2019). Association between submerged aquatic vegetation and elevated levels of Escherichia coli and potential bacterial pathogens in freshwater lakes. *The Science of the Total Environment*, 657, 319–324. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.484>
- Mavhungu, A., Foteinis, S., Mbaya, R., Masindi, V., Kortidis, I., Mpenyana-Montyatsi, L. y Chatzisymeon, E. (2021) Environmental sustainability of municipal wastewater treatment through struvite precipitation: Influence of operational parameters. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124856. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124856>
- Mayorga, E., Seitzinger, S. P., Harrison, J. A., Dumont, E., Beusen, A. H., Bouwman, A. F., Fekete, B. M., Kroeze, C. y van Drecht, G. (2010). Global Nutrient Export from WaterSheds 2 (NEWS 2): Model development and implementation. *Environmental Modelling & Software*, 25(7), 837–853. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.01.007>
- McElroy, A. D., Chiu, S. Y., Nebgen, J. W., Aleti, A. y Bennett, F. W. (1976). *Loading functions for assessment of water pollution from nonpoint sources*. Midwest Research Institute; United States Environmental Protection Agency.
- Merwade, V., Baffaut, C., Bieger, K., Boithias, L. y Rathjens, H. (2017). Featured Series Conclusion: SWAT Applications for Emerging Hydrologic and Water Quality Challenges. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 53(6), 1390–1392. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12601>
- Miranda-Rodríguez, J. P., García-Ubaque, C. A. y Penagos-Lodoño, J. C. (2015) Analysis of the investment costs in municipal wastewater treatment plants in Cundinamarca. *Dyna*, 82, 230-238. <https://www.redalyc.org/pdf/496/49640676026.pdf>
- Mishra, S. K. y Singh, V. P. (2003). Analytical derivation of the SCS-CN Method en *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology* (Vol. 1, pp. 147-204). Springer Dordrecht. ISBN: 978-90-481-6225-3
- Molinos-Senante, M., Hernández-Sancho, F. y Sala-Garrido, R. (2010) Economic feasibility study for wastewater treatment: A cost–benefit analysis. *Science of The Total Environment*, 408(20), 4396-4402. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.014>
- Molinos-Senante, M., Hernández-Sancho, F., Sala-Garrido, R. y Garrido-Baserba, M. (2011) Economic Feasibility Study for Phosphorus Recovery Processes. *Ambio*, 40, 408-416. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0101-9>
- Molins, S. y Knabner, P. (2019). Multiscale Approaches in Reactive Transport Modeling. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 85(1), 27–48. <https://doi.org/10.2138/rmg.2019.85.2>
- Montelongo Casanova, R., Gordillo Martínez, A. J., Otazo Sánchez, E. M., Villagómez Ibarra, J. R., Acevedo Sandoval, O. A. y Prieto García, F. (2008). Modelacion de la calidad del agua del río Tula, Estado de Hidalgo, México. *Dyna*, 75(154), 5–18. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49615402>
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. y Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers)*, 50(3), 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- NASA [National Aeronautics and Space Agency]. (2023). *Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER)*. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

- Nava Treviño, S. P. (2010) *Manifiesto de Impacto Ambiental Modalidad Particular “Construcción y Operación del Proyecto Denominado la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR Atotonilco”*. SEMARNAT [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales]. Recuperado de: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgiraDocs/documentos/hgo/estudios/2013/13HI2013H0004.pdf>
- NCP [Natural Capital Project]. (2023). *InVEST 3.14.0*. Stanford University; University of Minnesota; Chinese Academy of Sciences; The Nature Conservancy; World Wildlife Fund; Stockholm Resilience Centre; Royal Swedish Academy of Sciences. <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R. y Williams, J. R. (2011). *Soil and Water Assessment Tool - Theoretical Documentation: Version 2009*. Texas. Texas A&M University. <https://swat.tamu.edu/media/99192/swat2009-theory.pdf>
- Neumann, A., Dong, F., Shimoda, Y., Arnillas, C. A., Javed, A., Yang, C., Zamaria, S., Mandal, S., Wellen, C., Paredes, D., Feisthauer, N., Blukacz-Richards, E. A., Yerubandi, R. R. y Arhonditsis, G. B. (2021). A review of the current state of process-based and data-driven modelling: guidelines for Lake Erie managers and watershed modellers. *Environmental Reviews*, 29(4), 443–490. <https://doi.org/10.1139/er-2020-0070>
- Ninan, K. N. y Lakshmikanthamma, S. (2001) Social Cost-Benefit Analysis of a Watershed Development Project in Karnataka, India. *Ambio*, 30(3), 157–161. <https://www.jstor.org/stable/4315125>
- Oliveira Serrão, E. A. de, Silva, M. T., Ferreira, T. R., Ataíde, L. C. P. de, Wanzeler, R. T. S., Da Silva, V. d. P. R., Lima, A. M. M. de y Sousa, F. A. S. de (2021). Large-Scale hydrological modelling of flow and hydropower production, in a Brazilian watershed. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 21(1), 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.09.002>
- O'Shea, L. (2002). An economic approach to reducing water pollution: Point and diffuse sources. *The Science of the Total Environment*, 282–283, 49–63. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00938-X](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00938-X)
- Otiang'a-Owiti, G. E. y Oswe, I. A. (2007). Human impact on lake ecosystems: the case of Lake Naivasha, Kenya. *African Journal of Aquatic Science*, 32(1), 79–88.
- Polprasert, C. (2007). Characteristics of organic wastes en Organic Waste Recycling (3 ed., pp. 21-87). IWA Publishing. ISBN: 9781843491210
- Preece, E. P., Moore, B. C., Skinner, M. M., Child, A. y Dent, S. (2019) A review of the biological and chemical effects of hypolimnetic oxygenation. *Lake and Reservoir Management*, 35(3), 229–246. <https://doi.org/10.1080/10402381.2019.1580325>
- Redfield, A.C. (1934) On the Proportions of Organic Derivatives in Sea Water and Their Relation to the Composition of Plankton. *James Johnstone Memorial Volume, University Press of Liverpool*, 176–192.
- Reyes, A. (2019, 5 de septiembre). Exigen acciones a Cofepris ante emergencia en presa Endhó. *Grupo Milenio*. <https://www.milenio.com/ciencia-y-salud/medioambiente/exigen-acciones-cofepris-emergencia-presa-endho>
- Risal, A., Parajuli, P. B. y Ouyang, Y. (2020) Impact of BMPs on water quality: a case study in Big Sunflower River watershed, Mississippi. *International Journal of River Basin Management*, 20(3), 375–388. <https://doi.org/10.1080/15715124.2020.1870993>
- Rissman, A. R. y Carpenter, S. R. (2015) Progress on Nonpoint Pollution: Barriers & Opportunities. *Daedalus*, 144(3), 35–47. https://doi.org/10.1162/DAED_a_00340
- Rodríguez, N. y Nieto, J. C. (2023, 4 de septiembre). Alternativas para una agricultura sustentable en el Valle del Mezquital. *CIMMYT [Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo]*. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/alternativas-para-una-agricultura-sustentable-en-el-valle-del-mezquital/>
- Rollason, E., Sinha, P. y Bracken, L. J. (2021) Interbasin water transfer in a changing world: A new conceptual model. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 46(3), 371–397. <https://doi.org/10.1177/03091333211065004>

- Rossman, L. A. (2004). *Storm Water Management Model: User's Manual Version 5.0*. United States Environmental Protection Agency.
https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=114231
- SACMEX [Sistema de Aguas de la Ciudad de México] (2013) *El gran reto del agua en la Ciudad de México: Pasado, presente y prospectivas de solución para una de las ciudades más complejas del mundo*. Sistema de Aguas de la Ciudad de México. Recuperado de: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2013/02/El-gran-reto-del-agua-en-la-Ciudad-de-Mexico.pdf>
- Salvano, E., Rousseau, A. N., Debailleul, G. y Villeneuve, J. (2013) An Environmental Benefit-Cost Analysis Case Study of Nutrient Management in an Agricultural Watershed. *Canadian Water Resources Journal*, 31(2), 105-122. <https://doi.org/10.4296/cwrj3102105>
- Santhi, C., Arnold, J. G., Williams, J. R., Hauck, L. M. y Dugas, W. A. (2001) Application of a watershed model to evaluate management effects on point and nonpoint source pollution. *Transactions of the ASAE*, 44(6), 1559-1570. <https://doi.org/10.13031/2013.7041>
- SECTUR [Secretaría de Turismo] (2023) Compendio Estadístico del Turismo en México 2022. SECTUR [Secretaría de Turismo]. Recuperado de:
<https://datatur.sectur.gob.mx/SitePages/CompendioEstadistico.aspx>
- SEMARNAT [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales] (2018, 7 de febrero) *Acuerdo por el que se dan a conocer los resultados del estudio técnico de las aguas nacionales superficiales en las cuencas hidrológicas Arroyo Zarco, Río Nádó, Río Galindo, Río San Juan 1, Río Tecozautla, Río San Juan 2, Río Grande de Tulancingo, Río Metztlán 1, Río Metzquitlán, Río Metztlán 2, Río Amajaque, Río Claro, Río Amajac, Río Calabozo, Río Los Hules, Río Tempoal 1, Río San Pedro, Río Tempoal 2, Río Verde 1, Río Verde 2, Río Verde 3, Arroyo El Puerquito o San Bartolo, Arroyo Altamira, Río Santa María 1, Río Santa María 2, Río Santa María 3, Río Tamasopo 1, Río Tamasopo 2, Río Gallinas, Río El Salto, Río Valles, Río Tampaón 1, Río Choy, Río Coy 1, Río Coy 2, Río Tampaón 2, Río Victoria, Río Tolimán, Río Extoraz, Embalse Zimapán, Río Moctezuma 1, Río Moctezuma 2, Río Tancuicín, Río Huichihuayán, Río Moctezuma 3, Río Moctezuma 4, Río Jaumave-Chihue, Río Guayalejo 1, Río Guayalejo 2, Río Sabinas, Río Comandante 1, Río Comandante 2, Río Mante, Río Guayalejo 3, Arroyo El Cojo, Río Tantoán, Río Guayalejo 4, Río Tamesí, Río Moctezuma 5, Río Chicayán 1, Río Chicayán 2, Río Pánuco 1, Arroyo Tamacuil o La Llave y Río Pánuco 2, mismas que forman parte de la subregión hidrológica Río Pánuco de la Región Hidrológica número 26 Pánuco*. DOF [Diario Oficial de la Federación]. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/337522/2018_02_07_VES_semarnat__E.T._P_NUCO.pdf
- SEMARNAT [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales]. (2019, 16 de julio). *SEMARNAT atenderá de manera contundente los problemas ambientales de emergencia en el país | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales | Gobierno | gob.mx* [Comunicado de prensa]. <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/semarnat-atendera-de-manera-contundente-los-problemas-ambientales-de-emergencia-en-el-pais>
- SIAP [Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera]. (2023). *Anuario Estadístico de la Producción Ganadera*. Recuperado de: https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/
- SMN [Servicio Meteorológico Nacional]. (2023a). Base de datos Climatológica: Climatología Diaria 13075 - Jasso. CONAGUA [Comisión Nacional del Agua]. Recuperado de:
<https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Diarios/13075.txt>
- SMN [Servicio Meteorológico Nacional]. (2023b). Base de datos Climatológica: Climatología Diaria 13080 – Presa Endhó. CONAGUA [Comisión Nacional del Agua]. Recuperado de:
<https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Diarios/13080.txt>
- SMN [Servicio Meteorológico Nacional]. (2023c). Base de datos Climatológica: Climatología Diaria 13084 – Presa Requena. CONAGUA [Comisión Nacional del Agua]. Recuperado de:
<https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Diarios/13084.txt>

- SMN [Servicio Meteorológico Nacional]. (2023d). Base de datos Climatológica: Climatología Diaria 15024 – Presa Danxho. CONAGUA [Comisión Nacional del Agua]. Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Diarios/15024.txt>
- SMN [Servicio Meteorológico Nacional]. (2023e). Base de datos Climatológica: Climatología Diaria 15064 – Oxthoc. CONAGUA [Comisión Nacional del Agua]. Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Diarios/15064.txt>
- SMN [Servicio Meteorológico Nacional]. (2023f). Base de datos Climatológica: Climatología Diaria 15132– Villa del Carbón. CONAGUA [Comisión Nacional del Agua]. Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Diarios/15132.txt>
- SMN [Servicio Meteorológico Nacional]. (2023g). Base de datos Climatológica: Climatología Diaria 15333 – El Palmito. CONAGUA [Comisión Nacional del Agua]. Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Diarios/15333.txt>
- SMN [Servicio Meteorológico Nacional]. (2023h). *Información Estadística Climatológica*. CONAGUA [Comisión Nacional del Agua]. Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- Simpson, Z. P., McDowell, R. W. y Condron, L. M. (2019) Phosphorus attenuation in streams by water-column geochemistry and benthic sediment reactive iron. *Biogeosciences*, 2019, 1-35. <https://doi.org/10.5194/bg-2019-400>
- Singh, V. P. (1995). Watershed Modelling en *Computer Models of Watershed Technology* (Vol. 1, pp. 5-49). Water Resources Publications. ISBN 0918334-91-8
- Siraw, Z., Bewket, W. y Degefu, M. A. (2017) Assessment of livelihood benefits of community-based watershed development in northwestern highlands of Ethiopia. *International Journal of River Basin Management*, 18(4), 395-405. <https://doi.org/10.1080/15715124.2018.1505733>
- SNIB [Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad]. (2022). *División Política Municipal*. México. http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/dipol/mupal/mun22gw
- Solomon, C. T., Jones, S. E., Weidel, B. C., Buffam, I., Fork, M. L., Karlsson, J., Larsen, S., Lennon, J. T., Read, J. S., Sadro, S. y Saros, J. E. (2015). Ecosystem Consequences of Changing Inputs of Terrestrial Dissolved Organic Matter to Lakes: Current Knowledge and Future Challenges. *Ecosystems*, 18(3), 376–389. <https://doi.org/10.1007/s10021-015-9848-y>
- Song, Y. y Müller, G. (1999). Sediment-Water Interactions in Anoxic Freshwater Sediments: Mobility of Heavy Metals and Nutrients en *Lecture notes in earth sciences*. (Vol. 81, pp. 111). Springer-Verlag. ISBN 978-3540650225
- SMHI [Swedish Meteorological and Hydrological Institute]. (2019). *The HYPE wiki pages*. Recuperado de: <http://www.smhi.net/hype/wiki/doku.php?id=start>
- Tammeorg, O., Chorus, I., Spears, B., Nöges, P., Nürnberg, G. K., Tammeorg, P., Søndergaard, M., Jeppesen, E., Paerl, H., Huser, B., Horppila, J., Jilbert, T., Budzyńska, A., Dondajewska, Pielka, R., Gołdyn, R., Haasler, S., Hellsten, S., Härkönen, L. H., Kiani, M., ... Lüring, M. (2024) Sustainable lake restoration: From challenges to solutions. *WIREs Water*, 11(2), e1689. <https://doi.org/10.1002/wat2.1689>
- Tan, M. L., Gassman, P. W., Srinivasan, R., Arnold, J. G. y Yang, X. (2019). A Review of SWAT Studies in Southeast Asia: Applications, Challenges and Future Directions. *Water*, 11(5), 914. <https://doi.org/10.3390/w11050914>
- Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., Burton, F. L., Abu-Orf, M., Bowden, G. y Pfrang, W. (2014). Wastewater Flowrates and Constituent Loadings en (Ed.), *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5 ed., pp. 183-262). McGraw-Hill Education. ISBN: 978-0-07-340118-8
- Thomann, R. V. y Mueller, J. A. (1987). Rivers and Streams en *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control* (1 ed., pp. 29-91). Harper & Row. ISBN: 978-0-06-046677-0

- Tomei, M. C., Soria Pascual, J. y Mosca Angelucci, D. (2016). Analysing performance of real textile wastewater bio-decolourization under different reaction environments. *Journal of Cleaner Production*, 129, 468–477. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.028>
- Trenholm, R., Lantz, V., Martínez-Españeira, R. y Little, S. (2013) Cost-benefit analysis of riparian protection in an eastern Canadian watershed. *Journal of Environmental Management*, 116, 81-94. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.11.039>
- Turner, R. K., van den Bergh, J. C. J. M., Söderqvist, T., Barendregt, A., van der Straaten, J., Maltby, E. y van Ireland, E. C. (2000) Ecological-economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy. *Ecological Economics*, 35(1), 7-23. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00164-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00164-6)
- Venturino, E., Tiwari, P. K. y Misra, A. K. (2016) Modeling the depletion of dissolved oxygen in a water body located near a city. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 40(4), 1081-1094. <https://doi.org/10.1002/mma.4037>
- Viana Furtado, A. P. F., de Almeida Monte-Mar, R. C. y de Aguiar do Couto, E. (2021) Evaluation of reduction of external load of total phosphorus and total suspended solids for rehabilitation of urban lakes. *Journal of Environmental Management*, 296, 113339. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113339>
- Wagner, P. D., Bieger, K., Arnold, J. G y Fohrer, N. (2022). Representation of hydrological processes in a rural lowland catchment in Northern Germany using SWAT and SWAT+. *Hydrological Processes*, 36(5), Artículo e14589. <https://doi.org/10.1002/hyp.14589>
- Wang, C., He, R., Wu, Y., Lüring, M., Cai, H., Jiang, H. y Liu, X. (2017) Bioavailable phosphorus (P) reduction is less than mobile P immobilization in lake sediment for eutrophication control by inactivating agents. *Water Research*, 109, 196-206. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.045>
- Williams, J. R. y Hann Jr., R. W. (1978) Optimal Operation of Large Agricultural Watershed with Water Quality Constraints. Texas Water Resources Institute. Recuperado de: <https://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/6286>
- Williams, J. R., Izaurralde, R. C., Williams, C. y Steglich, E. M. (2015) Agricultural Policy / Environmental Extender Model: Theoretical Documentation Version 0806. AgriLife RESEARCH. Recuperado de: <https://epicapex.tamu.edu/media/5yndopuy/the-apex0806-theoretical-documentation-oct-2015.pdf>
- Worku, T., Khare, D. y Tripathi, S. K. (2017) Modeling runoff–sediment response to land use/land cover changes using integrated GIS and SWAT model in the Beressa watershed. *Environmental Earth Sciences*, 76, 550. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6883-3>
- Yang, C., Wang, W., Wang, G. y Yin, H. (2024) Combination of aquatic plant with phosphorus inactivation material to overcome high internal P loading in eutrophic urban lakes. *Journal of Cleaner Production*, 450, 141919. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141919>
- Yang, Y., Wang, L., Xiang, F., Zhao, L. y Qiao, Z. (2020). Activated Sludge Microbial Community and Treatment Performance of Wastewater Treatment Plants in Industrial and Municipal Zones. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph17020436>
- Yuan, L., Sinshaw, T. y Forshay, K. J. (2020). Review of Watershed-Scale Water Quality and Nonpoint Source Pollution Models. *Geosciences*, 10(25), 1–36. <https://doi.org/10.3390/geosciences10010025>
- Zan, F., Huo, S., Xi, B., Zhu, C., Liao, H., Zhang, J. y Yeager, K. M. (2012). A 100-year sedimentary record of natural and anthropogenic impacts on a shallow eutrophic lake, Lake Chaohu, China. *Journal of Environmental Monitoring*, 14(3), 804–816. <https://doi.org/10.1039/C1EM10760G>
- Zhang D., Chen, X., Yao, H. y Lin, B. (2015) Improved calibration scheme of SWAT by separating wet and dry seasons. *Ecological Modelling*, 301, 54-61. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.01.018>
- Zhou, X., Helmers, M. J., AL-Kaisi, M. y Hanna, H. M. (2009) Cost-effectiveness and cost-benefit analysis of conservation management practices for sediment reduction in an Iowa agricultural

watershed. *Journal of Soil and Water Conservation*, 64(5), 314-323.
<https://doi.org/10.2489/jswc.64.5.314>

Zhuang, W. (2016) Eco-environmental impact of inter-basin water transfer projects: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 12867-12879. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6854-3>

7 Anexos

7.1 Equivalencias uso y tipo de suelo

La siguiente tabla muestra las equivalencias de tipo de suelo entre la clave contenida en el archivo de INEGI (2007) y la base de datos incluida con el paquete de descarga de SWAT+

Dominant soil	SWAT_CODE	SOIL_ID	INEGI_CODE
Cambisol éutrico	Be-39-2ab-5158	3564	Be+Hh+l/2/L
Rendizina	E3-3bc-4695	3120	E+Hc/2/PC
	E4-2a-5175	3579	E+Vp/3/PC
			E+Vp+Hh/3/PC
Cuerpo de agua	WATER-6997	4931	H2O
Feozem calcárico	Hc2-2a-6518	4751	Hc/2/D
	Hc3-2a-6519	4752	Hc+E+Vp/2/PC
	Hc4-1a-6520	4753	Hc+Hh/2/D
Feozem húmico	Hh10-2abc-5198	3601	Hh/2/LP
			Hh+Hc/2
			Hh+Hc/2/D
			Hh+Hc+l/2/L
			Hh+Hl/2/L
			Hh+Hl/2/LP
			Hh+Hl/3/D
			Hh+l/2/L
			Hh+l+Vp/2/D
			Hh+l+Vp/2/L
			Hh+Lc+Be/2/L
			Hh+Lc+l/2/P
			Hh+Vp/2
			Hh+Vp/2/DP
			Hh+Vp/2/L
			Hh+Vp/2/LP
			Hh+Vp+l/2/L
			Hh+Vp+l/2/LP
			Hh+Vp+l/3/D
			Hh+Vp+Wm/2/L

Feozem lúvico	HI31-3ab-4743	3168	HI+Lc/2/L
			HI+Lc+Hh/2/DP
			HI+Lc+Tm/2
			HI+Th/2
			HI+Tm+Lc/2/LP
Litosol	I-E-c-5203	3605	I+E/2
	I-Hh-1c-6289	4554	I+Hh+E/2
			I+Hh+Vp/2
Luvisol crómico	Lc3-2a-4884	3304	Lc/2
			Lc/2/LP
	Lc34-2b-5224	3625	Lc+Hh/2
			Lc+Hh+HI/2/LP
			Lc+Hh+I/2
			Lc+HI/2
			Lc+HI/2/LP
			Lc+To/2
			Lc+To/2/DP
			Lc+I/2
	Lc34-2b-5224	3625	Lc+To+Hh/2/LP
Andosol húmico	Th1-2b-5027	3442	Th+To/2
			Th+To/2/LP
Andosol mólico	Tm5-2b-5305	3696	Tm+HI+Hh/2/LP
			Tm+Lc/2/P
Andosol ócrico	To2-2bc-5310	3701	To+HI/2/LP
Vertisol pélico	Vp21-3a-5035	3450	Vp/3
			Vp/3/DP
	Vp27-3a-5037	3452	Vp+Hh/3
			Vp+Hh/3/D
			Vp+Hh/3/L
			Vp+Hh/3/LP
			Vp+Wm/3
	Vp28-3ab-5038	3453	Vp+Hh+I/2
			Vp+Hh+I/3/DP
			Vp+Hh+I/3/LP
Planosol mólico	We17-3a-5350	3737	Wm+Bv+Vp/2

			Wm+Hh/2
			Wm+Hh+Vp/2
			Wm+Vp+Hh/2/DP
Zona urbana	URBAN-6999	4932	ZU

La siguiente tabla muestra las equivalencias de uso de suelo entre la clave contenida en el archivo de INEGI (2013) y la base de datos incluida con el paquete de descarga de SWAT+

LANDUSE_ID	SWAT_CODE	Descripción SWAT	INEGI_CODE	Descripción INEGI
0	watr	water	H2O	Cuerpo de agua
2	agrl	agricultural_land_generic	IAPF	Agrícola
81	foen	evergreen_needleleaf_forest	BA	Bosque de Oyamel
113	gras	Grassland	PI	Pastizal inducido
135	oak	Oak	VSa/BQ	Bosque de Encino
135	oak	Oak	VSa/BQP	Bosque de Encino-Pino
135	oak	Oak	BQ	Bosque de Encino
135	oak	Oak	BQP	Bosque de Encino-Pino
150	pine	Pine	VSa/BP	Bosque de Pino
150	pine	Pine	VSa/BPQ	Bosque de Pino-Encino
150	pine	Pine	BP	Bosque de Pino
150	pine	Pine	BPQ	Bosque de Pino-Encino
179	rngb_test	range_brush_temperate_steppe	MC	Matorral Crasicaule
179	rngb_test	range_brush_temperate_steppe	VSa/MC	Matorral Crasicaule
243	urbn_warm	urban warm	ZU	Zonas urbanas
243	urbn_warm	urban warm	DV	Sin vegetación aparente
243	urbn_warm	urban warm	AH	Asentamientos humanos
243	urbn_warm	urban warm	ADV	Sin vegetación aparente

7.2 Datos climatológicos

La siguiente tabla se nombró WGEN_Endho_stat, como lo requiere SWAT+, y presenta las estaciones climatológicas que se consideran en el modelo hidrológica de la presa Endhó, su ubicación y la cantidad de años en los que se tienen datos observados de precipitación diaria.

id	name	lat	lon	elev	rain_yrs
1	El Palmito	19.917	-99.68	2641	6
2	Jasso	19.99	-99.332	2061	6
3	La Canada	19.782	-99.473	2496	6

4	Oxthoc	20.12	-99.544	2353	7
5	Presa Danxho	19.886	-99.555	2490	6
6	Presa Requena	19.964	-99.312	2123	7
7	Presa Endho	20.155	-99.355	2035	7
8	Villa del Carbon	19.782	-99.473	2496	6

A continuación, se presenta la tabla denominada WGEN_Endho_mon, como lo requiere SWAT+, para presentar valores climatológicos mensuales observados por las estaciones climatológicas que se consideran en el modelo hidrológica de la presa Endhó. Por motivos de presentación, la primera columna se muestra en un formato que facilite la exposición de la tabla en el documento.

wgn_id	month	ttmp_max_ave	ttmp_min_ave	ttmp_max_sd	ttmp_min_sd	pcp_ave	pcp_sd	pcp_skew	wet_dry	wet_wet	pcp_days	pcp_lhr	slr_ave	dew_ave	wnd_ave
1	1	34.532	19.747	9.998	13.436	0.126	0.704	6.517	0.875	0.125	1.333	2	17.699	12.715	1.861
1	2	34.641	19.441	9.771	11.758	0.396	1.725	5.9	0.5	0.5	2.667	4.667	20.352	11.177	1.932
1	3	35.357	20.081	8.672	12.383	0.976	4.38	8.234	0.577	0.423	4.333	16.333	22.356	11.31	2.195
1	4	37.119	21.494	8.908	12.824	0.557	2.164	4.874	0.81	0.19	3.5	5.333	23.497	10.942	2.221
1	5	35.075	21.204	7.642	11.383	2.578	5.186	2.875	0.472	0.528	12	10.333	21.859	12.185	2.22
1	6	35.949	24.167	7.953	10.299	4.639	9.103	2.668	0.316	0.684	12.667	15.667	19.774	16.34	2.189
1	7	35.027	24.473	8.682	9.761	5.568	8.21	1.944	0.245	0.755	17	14.667	19.957	20.307	2.01
1	8	33.89	22.968	8.991	10.331	5.595	11.515	3.499	0.405	0.595	14	26.667	19.574	15.605	2.058
1	9	34.194	23.88	8.533	10.388	4.861	9.313	2.489	0.333	0.667	12.5	16.667	17.28	16.729	2.05
1	10	35.735	22.763	7.163	10.8	1.388	5.171	6.056	0.526	0.474	6.333	15.567	17.943	16.591	2.07
1	11	37.014	24.3	7.025	9.201	0.782	3.559	7.193	0.556	0.444	3	12.333	16.967	16.779	1.827
1	12	36.084	22.695	6.814	9.192	0.213	1.315	6.841	0.833	0.167	1	3.667	17.123	14.403	1.728
2	1	22.535	2.171	3.956	3.285	0.157	0.808	6.803	0.733	0.267	2.143	2.667	17.699	3.169	1.861
2	2	25.202	3.854	3.683	3.377	0.523	2.317	8.763	0.586	0.414	4.143	9.167	20.352	3.794	1.932
2	3	25.963	5.521	3.753	3.778	0.618	2.237	7.1	0.605	0.395	5.429	8.333	22.356	4.366	2.195
2	4	28.279	7.804	2.504	3.641	1.029	3.687	5.182	0.542	0.458	6	9.333	23.497	7.236	2.221
2	5	27.263	8.714	2.913	3.894	1.571	4.539	3.984	0.438	0.563	8	10.333	21.859	0.727	2.22
2	6	25.583	11.875	2.2	3.31	4.268	7.986	2.764	0.363	0.637	14.125	17.833	19.774	12.675	2.189
2	7	24.522	11.715	1.648	2.616	3.21	6.559	2.561	0.513	0.487	13	9.667	19.957	10.611	2.01
2	8	24.699	11.93	2.175	2.504	3.309	6.939	2.951	0.407	0.593	13.5	13.333	19.574	11.075	2.058
2	9	24.014	12.529	2.332	2.777	3.94	8.194	2.933	0.409	0.591	15.5	16	17.28	14.504	2.05
2	10	23.564	9.904	2.918	3.867	1.249	3.838	4.966	0.469	0.531	9.143	9.667	17.943	12.477	2.07
2	11	22.74	7.125	3.355	3.968	0.543	1.868	4.681	0.515	0.485	4.714	4.833	16.967	9.848	1.827
2	12	25.556	5.6	0.726	2.171	1.1	3.479	3.162	1	0	1	3.667	17.123	-5.888	1.728
3	1	18.296	2.796	3.436	2.297	0.53	3.169	10.946	0.583	0.375	4	13.367	17.699	0.27	1.861
3	2	20.988	4.447	3.8	2.248	0.818	2.908	4.965	0.419	0.581	5.167	7.6	20.352	0.633	1.932
3	3	22.753	5.774	4.181	2.472	0.794	3.02	5.705	0.567	0.433	5	9	22.356	1.29	2.195
3	4	25.05	7.556	3.264	2.245	0.907	2.964	5.013	0.781	0.219	5.333	8.633	23.497	1.422	2.221
3	5	23.984	7.957	3.177	1.791	4.278	9.525	3.391	0.338	0.662	12.333	21.767	21.859	3.058	2.22
3	6	21.289	8.706	2.721	1.616	6.088	8.853	1.528	0.258	0.742	16.167	12.5	19.774	5.194	2.189
3	7	19.978	8.532	1.641	1.287	7.698	10.757	1.896	0.232	0.768	20.833	15.733	19.957	7.3	2.01
3	8	19.946	8.957	1.811	1.363	6.27	10.802	2.763	0.327	0.673	16.333	21.7	19.574	7.697	2.058
3	9	19.298	9.053	2.206	1.699	5.973	8.843	1.698	0.268	0.732	16.167	14.5	17.28	8.226	2.05
3	10	18.94	7.297	2.764	2.263	2.226	6.103	4.825	0.458	0.542	9.833	18	17.943	6.832	2.07
3	11	18.4	5.189	2.949	2.444	0.919	3.34	5.019	0.606	0.394	5.5	8.9	16.967	5.167	1.827
3	12	19.162	4.292	2.939	2.261	0.411	2.035	6.119	0.533	0.467	2.5	5.333	17.123	3.494	1.728
4	1	21.203	6.184	3.334	2.664	0.409	2.613	9.18	0.727	0.273	1.833	10	17.699	4.343	1.861
4	2	21.305	8.076	2.971	2.979	0.5	2.355	6.729	0.867	0.133	2.143	7.667	20.352	3.872	1.932
4	3	22.221	9.051	3.448	3.048	0.862	3.172	5.456	0.7	0.3	4.286	9.667	22.356	4.273	2.195
4	4	24.048	10.581	3.303	2.337	0.536	2.87	9.022	0.609	0.391	3.286	11.333	23.497	4.295	2.221
4	5	23.664	11.176	3.234	2.086	2.55	6.514	4.126	0.574	0.426	9.714	16.667	21.859	6.3	2.22
4	6	22.914	11.305	2.219	1.734	4.89	9.311	2.615	0.374	0.626	13	18.333	19.774	8.869	2.189

4	7	22.308	10.935	3.301	1.862	5.03	10.732	2.751	0.37	0.63	13.5	20	19.957	9.277	2.01
4	8	22.495	11.378	2.556	1.696	3.288	7.908	3.802	0.426	0.574	10.167	20.333	19.574	9.764	2.058
4	9	21.201	10.45	3.073	1.741	4.364	10.542	3.513	0.382	0.618	11.333	20	17.28	9.746	2.05
4	10	20.898	9.38	3.404	2.074	1.818	4.905	4.365	0.396	0.604	8	13.333	17.943	8.729	2.07
4	11	20.713	8.134	3.316	2.61	0.616	2.697	5.917	0.591	0.409	3.667	6.667	16.967	7.303	1.827
4	12	21.724	7.254	2.926	2.29	0.576	3.132	6.906	0.8	0.2	1.667	9	17.123	5.859	1.728
5	1	18.538	1.591	2.184	2.415	6.368	14.711	2.275	0.048	0.69	7	20.633	17.699	-0.24	1.861
5	2	19.867	2.724	2.017	2.886	0.545	2.118	5.617	0.16	0.24	4.167	6	20.352	-0.481	1.932
5	3	20.32	4.546	2.347	2.536	1.169	3.814	4.841	0.324	0.088	5.667	9.5	22.356	-0.083	2.195
5	4	21.42	6.475	2.019	2.409	0.721	2.695	4.85	0.273	0.045	3.667	6.667	23.497	-0.39	2.221
5	5	21.812	7.766	1.863	2.278	3.716	8.104	3.138	0.219	0.37	12.167	17	21.859	2.171	2.22
5	6	20.98	8.253	1.786	2.135	5.452	9.778	2.413	0.204	0.505	15.5	17	19.774	4.865	2.189
5	7	20.796	8.559	1.574	1.466	6.151	9.315	1.993	0.191	0.539	19.167	15.667	19.957	7.662	2.01
5	8	20.902	8.382	1.507	1.686	5.137	9.336	3.355	0.237	0.43	15.5	25	19.574	7.83	2.058
5	9	20.388	8.347	1.685	1.957	6.551	12.611	2.943	0.244	0.422	15	27	17.28	8.45	2.05
5	10	19.366	6.334	1.896	2.704	2.16	6.263	4.604	0.218	0.327	9.167	15.667	17.943	6.721	2.07
5	11	18.922	4.125	1.973	3.193	0.93	3.445	5.595	0.229	0.171	5.833	10	16.967	4.89	1.827
5	12	19.068	2.619	1.748	2.623	0.293	1.496	5.739	0.25	0.333	2	3.5	17.123	2.649	1.728
6	1	23.956	5.223	3.985	2.156	0.079	0.694	11.066	1	0	0.714	3	17.699	5.009	1.861
6	2	26.284	6.944	3.279	2.103	0.592	2.975	7.131	0.625	0.375	2.286	9.667	20.352	3.49	1.932
6	3	27.54	8.488	3.558	2.179	0.752	2.943	6.147	0.6	0.4	4.375	8.667	22.356	8.606	2.195
6	4	29.779	10.383	2.611	1.877	0.779	2.688	4.657	0.629	0.371	4.375	6.667	23.497	9.276	2.221
6	5	29.374	12.214	2.977	1.976	1.938	7.923	7.44	0.595	0.405	6	28.167	21.859	7.06	2.22
6	6	27.717	13.665	2.79	1.675	4.702	9.151	2.753	0.413	0.587	11.5	20.333	19.774	14.637	2.189
6	7	27.083	13.311	2.375	1.301	3.419	8.099	3.546	0.452	0.548	12.167	16.333	19.957	15.216	2.01
6	8	27.296	13.054	2.474	1.413	2.806	7.265	3.346	0.733	0.267	7.5	14	19.574	12.669	2.058
6	9	26.081	13.56	2.688	1.863	2.908	7.341	3.652	0.59	0.41	8.714	16.833	17.28	16.052	2.05
6	10	25.635	11.236	3.029	2.749	1.115	4.388	5.935	0.563	0.438	4.571	13.333	17.943	14.179	2.07
6	11	24.187	8.742	3.365	3.01	0.717	2.767	6.208	0.44	0.56	3.571	8.667	16.967	11.465	1.827
6	12	24.396	6.816	2.955	2.378	0.18	1.093	8.033	0.375	0.625	1.6	3.667	17.123	4.865	1.728
7	1	24.069	4.051	3.468	2.067	0.141	0.796	6.7	0.727	0.273	1.571	2	17.699	4.663	1.861
7	2	26.242	5.164	3.142	2.149	0.508	2.187	6.047	0.458	0.542	3.429	5.667	20.352	4.824	1.932
7	3	27.331	6.868	3.486	1.964	0.544	1.975	5.974	0.605	0.395	5.429	6.667	22.356	7.691	2.195
7	4	29.158	8.376	2.174	1.761	1.156	4.269	6.694	0.56	0.44	7.143	15.333	23.497	7.727	2.221
7	5	29.438	10.301	2.488	1.702	2.077	5.68	3.735	0.548	0.452	8.857	12.667	21.859	10.949	2.22
7	6	27.436	11.429	2.387	1.67	3.852	7.136	2.485	0.402	0.598	14.571	13.333	19.774	13.379	2.189
7	7	26.475	11.053	1.723	1.471	2.747	5.666	3.137	0.457	0.543	13.143	13	19.957	13.845	2.01
7	8	26.417	11.069	2.067	1.487	2.655	5.138	2.407	0.477	0.523	12.286	9.333	19.574	14.12	2.058
7	9	25.764	11.407	2.271	1.833	3.814	8.145	3.048	0.433	0.567	12.857	16	17.28	14.818	2.05
7	10	25.475	9.493	2.953	2.564	1.126	4.263	6.715	0.482	0.518	8	14.333	17.943	13.227	2.07
7	11	24.548	7.27	3.26	2.846	0.497	1.793	5.288	0.613	0.387	4.429	5.333	16.967	10.891	1.827
7	12	24.632	5.426	2.881	2.234	0.188	1.074	6.566	0.6	0.4	1.429	3	17.123	8.478	1.728
8	1	18.296	2.796	3.436	2.297	0.53	3.169	10.946	0.583	0.375	4	13.367	17.699	0.27	1.861
8	2	20.988	4.447	3.8	2.248	0.818	2.908	4.965	0.419	0.581	5.167	7.6	20.352	0.633	1.932
8	3	22.753	5.774	4.181	2.472	0.794	3.02	5.705	0.567	0.433	5	9	22.356	1.29	2.195
8	4	25.05	7.556	3.264	2.245	0.907	2.964	5.013	0.781	0.219	5.333	8.633	23.497	1.422	2.221
8	5	23.984	7.957	3.177	1.791	4.278	9.525	3.391	0.338	0.662	12.333	21.767	21.859	3.058	2.22
8	6	21.289	8.706	2.721	1.616	6.088	8.853	1.528	0.258	0.742	16.167	12.5	19.774	5.194	2.189
8	7	19.978	8.532	1.641	1.287	7.698	10.757	1.896	0.232	0.768	20.833	15.733	19.957	7.3	2.01
8	8	19.946	8.957	1.811	1.363	6.27	10.802	2.763	0.327	0.673	16.333	21.7	19.574	7.697	2.058
8	9	19.298	9.053	2.206	1.699	5.973	8.843	1.698	0.268	0.732	16.167	14.5	17.28	8.226	2.05
8	10	18.94	7.297	2.764	2.263	2.226	6.103	4.825	0.458	0.542	9.833	18	17.943	6.832	2.07
8	11	18.4	5.189	2.949	2.444	0.919	3.34	5.019	0.606	0.394	5.5	8.9	16.967	5.167	1.827
8	12	19.162	4.292	2.939	2.261	0.411	2.035	6.119	0.533	0.467	2.5	5.333	17.123	3.494	1.728

7.3 Caudales observados en estaciones hidrométricas

7.3.1 Estaciones hidrométricas utilizadas para datos de entrada

Las siguientes tablas presentan valores de caudales mensuales y promedios mensuales de las estaciones hidrométricas utilizadas para los cálculos presentados en el subcapítulo 3.2.2.1.

El Salto:

Año	Volumen escurrido (10 ³ m ³)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2012	1,211	3,533	2,084	3,123	3,552	9,857	40,779	33,878	15,277	11,615	987	53
2013	1,211	1,179	1,147	983	5,835	13,909	12,907	39,187	54,611	38,024	12,515	104
2014	3,249	516	9,928	1,306	2,129	59,596	71,156	44,495	48,801	27,391	10,764	285
2015	4,796	7,828	18,710	15,838	3,083	21,932	54,730	14,977	42,992	16,758	9,013	467
2016	7,342	3,519	4,358	4,375	26	21,846	58,084	12,581	39,934	5,282	11,196	745
2017	1,138	1,631	1,016	3,018	1,278	18,393	41,314	34,526	46,492	3,063	15,631	474
2018	2,794	3,300	2,338	2,766	1,154	19,286	16,088	44,393	33,757	26,912	20,066	202

Emisores:

Año	Volumen escurrido (10 ³ m ³)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2012	66,697	80,535	52,691	53,879	67,504	124,335	206,390	171,731	132,301	83,387	67,845	60,117
2013	56,802	45,267	52,304	57,826	75,948	110,980	130,323	122,190	229,576	139,496	101,397	56,646
2014	57,617	62,976	68,546	77,110	105,157	188,575	226,943	177,682	208,109	220,010	115,718	72,182
2015	48,111	37,033	57,687	57,275	141,241	137,725	156,380	92,017	133,777	72,631	58,385	48,908
2016	50,951	54,172	59,277	61,755	78,683	133,272	181,678	173,476	146,525	101,253	111,867	71,015
2017	66,826	53,617	61,954	59,212	72,244	94,779	151,434	137,584	189,291	94,162	71,944	73,795
2018	67,628	59,931	58,065	83,689	112,086	123,094	118,469	156,135	160,117	136,197	93,602	97,303

Influente Atotonilco:

Año	Gasto (m ³ /s)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2017	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	23
2018	23.7	23.9	24.5	28.3	30.4	28.5	35.2	32.7	22.9	26.1	28.2	26.7
2019	24.7	25.8	26.1	26	26.5	29.3	29.6	36.4	37.1	34.6	32.3	26.5
2020	28.9	29.9	31.2	28.3	29.5	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

SD: Sin datos

7.3.2 Estaciones hidrométricas utilizadas para validación del modelo

Las siguientes tablas presentan valores de caudales mensuales de las estaciones hidrométricas utilizadas para los cálculos presentados en el subcapítulo 3.3.1.

Tlautla:

Año	Volumen escurrido (10 ³ m ³)
-----	---

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2012	327	391	226	294	172	14	1,712	3,066	445	625	159	139
2013	24	14	11	14	SD	58	4,426	1,037	18,890	4,631	4,194	911
2014	439	306	198	342	2,008	6,098	9,932	7,590	7,386	20,313	2,265	1,604
2015	262	223	381	281	20	5,482	17,082	2,345	16,558	1,712	1,032	45
2016	361	239	225	272	18	1,301	3,593	18,992	14,454	2,667	1,309	49
2017	292	281	231	275	31	338	3,253	1,821	23,428	7,110	700	11
2018	410	378	301	363	76	3,184	1,349	1,472	8,622	11,406	8,128	76

SD: Sin datos

Las Rosas:

Año	Volumen escurrido (10^3 m^3)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2012	234	608	175	48	68	58	2,854	1,324	151	369	240	SD
2013	92	117	52	45	SD	486	3,562	454	5,198	2,161	3,076	SD
2014	1,777	469	180	225	SD	9,043	10,968	3,287	2,664	8,617	1,695	SD
2015	1,285	658	669	728	30	5,483	8,683	1,145	10,247	1,428	1,381	108
2016	639	600	288	40	30	1,208	591	9,043	1,310	1,433	1,864	146
2017	909	275	307	131	8	314	2,152	2,615	7,011	1,530	SD	SD
2018	751	411	172	52	0	8,343	1,227	1,522	6,938	8,100	SD	SD

SD: Sin datos

Jasso II:

Año	Volumen escurrido (10^3 m^3)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2012	9,937	79,491	212	5,143	16,334	60,723	188,111	112,951	89,029	50,799	33,423	19,631
2013	14,604	46,200	1,974	9,746	26,625	109,787	217,172	126,635	130,268	150,764	40,810	19,631
2014	19,272	12,908	3,735	14,349	36,916	158,850	246,233	140,319	171,508	250,729	48,196	52,184
2015	19,571	13,605	26,879	14,083	24,124	76,159	154,106	35,453	164,720	53,898	43,331	3,135
2016	8,917	13,265	26	12,323	24,124	94,982	143,775	181,663	137,290	61,908	75,364	1,877
2017	16,825	11,926	9,262	484	5,637	55,088	133,536	129,657	226,493	128,661	31,592	19,631
2018	19,773	16,579	4,692	11,349	24,124	69,204	178,668	102,553	149,903	106,363	71,591	19,631

7.4 Valores observados en estaciones de monitoreo de calidad de agua

7.4.1 Estaciones de monitoreo de calidad de agua utilizadas para datos de entrada

Las siguientes tablas presentan valores de concentraciones de parámetros de calidad de agua de las estaciones de monitoreo de calidad de agua utilizadas para los cálculos presentados en el subcapítulo 3.2.2.

DLHID1445M1 (Descarga Emisores)

Fecha de muestreo	Concentración (mg/L)										
	SST	N_org	N-NH3	N-NO3	N-NO2	PT	PO4	P-PO4	P_org	DBO	OD
05/11/12	150	31.41	16.98	0.3005	0.027	35.2061	107.942	35.19	0.02	64	0.5
18/12/12	100	11.76	39.96	0.6111	0.0025	0.0007	0.00075	0	0	46.2	1
16/01/13	150	0	0.00175	0.0155	0.0025	1.7746	5.441	1.77	0	146.12	0.5
11/03/13	360	37.24	14.84	0.7386	0.065	8.126	24.9143	8.12	0	275.51	0.5
06/05/13	180	11.38	14.38	1.1265	0.0517	7.7975	23.9071	7.79	0	240.94	1.7
17/06/13	75	49.39	19.4	0.8053	0.0025	5.1824	15.8892	5.18	0	231.44	1.5
24/07/13	160	12.94	6.47	0.4835	0.0025	5.5489	17.0129	5.55	0	154.53	1.9
14/08/13	70	4.12	1.18	1.3872	0.0025	1.8345	5.6246	1.83	0	183.73	1.8
11/09/13	50	1.85	24.02	0.5276	0.0025	17.4028	53.357	17.39	0.01	74.12	2.2
05/02/14	90	0.23	0.43	0.06	0.0025	0.036	0.027	0.01	0.03	272.51	5.5
24/03/14	184	6.381	37.325	0.21	0.021	13.108	11.856	3.87	9.24	254.3	5.7
24/04/14	28	27.792	0.00175	0.79	0.026	2.856	1.013	0.33	2.53	171.1	3.9
20/06/14	408	0.031	9.426	0.0155	0.029	0.697	0.638	0.21	0.49	37.3	3.8
15/08/14	32	0.655	17.227	0.647	0.032	22.184	3.379	1.1	21.08	141.7	4.2
10/10/14	164	2.232	15.776	0.36	0.091	46.854	4.78	1.56	45.3	5.3	4
25/02/15	304	5.397	34.9833	0.0155	0.0025	7.551	5.7394	1.87	5.68	215.49	2.8
30/03/15	160	15.801	39.4712	0.1601	0.0325	3.07	2.4015	0.78	2.29	145.96	3.6
05/05/15	180	1.5328	26.6971	0.0328	0.1057	4.1327	3.9183	1.28	2.86	144.13	3
11/06/15	96	10.695	23.733	0.0673	0.0025	5.758	3.947	1.29	4.47	119.73	3.2
16/07/15	220	15.468	24.582	0.0155	0.0025	14.789	6.392	2.08	12.71	115.58	2.9
21/08/15	180	23.4959	1.523	0.0725	0.0025	11.3426	5.2045	1.7	9.65	92.8	3.2
03/03/16	2260	63.5906	0.1287	0.0698	0.0113	SD	SD	0	0	136.53	4
07/04/16	80	29.1427	27.4436	0.3995	0.0213	SD	SD	0	0	267.07	0.5
13/05/16	190	28.1759	30.1532	0.3921	0.0204	6.3201	0.1622	0.05	6.27	128.5	0.5
15/06/16	190	31.7415	19.2055	0.1291	0.0151	7.1792	0.0732	0.02	7.16	127.09	1
18/07/16	380	25.1717	9.0175	0.2419	0.021	8.9321	0.3282	0.11	8.83	88.26	1.2
25/08/16	460	8.3519	11.2929	0.105	0.0025	3.9877	1.324	0.43	3.56	72	1.2
08/03/17	12	5.5377	60.9423	0.0743	0.0025	34.1291	8.8897	2.9	31.23	140.46	0.5
12/04/17	230	32.2471	19.9649	2.5314	0.0126	SD	SD	0	0	200.48	1.01
31/05/17	100	0.1059	51.4304	0.1186	0.0025	22.0521	9.496	3.1	18.96	94.84	2.97
06/07/17	108	8.3765	19.3216	0.1974	0.0141	38.4956	3.0236	0.99	37.51	110.52	1.97
09/08/17	76	33.4084	11.2067	0.2693	0.0025	8.8166	0.111	0.04	8.78	177.67	0.5
12/09/17	80	20.2893	7.9339	0.3599	0.0118	2.9201	0.2245	0.07	2.85	86.11	
29/01/18	100	7.9937	51.3615	0.1181	0.0305	13.2206	6.6172	2.16	11.06	177.32	2.18
05/03/18	100	47.0328	26.9963	0.207	0.0324	2.277	0.1798	0.06	2.22	117.61	0.5

09/04/18	176	14.6006	35.8092	1.8858	0.0718	5.8961	0.8391	0.27	5.62	273.11	1.06
14/05/18	108	29.7555	18.6061	0.1397	0.0025	11.6039	0.4189	0.14	11.47	93.31	0.5
29/10/18	124	23.268	33.141	0.0736	0.0161	5.3527	2.7424	0.89	4.46	138.31	1.1
05/12/18	200	60.9319	0.5151	1.1906	0.0421	5.1439	2.4774	0.81	4.34	170.12	1

SD: Sin datos

Refinación de hidrocarburos

Fecha de muestreo	Concentración (mg/L)										
	SST	N_org	N-NH3	N-NO3	N-NO2	PT	PO4	P-PO4	P_org	DBO	OD
13/11/12	80	28.84	14.56	0.96	0	4.97	15.24	4.97	0	195.08	1.1
17/12/12	140	6.72	14	0.86	0	0	0	0	0	147.06	0.5
08/01/13	64	9.24	32.48	0.28	0.03	3.79	11.63	3.79	0	123.78	4.5
06/03/13	108	26.32	14.28	7.86	1.03	20.14	SD	0	20.14	36.9	1.6
27/04/13	430	25.5	14.14	1.58	0	3.68	11.28	3.68	0	126.91	0.5
29/05/13	398	0	0	12.96	0	1.48	4.54	1.48	0	2.07	5.4
15/07/13	31	0	0	11.78	0.16	0	0	0	0	15.45	4.03
26/08/13	12	0.59	1.18	0.74	0	0	0	0	0	148.81	5.7
30/09/13	28	0.13	5.87	24	0	5.43	3.58	1.17	4.27	10.86	6.3
28/01/14	40	1.53	5.35	336.25	0.03	11.6	3.83	1.25	10.35	21.5	6
11/03/14	36	0.67	2.18	33.36	0.04	6.58	0.88	0.29	6.29	6.4	6.7
15/04/14	24	2.31	9.96	5.99	5.94	10.9	4.94	1.61	9.29	21.7	3.4
10/06/14	28	1.82	0.81	22.8	0.75	0.75	0.53	0.17	0.57	2.6	4.8
08/08/14	14	0.34	0.87	25.2	0.24	0.85	0.04	0.01	0.84	5.9	5
02/10/14	84	0.6	20.03	0.87	0.03	SD	2.93	0.95	-0.95	41	3.4
25/02/15	40	5.43	25.14	0.02	0.03	8.56	6.19	2.02	6.54	114.33	3.2
30/03/15	140	12.74	34.58	0.15	0.03	2.43	2.08	0.68	1.76	106.38	2.9
05/05/15	410	0.62	24.01	0.03	0.1	3.76	3.61	1.18	2.58	181.19	3
11/06/15	104	7.86	19.45	0.05	0	6.17	2.55	0.83	5.34	80.61	4.2
16/07/15	60	11.39	19.72	0.02	0	12.21	5.33	1.74	10.47	64.88	3.3
21/08/15	110	21.06	0.91	0.05	0.03	11.33	5.23	1.71	9.62	122.07	3.8
03/03/16	116	25.55	23.32	3.92	0.29	6.56	0.47	0.15	6.4	104.28	4.2
07/04/16	36	1.99	7.91	13.08	0.03	1.9	0.05	0.02	1.88	27.3	1.6
13/05/16	340	27.83	SD	SD	SD	3.42	0.5	0.16	3.25	137.34	1.4
15/06/16	750	12.98	19.23	0.32	0.03	2.84	0.44	0.14	2.7	137.34	1.2
18/07/16	590	18.46	18.38	0.13	0.01	5.54	0.49	0.16	5.38	108.14	1.7
25/08/16	610	6.98	6.02	0.31	0	8.09	3.37	1.1	6.99	91.5	1.7
08/03/17	140	32.54	50.29	0.16	0.03	11.55	9.1	2.97	8.58	132.65	2.79
12/04/17	24	9.28	4.06	9.9	0.08	3.85	0.03	0.01	3.84	121.21	1.21
31/05/17	32	19.01	26.47	1.01	0	9.82	2.95	0.96	8.86	68.43	1.75

06/07/17	384	2.29	18.32	0.63	0	9.73	2.73	0.89	8.84	112.32	2.78
09/08/17	52	29.59	8.15	0.37	0.01	6.78	0.07	0.02	6.76	86.13	0.5
12/09/17	108	15.44	6.57	0.53	0.02	2.47	0.12	0.04	2.43	89.11	0.5
29/01/18	116	3.91	48.61	0.34	0.02	12.46	6.97	2.27	10.19	85.51	1.63
05/03/18	40	13.65	18.75	1.08	0.32	0.86	0.03	0.01	0.85	64.81	0.5
09/04/18	52	7.13	15.27	4.07	0.12	3.68	1.48	0.48	3.2	91.21	1.04
14/05/18	172	28.37	13.97	0.14	0	SD	SD	0	0	106.21	0.5
29/10/18	68	19.84	10.1	1.01	0.23	SD	SD	0	0	66.01	1.1
05/12/18	320	45.49	1.54	0.27	0.04	5.64	2.49	0.81	4.83	SD	1

SD: Sin datos

Industrial sin identificar

Fecha de muestreo	Concentración (mg/L)										
	SST	N_org	N-NH3	N-NO3	N-NO2	PT	PO4	P-PO4	P_org	DBO	OD
14/11/12	116	38.64	9.8	0.728	0.0246	4.9969	15.32	4.99	0	198.68	0.5
14/12/12	5	61.04	38.64	6.8147	0.0025	0.0007	0.00075	0	0	230.34	2.2
09/01/13	52	8.96	22.12	0.2457	0.033	5.6472	17.314	5.64	0	194.73	4.3
12/03/13	60	37.8	25.76	0.8591	0.0025	11.5227	35.3286	11.52	0.01	225.09	1.7
08/05/13	48	18.58	13.78	1.9273	0.152	4.4385	13.6084	4.44	0	130.65	1.3
20/06/13	76	0.59	0.59	0.379	0.0025	0.0007	0.00075	0	0	19.6	3.4
24/07/13	20	5.29	2.35	0.2275	0.0025	2.2898	7.0205	2.29	0	21	3.7
14/08/13	52	4.7	1.18	0.4452	0.0025	1.3015	3.9904	1.3	0	144.65	2.5
11/09/13	24	0	0.00175	0.2753	0.0025	9.9518	30.5122	9.95	0	36.6	3.2
04/02/14	14	0.25	0.27	0.38	0.0025	0.892	0.7	0.23	0.66	132.91	1.2
27/03/14	28	25.032	0.451	0.196	0.019	12.704	4.28	1.4	11.31	127.8	5.3
24/04/14	32	2.305	15.269	1.42	0.029	2.368	2.02	0.66	1.71	76.6	4.9
18/06/14	5	0.323	2.691	0.0155	0.011	1.412	0.682	0.22	1.19	20.7	4.2
14/08/14	22	3.789	1.832	0.273	0.019	21.745	1.253	0.41	21.34	67.4	4.6
09/10/14	42	1.818	6.242	0.817	0.24	8.376	1.058	0.34	8.03	23.9	5.8
02/03/15	32	SD	SD	SD	SD	5.9499	5.0609	1.65	4.3	45.6	5.83
06/04/15	52	4.296	22.19	0.1477	0.0416	2.506	1.314	0.43	2.08	21.04	4.8
12/05/15	20	0.8596	3.6894	0.7605	0.1049	0.9185	0.7064	0.23	0.69	12.61	4.6
16/06/15	112	0.4074	1.1694	1.2051	0.0025	0.1965	0.1021	0.03	0.16	3.09	5.1
22/07/15	40	0.516	4.736	0.1844	0.0337	5.033	3.861	1.26	3.77	39.02	5.4
25/08/15	32	5.8379	0.6323	0.3832	0.4207	1.251	1.2086	0.39	0.86	11.52	SD
14/03/16	24	5.274	19.8029	0.4172	0.0025	4.7456	0.1642	0.05	4.69	45.6	4.91
14/04/16	SD	16.029	26.8199	0.0155	0.0025	4.0208	0.1338	0.04	3.98	141.81	SD
19/05/16	24	14.5887	1.4119	0.0451	0.0025	3.4211	0.1455	0.05	3.37	102.43	0.5
23/06/16	24	13.0567	0.2699	0.1016	0.0025	3.7771	3.3997	1.11	2.67	58	SD

05/09/16	164	1.2132	1.1077	0.7893	0.0415	0.216	0.1551	0.05	0.17	30.75	5.08
06/03/17	44	8.4247	22.8403	0.1724	0.0232	5.5464	0.8866	0.29	5.26	40	0.5
11/04/17	48	4.3095	28.2713	0.1997	0.0117	10.6671	5.9359	1.94	8.73	70.41	0.5
29/05/17	5	15.1295	29.3909	0.0941	0.0025	2.9598	2.9468	0.96	2	180.07	0.5
11/07/17	40	11.9273	3.8271	0.1193	0.0025	2.9305	0.1898	0.06	2.87	35.07	4.11
07/08/17	28	3.9035	3.6575	0.5237	0.0206	4.755	0.0762	0.02	4.73	70.51	3.33
11/09/17	20	1.7874	3.9618	1.297	0.1066	1.4727	0.4795	0.16	1.32	21.12	2.4
24/01/18	60	13.1461	13.423	2.5207	0.03	2.7506	0.0546	0.02	2.73	182.12	1.05
02/03/18	32	17.405	59.1347	0.2499	0.0143	0.9586	0.2519	0.08	0.88	301.32	1.07
03/04/18	40	30.1591	25.4314	0.3248	0.0025	5.6225	1.7452	0.57	5.05	266.51	0.5
09/05/18	64	19.8108	13.6283	0.2123	0.0025	2.446	1.543	0.5	1.94	58.21	1.05
31/10/18	32	1.118	0.782	0.4727	0.0655	0.156	0.0818	0.03	0.13	11.94	1.01
05/12/18	88	30.9371	0.9619	1.8022	0.0347	4.2786	2.1629	0.71	3.57	343.34	0.5

SD: Sin datos

7.4.2 Estaciones de monitoreo de calidad de agua utilizadas para validación

Las siguientes tablas presentan valores de concentraciones de parámetros de calidad de agua de las estaciones de monitoreo de calidad de agua utilizadas para los cálculos presentados en el subcapítulo 3.3.1.

DLHID1442

Fecha de muestreo	Concentración (mg/L)										
	SST	N_org	N-NH3	N-NO3	N-NO2	PT	PO4	P-PO4	P_org	DBO	OD
03/11/12	80	1.6	33.13	0.8383	0.0207	37.3333	114.464	37.32	0.02	96.22	0.5
22/12/12	110	8.68	16.24	0.3209	0.0025	6.2358	6.2354	2.03	4.2	121.23	1.1
17/01/13	116	1.96	29.96	0.0155	0.0025	11.4066	34.973	11.4	0.01	150.25	1.2
11/03/13	28	25.76	11.48	1.994	0.0554	10.5943	32.4821	10.59	0.01	54.01	9.3
06/05/13	55	8.39	3.6	0.9153	0.0741	1.2848	3.9392	1.28	0	21.75	1.01
17/06/13	50	27.05	16.46	0.7009	0.0025	4.7716	14.6297	4.77	0	63.61	3.7
24/07/13	200	9.41	3.53	0.2581	0.0025	2.6007	7.9737	2.6	0	87.01	7.6
14/08/13	60	4.12	1.18	0.438	0.0025	18.3078	56.1317	18.3	0.01	113.05	1.01
13/09/13	172	0	0.00175	0.6196	0.093	5.5544	17.0298	5.55	0	76.67	6.7
04/02/14	230	14.198	24.41	0.0155	0.0025	6.898	5.003	1.63	5.27	83	1.1
24/03/14	124	5.752	26.096	0.256	0.01	11.406	4.108	1.34	10.07	50.3	6.8
20/06/14	584	0.361	8.447	0.0155	0.05	1.893	1.726	0.56	1.33	46.6	4.9
15/08/14	174	16.576	0.813	0.328	0.04	18.413	2.844	0.93	17.49	39.1	4.3
10/10/14	152	0.255	14.716	0.201	0.045	22.89	2.913	0.95	21.94	60.4	4.9
25/02/15	104	10.0231	25.419	0.0155	0.0025	8.3917	6.3044	2.06	6.34	142.26	2.2
30/03/15	200	9.753	40.4321	0.2247	0.0305	2.6631	2.294	0.75	1.92	127.53	3.4

05/05/15	42	3.4253	26.336	0.0155	0.0344	4.3622	3.721	1.21	3.15	113.99	2.5
11/06/15	120	7.433	22.085	0.0333	0.0025	6.922	3.213	1.05	5.87	83.57	2.9
16/07/15	420	15.3	18.489	0.0155	0.0025	16.72	6.384	2.08	14.64	85.89	2.4
21/08/15	100	20.8286	1.0422	0.0548	0.0025	12.4942	6.7918	2.21	10.28	84.8	3.2
07/04/16	24	0.8845	4.2239	1.9299	0.0987	1.1626	0.081	0.03	1.14	22.35	2.1
13/05/16	210	1.0822	5.0204	1.8719	0.0995	1.2312	0.0791	0.03	1.21	73.76	1.9
15/06/16	360	39.1478	15.3355	0.09	0.012	7.4019	0.7422	0.24	7.16	106.67	1.8
18/07/16	250	14.0746	11.3894	0.4223	0.0797	3.9671	0.5265	0.17	3.8	101	1.3
25/08/16	410	12.8437	7.986	0.4384	0.0025	2.4531	0.9921	0.32	2.13	72.42	3.6
20/09/16	328	6.3822	12.0905	0.628	0.0189	SD	SD	0	0	102.61	3.2
08/03/17	40	14.1832	53.4607	0.1066	0.0162	14.3508	10.0012	3.26	11.09	157.26	2.79
31/05/17	44	16.2658	31.3383	0.3458	0.0103	38.0173	1.9111	0.62	37.39	67.83	3
06/07/17	200	6.095	23.0792	0.2514	0.0025	39.132	2.8225	0.92	38.21	108.52	2.57
09/08/17	28	29.4189	9.461	0.4564	0.0165	5.6208	0.1096	0.04	5.59	82.38	2.5
12/09/17	84	18.9965	6.8375	0.4908	0.0239	3.5934	0.0828	0.03	3.57	87.31	3.1
13/10/17	64	2.87241	15.55744	0.9715	0.0462	2.5206	0.7029	0.23	2.29	26.82	3.67
29/01/18	64	3.6958	44.0806	0.1396	0.0147	4.5831	3.6402	1.19	3.4	68.41	4.43
14/05/18	84	35.6536	14.5314	0.34	0.1698	4.7388	0.3024	0.1	4.64	64.21	0.5
20/06/18	129	7.587	8.281	0.3537	0.0025	4.6247	0.7925	0.26	4.37	99.01	1.13
26/07/18	128	16.382	21.8188	0.5132	0.0395	4.7612	0.3448	0.11	4.65	135.91	1.53
29/10/18	164	35.209	12.433	0.2363	0.0459	4.545	1.3301	0.43	4.11	100.51	1.58
05/12/18	260	56.3442	0.0198	0.3132	0.0235	5.9431	1.119	0.36	5.58	279.11	2.77

SD: Sin datos

DLHID1439

Fecha de muestreo	Concentración (mg/L)										
	SST	N_org	N-NH3	N-NO3	N-NO2	PT	PO4	P-PO4	P_org	DBO	OD
13/11/12	40	27.16	14	1.4977	0.0025	5.1074	15.659	5.1	0	208.88	0.5
17/12/12	150	9.52	18.2	2.5768	0.0025	0.0007	0.00075	0	0	206.48	0.5
08/01/13	64	7.56	28.56	0.2668	0.0216	1.9672	6.031	1.97	0	64.81	4.2
06/03/13	28	26.88	19.88	0.2818	0.012	13.3072	40.7999	13.3	0.01	40.8	6.8
27/04/13	480	27.72	13.31	0.9989	0.0253	4.7161	14.4596	4.71	0	144.91	0.5
29/05/13	42	24.34	18.4	0.8768	0.0025	0.0007	0.00075	0	0	36	3.3
15/07/13	100	1.12	1.12	0.3245	0.0025	4.4107	13.5232	4.41	0	71.71	6.3
26/08/13	14	21.17	22.93	0.5508	0.0025	3.0615	9.3866	3.06	0	75.31	1.3
30/09/13	5	0.1693	6.9317	0.4252	0.0025	1.4317	0.9563	0.31	1.12	40.43	2.8
28/01/14	90	3.166	27.442	0.151	0.013	11.613	8.933	2.91	8.7	120.1	1
11/03/14	5	0.33	7.978	0.579	0.017	11.847	3.058	1	10.85	24.7	2.4
15/04/14	80	5.12	10.043	0.226	0.0025	6.579	3.959	1.29	5.29	35.7	6.6

10/06/14	148	16.412	8.546	0.0155	0.017	4.43	0.115	0.04	4.39	89.1	4.2
08/08/14	144	1.206	7.204	SD	0.032	24.64	5.435	1.77	22.87	21.1	3.8
02/10/14	132	0.582	20.212	0.93	0.036	57.147	3.069	1	56.15	42.4	2.8
25/02/15	76	10.6319	29.2472	0.0155	0.0025	8.1744	6.664	2.17	6	147.13	2.2
30/03/15	80	12.7625	37.9453	0.1742	0.0258	3.0977	2.2487	0.73	2.36	119.43	3.1
05/05/15	490	3.313	24.563	0.0421	0.094	4.0408	3.4177	1.11	2.93	137.13	2.9
11/06/15	116	8.022	24.284	0.0527	0.0025	6.543	3.21	1.05	5.5	81.05	3.3
16/07/15	92	4.774	19.03	0.0155	0.0267	17.381	3.424	1.12	16.26	82.22	2.4
21/08/15	270	21.3734	1.3176	0.0521	0.0306	9.6684	5.332	1.74	7.93	68	3.35
03/03/16	176	43.9574	27.6218	0.2308	0.0232	9.1769	1.8485	0.6	8.57	123.03	2.5
07/04/16	12	2.7434	7.6007	0.6126	0.0173	2.6266	0.0763	0.02	2.6	29.4	2.3
13/05/16	230	12.3119	39.6218	0.4276	0.0213	4.0823	1.0216	0.33	3.75	138.34	0.5
15/06/16	580	12.7793	23.0263	0.2116	0.013	4.2417	0.3422	0.11	4.13	147.25	1.3
18/07/16	430	23.3337	7.6316	0.3157	0.0456	4.9606	0.3804	0.12	4.84	147.82	1.3
25/08/16	540	10.81	5.321	0.3892	0.0238	2.8024	0.9835	0.32	2.48	75.09	2.4
08/03/17	88	50.13	27.6478	0.1526	0.04	SD	SD	0	0	187.27	1
12/04/17	36	12.8709	10.955	0.28	0.0303	5.5894	0.1804	0.06	5.53	53.41	2.14
31/05/17	36	24.8839	26.4697	0.3996	0.0025	33.126	2.8643	0.93	32.19	67.83	1
06/07/17	396	1.2943	20.3176	0.0584	0.0025	12.8282	2.8001	0.91	11.92	113.72	1.66
09/08/17	64	23.901	14.4195	0.4213	0.0106	5.9251	1.3148	0.43	5.5	97.53	0.5
12/09/17	104	9.2785	7.8938	1.0316	0.0554	2.7201	0.1375	0.04	2.68	30.9	1
29/01/18	120	4.2934	52.4382	0.182	0.0187	11.8133	7.1929	2.34	9.47	121.21	1.14
05/03/18	68	26.3108	19.2372	0.2831	0.0025	1.4439	0.0743	0.02	1.42	76.51	0.5
09/04/18	52	14.3408	14.7505	1.9512	0.076	3.9775	0.084	0.03	3.95	87.91	1.03
14/05/18	216	21.6721	23.2805	0.1018	0.0025	16.2273	3.8873	1.27	14.96	115.21	0.5
29/10/18	84	24.972	12.621	1.3911	0.199	3.1849	0.2923	0.1	3.09	29.52	1.12
05/12/18	420	34.725	22.47	1.0378	0.0128	5.6643	4.6835	1.53	4.14	170.12	1

SD: Sin datos

DLHID1440

Fecha de muestreo	Concentración (mg/L)										
	SST	N_org	N-NH3	N-NO3	N-NO2	PT	PO4	P-PO4	P_org	DBO	OD
13/11/12	80	28.84	14.56	0.96	0	4.97	15.24	4.97	0	195.08	1.1
17/12/12	140	6.72	14	0.86	0	0	0	0	0	147.06	0.5
08/01/13	64	9.24	32.48	0.28	0.03	3.79	11.63	3.79	0	123.78	4.5
06/03/13	108	26.32	14.28	7.86	1.03	20.14	SD	0	20.14	36.9	1.6
27/04/13	430	25.5	14.14	1.58	0	3.68	11.28	3.68	0	126.91	0.5
29/05/13	398	0	0	12.96	0	1.48	4.54	1.48	0	2.07	5.4
15/07/13	31	0	0	11.78	0.16	0	0	0	0	15.45	4.03

26/08/13	12	0.59	1.18	0.74	0	0	0	0	0	148.81	5.7
30/09/13	28	0.13	5.87	24	0	5.43	3.58	1.17	4.27	10.86	6.3
28/01/14	40	1.53	5.35	336.25	0.03	11.6	3.83	1.25	10.35	21.5	6
11/03/14	36	0.67	2.18	33.36	0.04	6.58	0.88	0.29	6.29	6.4	6.7
15/04/14	24	2.31	9.96	5.99	5.94	10.9	4.94	1.61	9.29	21.7	3.4
10/06/14	28	1.82	0.81	22.8	0.75	0.75	0.53	0.17	0.57	2.6	4.8
08/08/14	14	0.34	0.87	25.2	0.24	0.85	0.04	0.01	0.84	5.9	5
02/10/14	84	0.6	20.03	0.87	0.03	SD	2.93	0.95	-0.95	41	3.4
25/02/15	40	5.43	25.14	0.02	0.03	8.56	6.19	2.02	6.54	114.33	3.2
30/03/15	140	12.74	34.58	0.15	0.03	2.43	2.08	0.68	1.76	106.38	2.9
05/05/15	410	0.62	24.01	0.03	0.1	3.76	3.61	1.18	2.58	181.19	3
11/06/15	104	7.86	19.45	0.05	0	6.17	2.55	0.83	5.34	80.61	4.2
16/07/15	60	11.39	19.72	0.02	0	12.21	5.33	1.74	10.47	64.88	3.3
21/08/15	110	21.06	0.91	0.05	0.03	11.33	5.23	1.71	9.62	122.07	3.8
03/03/16	116	25.55	23.32	3.92	0.29	6.56	0.47	0.15	6.4	104.28	4.2
07/04/16	36	1.99	7.91	13.08	0.03	1.9	0.05	0.02	1.88	27.3	1.6
13/05/16	340	27.83	SD	SD	SD	3.42	0.5	0.16	3.25	137.34	1.4
15/06/16	750	12.98	19.23	0.32	0.03	2.84	0.44	0.14	2.7	137.34	1.2
18/07/16	590	18.46	18.38	0.13	0.01	5.54	0.49	0.16	5.38	108.14	1.7
25/08/16	610	6.98	6.02	0.31	0	8.09	3.37	1.1	6.99	91.5	1.7
08/03/17	140	32.54	50.29	0.16	0.03	11.55	9.1	2.97	8.58	132.65	2.79
12/04/17	24	9.28	4.06	9.9	0.08	3.85	0.03	0.01	3.84	121.21	1.21
31/05/17	32	19.01	26.47	1.01	0	9.82	2.95	0.96	8.86	68.43	1.75
06/07/17	384	2.29	18.32	0.63	0	9.73	2.73	0.89	8.84	112.32	2.78
09/08/17	52	29.59	8.15	0.37	0.01	6.78	0.07	0.02	6.76	86.13	0.5
12/09/17	108	15.44	6.57	0.53	0.02	2.47	0.12	0.04	2.43	89.11	0.5
29/01/18	116	3.91	48.61	0.34	0.02	12.46	6.97	2.27	10.19	85.51	1.63
05/03/18	40	13.65	18.75	1.08	0.32	0.86	0.03	0.01	0.85	64.81	0.5
09/04/18	52	7.13	15.27	4.07	0.12	3.68	1.48	0.48	3.2	91.21	1.04
14/05/18	172	28.37	13.97	0.14	0	SD	SD	0	0	106.21	0.5
29/10/18	68	19.84	10.1	1.01	0.23	SD	SD	0	0	66.01	1.1
05/12/18	320	45.49	1.54	0.27	0.04	5.64	2.49	0.81	4.83	SD	1

SD: Sin datos

7.5 Datos de entrada del punto de descarga de AR-ZMVM

7.5.1 Escenario actual

En la siguiente tabla se presentan los resultados de la metodología del capítulo 3.2.2.1. La tabla presenta el caudal y las emisiones que se calcularon para representar el caudal y las emisiones mensuales del AR-ZMVM.

mo	yr	flo	sed	orgn	sedp	no3	solp	nh3	no2	cbod	dox
		m3/s	kg/day								
1	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2012	712824.54	100873.81	13538.75	3211.08	209.02	653.58	13436.17	10.56	107334.91	0.00
3	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	2012	2111164.10	298756.79	40097.55	9510.23	619.04	1935.69	39793.76	31.28	317892.56	0.00
7	2012	5173805.54	732159.81	98266.61	23306.61	1517.08	4743.76	97522.11	76.67	779055.62	0.00
8	2012	3651752.99	516769.87	69358.11	16450.17	1070.78	3348.22	68832.63	54.11	549869.66	0.00
9	2012	2327273.57	329339.05	44202.14	10483.74	682.41	2133.83	43867.25	34.49	350433.65	0.00
10	2012	438006.43	61983.52	8319.10	1973.10	128.43	401.60	8256.07	6.49	65953.65	0.00
11	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2013	149866.53	21208.04	2846.43	675.11	43.94	137.41	2824.86	2.22	22566.44	0.00
6	2013	1666015.92	235762.61	31642.81	7504.96	488.51	1527.54	31403.07	24.69	250863.52	0.00
7	2013	1820976.16	257691.47	34585.98	8203.01	533.95	1669.62	34323.95	26.98	274196.95	0.00
8	2013	2224891.35	314850.65	42257.58	10022.54	652.39	2039.96	41937.43	32.97	335017.25	0.00
9	2013	6880873.32	973731.79	130689.12	30996.49	2017.63	6308.94	129698.97	101.96	1036100.61	0.00
10	2013	3099876.95	438672.33	58876.27	13964.12	908.96	2842.22	58430.21	45.93	466769.88	0.00
11	2013	1179152.88	166865.25	22395.77	5311.77	345.75	1081.14	22226.09	17.47	177553.19	0.00
12	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2014	85736.69	12132.84	1628.41	386.22	25.14	78.61	1616.07	1.27	12909.96	0.00
3	2014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2014	218470.40	30916.36	4149.43	984.15	64.06	200.31	4117.99	3.24	32896.60	0.00
5	2014	1092083.45	154543.81	20742.05	4919.54	320.22	1001.31	20584.90	16.18	164442.55	0.00
6	2014	4252495.68	601782.66	80768.08	19156.36	1246.93	3899.03	80156.15	63.01	640327.64	0.00
7	2014	5836817.50	825984.51	110859.26	26293.30	1711.49	5351.67	110019.35	86.49	878889.91	0.00
8	2014	3843721.86	543935.92	73004.19	17314.94	1127.07	3524.24	72451.09	56.96	578775.74	0.00
9	2014	4854215.76	686933.76	92196.61	21866.94	1423.37	4450.74	91498.10	71.93	730932.78	0.00

10	2014	4845207.02	685658.91	92025.50	21826.36	1420.73	4442.48	91328.29	71.80	729576.28	0.00
11	2014	1272258.53	180040.89	24164.13	5731.18	373.06	1166.51	23981.06	18.85	191572.75	0.00
12	2014	144252.58	20413.59	2739.80	649.82	42.30	132.26	2719.05	2.14	21721.11	0.00
1	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2015	114348.39	16181.76	2171.83	515.11	33.53	104.84	2155.38	1.69	17218.23	0.00
4	2015	52454.27	7422.95	996.27	236.29	15.38	48.09	988.72	0.78	7898.40	0.00
5	2015	2167266.63	306696.01	41163.11	9762.96	635.49	1987.13	40851.25	32.11	326340.30	0.00
6	2015	2824948.56	399766.44	53654.53	12725.64	828.34	2590.14	53248.03	41.86	425372.01	0.00
7	2015	4010642.25	567557.30	76174.53	18066.87	1176.01	3677.28	75597.41	59.43	603910.10	0.00
8	2015	470619.89	66598.75	8938.53	2120.02	138.00	431.50	8870.81	6.97	70864.49	0.00
9	2015	3300315.36	467036.94	62683.22	14867.04	967.73	3026.00	62208.31	48.90	496951.27	0.00
10	2015	256940.83	36360.42	4880.10	1157.45	75.34	235.58	4843.13	3.81	38689.35	0.00
11	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2016	50673.67	7170.97	962.45	228.27	14.86	46.46	955.16	0.75	7630.28	0.00
6	2016	2673636.96	378353.91	50780.65	12044.02	783.97	2451.41	50395.92	39.62	402587.98	0.00
7	2016	4934913.91	698353.59	93729.31	22230.47	1447.03	4524.73	93019.19	73.13	743084.06	0.00
8	2016	3021033.60	427514.99	57378.79	13608.95	885.84	2769.93	56944.07	44.77	454897.89	0.00
9	2016	3623309.28	512744.72	68817.88	16322.04	1062.44	3322.14	68296.49	53.69	545586.70	0.00
10	2016	810062.94	114634.29	15385.61	3649.12	237.53	742.73	15269.04	12.00	121976.77	0.00
11	2016	1484160.00	210027.67	28188.80	6685.74	435.19	1360.80	27975.23	21.99	223480.22	0.00
12	2016	128930.78	18245.36	2448.80	580.80	37.81	118.21	2430.24	1.91	19414.00	0.00
1	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	2017	1275454.08	180493.10	24224.83	5745.58	373.99	1169.44	24041.29	18.90	192053.93	0.00
7	2017	3418321.24	483736.28	64924.52	15398.62	1002.33	3134.19	64432.63	50.65	514720.23	0.00
8	2017	2571133.01	363848.28	48833.79	11582.27	753.92	2357.42	48463.81	38.10	387153.25	0.00
9	2017	5267439.36	745410.20	100045.00	23728.41	1544.53	4829.61	99287.03	78.05	793154.71	0.00
10	2017	509726.55	72132.84	9681.29	2296.18	149.46	467.36	9607.94	7.55	76753.05	0.00
11	2017	301222.08	42626.79	5721.14	1356.92	88.33	276.18	5677.80	4.46	45357.09	0.00
12	2017	209856.67	29697.41	3985.83	945.35	61.53	192.41	3955.63	3.11	31599.57	0.00

1	2018	42561.00	6022.93	808.37	191.73	12.48	39.02	802.24	0.63	6408.70	0.00
2	2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2018	497204.73	70360.84	9443.46	2239.77	145.79	455.88	9371.91	7.37	74867.55	0.00
5	2018	1164560.99	164800.31	22118.62	5246.04	341.48	1067.76	21951.05	17.26	175355.99	0.00
6	2018	2249049.76	318269.38	42716.43	10131.37	659.47	2062.11	42392.79	33.33	338654.95	0.00
7	2018	1541166.19	218094.77	29271.52	6942.54	451.91	1413.07	29049.75	22.84	232064.03	0.00
8	2018	3487833.65	493573.18	66244.77	15711.76	1022.71	3197.93	65742.88	51.68	525187.20	0.00
9	2018	3870476.28	547722.02	73512.34	17435.46	1134.91	3548.77	72955.39	57.35	582804.34	0.00
10	2018	2635002.69	372886.66	50046.87	11869.98	772.64	2415.98	49667.70	39.05	396770.55	0.00
11	2018	1171008.24	165712.68	22241.08	5275.08	343.37	1073.68	22072.57	17.35	176326.80	0.00
12	2018	959412.73	135769.20	18222.22	4321.90	281.32	879.67	18084.16	14.22	144465.40	0.00

7.5.2 Simulación sin emisiones de AR-ZMVM

La siguiente tabla presenta la tabla que representa el caudal y las emisiones mensuales del AR-ZMVM en el caso hipotético que no se emitiera ningún contaminante en AR-ZMVM. Estos datos fueron utilizados en la simulación 1 (Tabla 17) presentada en la Metodología 3.4.1.1

mo	yr	flo	sed	orgn	sedp	no3	solp	nh3	no2	cbod	dox
		m3/s	kg/day								
1	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
2	2012	712824.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
3	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
4	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
5	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
6	2012	2111164.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
7	2012	5173805.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
8	2012	3651752.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
9	2012	2327273.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
10	2012	438006.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
11	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
12	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
1	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
2	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
3	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
4	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
5	2013	149866.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
6	2013	1666015.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00

7	2013	1820976.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
8	2013	2224891.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
9	2013	6880873.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
10	2013	3099876.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
11	2013	1179152.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
12	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
1	2014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
2	2014	85736.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
3	2014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
4	2014	218470.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
5	2014	1092083.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
6	2014	4252495.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
7	2014	5836817.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
8	2014	3843721.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
9	2014	4854215.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
10	2014	4845207.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
11	2014	1272258.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
12	2014	144252.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
1	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
2	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
3	2015	114348.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
4	2015	52454.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
5	2015	2167266.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
6	2015	2824948.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
7	2015	4010642.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
8	2015	470619.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
9	2015	3300315.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
10	2015	256940.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
11	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
12	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
1	2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
2	2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
3	2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
4	2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
5	2016	50673.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
6	2016	2673636.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
7	2016	4934913.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
8	2016	3021033.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
9	2016	3623309.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00

10	2016	810062.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
11	2016	1484160.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
12	2016	128930.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
1	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
2	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
3	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
4	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
5	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
6	2017	1275454.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
7	2017	3418321.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
8	2017	2571133.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
9	2017	5267439.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
10	2017	509726.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
11	2017	301222.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
12	2017	209856.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
1	2018	42561.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
2	2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
3	2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
4	2018	497204.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
5	2018	1164560.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
6	2018	2249049.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
7	2018	1541166.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
8	2018	3487833.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
9	2018	3870476.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
10	2018	2635002.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
11	2018	1171008.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00
12	2018	959412.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00

7.5.3 Escenarios de control de cargas de nutrientes

Las siguientes tablas muestran las modificaciones a los valores mensuales de caudal promedio y cargas emitidas por el AR-ZMVM utilizadas en la Metodología 3.4.2.1. Los escenarios se describen en la Tabla 19.

Escenario I - V:

mo	yr	flo	sed	orgn	sedp	no3	solp	nh3	no2	cbod	dox
		m3/s	kg/day								
1	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2012	712824.54	100873.81	10577.82	651.53	569.97	149.67	12210.80	60.26	11119.90	0.00

3	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	2012	2111164.10	298756.79	31328.22	1929.63	1688.07	443.27	36164.57	178.48	32933.67	0.00
7	2012	5173805.54	732159.81	76775.70	4728.91	4136.92	1086.32	88628.09	437.39	80710.16	0.00
8	2012	3651752.99	516769.87	54189.49	3337.74	2919.91	766.74	62555.10	308.72	56966.50	0.00
9	2012	2327273.57	329339.05	34535.13	2127.15	1860.86	488.65	39866.56	196.75	36304.93	0.00
10	2012	438006.43	61983.52	6499.71	400.34	350.23	91.97	7503.12	37.03	6832.80	0.00
11	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2013	149866.53	21208.04	2223.92	136.98	119.83	31.47	2567.24	12.67	2337.88	0.00
6	2013	1666015.92	235762.61	24722.53	1522.76	1332.13	349.81	28539.11	140.84	25989.46	0.00
7	2013	1820976.16	257691.47	27022.03	1664.39	1456.03	382.34	31193.60	153.94	28406.80	0.00
8	2013	2224891.35	314850.65	33015.85	2033.57	1779.00	467.15	38112.73	188.09	34707.79	0.00
9	2013	6880873.32	973731.79	102107.41	6289.19	5501.88	1444.75	117870.43	581.70	107340.02	0.00
10	2013	3099876.95	438672.33	46000.03	2833.32	2478.63	650.87	53101.37	262.06	48357.36	0.00
11	2013	1179152.88	166865.25	17497.81	1077.76	942.84	247.58	20199.07	99.68	18394.51	0.00
12	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2014	85736.69	12132.84	1272.27	78.36	68.55	18.00	1468.68	7.25	1337.47	0.00
3	2014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2014	218470.40	30916.36	3241.95	199.68	174.69	45.87	3742.43	18.47	3408.09	0.00
5	2014	1092083.45	154543.81	16205.76	998.18	873.22	229.30	18707.56	92.32	17036.25	0.00
6	2014	4252495.68	601782.66	63104.10	3886.82	3400.25	892.88	72845.91	359.50	66337.94	0.00
7	2014	5836817.50	825984.51	86614.34	5334.91	4667.06	1225.53	99985.59	493.44	91052.99	0.00
8	2014	3843721.86	543935.92	57038.18	3513.20	3073.40	807.05	65843.55	324.95	59961.17	0.00
9	2014	4854215.76	686933.76	72033.21	4436.80	3881.38	1019.22	83153.47	410.37	75724.64	0.00
10	2014	4845207.02	685658.91	71899.52	4428.57	3874.18	1017.33	82999.15	409.61	75584.10	0.00
11	2014	1272258.53	180040.89	18879.44	1162.86	1017.29	267.13	21793.99	107.56	19846.94	0.00
12	2014	144252.58	20413.59	2140.61	131.85	115.34	30.29	2471.07	12.20	2250.31	0.00
1	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2015	114348.39	16181.76	1696.85	104.52	91.43	24.01	1958.81	9.67	1783.81	0.00
4	2015	52454.27	7422.95	778.39	47.94	41.94	11.01	898.55	4.43	818.27	0.00
5	2015	2167266.63	306696.01	32160.74	1980.90	1732.92	455.05	37125.61	183.22	33808.86	0.00

6	2015	2824948.56	399766.44	41920.28	2582.03	2258.80	593.14	48391.81	238.82	44068.54	0.00
7	2015	4010642.25	567557.30	59515.16	3665.77	3206.87	842.10	68702.92	339.06	62565.09	0.00
8	2015	470619.89	66598.75	6983.67	430.15	376.30	98.81	8061.79	39.79	7341.56	0.00
9	2015	3300315.36	467036.94	48974.40	3016.52	2638.90	692.95	56534.91	279.01	51484.15	0.00
10	2015	256940.83	36360.42	3812.82	234.85	205.45	53.95	4401.44	21.72	4008.22	0.00
11	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2016	50673.67	7170.97	751.96	46.32	40.52	10.64	868.05	4.28	790.50	0.00
6	2016	2673636.96	378353.91	39674.93	2443.73	2137.81	561.37	45799.82	226.03	41708.11	0.00
7	2016	4934913.91	698353.59	73230.71	4510.56	3945.91	1036.16	84535.84	417.19	76983.51	0.00
8	2016	3021033.60	427514.99	44830.05	2761.26	2415.59	634.31	51750.77	255.40	47127.42	0.00
9	2016	3623309.28	512744.72	53767.41	3311.74	2897.16	760.77	62067.85	306.31	56522.78	0.00
10	2016	810062.94	114634.29	12020.77	740.41	647.72	170.09	13876.50	68.48	12636.79	0.00
11	2016	1484160.00	210027.67	22023.91	1356.54	1186.72	311.62	25423.89	125.47	23152.55	0.00
12	2016	128930.78	18245.36	1913.24	117.84	103.09	27.07	2208.60	10.90	2011.29	0.00
1	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	2017	1275454.08	180493.10	18926.86	1165.78	1019.84	267.80	21848.73	107.83	19896.79	0.00
7	2017	3418321.24	483736.28	50725.53	3124.38	2733.26	717.73	58556.37	288.98	53325.02	0.00
8	2017	2571133.01	363848.28	38153.84	2350.04	2055.85	539.85	44043.91	217.36	40109.08	0.00
9	2017	5267439.36	745410.20	78165.16	4814.49	4211.79	1105.98	90232.05	445.31	82170.83	0.00
10	2017	509726.55	72132.84	7563.99	465.90	407.57	107.03	8731.69	43.09	7951.62	0.00
11	2017	301222.08	42626.79	4469.93	275.32	240.85	63.25	5159.98	25.47	4698.99	0.00
12	2017	209856.67	29697.41	3114.13	191.81	167.80	44.06	3594.88	17.74	3273.72	0.00
1	2018	42561.00	6022.93	631.58	38.90	34.03	8.94	729.08	3.60	663.94	0.00
2	2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2018	497204.73	70360.84	7378.17	454.45	397.56	104.40	8517.19	42.03	7756.28	0.00
5	2018	1164560.99	164800.31	17281.28	1064.42	931.17	244.52	19949.11	98.45	18166.88	0.00
6	2018	2249049.76	318269.38	33374.34	2055.65	1798.32	472.22	38526.57	190.13	35084.65	0.00
7	2018	1541166.19	218094.77	22869.84	1408.64	1232.30	323.59	26400.42	130.29	24041.83	0.00
8	2018	3487833.65	493573.18	51757.04	3187.92	2788.84	732.33	59747.13	294.86	54409.39	0.00

9	2018	3870476.28	547722.02	57435.19	3537.65	3094.79	812.67	66301.86	327.21	60378.53	0.00
10	2018	2635002.69	372886.66	39101.62	2408.42	2106.92	553.26	45138.01	222.76	41105.43	0.00
11	2018	1171008.24	165712.68	17376.95	1070.31	936.33	245.87	20059.55	99.00	18267.46	0.00
12	2018	959412.73	135769.20	14237.02	876.91	767.14	201.44	16434.89	81.11	14966.62	0.00

Escenario VI – X:

mo	yr	flo	sed	orgn	sedp	no3	solp	nh3	no2	cbod	dox
		m3/s	kg/day								
1	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2012	712824.54	100873.81	676.94	160.55	10.45	32.68	671.81	0.53	5366.75	0.00
3	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	2012	2111164.10	298756.79	2004.88	475.51	30.95	96.78	1989.69	1.56	15894.63	0.00
7	2012	5173805.54	732159.81	4913.33	1165.33	75.85	237.19	4876.11	3.83	38952.78	0.00
8	2012	3651752.99	516769.87	3467.91	822.51	53.54	167.41	3441.63	2.71	27493.48	0.00
9	2012	2327273.57	329339.05	2210.11	524.19	34.12	106.69	2193.36	1.72	17521.68	0.00
10	2012	438006.43	61983.52	415.95	98.66	6.42	20.08	412.80	0.32	3297.68	0.00
11	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2013	149866.53	21208.04	142.32	33.76	2.20	6.87	141.24	0.11	1128.32	0.00
6	2013	1666015.92	235762.61	1582.14	375.25	24.43	76.38	1570.15	1.23	12543.18	0.00
7	2013	1820976.16	257691.47	1729.30	410.15	26.70	83.48	1716.20	1.35	13709.85	0.00
8	2013	2224891.35	314850.65	2112.88	501.13	32.62	102.00	2096.87	1.65	16750.86	0.00
9	2013	6880873.32	973731.79	6534.46	1549.82	100.88	315.45	6484.95	5.10	51805.03	0.00
10	2013	3099876.95	438672.33	2943.81	698.21	45.45	142.11	2921.51	2.30	23338.49	0.00
11	2013	1179152.88	166865.25	1119.79	265.59	17.29	54.06	1111.30	0.87	8877.66	0.00
12	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2014	85736.69	12132.84	81.42	19.31	1.26	3.93	80.80	0.06	645.50	0.00
3	2014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2014	218470.40	30916.36	207.47	49.21	3.20	10.02	205.90	0.16	1644.83	0.00
5	2014	1092083.45	154543.81	1037.10	245.98	16.01	50.07	1029.25	0.81	8222.13	0.00
6	2014	4252495.68	601782.66	4038.40	957.82	62.35	194.95	4007.81	3.15	32016.38	0.00
7	2014	5836817.50	825984.51	5542.96	1314.67	85.57	267.58	5500.97	4.32	43944.50	0.00

8	2014	3843721.86	543935.92	3650.21	865.75	56.35	176.21	3622.55	2.85	28938.79	0.00
9	2014	4854215.76	686933.76	4609.83	1093.35	71.17	222.54	4574.90	3.60	36546.64	0.00
10	2014	4845207.02	685658.91	4601.28	1091.32	71.04	222.12	4566.41	3.59	36478.81	0.00
11	2014	1272258.53	180040.89	1208.21	286.56	18.65	58.33	1199.05	0.94	9578.64	0.00
12	2014	144252.58	20413.59	136.99	32.49	2.11	6.61	135.95	0.11	1086.06	0.00
1	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2015	114348.39	16181.76	108.59	25.76	1.68	5.24	107.77	0.08	860.91	0.00
4	2015	52454.27	7422.95	49.81	11.81	0.77	2.40	49.44	0.04	394.92	0.00
5	2015	2167266.63	306696.01	2058.16	488.15	31.77	99.36	2042.56	1.61	16317.02	0.00
6	2015	2824948.56	399766.44	2682.73	636.28	41.42	129.51	2662.40	2.09	21268.60	0.00
7	2015	4010642.25	567557.30	3808.73	903.34	58.80	183.86	3779.87	2.97	30195.50	0.00
8	2015	470619.89	66598.75	446.93	106.00	6.90	21.58	443.54	0.35	3543.22	0.00
9	2015	3300315.36	467036.94	3134.16	743.35	48.39	151.30	3110.42	2.45	24847.56	0.00
10	2015	256940.83	36360.42	244.01	57.87	3.77	11.78	242.16	0.19	1934.47	0.00
11	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2016	50673.67	7170.97	48.12	11.41	0.74	2.32	47.76	0.04	381.51	0.00
6	2016	2673636.96	378353.91	2539.03	602.20	39.20	122.57	2519.80	1.98	20129.40	0.00
7	2016	4934913.91	698353.59	4686.47	1111.52	72.35	226.24	4650.96	3.66	37154.20	0.00
8	2016	3021033.60	427514.99	2868.94	680.45	44.29	138.50	2847.20	2.24	22744.89	0.00
9	2016	3623309.28	512744.72	3440.89	816.10	53.12	166.11	3414.82	2.68	27279.33	0.00
10	2016	810062.94	114634.29	769.28	182.46	11.88	37.14	763.45	0.60	6098.84	0.00
11	2016	1484160.00	210027.67	1409.44	334.29	21.76	68.04	1398.76	1.10	11174.01	0.00
12	2016	128930.78	18245.36	122.44	29.04	1.89	5.91	121.51	0.10	970.70	0.00
1	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	2017	1275454.08	180493.10	1211.24	287.28	18.70	58.47	1202.06	0.94	9602.70	0.00
7	2017	3418321.24	483736.28	3246.23	769.93	50.12	156.71	3221.63	2.53	25736.01	0.00
8	2017	2571133.01	363848.28	2441.69	579.11	37.70	117.87	2423.19	1.90	19357.66	0.00
9	2017	5267439.36	745410.20	5002.25	1186.42	77.23	241.48	4964.35	3.90	39657.74	0.00
10	2017	509726.55	72132.84	484.06	114.81	7.47	23.37	480.40	0.38	3837.65	0.00

11	2017	301222.08	42626.79	286.06	67.85	4.42	13.81	283.89	0.22	2267.85	0.00
12	2017	209856.67	29697.41	199.29	47.27	3.08	9.62	197.78	0.16	1579.98	0.00
1	2018	42561.00	6022.93	40.42	9.59	0.62	1.95	40.11	0.03	320.44	0.00
2	2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	2018	497204.73	70360.84	472.17	111.99	7.29	22.79	468.60	0.37	3743.38	0.00
5	2018	1164560.99	164800.31	1105.93	262.30	17.07	53.39	1097.55	0.86	8767.80	0.00
6	2018	2249049.76	318269.38	2135.82	506.57	32.97	103.11	2119.64	1.67	16932.75	0.00
7	2018	1541166.19	218094.77	1463.58	347.13	22.60	70.65	1452.49	1.14	11603.20	0.00
8	2018	3487833.65	493573.18	3312.24	785.59	51.14	159.90	3287.14	2.58	26259.36	0.00
9	2018	3870476.28	547722.02	3675.62	871.77	56.75	177.44	3647.77	2.87	29140.22	0.00
10	2018	2635002.69	372886.66	2502.34	593.50	38.63	120.80	2483.38	1.95	19838.53	0.00
11	2018	1171008.24	165712.68	1112.05	263.75	17.17	53.68	1103.63	0.87	8816.34	0.00
12	2018	959412.73	135769.20	911.11	216.09	14.07	43.98	904.21	0.71	7223.27	0.00

7.6 Descarga puntual de agua residual

El siguiente subcapítulo muestra los datos recopilados de las descargas puntuales de agua residual existentes en la cuenca hidrológica de la presa Endhó y sus emisiones. La información se utilizó en la Metodología 3.2.2.2, 3.2.2.3 y 4.4.1.

7.6.1 Permisos

Las siguientes tablas muestra los permisos identificados en el REPDA (CONAGUA, 2023) que se encontraron vigentes durante los años de 2012 y 2018 en el cuenca hidrológica de la presa Endhó.

Descarga de agua residual doméstica por parte de los municipios:

Nombre	Longitud	Latitud	Municipio	Uso de agua	Caudal (m ³ /día)	ID SWAT+
PRESIDENCIA MUNICIPAL TULA DE ALLENDE	20.056	-99.342	Tula de Allende	Servicios	19205.50	pt025
PRESIDENCIA MUNICIPAL DE TULA DE ALLENDE 1	19.989	-99.315	Tula de Allende	Servicios	156.00	pt029
PRESIDENCIA MUNICIPAL DE TULA DE ALLENDE 2	19.996	-99.324	Tula de Allende	Servicios	233.00	pt029
PRESIDENCIA MUNICIPAL DE TULA DE ALLENDE 3	19.980	-99.318	Tula de Allende	Servicios	154.00	pt029
PRESIDENCIA MUNICIPAL DE TULA DE ALLENDE 4	19.986	-99.322	Tula de Allende	Servicios	480.00	pt029
MUNICIPIO DE ATOTONILCO DE TULA 1	19.956	-99.301	Atotonilco de Tula	Servicios	89.88	pt038

MUNICIPIO DE ATOTONILCO DE TULA 2	19.972	-99.304	Atotonilco de Tula	Servicios	20.75	pt038
MUNICIPIO DE ATOTONILCO DE TULA 3	19.970	-99.304	Atotonilco de Tula	Servicios	17.78	pt038
MUNICIPIO DE ATOTONILCO DE TULA 4	19.967	-99.306	Atotonilco de Tula	Servicios	20.75	pt038
COMISION DE AGUA Y ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE TEPEJI DEL RIO DE OCAMPO, HIDALGO 1	19.903	-99.338	Tepejí del Río Ocampo	Servicios	864.00	pt052
COMISION DE AGUA Y ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE TEPEJI DEL RIO DE OCAMPO, HIDALGO 10	19.903	-99.336	Tepejí del Río Ocampo	Servicios	30.00	pt052
COMISION DE AGUA Y ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE TEPEJI DEL RIO DE OCAMPO, HIDALGO 2	19.895	-99.342	Tepejí del Río Ocampo	Servicios	90.00	pt052
COMISION DE AGUA Y ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE TEPEJI DEL RIO DE OCAMPO, HIDALGO 3	19.901	-99.337	Tepejí del Río Ocampo	Servicios	24.00	pt052
COMISION DE AGUA Y ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE TEPEJI DEL RIO DE OCAMPO, HIDALGO 4	19.914	-99.338	Tepejí del Río Ocampo	Servicios	21.00	pt052
COMISION DE AGUA Y ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE TEPEJI DEL RIO DE OCAMPO, HIDALGO 5	19.911	-99.335	Tepejí del Río Ocampo	Servicios	32.50	pt052
COMISION DE AGUA Y ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE TEPEJI DEL RIO DE OCAMPO, HIDALGO 6	19.911	-99.332	Tepejí del Río Ocampo	Servicios	280.00	pt052
COMISION DE AGUA Y ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE TEPEJI DEL RIO DE OCAMPO, HIDALGO 7	19.896	-99.343	Tepejí del Río Ocampo	Servicios	87.00	pt052
COMISION DE AGUA Y ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE TEPEJI DEL RIO DE OCAMPO, HIDALGO 8	19.894	-99.343	Tepejí del Río Ocampo	Servicios	26.00	pt052
COMISION DE AGUA Y ALCANTARILLADO DEL MUNICIPIO DE TEPEJI DEL RIO DE OCAMPO, HIDALGO 9	19.913	-99.336	Tepejí del Río Ocampo	Servicios	29.00	pt052
O.D.A.P.A.S.,JILOTEPEC	19.942	-99.523	Jilotepec	Servicios	5833.56	pt064
COMISION DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE TULA DE ALLENDE	20.098	-99.474	Tula de Allende	Servicios	50.00	pt119

Descarga de agua residual industrial:

Nombre	Longitud	Latitud	Subcuenca	Uso de agua	Caudal (m ³ /día)	ID SWAT+
AUTOTRANSPORTES VALLE DEL MEZQUITAL, S.A. DE C.V.	-99.339	20.035	Endhó	Servicios	7.30	pt025
CEMENTOS TOLTECA, S.A. DE C.V. 2	-99.342	20.097	Endhó	Servicios	0.01	pt025
CEMENTOS TOLTECA, S.A. DE C.V. 3	-99.342	20.031	Endhó	Servicios	0.03	pt025
CEMENTOS TOLTECA, S.A. DE C.V. 4	-99.342	20.031	Endhó	Servicios	0.04	pt025

PEMEX TRANSFORMACION INDUSTRIAL (REFINERIA MIGUEL HIDALGO)	-99.342	20.058	Endhó	Refinación hidrocarburos	25000.00	pt025
SERVICIO TODA, S. A. DE C. V.	-99.339	20.054	Endhó	Servicios	12.96	pt025
COOPERATIVA LA CRUZ AZUL, S. C. L.	-99.332	19.990	Tlautla	Tratamiento secundario	75.90	pt031
INMOBILIARIA HADAMEX, S.A.	-99.365	19.971	Tlautla	Sin especificar	35.68	pt044
MANUFACTURAS KALTEX, S. A. DE C. V. 4	-99.364	19.969	Tlautla	Teñido de textiles	174.91	pt044
MANUFACTURAS KALTEX, S.A. DE C.V. 1	-99.363	19.972	Tlautla	Servicios	66.29	pt044
MANUFACTURAS KALTEX, S.A. DE C.V. 2	-99.365	19.971	Tlautla	Servicios	412.78	pt044
SALMITEX SA DE CV	-99.369	19.969	Tlautla	Sin especificar	40.68	pt044
ABASTECEDORA DE CAL APASCO, S.A. DE C.V.	-99.333	19.908	Requena	Servicios	0.03	pt052
COMPA?IA HULERA NACIONAL DEL CENTRO, S.A.	-99.338	19.887	Requena	Servicios	2.19	pt052
ELVIRA, S.A. DE C.V.	-99.336	19.894	Requena	Servicios	0.22	pt052
OLEFIN, S.A. DE C.V.	-99.340	19.889	Requena	Servicios	3.29	pt052
PEMEX GAS Y PETROQUIMICA BASICA 1	-99.292	19.851	Requena	Servicios	0.10	pt052
PILGRIMS PRIDE	-99.341	19.886	Requena	Sin especificar	39.68	pt052
RAFAEL MINGUEZ ALCANTARA	-99.340	19.890	Requena	Servicios	0.58	pt052
TAMBORES INTERNACIONALES, S.A. DE C.V.	-99.344	19.889	Requena	Servicios	0.14	pt052
TEXTILES NYL-ZON, S.A. DE C.V.	-99.336	19.911	Requena	Teñido de textiles	0.08	pt052
DONACIANO CRUZ GARCIA	-99.527	19.938	Tlautla	Servicios	0.57	pt064
BACHOCO S.A. DE C.V. 1	-99.481	19.993	Rosas	Servicios	0.01	pt129
BACHOCO S.A. DE C.V. 2	-99.475	19.991	Rosas	Servicios	0.02	pt129
BACHOCO S.A. DE C.V. 3	-99.475	19.992	Rosas	Servicios	0.02	pt129
CANOFIL, S.A. DE C.V.	-99.528	20.016	Rosas	Teñido de textiles	179.60	pt135
FLEXICO, S. DE R.L. DE C.V.	-99.520	19.976	Rosas	Sin especificar	34.68	pt187
HERRAMIENTAS TRUPER, S.A. DE C.V.	-99.529	19.967	Rosas	Sin especificar	36.68	pt187
TRUPER, S.A. DE C.V. 1	-99.529	19.975	Rosas	Servicios	111.95	pt187
TRUPER, S.A. DE C.V. 2	-99.526	19.974	Rosas	Servicios	30.65	pt187
TRUPER, S.A. DE C.V. 3	-99.520	19.974	Rosas	Sin especificar	30.68	pt187
CANMI, S.A. DE C.V.	-99.526	19.819	Tlautla	Sin especificar	37.68	pt283
LUBRICANTES Y SERVICIOS CHAPA DE MOTA, S.A. DE C.V.	-99.532	19.821	Tlautla	Servicios	0.95	pt283
PEMEX GAS Y PETROQUIMICA BASICA 2	-99.292	19.851	Requena	Servicios	3.70	pt301
PEMEX GAS Y PETROQUIMICA BASICA 3	-99.292	19.851	Requena	Servicios	0.20	pt301
ACABADOS Y MAQUILAS MEXICANAS S. DE R.L. DE C.V.	-99.342	19.925	Requena	Teñido de textiles	11.97	pt345
MANUFACTURAS KALTEX, S.A. DE C.V. 3	-99.339	19.928	Requena	Teñido de textiles	410.00	pt345

REGALOS ULTRAMAR, S. A. DE C. V.	-99.335	19.932	Requena	Teñido de textiles	275.34	pt345
ANGEL MONTEERRUBIO MUCIÑO	-99.276	19.984	Endhó	Servicios	7.51	pt363
F/01014 THE BANK OF NEW YORK MELLON, S.A. 2	-99.517	19.992	Rosas	Sin especificar	33.68	pt373
EMBOTELLADORA NIAGARA DE MEXICO S. DE R.L. DE C.V.	-99.517	19.998	Rosas	Sin especificar	32.68	pt381
F/01014 THE BANK OF NEW YORK MELLON, S.A. 1	-99.511	20.009	Rosas	Sin especificar	31.68	pt381
CEMENTOS TOLTECA, S.A. DE C.V. 1	-99.342	20.031	Endhó	Sin especificar	38.68	pt423

7.6.2 Emisiones puntuales

Las siguientes tablas presentan los valores del caudal y las emisiones diarias de las descargas puntuales de agua residual generada y descargada en la cuenca hidrológica de la presa Endhó segregados por el punto de descarga que SWAT+ le asignó a cada descarga por su cercanía.

Agua residual doméstica puntual:

ID SWAT+	flo	sed	orgn	sedp	no3	solp	nh3	no2	cbod	dox
	m ³ /day	kg/day								mg/L
25	19,205.50	7,682.20	480.14	864.25	0.00	0.00	153.64	76.82	6,721.93	1.00
29	1,023.00	409.20	25.58	46.04	0.00	0.00	8.18	4.09	358.05	1.00
38	149.16	59.66	3.73	6.71	0.00	0.00	1.19	0.60	52.21	1.00
52	1,483.50	593.40	37.09	66.76	0.00	0.00	11.87	5.93	519.23	1.00

Agua residual industrial:

ID SWAT+	flo	sed	orgn	sedp	no3	solp	nh3	no2	cbod	dox
	m ³ /day	kg/day								mg/L
25	26.82	11.92	0.37	0.84	0.07	0.01	0.16	0.06	7.26	1.95
31	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	8.00
44	96.97	25.06	1.84	3.08	0.02	0.00	0.50	0.32	24.62	1.59
52	211.66	6.24	1.42	1.61	0.07	0.00	0.10	0.32	14.85	1.04
64	36.68	1.31	0.35	0.40	0.02	0.00	0.02	0.08	3.77	1.00
129	211.54	89.02	0.37	2.94	1.08	0.16	0.59	0.08	34.08	1.00
135	66.29	26.52	1.66	2.98	0.00	0.00	0.53	0.27	23.20	1.00
187	829.86	372.74	10.50	24.77	2.48	0.37	4.67	1.68	217.47	1.66
283	25,000.20	2,535.50	317.55	298.50	58.33	0.69	16.55	96.17	2,065.95	2.54
301	40.26	1.65	0.39	0.46	0.02	0.00	0.03	0.09	4.28	1.00
345	328.99	144.17	0.71	4.98	1.69	0.25	1.01	0.14	56.08	1.00
363	0.14	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	1.00
373	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	2.58

381	142.60	57.04	3.57	6.42	0.00	0.00	1.14	0.57	49.91	2.58
423	30.68	1.10	0.29	0.34	0.01	0.00	0.02	0.07	3.15	2.58

7.6.3 Datos de entrada representativas de las emisiones puntuales de ARDd y ARI

7.6.3.1 Escenario actual

En la siguiente tabla se presentan los resultados de la metodología del capítulo 3.2.2.2 y 3.2.2.3. La tabla presenta los valores que se calcularon para representar el caudal y las emisiones de las descargas de ARDp y ARI cada día entre el periodo de 2012 a 2018.

ID SWAT+	flo	sed	orgn	sedp	no3	solp	nh3	no2	cbod	dox
	m ³ /day	kg/day								mg/L
pt025	44225.84	10225.75	798.19	1163.65	58.33	0.69	170.35	173.07	8794.92	1.95
pt029	1023.00	409.20	25.58	46.04	0.00	0.00	8.18	4.09	358.05	1.00
pt031	75.90	0.27	0.07	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.16	8.00
pt038	149.16	59.66	3.73	6.71	0.00	0.00	1.19	0.60	52.21	1.00
pt044	94.97	24.99	1.82	3.06	0.02	0.00	0.49	0.31	24.42	1.59
pt052	1529.80	597.48	37.63	67.49	0.02	0.00	11.94	6.05	525.61	1.04
pt064	5834.13	2333.65	145.85	262.54	0.00	0.00	46.67	23.34	2041.95	1.00
pt119	50.00	20.00	1.25	2.25	0.00	0.00	0.40	0.20	17.50	1.00
pt129	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00
pt135	179.60	89.71	0.00	2.57	1.09	0.16	0.57	0.00	30.89	1.00
pt187	244.65	60.70	4.54	7.54	0.05	0.00	1.20	0.79	60.40	1.66
pt283	38.63	1.73	0.38	0.46	0.02	0.00	0.03	0.09	4.20	2.54
pt301	3.90	1.56	0.10	0.18	0.00	0.00	0.03	0.02	1.37	1.00
pt345	697.31	348.30	0.00	9.99	4.23	0.63	2.23	0.00	119.94	1.00
pt363	7.51	3.00	0.19	0.34	0.00	0.00	0.06	0.03	2.63	1.00
pt373	33.68	1.21	0.32	0.37	0.02	0.00	0.02	0.07	3.46	2.58
pt381	64.37	2.31	0.62	0.71	0.03	0.00	0.04	0.14	6.61	2.58
pt423	38.68	1.39	0.37	0.43	0.02	0.00	0.02	0.08	3.97	2.58

7.6.3.2 Simulaciones sin emisiones de cada una de las fuentes emisoras puntuales

Las siguientes tablas presentan tablas de entrada que representa casos hipotéticos dónde se omiten las emisiones de cada una de las fuentes emisoras puntuales, el ARDp y el ARI. Estos datos fueron utilizados en la simulación 2 y 3 (Tabla 17) presentada en la Metodología 3.4.1.1

Simulación 2 (sin emisiones del ARDp):

ID SWAT+	flo	sed	orgn	sedp	no3	solp	nh3	no2	cbod	dox
	m ³ /day	kg/day								mg/L
pt025	25020.34	2543.55	318.05	299.41	58.33	0.69	16.71	96.25	2072.99	1.95
pt029	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
pt031	75.90	0.27	0.07	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.16	8.00
pt038	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
pt044	94.97	24.99	1.82	3.06	0.02	0.00	0.49	0.31	24.42	1.59
pt052	46.30	4.08	0.54	0.73	0.02	0.00	0.07	0.11	6.38	1.04
pt064	0.57	0.23	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	1.00
pt119	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
pt129	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00
pt135	179.60	89.71	0.00	2.57	1.09	0.16	0.57	0.00	30.89	1.00
pt187	244.65	60.70	4.54	7.54	0.05	0.00	1.20	0.79	60.40	1.66
pt283	38.63	1.73	0.38	0.46	0.02	0.00	0.03	0.09	4.20	2.54
pt301	3.90	1.56	0.10	0.18	0.00	0.00	0.03	0.02	1.37	1.00
pt345	697.31	348.30	0.00	9.99	4.23	0.63	2.23	0.00	119.94	1.00
pt363	7.51	3.00	0.19	0.34	0.00	0.00	0.06	0.03	2.63	1.00
pt373	33.68	1.21	0.32	0.37	0.02	0.00	0.02	0.07	3.46	2.58
pt381	64.37	2.31	0.62	0.71	0.03	0.00	0.04	0.14	6.61	2.58
pt423	38.68	1.39	0.37	0.43	0.02	0.00	0.02	0.08	3.97	2.58

Simulación 3 (sin emisiones de ARI):

ID SWAT+	flo	sed	orgn	sedp	no3	solp	nh3	no2	cbod	dox
	m ³ /day	kg/day								mg/L
pt025	19205.50	7682.20	480.14	864.25	0.00	0.00	153.64	76.82	6721.93	1.00
pt029	1023.00	409.20	25.58	46.04	0.00	0.00	8.18	4.09	358.05	1.00
pt031	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
pt038	149.16	59.66	3.73	6.71	0.00	0.00	1.19	0.60	52.21	1.00
pt044	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
pt052	1483.50	593.40	37.09	66.76	0.00	0.00	11.87	5.93	519.23	1.00
pt064	5833.56	2333.42	145.84	262.51	0.00	0.00	46.67	23.33	2041.75	1.00
pt119	50.00	20.00	1.25	2.25	0.00	0.00	0.40	0.20	17.50	1.00
pt129	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
pt135	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
pt187	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
pt283	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
pt301	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
pt345	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
363	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

373	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
381	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
423	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

7.6.3.3 Escenarios de control de cargas de nutrientes

Las siguientes tablas muestran las modificaciones a los valores de caudal y cargas emitidas DIARIAS por las fuentes puntuales emisoras utilizadas en la Metodología 3.4.2.1 Los escenarios se describen en la Tabla 19.

Escenario II:

ID SWAT+	flo	sed	orgn	sedp	no3	solp	nh3	no2	cbod	dox
	m ³ /day	kg/day								mg/L
pt025	44225.84	10225.75	693.18	111.84	58.33	51.89	0.69	58.33	2769.38	1.95
pt029	1023.00	409.20	19.99	0.83	0.00	1.87	0.00	0.00	37.09	1.00
pt031	75.90	0.27	0.07	0.02	0.01	0.01	0.00	0.10	0.16	8.00
pt038	149.16	59.67	2.91	0.12	0.00	0.27	0.00	0.00	5.41	1.00
pt044	94.97	24.99	1.82	0.31	0.02	0.49	0.00	0.20	24.42	1.59
pt052	1529.80	597.48	29.52	1.31	0.02	2.79	0.00	0.20	60.17	1.04
pt064	5834.13	2333.65	113.95	4.73	0.00	10.69	0.00	0.00	211.73	1.00
pt119	50.00	20.00	0.98	0.04	0.00	0.09	0.00	0.00	1.81	1.00
pt129	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00
pt135	179.60	89.71	0.00	0.00	1.09	0.57	0.16	1.09	30.89	1.00
pt187	244.66	60.70	4.54	0.79	0.05	1.20	0.00	0.05	60.40	1.66
pt283	38.63	1.73	0.38	0.09	0.02	0.03	0.00	0.02	4.20	2.54
pt301	3.90	1.56	0.10	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	1.37	1.00
pt345	697.31	348.31	0.00	0.00	4.23	2.23	0.63	4.23	119.94	1.00
pt363	7.51	3.00	0.19	0.03	0.00	0.06	0.00	0.00	2.63	1.00
pt373	33.69	1.21	0.32	0.07	0.02	0.02	0.00	0.02	3.46	2.58
pt381	64.37	2.31	0.62	0.14	0.03	0.04	0.00	0.03	6.61	2.58
pt423	38.69	1.39	0.37	0.08	0.02	0.02	0.00	0.02	3.97	2.58

Escenario IV – V:

ID SWAT+	flo	sed	orgn	sedp	no3	solp	nh3	no2	cbod	dox
	m ³ /day	kg/day								mg/L
pt025	44225.84	10225.75	623.63	35.12	159.05	39.01	1057.53	3.91	911.15	1.95
pt029	1023.00	409.20	19.98	0.83	0.00	1.87	41.84	0.00	37.09	1.00
pt031	75.90	0.27	0.06	0.00	0.04	0.00	0.02	0.01	0.02	8.00
pt038	149.16	59.67	2.91	0.12	0.00	0.27	6.10	0.00	5.41	1.00

pt044	94.97	24.99	1.43	0.06	0.04	0.11	2.78	0.01	2.53	1.59
pt052	1529.80	597.48	29.40	1.23	0.05	2.73	61.33	0.01	54.45	1.04
pt064	5834.13	2333.65	113.95	4.74	0.00	10.69	238.59	0.00	211.55	1.00
pt119	50.00	20.00	0.98	0.04	0.00	0.09	2.04	0.00	1.81	1.00
pt129	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
pt135	179.60	89.71	0.00	0.00	2.97	0.13	2.34	0.93	3.20	1.00
pt187	244.66	60.70	3.55	0.16	0.13	0.27	6.85	0.01	6.26	1.66
pt283	38.63	1.73	0.30	0.02	0.05	0.01	0.42	0.01	0.44	2.54
pt301	3.90	1.56	0.08	0.00	0.00	0.01	0.16	0.00	0.14	1.00
pt345	697.31	348.31	0.00	0.00	11.52	0.51	9.08	3.62	12.43	1.00
pt363	7.51	3.00	0.15	0.01	0.00	0.01	0.31	0.00	0.27	1.00
pt373	33.69	1.21	0.25	0.01	0.04	0.00	0.34	0.01	0.36	2.58
pt381	64.37	2.31	0.48	0.03	0.08	0.01	0.64	0.01	0.69	2.58
pt423	38.69	1.39	0.29	0.02	0.05	0.00	0.39	0.01	0.41	2.58

Escenario VII:

ID SWAT+	flo	sed	orgn	sedp	no3	solp	nh3	no2	cbod	dox
	m ³ /day	kg/day								mg/L
pt025	44225.84	10225.75	342.06	100.09	0.69	24.39	342.62	58.33	2409.09	1.95
pt029	1023.00	409.20	1.28	0.20	0.00	0.41	2.30	0.00	17.90	1.00
pt031	75.90	0.27	0.07	0.02	0.00	0.01	0.02	0.10	0.16	8.00
pt038	149.16	59.67	0.19	0.03	0.00	0.06	0.34	0.00	2.61	1.00
pt044	94.97	24.99	1.82	0.31	0.00	0.49	3.06	0.20	24.42	1.59
pt052	1529.80	597.48	2.39	0.41	0.00	0.66	4.07	0.20	32.34	1.04
pt064	5834.13	2333.65	7.30	1.17	0.00	2.33	13.16	0.00	102.29	1.00
pt119	50.00	20.00	0.06	0.01	0.00	0.02	0.11	0.00	0.88	1.00
pt129	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	1.00
pt135	179.60	89.71	0.00	0.00	0.16	0.57	2.57	1.09	30.89	1.00
pt187	244.66	60.70	4.54	0.79	0.00	1.20	7.54	0.05	60.40	1.66
pt283	38.63	1.73	0.38	0.09	0.00	0.03	0.46	0.02	4.20	2.54
pt301	3.90	1.56	0.10	0.02	0.00	0.03	0.18	0.00	1.37	1.00
pt345	697.31	348.31	0.00	0.00	0.63	2.23	9.99	4.23	119.94	1.00
pt363	7.51	3.00	0.19	0.03	0.00	0.06	0.34	0.00	2.63	1.00
pt373	33.69	1.21	0.32	0.07	0.00	0.02	0.37	0.02	3.46	2.58
pt381	64.37	2.31	0.62	0.14	0.00	0.04	0.71	0.03	6.61	2.58
pt423	38.69	1.39	0.37	0.08	0.00	0.02	0.43	0.02	3.97	2.58

Escenraio IX – X:

ID SWAT+	flo	sed	orgn	sedp	no3	solp	nh3	no2	cbod	dox
----------	-----	-----	------	------	-----	------	-----	-----	------	-----

	m ³ /day	kg/day								mg/L
pt025	44225.84	10225.75	39.91	8.65	2.92	8.52	58.18	0.03	439.75	1.95
pt029	1023.00	409.20	1.28	0.20	0.00	0.41	2.30	0.00	17.90	1.00
pt031	75.90	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	8.00
pt038	149.16	59.67	0.19	0.03	0.00	0.06	0.34	0.00	2.61	1.00
pt044	94.97	24.99	0.09	0.02	0.00	0.02	0.15	0.00	1.22	1.59
pt052	1529.80	597.48	1.88	0.30	0.00	0.60	3.37	0.00	26.28	1.04
pt064	5834.13	2333.65	7.29	1.17	0.00	2.33	13.13	0.00	102.10	1.00
pt119	50.00	20.00	0.06	0.01	0.00	0.02	0.11	0.00	0.88	1.00
pt129	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
pt135	179.60	89.71	0.00	0.00	0.05	0.03	0.13	0.01	1.54	1.00
pt187	244.66	60.70	0.23	0.04	0.00	0.06	0.38	0.00	3.02	1.66
pt283	38.63	1.73	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.21	2.54
pt301	3.90	1.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.07	1.00
pt345	697.31	348.31	0.00	0.00	0.21	0.11	0.50	0.03	6.00	1.00
pt363	7.51	3.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.13	1.00
pt373	33.69	1.21	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.17	2.58
pt381	64.37	2.31	0.03	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.33	2.58
pt423	38.69	1.39	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.20	2.58

7.7 Resultados de simulaciones

La siguientes tablas presentan los resultados de todas las simulaciones que se llevaron a cabo con el modelo SWAT+ de la cuenca hidrológica de la presa Endhó durante el desarrollo de este trabajo.

7.7.1 Escenario actual

Las siguientes tablas presentan los valores simulados de caudales promedio y cargas de CBOD, P_{org} y P_{min} mensuales de las secciones hidrológicas que representan los ingresos a la presa Endhó

Channel 09									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	1.07E+00	1.32E+05	7.63E+03	8.49E+04	4/2016	7.84E-01	9.85E+04	6.80E+03	5.78E+04
2/2014	1.70E+00	1.44E+05	1.18E+04	8.92E+04	5/2016	1.40E+00	1.42E+05	1.09E+04	8.63E+04
3/2014	9.71E-01	1.16E+05	9.31E+03	6.99E+04	6/2016	3.18E+01	6.00E+06	1.98E+05	1.83E+06
4/2014	2.84E+00	2.04E+05	2.49E+04	1.12E+05	7/2016	6.03E+01	1.76E+07	2.49E+05	1.05E+07
5/2014	1.36E+01	1.49E+06	1.16E+05	3.49E+05	8/2016	6.78E+01	1.06E+07	1.96E+05	6.44E+06
6/2014	5.88E+01	1.45E+07	2.15E+05	8.71E+06	9/2016	5.60E+01	1.14E+07	2.22E+05	5.92E+06

7/2014	9.17E+01	2.31E+07	2.55E+05	1.73E+07	10/2016	1.86E+01	1.79E+06	9.33E+04	5.44E+05
8/2014	5.09E+01	1.32E+07	2.06E+05	7.48E+06	11/2016	2.35E+01	3.29E+06	1.23E+05	1.04E+06
9/2014	7.44E+01	1.81E+07	2.26E+05	1.29E+07	12/2016	6.30E+00	4.12E+05	3.33E+04	1.86E+05
10/2014	9.86E+01	1.96E+07	2.61E+05	1.51E+07	1/2017	3.24E+00	1.97E+05	1.36E+04	1.32E+05
11/2014	1.91E+01	2.63E+06	1.13E+05	8.05E+05	2/2017	2.34E+00	1.53E+05	8.03E+03	1.03E+05
12/2014	5.47E+00	3.84E+05	3.47E+04	1.76E+05	3/2017	1.35E+00	1.39E+05	7.57E+03	8.76E+04
1/2015	3.07E+00	1.97E+05	1.44E+04	1.31E+05	4/2017	8.11E-01	1.02E+05	6.78E+03	6.08E+04
2/2015	2.16E+00	1.52E+05	8.05E+03	1.02E+05	5/2017	2.48E+00	1.57E+05	9.32E+03	1.01E+05
3/2015	3.10E+00	2.09E+05	1.85E+04	1.27E+05	6/2017	1.49E+01	1.91E+06	1.10E+05	4.68E+05
4/2015	2.04E+00	1.62E+05	1.43E+04	9.67E+04	7/2017	4.12E+01	9.46E+06	2.42E+05	3.41E+06
5/2015	2.57E+01	4.77E+06	1.70E+05	1.43E+06	8/2017	3.19E+01	6.25E+06	2.06E+05	1.89E+06
6/2015	4.08E+01	7.87E+06	1.90E+05	3.15E+06	9/2017	8.34E+01	1.95E+07	2.50E+05	1.33E+07
7/2015	5.75E+01	1.41E+07	2.09E+05	8.36E+06	10/2017	1.93E+01	1.13E+06	6.99E+04	4.15E+05
8/2015	9.77E+00	7.72E+05	6.23E+04	2.70E+05	11/2017	9.47E+00	5.08E+05	4.67E+04	2.01E+05
9/2015	4.72E+01	9.86E+06	2.00E+05	4.65E+06	12/2017	6.64E+00	3.44E+05	3.59E+04	1.69E+05
10/2015	8.08E+00	5.72E+05	4.48E+04	2.34E+05	1/2018	2.79E+00	2.03E+05	1.67E+04	1.30E+05
11/2015	3.67E+00	2.02E+05	1.65E+04	1.26E+05	2/2018	1.86E+00	1.45E+05	9.37E+03	9.22E+04
12/2015	3.36E+00	1.91E+05	1.02E+04	1.31E+05	3/2018	1.12E+00	1.25E+05	7.41E+03	7.65E+04
1/2016	2.97E+00	1.87E+05	9.53E+03	1.30E+05	4/2018	5.82E+00	3.89E+05	5.13E+04	1.53E+05
2/2016	1.81E+00	1.48E+05	7.49E+03	9.87E+04	5/2018	1.55E+01	1.94E+06	1.15E+05	4.96E+05
3/2016	1.09E+00	1.24E+05	7.26E+03	7.77E+04	6/2018	2.79E+01	4.87E+06	1.79E+05	1.38E+06

Channel 59									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	6.74E-03	0.00E+00	8.47E+00	2.13E+00	4/2016	1.75E-03	0.00E+00	9.17E-02	1.91E-03
2/2014	4.55E-03	0.00E+00	1.39E+00	3.32E-01	5/2016	5.68E-03	0.00E+00	9.47E+00	5.58E-01
3/2014	2.84E-03	0.00E+00	1.84E-01	4.31E-02	6/2016	4.64E-02	0.00E+00	2.27E+02	2.47E+01
4/2014	1.55E-03	0.00E+00	1.24E-02	2.79E-03	7/2016	5.67E-03	0.00E+00	2.16E+01	1.24E+00
5/2014	2.75E-01	0.00E+00	1.48E+03	4.25E+02	8/2016	4.40E-02	0.00E+00	2.82E+02	1.03E+02
6/2014	4.34E-01	0.00E+00	2.69E+03	1.16E+03	9/2016	4.10E-01	0.00E+00	3.80E+03	3.24E+03
7/2014	1.23E+00	0.00E+00	3.82E+03	1.64E+03	10/2016	4.11E-02	0.00E+00	4.00E+02	1.57E+02
8/2014	1.01E-01	0.00E+00	5.94E+02	1.81E+02	11/2016	9.23E-03	0.00E+00	5.10E+01	1.45E+01
9/2014	6.64E-02	0.00E+00	6.33E+02	2.38E+02	12/2016	3.21E-02	0.00E+00	1.42E+02	9.36E+00
10/2014	9.23E-02	0.00E+00	1.05E+03	5.79E+02	1/2017	8.74E-03	0.00E+00	2.70E+01	8.75E-01
11/2014	1.44E-02	0.00E+00	1.16E+02	3.75E+01	2/2017	4.21E-03	0.00E+00	3.41E+00	9.62E-02
12/2014	2.52E-02	0.00E+00	8.82E+01	1.01E+01	3/2017	5.74E-03	0.00E+00	7.12E+00	1.64E-01
1/2015	1.17E-02	0.00E+00	3.49E+01	1.93E+00	4/2017	2.07E-03	0.00E+00	5.09E-01	8.25E-03
2/2015	1.55E-02	0.00E+00	3.33E+01	1.74E+00	5/2017	1.31E-01	0.00E+00	7.20E+02	7.73E+01

3/2015	4.12E-02	0.00E+00	1.56E+02	1.44E+01	6/2017	4.81E-02	0.00E+00	2.79E+02	2.70E+01
4/2015	5.99E-03	0.00E+00	1.44E+01	6.48E-01	7/2017	7.50E-02	0.00E+00	5.25E+02	5.46E+01
5/2015	3.09E-03	0.00E+00	4.03E+00	1.57E-01	8/2017	1.57E-01	0.00E+00	1.26E+03	4.03E+02
6/2015	2.61E-02	0.00E+00	1.08E+02	1.89E+01	9/2017	3.01E-01	0.00E+00	2.77E+03	1.58E+03
7/2015	1.79E-01	0.00E+00	1.25E+03	4.61E+02	10/2017	5.95E-02	0.00E+00	8.99E+02	3.12E+02
8/2015	1.43E-02	0.00E+00	7.14E+01	1.39E+01	11/2017	9.65E-03	0.00E+00	6.46E+01	1.30E+01
9/2015	6.12E-01	0.00E+00	5.40E+03	4.60E+03	12/2017	5.81E-03	0.00E+00	9.05E+00	1.66E+00
10/2015	1.53E-02	0.00E+00	1.07E+02	3.15E+01	1/2018	4.67E-03	0.00E+00	1.75E+00	3.12E-01
11/2015	1.08E-02	0.00E+00	4.46E+01	1.23E+01	2/2018	3.38E-03	0.00E+00	2.55E-01	4.22E-02
12/2015	5.26E-03	0.00E+00	5.62E+00	1.26E+00	3/2018	2.86E-03	0.00E+00	4.20E-02	6.99E-03
1/2016	5.33E-02	0.00E+00	1.93E+02	1.10E+01	4/2018	1.59E-03	0.00E+00	3.02E-03	5.11E-04
2/2016	6.55E-03	0.00E+00	1.14E+01	2.73E-01	5/2018	5.21E-03	0.00E+00	9.05E+00	3.29E-01
3/2016	3.15E-03	0.00E+00	1.80E+00	3.94E-02	6/2018	2.79E-01	0.00E+00	1.96E+03	1.64E+02

Channel 70									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	9.11E-03	0.00E+00	3.98E+00	1.58E+00	4/2016	1.36E-03	0.00E+00	3.67E-01	1.08E-02
2/2014	6.04E-03	0.00E+00	7.54E-01	2.37E-01	5/2016	4.11E-03	0.00E+00	5.83E+00	4.27E-01
3/2014	2.83E-03	0.00E+00	1.73E-01	4.26E-02	6/2016	3.08E-02	0.00E+00	1.11E+02	2.24E+01
4/2014	1.32E-03	0.00E+00	3.24E-02	6.60E-03	7/2016	4.23E-03	0.00E+00	1.26E+01	9.67E-01
5/2014	1.79E-01	0.00E+00	7.69E+02	4.60E+02	8/2016	2.97E-02	0.00E+00	1.48E+02	1.01E+02
6/2014	2.85E-01	0.00E+00	1.40E+03	1.24E+03	9/2016	2.68E-01	0.00E+00	2.11E+03	3.43E+03
7/2014	9.45E-01	0.00E+00	1.98E+03	1.55E+03	10/2016	3.27E-02	0.00E+00	1.79E+02	1.26E+02
8/2014	7.61E-02	0.00E+00	2.18E+02	1.34E+02	11/2016	9.16E-03	0.00E+00	2.63E+01	1.14E+01
9/2014	3.77E-02	0.00E+00	2.48E+02	1.64E+02	12/2016	2.42E-02	0.00E+00	7.51E+01	9.74E+00
10/2014	5.41E-02	0.00E+00	4.75E+02	4.19E+02	1/2017	8.35E-03	0.00E+00	1.64E+01	1.10E+00
11/2014	1.35E-02	0.00E+00	7.22E+01	3.94E+01	2/2017	4.06E-03	0.00E+00	2.76E+00	1.36E-01
12/2014	1.97E-02	0.00E+00	5.22E+01	1.14E+01	3/2017	4.26E-03	0.00E+00	4.39E+00	1.46E-01
1/2015	9.78E-03	0.00E+00	1.87E+01	1.90E+00	4/2017	1.46E-03	0.00E+00	8.30E-01	1.52E-02
2/2015	1.13E-02	0.00E+00	1.77E+01	1.48E+00	5/2017	8.64E-02	0.00E+00	3.69E+02	7.81E+01
3/2015	2.78E-02	0.00E+00	7.82E+01	1.30E+01	6/2017	3.11E-02	0.00E+00	1.31E+02	2.32E+01
4/2015	4.39E-03	0.00E+00	8.97E+00	5.62E-01	7/2017	5.18E-02	0.00E+00	2.30E+02	4.59E+01
5/2015	2.52E-03	0.00E+00	4.52E+00	2.29E-01	8/2017	1.05E-01	0.00E+00	6.16E+02	4.08E+02
6/2015	1.81E-02	0.00E+00	5.75E+01	1.62E+01	9/2017	1.99E-01	0.00E+00	1.44E+03	1.61E+03
7/2015	1.19E-01	0.00E+00	6.14E+02	4.67E+02	10/2017	3.33E-02	0.00E+00	3.70E+02	2.17E+02
8/2015	1.17E-02	0.00E+00	3.80E+01	1.19E+01	11/2017	1.00E-02	0.00E+00	4.47E+01	1.62E+01
9/2015	4.03E-01	0.00E+00	3.01E+03	4.98E+03	12/2017	6.36E-03	0.00E+00	7.48E+00	2.24E+00
10/2015	1.27E-02	0.00E+00	5.07E+01	2.42E+01	1/2018	5.15E-03	0.00E+00	1.71E+00	4.61E-01

11/2015	1.00E-02	0.00E+00	2.36E+01	1.04E+01	2/2018	3.69E-03	0.00E+00	3.62E-01	8.27E-02
12/2015	5.76E-03	0.00E+00	4.29E+00	1.34E+00	3/2018	2.61E-03	0.00E+00	9.71E-02	1.99E-02
1/2016	3.77E-02	0.00E+00	1.00E+02	1.04E+01	4/2018	1.12E-03	0.00E+00	1.76E-02	3.13E-03
2/2016	5.49E-03	0.00E+00	7.31E+00	3.51E-01	5/2018	3.33E-03	0.00E+00	5.06E+00	2.24E-01
3/2016	2.58E-03	0.00E+00	1.88E+00	6.84E-02	6/2018	1.83E-01	0.00E+00	9.24E+02	1.48E+02

7.7.2 Resultados de secciones hidrológicas utilizados en la validación

La siguiente tabla muestra los resultados de caudales promedio mensuales utilizados para comparar la simulación con datos observados y evaluar el desempeño de la simulación hidrológica

flo_out (m3/s)							
Date (mm/yyyy)	Channel 13	Channel 15	Channel 33	Date (mm/yyyy)	Channel 13	Channel 15	Channel 33
1/2014	3.72E-01	1.30E-01	3.01E-02	4/2016	1.62E-01	7.95E-02	1.36E-02
2/2014	1.15E+00	1.02E-01	2.10E-02	5/2016	9.09E-01	7.20E-02	1.40E-02
3/2014	2.43E-01	8.33E-02	1.64E-02	6/2016	3.16E+01	3.47E-01	2.36E-01
4/2014	2.45E+00	8.24E-02	1.54E-02	7/2016	5.81E+01	1.16E+00	4.12E-01
5/2014	1.27E+01	3.43E-01	5.48E-01	8/2016	5.28E+01	1.03E+01	3.40E+00
6/2014	5.03E+01	5.61E+00	2.32E+00	9/2016	5.13E+01	2.47E+00	1.52E+00
7/2014	7.66E+01	9.17E+00	5.49E+00	10/2016	1.63E+01	1.14E+00	4.25E-01
8/2014	4.86E+01	1.66E+00	7.07E-01	11/2016	2.23E+01	7.79E-01	8.61E-02
9/2014	6.67E+01	5.60E+00	1.78E+00	12/2016	4.92E+00	3.97E-01	9.56E-02
10/2014	8.33E+01	1.19E+01	3.23E+00	1/2017	2.20E+00	2.89E-01	6.88E-02
11/2014	1.82E+01	5.26E-01	9.27E-02	2/2017	1.44E+00	1.86E-01	3.15E-02
12/2014	4.36E+00	3.14E-01	4.00E-02	3/2017	6.38E-01	1.10E-01	2.25E-02
1/2015	2.12E+00	2.59E-01	4.43E-02	4/2017	1.61E-01	8.21E-02	1.61E-02
2/2015	1.37E+00	1.69E-01	3.08E-02	5/2017	1.86E+00	7.25E-02	1.93E-01
3/2015	2.25E+00	3.98E-01	1.27E-01	6/2017	1.47E+01	9.05E-02	6.07E-02
4/2015	1.18E+00	2.36E-01	5.97E-02	7/2017	3.99E+01	8.48E-01	4.76E-01
5/2015	2.55E+01	2.86E-01	1.51E-01	8/2017	3.03E+01	6.55E-01	3.53E-01
6/2015	3.44E+01	4.10E+00	1.74E+00	9/2017	6.74E+01	1.10E+01	3.55E+00
7/2015	5.16E+01	3.88E+00	1.63E+00	10/2017	1.49E+01	2.71E+00	8.83E-01
8/2015	8.76E+00	4.93E-01	9.89E-02	11/2017	8.02E+00	5.60E-01	1.48E-01
9/2015	4.31E+01	2.27E+00	1.47E+00	12/2017	5.49E+00	3.45E-01	9.09E-02
10/2015	6.85E+00	4.71E-01	1.60E-01	1/2018	1.81E+00	1.79E-01	6.93E-02
11/2015	2.60E+00	3.40E-01	9.88E-02	2/2018	1.04E+00	1.74E-01	4.73E-02
12/2015	2.51E+00	2.72E-01	5.14E-02	3/2018	4.40E-01	9.65E-02	2.08E-02
1/2016	2.00E+00	2.38E-01	1.08E-01	4/2018	5.58E+00	8.16E-02	1.24E-02

2/2016	1.03E+00	1.28E-01	3.09E-02	5/2018	1.50E+01	9.81E-02	1.28E-02
3/2016	4.05E-01	9.12E-02	1.82E-02	6/2018	2.72E+01	2.42E-01	4.28E-01

La siguientes tablas muestran los resultados de caudales promedio mensuales utilizados para comparar la simulación con datos observados y evaluar el desempeño de la simulación del transporte reactivo de CBOD y P:

Channel 13:

Channel 13							
Date (mm/yyyy)	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	cbod_out	solp_out	sedp_out
	kg/month				kg/month		
1/2014	2.21E+02	7.20E+01	3.61E+02	4/2016	7.57E+01	9.70E+00	1.05E+02
2/2014	6.18E+04	4.21E+03	5.31E+03	5/2016	3.10E+04	2.44E+03	3.86E+03
3/2014	6.36E+03	5.83E+02	1.02E+03	6/2016	9.11E+06	2.99E+05	1.26E+05
4/2014	2.30E+05	1.26E+04	1.61E+04	7/2016	2.10E+07	6.57E+05	1.72E+05
5/2014	3.08E+06	1.13E+05	6.50E+04	8/2016	1.22E+07	4.12E+05	1.47E+05
6/2014	1.71E+07	5.42E+05	1.48E+05	9/2016	1.37E+07	4.53E+05	1.67E+05
7/2014	2.53E+07	7.90E+05	2.05E+05	10/2016	2.64E+06	9.77E+04	5.81E+04
8/2014	1.60E+07	5.08E+05	1.44E+05	11/2016	4.93E+06	1.68E+05	7.81E+04
9/2014	2.01E+07	6.41E+05	1.81E+05	12/2016	3.16E+05	1.44E+04	1.62E+04
10/2014	2.12E+07	7.57E+05	2.20E+05	1/2017	1.59E+04	1.29E+03	3.54E+03
11/2014	4.06E+06	1.45E+05	7.13E+04	2/2017	3.35E+02	1.80E+02	1.21E+03
12/2014	3.20E+05	1.55E+04	1.74E+04	3/2017	2.35E+02	6.87E+01	5.30E+02
1/2015	1.77E+04	1.61E+03	3.95E+03	4/2017	7.50E+01	1.15E+01	1.10E+02
2/2015	3.83E+02	2.62E+02	1.26E+03	5/2017	3.37E+02	9.72E+02	1.98E+03
3/2015	1.24E+05	7.11E+03	9.09E+03	6/2017	3.58E+06	1.28E+05	6.99E+04
4/2015	4.43E+04	3.27E+03	5.22E+03	7/2017	1.27E+07	4.09E+05	1.59E+05
5/2015	7.41E+06	2.47E+05	1.08E+05	8/2017	9.16E+06	3.02E+05	1.28E+05
6/2015	9.90E+06	3.23E+05	1.33E+05	9/2017	2.20E+07	6.87E+05	1.78E+05
7/2015	1.69E+07	5.33E+05	1.48E+05	10/2017	1.57E+06	6.21E+04	4.34E+04
8/2015	1.19E+06	4.71E+04	3.54E+04	11/2017	7.12E+05	3.01E+04	2.62E+04
9/2015	1.22E+07	3.94E+05	1.42E+05	12/2017	3.94E+05	1.80E+04	2.08E+04
10/2015	6.47E+05	2.66E+04	2.62E+04	1/2018	6.49E+04	4.05E+03	6.05E+03
11/2015	2.89E+04	1.85E+03	5.02E+03	2/2018	5.12E+03	5.00E+02	1.47E+03
12/2015	5.24E+02	2.82E+02	2.54E+03	3/2018	1.72E+02	4.22E+01	3.69E+02
1/2016	4.53E+02	1.93E+02	1.82E+03	4/2018	7.97E+05	3.45E+04	3.59E+04
2/2016	3.05E+02	7.80E+01	8.08E+02	5/2018	3.48E+06	1.24E+05	6.88E+04
3/2016	1.80E+02	2.72E+01	3.09E+02	6/2018	7.52E+06	2.51E+05	1.11E+05

Channel 11:

Channel 11							
Date (mm/yyyy)	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	cbod_out	solp_out	sedp_out
	kg/month				kg/month		
1/2014	4.65E+03	1.69E+02	1.58E+03	4/2016	3.10E+03	8.52E+01	8.82E+02
2/2014	3.29E+04	2.78E+03	6.46E+03	5/2016	1.83E+04	1.63E+03	4.79E+03
3/2014	8.12E+03	7.07E+02	2.48E+03	6/2016	8.29E+06	2.85E+05	1.41E+05
4/2014	1.22E+05	8.47E+03	1.85E+04	7/2016	2.00E+07	6.40E+05	1.92E+05
5/2014	2.22E+06	9.05E+04	8.86E+04	8/2016	1.17E+07	4.12E+05	1.70E+05
6/2014	1.62E+07	5.33E+05	1.70E+05	9/2016	1.30E+07	4.42E+05	1.83E+05
7/2014	2.45E+07	7.86E+05	2.27E+05	10/2016	2.29E+06	9.07E+04	6.73E+04
8/2014	1.51E+07	4.93E+05	1.61E+05	11/2016	4.41E+06	1.59E+05	8.83E+04
9/2014	1.93E+07	6.37E+05	2.04E+05	12/2016	2.44E+05	1.24E+04	2.11E+04
10/2014	2.05E+07	7.72E+05	2.48E+05	1/2017	2.08E+04	1.47E+03	6.19E+03
11/2014	3.56E+06	1.35E+05	8.16E+04	2/2017	5.36E+03	2.50E+02	2.49E+03
12/2014	2.38E+05	1.30E+04	2.27E+04	3/2017	4.81E+03	1.59E+02	1.56E+03
1/2015	2.29E+04	1.77E+03	6.83E+03	4/2017	3.15E+03	8.84E+01	9.00E+02
2/2015	5.41E+03	3.16E+02	2.54E+03	5/2017	5.62E+03	7.85E+02	3.29E+03
3/2015	7.26E+04	5.06E+03	1.25E+04	6/2017	2.91E+06	1.13E+05	8.08E+04
4/2015	2.92E+04	2.52E+03	7.43E+03	7/2017	1.18E+07	3.95E+05	1.77E+05
5/2015	6.64E+06	2.33E+05	1.21E+05	8/2017	8.36E+06	2.88E+05	1.43E+05
6/2015	9.20E+06	3.13E+05	1.51E+05	9/2017	2.12E+07	6.86E+05	2.03E+05
7/2015	1.60E+07	5.20E+05	1.66E+05	10/2017	1.30E+06	5.60E+04	5.33E+04
8/2015	8.42E+05	3.75E+04	4.67E+04	11/2017	5.10E+05	2.44E+04	3.42E+04
9/2015	1.15E+07	3.82E+05	1.59E+05	12/2017	2.62E+05	1.39E+04	2.61E+04
10/2015	4.87E+05	2.21E+04	3.28E+04	1/2018	5.00E+04	3.54E+03	8.85E+03
11/2015	3.37E+04	2.13E+03	8.58E+03	2/2018	9.13E+03	6.62E+02	3.33E+03
12/2015	6.73E+03	3.53E+02	4.22E+03	3/2018	4.21E+03	1.29E+02	1.31E+03
1/2016	6.57E+03	2.95E+02	3.62E+03	4/2018	4.67E+05	2.41E+04	4.22E+04
2/2016	5.23E+03	1.68E+02	1.86E+03	5/2018	2.85E+06	1.11E+05	8.25E+04
3/2016	4.26E+03	1.15E+02	1.24E+03	6/2018	6.76E+06	2.37E+05	1.25E+05

Channel 10:

Channel 10							
Date (mm/yyyy)	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	cbod_out	solp_out	sedp_out
	kg/month				kg/month		
1/2014	1.66E+03	1.20E+02	1.56E+03	4/2016	7.44E+02	4.50E+01	7.74E+02

2/2014	1.32E+04	1.70E+03	6.17E+03	5/2016	6.85E+03	9.84E+02	4.57E+03
3/2014	3.56E+03	5.96E+02	2.95E+03	6/2016	6.42E+06	2.36E+05	1.79E+05
4/2014	5.64E+04	5.48E+03	1.87E+04	7/2016	1.87E+07	6.20E+05	2.14E+05
5/2014	1.49E+06	6.98E+04	1.05E+05	8/2016	1.09E+07	3.98E+05	1.83E+05
6/2014	1.51E+07	5.13E+05	1.90E+05	9/2016	1.20E+07	4.25E+05	1.98E+05
7/2014	2.33E+07	7.66E+05	2.44E+05	10/2016	1.71E+06	7.48E+04	8.18E+04
8/2014	1.40E+07	4.73E+05	1.79E+05	11/2016	3.41E+06	1.33E+05	1.10E+05
9/2014	1.83E+07	6.18E+05	2.20E+05	12/2016	2.21E+05	1.23E+04	2.57E+04
10/2014	1.97E+07	7.56E+05	2.63E+05	1/2017	1.38E+04	1.33E+03	7.24E+03
11/2014	2.71E+06	1.13E+05	1.01E+05	2/2017	2.51E+03	1.81E+02	2.56E+03
12/2014	2.02E+05	1.23E+04	2.72E+04	3/2017	1.86E+03	1.07E+02	1.54E+03
1/2015	1.56E+04	1.61E+03	8.12E+03	4/2017	7.97E+02	4.86E+01	7.87E+02
2/2015	2.54E+03	2.31E+02	2.61E+03	5/2017	2.54E+03	5.36E+02	3.56E+03
3/2015	3.55E+04	3.40E+03	1.25E+04	6/2017	1.99E+06	8.75E+04	9.83E+04
4/2015	1.42E+04	1.81E+03	8.25E+03	7/2017	1.01E+07	3.55E+05	2.10E+05
5/2015	5.07E+06	1.92E+05	1.53E+05	8/2017	6.63E+06	2.45E+05	1.85E+05
6/2015	8.35E+06	2.98E+05	1.67E+05	9/2017	2.02E+07	6.70E+05	2.21E+05
7/2015	1.49E+07	5.00E+05	1.83E+05	10/2017	1.01E+06	4.71E+04	6.13E+04
8/2015	5.92E+05	3.04E+04	5.39E+04	11/2017	3.45E+05	1.95E+04	3.94E+04
9/2015	1.05E+07	3.64E+05	1.75E+05	12/2017	1.62E+05	1.06E+04	2.90E+04
10/2015	3.67E+05	1.88E+04	3.73E+04	1/2018	3.00E+04	2.86E+03	1.01E+04
11/2015	2.41E+04	1.99E+03	1.05E+04	2/2018	4.89E+03	5.80E+02	3.82E+03
12/2015	3.50E+03	2.57E+02	4.33E+03	3/2018	1.42E+03	8.49E+01	1.30E+03
1/2016	3.35E+03	2.15E+02	3.64E+03	4/2018	2.53E+05	1.65E+04	4.45E+04
2/2016	2.32E+03	1.19E+02	1.90E+03	5/2018	1.99E+06	8.76E+04	1.02E+05
3/2016	1.43E+03	7.15E+01	1.16E+03	6/2018	5.19E+06	1.97E+05	1.61E+05

7.7.3 Escenarios de control de cargas contaminantes

Las siguientes tablas muestran los valores simulados de caudales promedio y cargas de CBOD, P_{org} y P_{min} mensuales de las secciones hidrológicas que representan los ingresos a la presa Endhó para cada uno de los escenarios I – X (Tabla 36).

Escenario I:

Channel 09									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	1.08E+00	131600	7613	4097	4/2016	0.802	98480	6844	3480

2/2014	1.71E+00	138800	8429	4045	5/2016	1.436	139400	8450	4214
3/2014	9.83E-01	114600	7402	3798	6/2016	32.09	938900	70430	34060
4/2014	2.88E+00	173700	11870	4884	7/2016	60.45	2349000	114100	77580
5/2014	1.38E+01	388700	38630	13310	8/2016	67.04	1524000	163300	144900
6/2014	5.91E+01	1976000	117200	81670	9/2016	55.85	1596000	130000	85760
7/2014	9.19E+01	3028000	178600	137900	10/2016	18.39	430400	49640	18060
8/2014	5.13E+01	1813000	105200	65070	11/2016	23.56	611000	49860	21890
9/2014	7.49E+01	2418000	193900	165300	12/2016	6.288	237800	17230	6585
10/2014	9.90E+01	2610000	282600	400800	1/2017	3.187	190000	10860	4879
11/2014	1.91E+01	526200	47920	21520	2/2017	2.273	152800	8066	4051
12/2014	5.50E+00	230500	17690	6650	3/2017	1.382	139300	7644	4111
1/2015	3.09E+00	188900	11360	4978	4/2017	0.8229	101700	6784	3535
2/2015	2.15E+00	152000	8113	4092	5/2017	2.566	156600	15570	6199
3/2015	3.22E+00	190000	12310	5087	6/2017	14.99	433800	37880	14750
4/2015	2.15E+00	155000	9680	4324	7/2017	41.6	1365000	88610	46900
5/2015	2.58E+01	796900	57560	26830	8/2017	32.08	974400	70170	33070
6/2015	4.13E+01	1172000	89970	49030	9/2017	83.15	2590000	148100	119500
7/2015	5.77E+01	1932000	109200	70190	10/2017	18.72	351800	56140	20770
8/2015	9.95E+00	291100	28180	9049	11/2017	9.394	257200	25900	8277
9/2015	4.76E+01	1410000	106000	57870	12/2017	6.607	232800	18680	6434
10/2015	8.12E+00	262500	24520	7924	1/2018	2.745	185500	10580	4937
11/2015	3.75E+00	187200	12720	4863	2/2018	1.902	143100	8173	4007
12/2015	3.37E+00	191000	10890	4800	3/2018	1.152	125100	7506	3926
1/2016	2.94E+00	187100	9949	4721	4/2018	5.837	224100	18410	6352
2/2016	1.80E+00	148300	7614	4069	5/2018	15.52	445200	38110	14850
3/2016	1.09E+00	124400	7293	3921	6/2018	28.38	799300	61690	28600

Channel 59									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	6.74E-03	0	8.467	2.13E+00	4/2016	0.00175	0	0.09171	0.001909
2/2014	4.55E-03	0	1.393	3.32E-01	5/2016	0.005679	0	9.468	0.5581
3/2014	2.84E-03	0	0.1842	4.31E-02	6/2016	0.04644	0	226.5	24.68
4/2014	1.55E-03	0	0.01237	2.79E-03	7/2016	0.005673	0	21.62	1.239
5/2014	2.75E-01	0	1480	4.25E+02	8/2016	0.04398	0	281.8	103
6/2014	4.34E-01	0	2688	1.16E+03	9/2016	0.4101	0	3799	3238
7/2014	1.23E+00	0	3824	1.64E+03	10/2016	0.04107	0	399.8	156.8
8/2014	1.01E-01	0	593.9	1.81E+02	11/2016	0.009233	0	51	14.45
9/2014	6.64E-02	0	632.8	2.38E+02	12/2016	0.03206	0	141.7	9.364

10/2014	9.23E-02	0	1046	5.79E+02	1/2017	0.00874	0	26.95	0.8745
11/2014	1.44E-02	0	115.8	3.75E+01	2/2017	0.004206	0	3.408	0.09615
12/2014	2.52E-02	0	88.17	1.01E+01	3/2017	0.00574	0	7.124	0.1643
1/2015	1.17E-02	0	34.93	1.93E+00	4/2017	0.002065	0	0.5088	0.008247
2/2015	1.55E-02	0	33.27	1.74E+00	5/2017	0.131	0	720	77.25
3/2015	4.12E-02	0	155.7	1.44E+01	6/2017	0.04808	0	278.5	26.97
4/2015	5.99E-03	0	14.35	6.48E-01	7/2017	0.07495	0	524.5	54.61
5/2015	3.09E-03	0	4.029	1.57E-01	8/2017	0.1566	0	1261	403.3
6/2015	2.61E-02	0	108.1	1.89E+01	9/2017	0.3008	0	2766	1579
7/2015	1.79E-01	0	1249	4.61E+02	10/2017	0.05949	0	898.7	312.1
8/2015	1.43E-02	0	71.41	1.39E+01	11/2017	0.009649	0	64.59	12.99
9/2015	6.12E-01	0	5399	4.60E+03	12/2017	0.005811	0	9.047	1.66
10/2015	1.53E-02	0	107.1	3.15E+01	1/2018	0.004665	0	1.745	0.3117
11/2015	1.08E-02	0	44.59	1.23E+01	2/2018	0.003381	0	0.2546	0.04219
12/2015	5.26E-03	0	5.616	1.26E+00	3/2018	0.002863	0	0.04201	0.006994
1/2016	5.33E-02	0	193.1	1.10E+01	4/2018	0.001587	0	0.003018	0.0005112
2/2016	6.55E-03	0	11.44	2.73E-01	5/2018	0.005207	0	9.048	0.3285
3/2016	3.15E-03	0	1.804	3.94E-02	6/2018	0.2787	0	1962	163.9

Channel 70									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	9.11E-03	0.00E+00	3.98E+00	1.58E+00	4/2016	0.001356	0	0.3665	0.01075
2/2014	6.04E-03	0.00E+00	7.54E-01	2.37E-01	5/2016	0.004105	0	5.83	0.4265
3/2014	2.83E-03	0.00E+00	1.73E-01	4.26E-02	6/2016	0.03083	0	111.4	22.35
4/2014	1.32E-03	0.00E+00	3.24E-02	6.60E-03	7/2016	0.004225	0	12.62	0.9671
5/2014	1.79E-01	0.00E+00	7.69E+02	4.60E+02	8/2016	0.02969	0	148.2	100.7
6/2014	2.85E-01	0.00E+00	1.40E+03	1.24E+03	9/2016	0.2675	0	2107	3434
7/2014	9.45E-01	0.00E+00	1.98E+03	1.55E+03	10/2016	0.03273	0	178.9	126.1
8/2014	7.61E-02	0.00E+00	2.18E+02	1.34E+02	11/2016	0.009155	0	26.33	11.36
9/2014	3.77E-02	0.00E+00	2.48E+02	1.64E+02	12/2016	0.02424	0	75.12	9.738
10/2014	5.41E-02	0.00E+00	4.75E+02	4.19E+02	1/2017	0.008345	0	16.39	1.102
11/2014	1.35E-02	0.00E+00	7.22E+01	3.94E+01	2/2017	0.004062	0	2.764	0.1364
12/2014	1.97E-02	0.00E+00	5.22E+01	1.14E+01	3/2017	0.004263	0	4.385	0.1458
1/2015	9.78E-03	0.00E+00	1.87E+01	1.90E+00	4/2017	0.001458	0	0.8302	0.01518
2/2015	1.13E-02	0.00E+00	1.77E+01	1.48E+00	5/2017	0.08642	0	368.7	78.11
3/2015	2.78E-02	0.00E+00	7.82E+01	1.30E+01	6/2017	0.03105	0	130.9	23.21
4/2015	4.39E-03	0.00E+00	8.97E+00	5.62E-01	7/2017	0.05176	0	229.9	45.92
5/2015	2.52E-03	0.00E+00	4.52E+00	2.29E-01	8/2017	0.1045	0	616.1	408.4

6/2015	1.81E-02	0.00E+00	5.75E+01	1.62E+01	9/2017	0.1993	0	1436	1613
7/2015	1.19E-01	0.00E+00	6.14E+02	4.67E+02	10/2017	0.03328	0	369.5	217
8/2015	1.17E-02	0.00E+00	3.80E+01	1.19E+01	11/2017	0.01002	0	44.68	16.21
9/2015	4.03E-01	0.00E+00	3.01E+03	4.98E+03	12/2017	0.00636	0	7.484	2.235
10/2015	1.27E-02	0.00E+00	5.07E+01	2.42E+01	1/2018	0.005153	0	1.714	0.4607
11/2015	1.00E-02	0.00E+00	2.36E+01	1.04E+01	2/2018	0.003694	0	0.3619	0.08269
12/2015	5.76E-03	0.00E+00	4.29E+00	1.34E+00	3/2018	0.002611	0	0.0971	0.0199
1/2016	3.77E-02	0.00E+00	1.00E+02	1.04E+01	4/2018	0.001123	0	0.01761	0.003126
2/2016	5.49E-03	0.00E+00	7.31E+00	3.51E-01	5/2018	0.003327	0	5.058	0.2241
3/2016	2.58E-03	0.00E+00	1.88E+00	6.84E-02	6/2018	0.1831	0	923.6	148.1

Escenario II:

Channel 09									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	1.08E+00	42930	4.92E+03	2.48E+03	4/2016	0.802	32190	4336	2108
2/2014	1.71E+00	45680	5.74E+03	2.50E+03	5/2016	1.436	45620	5616	2573
3/2014	9.83E-01	37520	4.91E+03	2.32E+03	6/2016	32.09	770300	67050	31980
4/2014	2.88E+00	59250	8.95E+03	3.15E+03	7/2016	60.45	2168000	110400	75340
5/2014	1.38E+01	227400	3.55E+04	1.13E+04	8/2016	67.04	1326000	160000	142500
6/2014	5.91E+01	1791000	1.13E+05	7.93E+04	9/2016	55.85	1419000	127300	83610
7/2014	9.19E+01	2827000	1.76E+05	1.35E+05	10/2016	18.39	263800	46640	15970
8/2014	5.13E+01	1632000	1.02E+05	6.28E+04	11/2016	23.56	444200	46790	19800
9/2014	7.49E+01	2226000	1.91E+05	1.63E+05	12/2016	6.288	93160	14480	4664
10/2014	9.90E+01	2405000	2.80E+05	3.98E+05	1/2017	3.187	62380	7953	3036
11/2014	1.91E+01	363900	4.54E+04	1.95E+04	2/2017	2.273	49720	5485	2464
12/2014	5.50E+00	88970	1.49E+04	4.75E+03	3/2017	1.382	45410	4988	2489
1/2015	3.09E+00	62170	8.44E+03	3.14E+03	4/2017	0.8229	33230	4314	2141
2/2015	2.15E+00	49460	5.56E+03	2.50E+03	5/2017	2.566	50950	12460	4495
3/2015	3.22E+00	63500	8.86E+03	3.23E+03	6/2017	14.99	276400	35230	12790
4/2015	2.15E+00	51070	6.81E+03	2.68E+03	7/2017	41.6	1188000	84430	44700
5/2015	2.58E+01	624000	5.43E+04	2.47E+04	8/2017	32.08	801300	67170	30960
6/2015	4.13E+01	994400	8.61E+04	4.68E+04	9/2017	83.15	2395000	144500	117000
7/2015	5.77E+01	1746000	1.07E+05	6.79E+04	10/2017	18.72	185200	53440	18690
8/2015	9.95E+00	138600	2.54E+04	7.09E+03	11/2017	9.394	106300	23110	6338
9/2015	4.76E+01	1234000	1.02E+05	5.56E+04	12/2017	6.607	85730	15800	4490
10/2015	8.12E+00	113600	2.19E+04	6.00E+03	1/2018	2.745	61910	7873	3121
11/2015	3.75E+00	62200	9.85E+03	3.09E+03	2/2018	1.902	46740	5548	2460
12/2015	3.37E+00	62040	7.87E+03	2.95E+03	3/2018	1.152	40810	4880	2384

1/2016	2.94E+00	60810	6.94E+03	2.87E+03	4/2018	5.837	87880	15460	4488
2/2016	1.80E+00	48270	5.06E+03	2.46E+03	5/2018	15.52	281600	35410	12820
3/2016	1.09E+00	40590	4.69E+03	2.37E+03	6/2018	28.38	633400	59040	26600

Channel 59									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	6.74E-03	0	8.47E+00	2.13E+00	4/2016	0.00175	0	0.09171	0.001909
2/2014	4.55E-03	0	1.39E+00	3.32E-01	5/2016	0.005679	0	9.468	0.5581
3/2014	2.84E-03	0	1.84E-01	4.31E-02	6/2016	0.04644	0	226.5	24.68
4/2014	1.55E-03	0	1.24E-02	2.79E-03	7/2016	0.005673	0	21.62	1.239
5/2014	2.75E-01	0	1.48E+03	4.25E+02	8/2016	0.04398	0	281.8	103
6/2014	4.34E-01	0	2.69E+03	1.16E+03	9/2016	0.4101	0	3799	3238
7/2014	1.23E+00	0	3.82E+03	1.64E+03	10/2016	0.04107	0	399.8	156.8
8/2014	1.01E-01	0	5.94E+02	1.81E+02	11/2016	0.009233	0	51	14.45
9/2014	6.64E-02	0	6.33E+02	2.38E+02	12/2016	0.03206	0	141.7	9.364
10/2014	9.23E-02	0	1.05E+03	5.79E+02	1/2017	0.00874	0	26.95	0.8745
11/2014	1.44E-02	0	1.16E+02	3.75E+01	2/2017	0.004206	0	3.408	0.09615
12/2014	2.52E-02	0	8.82E+01	1.01E+01	3/2017	0.00574	0	7.124	0.1643
1/2015	1.17E-02	0	3.49E+01	1.93E+00	4/2017	0.002065	0	0.5088	0.008247
2/2015	1.55E-02	0	3.33E+01	1.74E+00	5/2017	0.131	0	720	77.25
3/2015	4.12E-02	0	1.56E+02	1.44E+01	6/2017	0.04808	0	278.5	26.97
4/2015	5.99E-03	0	1.44E+01	6.48E-01	7/2017	0.07495	0	524.5	54.61
5/2015	3.09E-03	0	4.03E+00	1.57E-01	8/2017	0.1566	0	1261	403.3
6/2015	2.61E-02	0	1.08E+02	1.89E+01	9/2017	0.3008	0	2766	1579
7/2015	1.79E-01	0	1.25E+03	4.61E+02	10/2017	0.05949	0	898.7	312.1
8/2015	1.43E-02	0	7.14E+01	1.39E+01	11/2017	0.009649	0	64.59	12.99
9/2015	6.12E-01	0	5.40E+03	4.60E+03	12/2017	0.005811	0	9.047	1.66
10/2015	1.53E-02	0	1.07E+02	3.15E+01	1/2018	0.004665	0	1.745	0.3117
11/2015	1.08E-02	0	4.46E+01	1.23E+01	2/2018	0.003381	0	0.2546	0.04219
12/2015	5.26E-03	0	5.62E+00	1.26E+00	3/2018	0.002863	0	0.04201	0.006994
1/2016	5.33E-02	0	1.93E+02	1.10E+01	4/2018	0.001587	0	0.003018	0.0005112
2/2016	6.55E-03	0	1.14E+01	2.73E-01	5/2018	0.005207	0	9.048	0.3285
3/2016	3.15E-03	0	1.80E+00	3.94E-02	6/2018	0.2787	0	1962	163.9

Channel 70									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	9.11E-03	0.00E+00	3.98E+00	1.58E+00	4/2016	0.001356	0	0.3665	0.01075

2/2014	6.04E-03	0.00E+00	7.54E-01	2.37E-01	5/2016	0.004105	0	5.83	0.4265
3/2014	2.83E-03	0.00E+00	1.73E-01	4.26E-02	6/2016	0.03083	0	111.4	22.35
4/2014	1.32E-03	0.00E+00	3.24E-02	6.60E-03	7/2016	0.004225	0	12.62	0.9671
5/2014	1.79E-01	0.00E+00	7.69E+02	4.60E+02	8/2016	0.02969	0	148.2	100.7
6/2014	2.85E-01	0.00E+00	1.40E+03	1.24E+03	9/2016	0.2675	0	2107	3434
7/2014	9.45E-01	0.00E+00	1.98E+03	1.55E+03	10/2016	0.03273	0	178.9	126.1
8/2014	7.61E-02	0.00E+00	2.18E+02	1.34E+02	11/2016	0.009155	0	26.33	11.36
9/2014	3.77E-02	0.00E+00	2.48E+02	1.64E+02	12/2016	0.02424	0	75.12	9.738
10/2014	5.41E-02	0.00E+00	4.75E+02	4.19E+02	1/2017	0.008345	0	16.39	1.102
11/2014	1.35E-02	0.00E+00	7.22E+01	3.94E+01	2/2017	0.004062	0	2.764	0.1364
12/2014	1.97E-02	0.00E+00	5.22E+01	1.14E+01	3/2017	0.004263	0	4.385	0.1458
1/2015	9.78E-03	0.00E+00	1.87E+01	1.90E+00	4/2017	0.001458	0	0.8302	0.01518
2/2015	1.13E-02	0.00E+00	1.77E+01	1.48E+00	5/2017	0.08642	0	368.7	78.11
3/2015	2.78E-02	0.00E+00	7.82E+01	1.30E+01	6/2017	0.03105	0	130.9	23.21
4/2015	4.39E-03	0.00E+00	8.97E+00	5.62E-01	7/2017	0.05176	0	229.9	45.92
5/2015	2.52E-03	0.00E+00	4.52E+00	2.29E-01	8/2017	0.1045	0	616.1	408.4
6/2015	1.81E-02	0.00E+00	5.75E+01	1.62E+01	9/2017	0.1993	0	1436	1613
7/2015	1.19E-01	0.00E+00	6.14E+02	4.67E+02	10/2017	0.03328	0	369.5	217
8/2015	1.17E-02	0.00E+00	3.80E+01	1.19E+01	11/2017	0.01002	0	44.68	16.21
9/2015	4.03E-01	0.00E+00	3.01E+03	4.98E+03	12/2017	0.00636	0	7.484	2.235
10/2015	1.27E-02	0.00E+00	5.07E+01	2.42E+01	1/2018	0.005153	0	1.714	0.4607
11/2015	1.00E-02	0.00E+00	2.36E+01	1.04E+01	2/2018	0.003694	0	0.3619	0.08269
12/2015	5.76E-03	0.00E+00	4.29E+00	1.34E+00	3/2018	0.002611	0	0.0971	0.0199
1/2016	3.77E-02	0.00E+00	1.00E+02	1.04E+01	4/2018	0.001123	0	0.01761	0.003126
2/2016	5.49E-03	0.00E+00	7.31E+00	3.51E-01	5/2018	0.003327	0	5.058	0.2241
3/2016	2.58E-03	0.00E+00	1.88E+00	6.84E-02	6/2018	0.1831	0	923.6	148.1

Escenario III:

Channel 09									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	1.08E+00	15800	4.29E+03	5.15E+02	4/2016	0.802	11820	3609	419.1
2/2014	1.71E+00	17300	5.16E+03	6.27E+02	5/2016	1.436	16990	4922	580.3
3/2014	9.83E-01	13900	4.23E+03	5.06E+02	6/2016	32.09	720500	66620	29570
4/2014	2.88E+00	24470	8.32E+03	1.05E+03	7/2016	60.45	2115000	109900	72840
5/2014	1.38E+01	179100	3.50E+04	8.88E+03	8/2016	67.04	1272000	159600	139900
6/2014	5.91E+01	1739000	1.13E+05	7.69E+04	9/2016	55.85	1368000	126900	81200
7/2014	9.19E+01	2771000	1.76E+05	1.33E+05	10/2016	18.39	214300	46210	13560
8/2014	5.13E+01	1580000	1.02E+05	6.03E+04	11/2016	23.56	394900	46410	17430

9/2014	7.49E+01	2172000	1.91E+05	1.61E+05	12/2016	6.288	49410	13980	2369
10/2014	9.90E+01	2348000	2.80E+05	3.96E+05	1/2017	3.187	23650	7404	828.5
11/2014	1.91E+01	315800	4.50E+04	1.72E+04	2/2017	2.273	18340	4958	552.1
12/2014	5.50E+00	46120	1.44E+04	2.47E+03	3/2017	1.382	16720	4348	516.9
1/2015	3.09E+00	23690	7.90E+03	9.40E+02	4/2017	0.8229	12200	3614	427.3
2/2015	2.15E+00	18240	5.04E+03	5.86E+02	5/2017	2.566	18800	11780	2446
3/2015	3.22E+00	25090	8.27E+03	1.02E+03	6/2017	14.99	229600	34780	10450
4/2015	2.15E+00	19390	6.20E+03	7.00E+02	7/2017	41.6	1135000	84010	42220
5/2015	2.58E+01	572800	5.39E+04	2.22E+04	8/2017	32.08	750100	66760	28500
6/2015	4.13E+01	944000	8.57E+04	4.44E+04	9/2017	83.15	2342000	144100	114600
7/2015	5.77E+01	1693000	1.06E+05	6.54E+04	10/2017	18.72	136100	53010	16290
8/2015	9.95E+00	92660	2.49E+04	4.77E+03	11/2017	9.394	60920	22660	4046
9/2015	4.76E+01	1183000	1.02E+05	5.32E+04	12/2017	6.607	41300	15310	2174
10/2015	8.12E+00	68600	2.14E+04	3.68E+03	1/2018	2.745	24350	7334	932.1
11/2015	3.75E+00	24240	9.31E+03	9.57E+02	2/2018	1.902	17370	4993	593.5
12/2015	3.37E+00	22920	7.31E+03	7.29E+02	3/2018	1.152	15010	4204	499.4
1/2016	2.94E+00	22460	6.38E+03	6.65E+02	4/2018	5.837	46710	14910	2254
2/2016	1.80E+00	17790	4.50E+03	5.21E+02	5/2018	15.52	232800	34970	10420
3/2016	1.09E+00	14930	4.02E+03	4.78E+02	6/2018	28.38	584200	58640	24230

Channel 59									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	6.74E-03	0	8.47E+00	2.13E+00	4/2016	0.00175	0	0.09171	0.001909
2/2014	4.55E-03	0	1.39E+00	3.32E-01	5/2016	0.005679	0	9.468	0.5581
3/2014	2.84E-03	0	1.84E-01	4.31E-02	6/2016	0.04644	0	226.5	24.68
4/2014	1.55E-03	0	1.24E-02	2.79E-03	7/2016	0.005673	0	21.62	1.239
5/2014	2.75E-01	0	1.48E+03	4.25E+02	8/2016	0.04398	0	281.8	103
6/2014	4.34E-01	0	2.69E+03	1.16E+03	9/2016	0.4101	0	3799	3238
7/2014	1.23E+00	0	3.82E+03	1.64E+03	10/2016	0.04107	0	399.8	156.8
8/2014	1.01E-01	0	5.94E+02	1.81E+02	11/2016	0.009233	0	51	14.45
9/2014	6.64E-02	0	6.33E+02	2.38E+02	12/2016	0.03206	0	141.7	9.364
10/2014	9.23E-02	0	1.05E+03	5.79E+02	1/2017	0.00874	0	26.95	0.8745
11/2014	1.44E-02	0	1.16E+02	3.75E+01	2/2017	0.004206	0	3.408	0.09615
12/2014	2.52E-02	0	8.82E+01	1.01E+01	3/2017	0.00574	0	7.124	0.1643
1/2015	1.17E-02	0	3.49E+01	1.93E+00	4/2017	0.002065	0	0.5088	0.008247
2/2015	1.55E-02	0	3.33E+01	1.74E+00	5/2017	0.131	0	720	77.25
3/2015	4.12E-02	0	1.56E+02	1.44E+01	6/2017	0.04808	0	278.5	26.97
4/2015	5.99E-03	0	1.44E+01	6.48E-01	7/2017	0.07495	0	524.5	54.61

5/2015	3.09E-03	0	4.03E+00	1.57E-01	8/2017	0.1566	0	1261	403.3
6/2015	2.61E-02	0	1.08E+02	1.89E+01	9/2017	0.3008	0	2766	1579
7/2015	1.79E-01	0	1.25E+03	4.61E+02	10/2017	0.05949	0	898.7	312.1
8/2015	1.43E-02	0	7.14E+01	1.39E+01	11/2017	0.009649	0	64.59	12.99
9/2015	6.12E-01	0	5.40E+03	4.60E+03	12/2017	0.005811	0	9.047	1.66
10/2015	1.53E-02	0	1.07E+02	3.15E+01	1/2018	0.004665	0	1.745	0.3117
11/2015	1.08E-02	0	4.46E+01	1.23E+01	2/2018	0.003381	0	0.2546	0.04219
12/2015	5.26E-03	0	5.62E+00	1.26E+00	3/2018	0.002863	0	0.04201	0.006994
1/2016	5.33E-02	0	1.93E+02	1.10E+01	4/2018	0.001587	0	0.003018	0.0005112
2/2016	6.55E-03	0	1.14E+01	2.73E-01	5/2018	0.005207	0	9.048	0.3285
3/2016	3.15E-03	0	1.80E+00	3.94E-02	6/2018	0.2787	0	1962	163.9

Channel 70									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	9.11E-03	0.00E+00	3.98E+00	1.58E+00	4/2016	0.001356	0	0.3665	0.01075
2/2014	6.04E-03	0.00E+00	7.54E-01	2.37E-01	5/2016	0.004105	0	5.83	0.4265
3/2014	2.83E-03	0.00E+00	1.73E-01	4.26E-02	6/2016	0.03083	0	111.4	22.35
4/2014	1.32E-03	0.00E+00	3.24E-02	6.60E-03	7/2016	0.004225	0	12.62	0.9671
5/2014	1.79E-01	0.00E+00	7.69E+02	4.60E+02	8/2016	0.02969	0	148.2	100.7
6/2014	2.85E-01	0.00E+00	1.40E+03	1.24E+03	9/2016	0.2675	0	2107	3434
7/2014	9.45E-01	0.00E+00	1.98E+03	1.55E+03	10/2016	0.03273	0	178.9	126.1
8/2014	7.61E-02	0.00E+00	2.18E+02	1.34E+02	11/2016	0.009155	0	26.33	11.36
9/2014	3.77E-02	0.00E+00	2.48E+02	1.64E+02	12/2016	0.02424	0	75.12	9.738
10/2014	5.41E-02	0.00E+00	4.75E+02	4.19E+02	1/2017	0.008345	0	16.39	1.102
11/2014	1.35E-02	0.00E+00	7.22E+01	3.94E+01	2/2017	0.004062	0	2.764	0.1364
12/2014	1.97E-02	0.00E+00	5.22E+01	1.14E+01	3/2017	0.004263	0	4.385	0.1458
1/2015	9.78E-03	0.00E+00	1.87E+01	1.90E+00	4/2017	0.001458	0	0.8302	0.01518
2/2015	1.13E-02	0.00E+00	1.77E+01	1.48E+00	5/2017	0.08642	0	368.7	78.11
3/2015	2.78E-02	0.00E+00	7.82E+01	1.30E+01	6/2017	0.03105	0	130.9	23.21
4/2015	4.39E-03	0.00E+00	8.97E+00	5.62E-01	7/2017	0.05176	0	229.9	45.92
5/2015	2.52E-03	0.00E+00	4.52E+00	2.29E-01	8/2017	0.1045	0	616.1	408.4
6/2015	1.81E-02	0.00E+00	5.75E+01	1.62E+01	9/2017	0.1993	0	1436	1613
7/2015	1.19E-01	0.00E+00	6.14E+02	4.67E+02	10/2017	0.03328	0	369.5	217
8/2015	1.17E-02	0.00E+00	3.80E+01	1.19E+01	11/2017	0.01002	0	44.68	16.21
9/2015	4.03E-01	0.00E+00	3.01E+03	4.98E+03	12/2017	0.00636	0	7.484	2.235
10/2015	1.27E-02	0.00E+00	5.07E+01	2.42E+01	1/2018	0.005153	0	1.714	0.4607
11/2015	1.00E-02	0.00E+00	2.36E+01	1.04E+01	2/2018	0.003694	0	0.3619	0.08269
12/2015	5.76E-03	0.00E+00	4.29E+00	1.34E+00	3/2018	0.002611	0	0.0971	0.0199

1/2016	3.77E-02	0.00E+00	1.00E+02	1.04E+01	4/2018	0.001123	0	0.01761	0.003126
2/2016	5.49E-03	0.00E+00	7.31E+00	3.51E-01	5/2018	0.003327	0	5.058	0.2241
3/2016	2.58E-03	0.00E+00	1.88E+00	6.84E-02	6/2018	0.1831	0	923.6	148.1

Escenario IV:

Channel 09									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	1.08E+00	15800	4.29E+03	5.15E+02	4/2016	0.802	11820	3609	419.1
2/2014	1.71E+00	17300	5.16E+03	6.27E+02	5/2016	1.436	16990	4922	580.3
3/2014	9.83E-01	13900	4.23E+03	5.06E+02	6/2016	32.09	720500	66620	29570
4/2014	2.88E+00	24470	8.32E+03	1.05E+03	7/2016	60.45	2115000	109900	72840
5/2014	1.38E+01	179100	3.50E+04	8.88E+03	8/2016	67.04	1272000	159600	139900
6/2014	5.91E+01	1739000	1.13E+05	7.69E+04	9/2016	55.85	1368000	126900	81200
7/2014	9.19E+01	2771000	1.76E+05	1.33E+05	10/2016	18.39	214300	46210	13560
8/2014	5.13E+01	1580000	1.02E+05	6.03E+04	11/2016	23.56	394900	46410	17430
9/2014	7.49E+01	2172000	1.91E+05	1.61E+05	12/2016	6.288	49410	13980	2369
10/2014	9.90E+01	2348000	2.80E+05	3.96E+05	1/2017	3.187	23650	7404	828.5
11/2014	1.91E+01	315800	4.50E+04	1.72E+04	2/2017	2.273	18340	4958	552.1
12/2014	5.50E+00	46120	1.44E+04	2.47E+03	3/2017	1.382	16720	4348	516.9
1/2015	3.09E+00	23690	7.90E+03	9.40E+02	4/2017	0.8229	12200	3614	427.4
2/2015	2.15E+00	18240	5.04E+03	5.86E+02	5/2017	2.566	18800	11780	2446
3/2015	3.22E+00	25090	8.27E+03	1.02E+03	6/2017	14.99	229600	34780	10450
4/2015	2.15E+00	19390	6.20E+03	7.00E+02	7/2017	41.6	1135000	84010	42220
5/2015	2.58E+01	572800	5.39E+04	2.22E+04	8/2017	32.08	750100	66760	28500
6/2015	4.13E+01	944000	8.57E+04	4.44E+04	9/2017	83.15	2342000	144100	114600
7/2015	5.77E+01	1693000	1.06E+05	6.54E+04	10/2017	18.72	136100	53010	16290
8/2015	9.95E+00	92660	2.49E+04	4.77E+03	11/2017	9.394	60920	22660	4046
9/2015	4.76E+01	1183000	1.02E+05	5.32E+04	12/2017	6.607	41300	15310	2174
10/2015	8.12E+00	68600	2.14E+04	3.68E+03	1/2018	2.745	24350	7334	932.1
11/2015	3.75E+00	24240	9.31E+03	9.57E+02	2/2018	1.902	17370	4993	593.5
12/2015	3.37E+00	22920	7.31E+03	7.29E+02	3/2018	1.152	15010	4204	499.4
1/2016	2.94E+00	22460	6.38E+03	6.65E+02	4/2018	5.837	46710	14910	2254
2/2016	1.80E+00	17790	4.50E+03	5.21E+02	5/2018	15.52	232800	34970	10420
3/2016	1.09E+00	14930	4.02E+03	4.78E+02	6/2018	28.38	584200	58640	24230

Channel 59									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		

1/2014	6.74E-03	0	8.47E+00	2.13E+00	4/2016	0.00175	0	0.09171	0.001909
2/2014	4.55E-03	0	1.39E+00	3.32E-01	5/2016	0.005679	0	9.468	0.5581
3/2014	2.84E-03	0	1.84E-01	4.31E-02	6/2016	0.04644	0	226.5	24.68
4/2014	1.55E-03	0	1.24E-02	2.79E-03	7/2016	0.005673	0	21.62	1.239
5/2014	2.75E-01	0	1.48E+03	4.25E+02	8/2016	0.04398	0	281.8	103
6/2014	4.34E-01	0	2.69E+03	1.16E+03	9/2016	0.4101	0	3799	3238
7/2014	1.23E+00	0	3.82E+03	1.64E+03	10/2016	0.04107	0	399.8	156.8
8/2014	1.01E-01	0	5.94E+02	1.81E+02	11/2016	0.009233	0	51	14.45
9/2014	6.64E-02	0	6.33E+02	2.38E+02	12/2016	0.03206	0	141.7	9.364
10/2014	9.23E-02	0	1.05E+03	5.79E+02	1/2017	0.00874	0	26.95	0.8745
11/2014	1.44E-02	0	1.16E+02	3.75E+01	2/2017	0.004206	0	3.408	0.09615
12/2014	2.52E-02	0	8.82E+01	1.01E+01	3/2017	0.00574	0	7.124	0.1643
1/2015	1.17E-02	0	3.49E+01	1.93E+00	4/2017	0.002065	0	0.5088	0.008247
2/2015	1.55E-02	0	3.33E+01	1.74E+00	5/2017	0.131	0	720	77.25
3/2015	4.12E-02	0	1.56E+02	1.44E+01	6/2017	0.04808	0	278.5	26.97
4/2015	5.99E-03	0	1.44E+01	6.48E-01	7/2017	0.07495	0	524.5	54.61
5/2015	3.09E-03	0	4.03E+00	1.57E-01	8/2017	0.1566	0	1261	403.3
6/2015	2.61E-02	0	1.08E+02	1.89E+01	9/2017	0.3008	0	2766	1579
7/2015	1.79E-01	0	1.25E+03	4.61E+02	10/2017	0.05949	0	898.7	312.1
8/2015	1.43E-02	0	7.14E+01	1.39E+01	11/2017	0.009649	0	64.59	12.99
9/2015	6.12E-01	0	5.40E+03	4.60E+03	12/2017	0.005811	0	9.047	1.66
10/2015	1.53E-02	0	1.07E+02	3.15E+01	1/2018	0.004665	0	1.745	0.3117
11/2015	1.08E-02	0	4.46E+01	1.23E+01	2/2018	0.003381	0	0.2546	0.04219
12/2015	5.26E-03	0	5.62E+00	1.26E+00	3/2018	0.002863	0	0.04201	0.006994
1/2016	5.33E-02	0	1.93E+02	1.10E+01	4/2018	0.001587	0	0.003018	0.0005112
2/2016	6.55E-03	0	1.14E+01	2.73E-01	5/2018	0.005207	0	9.048	0.3285
3/2016	3.15E-03	0	1.80E+00	3.94E-02	6/2018	0.2787	0	1962	163.9

Channel 70									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	9.11E-03	0.00E+00	3.98E+00	1.58E+00	4/2016	0.001356	0	0.3665	0.01075
2/2014	6.04E-03	0.00E+00	7.54E-01	2.37E-01	5/2016	0.004105	0	5.83	0.4265
3/2014	2.83E-03	0.00E+00	1.73E-01	4.26E-02	6/2016	0.03083	0	111.4	22.35
4/2014	1.32E-03	0.00E+00	3.24E-02	6.60E-03	7/2016	0.004225	0	12.62	0.9671
5/2014	1.79E-01	0.00E+00	7.69E+02	4.60E+02	8/2016	0.02969	0	148.2	100.7
6/2014	2.85E-01	0.00E+00	1.40E+03	1.24E+03	9/2016	0.2675	0	2107	3434
7/2014	9.45E-01	0.00E+00	1.98E+03	1.55E+03	10/2016	0.03273	0	178.9	126.1
8/2014	7.61E-02	0.00E+00	2.18E+02	1.34E+02	11/2016	0.009155	0	26.33	11.36

9/2014	3.77E-02	0.00E+00	2.48E+02	1.64E+02	12/2016	0.02424	0	75.12	9.738
10/2014	5.41E-02	0.00E+00	4.75E+02	4.19E+02	1/2017	0.008345	0	16.39	1.102
11/2014	1.35E-02	0.00E+00	7.22E+01	3.94E+01	2/2017	0.004062	0	2.764	0.1364
12/2014	1.97E-02	0.00E+00	5.22E+01	1.14E+01	3/2017	0.004263	0	4.385	0.1458
1/2015	9.78E-03	0.00E+00	1.87E+01	1.90E+00	4/2017	0.001458	0	0.8302	0.01518
2/2015	1.13E-02	0.00E+00	1.77E+01	1.48E+00	5/2017	0.08642	0	368.7	78.11
3/2015	2.78E-02	0.00E+00	7.82E+01	1.30E+01	6/2017	0.03105	0	130.9	23.21
4/2015	4.39E-03	0.00E+00	8.97E+00	5.62E-01	7/2017	0.05176	0	229.9	45.92
5/2015	2.52E-03	0.00E+00	4.52E+00	2.29E-01	8/2017	0.1045	0	616.1	408.4
6/2015	1.81E-02	0.00E+00	5.75E+01	1.62E+01	9/2017	0.1993	0	1436	1613
7/2015	1.19E-01	0.00E+00	6.14E+02	4.67E+02	10/2017	0.03328	0	369.5	217
8/2015	1.17E-02	0.00E+00	3.80E+01	1.19E+01	11/2017	0.01002	0	44.68	16.21
9/2015	4.03E-01	0.00E+00	3.01E+03	4.98E+03	12/2017	0.00636	0	7.484	2.235
10/2015	1.27E-02	0.00E+00	5.07E+01	2.42E+01	1/2018	0.005153	0	1.714	0.4607
11/2015	1.00E-02	0.00E+00	2.36E+01	1.04E+01	2/2018	0.003694	0	0.3619	0.08269
12/2015	5.76E-03	0.00E+00	4.29E+00	1.34E+00	3/2018	0.002611	0	0.0971	0.0199
1/2016	3.77E-02	0.00E+00	1.00E+02	1.04E+01	4/2018	0.001123	0	0.01761	0.003126
2/2016	5.49E-03	0.00E+00	7.31E+00	3.51E-01	5/2018	0.003327	0	5.058	0.2241
3/2016	2.58E-03	0.00E+00	1.88E+00	6.84E-02	6/2018	0.1831	0	923.6	148.1

Escenario V:

Channel 09									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	1.08E+00	15790	4.22E+03	5.14E+02	4/2016	0.8016	11820	3603	418.9
2/2014	1.71E+00	17300	5.12E+03	6.27E+02	5/2016	1.436	16990	4914	579.3
3/2014	9.83E-01	13900	4.22E+03	5.07E+02	6/2016	32.09	720500	62840	27230
4/2014	2.88E+00	24470	8.31E+03	1.05E+03	7/2016	60.45	2115000	104600	71430
5/2014	1.38E+01	179100	3.25E+04	8.26E+03	8/2016	67.04	1272000	103700	73850
6/2014	5.91E+01	1739000	9.28E+04	6.56E+04	9/2016	55.85	1368000	102200	64290
7/2014	9.19E+01	2771000	1.35E+05	1.05E+05	10/2016	18.39	214300	38510	12180
8/2014	5.13E+01	1580000	8.96E+04	5.66E+04	11/2016	23.56	394900	44690	17210
9/2014	7.49E+01	2172000	1.24E+05	9.14E+04	12/2016	6.286	49410	13400	2345
10/2014	9.89E+01	2348000	1.74E+05	1.93E+05	1/2017	3.185	23640	7144	825.3
11/2014	1.91E+01	315800	4.21E+04	1.68E+04	2/2017	2.272	18330	4858	552.2
12/2014	5.50E+00	46120	1.39E+04	2.49E+03	3/2017	1.381	16710	4314	517.2
1/2015	3.09E+00	23690	7.67E+03	9.58E+02	4/2017	0.8218	12190	3608	427.2
2/2015	2.15E+00	18240	4.95E+03	5.95E+02	5/2017	2.566	18800	5909	822.6
3/2015	3.22E+00	25100	7.96E+03	9.70E+02	6/2017	14.99	229600	32640	10140

4/2015	2.15E+00	19390	5.95E+03	6.91E+02	7/2017	41.6	1135000	80470	40990
5/2015	2.58E+01	572800	5.32E+04	2.21E+04	8/2017	32.07	750100	64780	28210
6/2015	4.13E+01	944000	6.91E+04	3.59E+04	9/2017	83.14	2342000	120600	90920
7/2015	5.77E+01	1693000	9.24E+04	6.08E+04	10/2017	18.7	136100	34910	10340
8/2015	9.95E+00	92660	2.11E+04	4.38E+03	11/2017	9.39	60920	19740	3625
9/2015	4.76E+01	1183000	7.94E+04	4.38E+04	12/2017	6.606	41300	14400	2081
10/2015	8.12E+00	68600	1.71E+04	3.13E+03	1/2018	2.743	24350	7165	918.7
11/2015	3.75E+00	24240	8.11E+03	8.48E+02	2/2018	1.901	17360	4870	561
12/2015	3.37E+00	22910	6.64E+03	6.63E+02	3/2018	1.15	14990	4095	485.5
1/2016	2.93E+00	22450	5.98E+03	6.29E+02	4/2018	5.836	46710	14820	2251
2/2016	1.80E+00	17790	4.39E+03	5.10E+02	5/2018	15.52	232800	33800	10230
3/2016	1.09E+00	14930	3.99E+03	4.76E+02	6/2018	28.38	584200	55600	22930

Channel 59									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	6.73E-03	0	1.00E+00	3.51E-01	4/2016	0.002018	0	0.01152	0.001793
2/2014	4.49E-03	0	1.62E-01	5.36E-02	5/2016	0.005733	0	0.9306	0.1114
3/2014	2.81E-03	0	2.15E-02	7.05E-03	6/2016	0.04631	0	19.67	4.205
4/2014	1.55E-03	0	1.43E-03	4.52E-04	7/2016	0.005396	0	1.642	0.1833
5/2014	2.75E-01	0	1.37E+02	5.66E+01	8/2016	0.04398	0	24.18	11.96
6/2014	4.34E-01	0	2.53E+02	1.53E+02	9/2016	0.4093	0	306.6	322.5
7/2014	1.23E+00	0	6.96E+02	3.94E+02	10/2016	0.0392	0	32.19	15.26
8/2014	9.65E-02	0	6.33E+01	2.26E+01	11/2016	0.008144	0	3.864	1.336
9/2014	3.10E-02	0	1.63E+01	5.73E+00	12/2016	0.03111	0	13.27	3.607
10/2014	5.50E-02	0	3.38E+01	2.07E+01	1/2017	0.007572	0	2.175	0.3011
11/2014	1.17E-02	0	4.42E+00	1.58E+00	2/2017	0.002824	0	0.2072	0.02502
12/2014	2.48E-02	0	7.32E+00	2.14E+00	3/2017	0.004506	0	0.5182	0.07648
1/2015	1.11E-02	0	2.98E+00	4.75E-01	4/2017	0.001371	0	0.03177	0.003604
2/2015	1.54E-02	0	2.56E+00	4.48E-01	5/2017	0.1306	0	60.91	13.83
3/2015	4.08E-02	0	1.17E+01	3.24E+00	6/2017	0.04756	0	23	5.171
4/2015	5.90E-03	0	1.02E+00	1.29E-01	7/2017	0.07528	0	45.35	10.06
5/2015	3.15E-03	0	3.04E-01	3.23E-02	8/2017	0.1551	0	107.9	54
6/2015	2.62E-02	0	9.72E+00	2.58E+00	9/2017	0.2995	0	228.3	181.8
7/2015	1.78E-01	0	1.10E+02	5.81E+01	10/2017	0.01766	0	11.75	3.773
8/2015	1.45E-02	0	6.39E+00	1.72E+00	11/2017	0.006076	0	1.466	0.3658
9/2015	6.10E-01	0	4.65E+02	4.98E+02	12/2017	0.003794	0	0.2545	0.06002
10/2015	1.45E-02	0	9.02E+00	3.26E+00	1/2018	0.002934	0	0.04761	0.01177
11/2015	1.00E-02	0	4.01E+00	1.39E+00	2/2018	0.001589	0	0.006234	0.001459

12/2015	4.22E-03	0	4.94E-01	1.38E-01	3/2018	0.001213	0	0.001063	0.0002376
1/2016	5.15E-02	0	1.90E+01	7.87E+00	4/2018	0.0008064	0	0.0001452	0.000028
2/2016	5.43E-03	0	9.14E-01	1.57E-01	5/2018	0.004322	0	0.7864	0.07854
3/2016	2.56E-03	0	9.84E-02	1.62E-02	6/2018	0.2788	0	170	43.59

Channel 70									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	9.06E-03	0.00E+00	7.53E-01	3.26E-01	4/2016	0.00136	0	0.07487	0.01265
2/2014	5.95E-03	0.00E+00	1.43E-01	4.88E-02	5/2016	0.004214	0	0.7178	0.1001
3/2014	2.80E-03	0.00E+00	3.34E-02	9.00E-03	6/2016	0.03084	0	11.64	3.928
4/2014	1.31E-03	0.00E+00	6.24E-03	1.39E-03	7/2016	0.004113	0	1.322	0.1653
5/2014	1.79E-01	0.00E+00	8.21E+01	5.70E+01	8/2016	0.02939	0	14.8	11.4
6/2014	2.85E-01	0.00E+00	1.58E+02	1.51E+02	9/2016	0.2664	0	189.3	326.4
7/2014	9.44E-01	0.00E+00	4.90E+02	3.28E+02	10/2016	0.03125	0	19.39	14.13
8/2014	7.41E-02	0.00E+00	3.66E+01	1.89E+01	11/2016	0.007997	0	2.851	1.269
9/2014	2.37E-02	0.00E+00	8.64E+00	4.56E+00	12/2016	0.02194	0	8.088	3.216
10/2014	3.74E-02	0.00E+00	1.85E+01	1.71E+01	1/2017	0.005966	0	1.578	0.3004
11/2014	1.16E-02	0.00E+00	3.05E+00	1.68E+00	2/2017	0.002346	0	0.3378	0.04819
12/2014	1.91E-02	0.00E+00	4.97E+00	2.10E+00	3/2017	0.003227	0	0.4866	0.08066
1/2015	9.35E-03	0.00E+00	2.22E+00	5.19E-01	4/2017	0.001121	0	0.09459	0.008976
2/2015	1.08E-02	0.00E+00	1.64E+00	4.10E-01	5/2017	0.08615	0	35.43	14.58
3/2015	2.76E-02	0.00E+00	6.75E+00	2.94E+00	6/2017	0.03105	0	13.49	4.617
4/2015	4.35E-03	0.00E+00	8.11E-01	1.33E-01	7/2017	0.05148	0	25.16	8.979
5/2015	2.55E-03	0.00E+00	4.10E-01	5.45E-02	8/2017	0.1034	0	62.36	53.12
6/2015	1.82E-02	0.00E+00	6.40E+00	2.33E+00	9/2017	0.197	0	136.4	179.2
7/2015	1.18E-01	0.00E+00	6.50E+01	5.44E+01	10/2017	0.01498	0	6.911	3.416
8/2015	1.10E-02	0.00E+00	4.40E+00	1.57E+00	11/2017	0.006516	0	1.086	0.3478
9/2015	4.02E-01	0.00E+00	2.92E+02	4.98E+02	12/2017	0.004209	0	0.2338	0.06684
10/2015	1.23E-02	0.00E+00	6.13E+00	3.04E+00	1/2018	0.002564	0	0.05055	0.013
11/2015	8.50E-03	0.00E+00	2.57E+00	1.09E+00	2/2018	0.001298	0	0.01099	0.002256
12/2015	4.11E-03	0.00E+00	4.24E-01	1.26E-01	3/2018	0.0009145	0	0.003856	0.0008564
1/2016	3.46E-02	0.00E+00	1.12E+01	6.83E+00	4/2018	0.0005345	0	0.0008042	0.0001565
2/2016	4.88E-03	0.00E+00	1.02E+00	2.64E-01	5/2018	0.002901	0	0.528	0.05403
3/2016	2.25E-03	0.00E+00	2.82E-01	5.78E-02	6/2018	0.1828	0	96.24	40.65

Escenario VI:

Channel 09									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out

	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	1.08E+00	131600	7.59E+03	4.10E+03	4/2016	0.802	98480	6844	3480
2/2014	1.71E+00	138800	7.77E+03	4.05E+03	5/2016	1.436	139400	7994	4214
3/2014	9.83E-01	114600	7.04E+03	3.80E+03	6/2016	32.09	938900	28310	34060
4/2014	2.88E+00	173700	9.44E+03	4.88E+03	7/2016	60.45	2349000	29270	77580
5/2014	1.38E+01	388700	2.07E+04	1.33E+04	8/2016	67.04	1524000	111300	144900
6/2014	5.91E+01	1976000	4.65E+04	8.17E+04	9/2016	55.85	1596000	71030	85760
7/2014	9.19E+01	3028000	7.93E+04	1.38E+05	10/2016	18.39	430400	35100	18060
8/2014	5.13E+01	1813000	4.00E+04	6.51E+04	11/2016	23.56	611000	25960	21890
9/2014	7.49E+01	2418000	1.14E+05	1.65E+05	12/2016	6.288	237800	13630	6585
10/2014	9.90E+01	2610000	2.00E+05	4.01E+05	1/2017	3.187	190000	10330	4879
11/2014	1.91E+01	526200	2.74E+04	2.15E+04	2/2017	2.273	152800	8065	4051
12/2014	5.50E+00	230500	1.40E+04	6.65E+03	3/2017	1.382	139300	7644	4111
1/2015	3.09E+00	188900	1.08E+04	4.98E+03	4/2017	0.8229	101700	6784	3535
2/2015	2.15E+00	152000	8.11E+03	4.09E+03	5/2017	2.566	156600	15570	6199
3/2015	3.22E+00	190000	1.10E+04	5.09E+03	6/2017	14.99	433800	18870	14750
4/2015	2.15E+00	155000	8.76E+03	4.32E+03	7/2017	41.6	1365000	31220	46900
5/2015	2.58E+01	796900	2.24E+04	2.68E+04	8/2017	32.08	974400	26080	33070
6/2015	4.13E+01	1172000	4.30E+04	4.90E+04	9/2017	83.15	2590000	59980	119500
7/2015	5.77E+01	1932000	4.08E+04	7.02E+04	10/2017	18.72	351800	47520	20770
8/2015	9.95E+00	291100	1.96E+04	9.05E+03	11/2017	9.394	257200	20760	8277
9/2015	4.76E+01	1410000	5.23E+04	5.79E+04	12/2017	6.607	232800	15140	6434
10/2015	8.12E+00	262500	1.90E+04	7.92E+03	1/2018	2.745	185500	9409	4937
11/2015	3.75E+00	187200	1.18E+04	4.86E+03	2/2018	1.902	143100	7911	4007
12/2015	3.37E+00	191000	1.09E+04	4.80E+03	3/2018	1.152	125100	7502	3926
1/2016	2.94E+00	187100	9.95E+03	4.72E+03	4/2018	5.837	224100	12230	6352
2/2016	1.80E+00	148300	7.61E+03	4.07E+03	5/2018	15.52	445200	18530	14850
3/2016	1.09E+00	124400	7.29E+03	3.92E+03	6/2018	28.38	799300	25080	28600

Channel 59									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	6.74E-03	0	8.47E+00	2.13E+00	4/2016	0.00175	0	0.09171	0.001909
2/2014	4.55E-03	0	1.39E+00	3.32E-01	5/2016	0.005679	0	9.468	0.5581
3/2014	2.84E-03	0	1.84E-01	4.31E-02	6/2016	0.04644	0	226.5	24.68
4/2014	1.55E-03	0	1.24E-02	2.79E-03	7/2016	0.005673	0	21.62	1.239
5/2014	2.75E-01	0	1.48E+03	4.25E+02	8/2016	0.04398	0	281.8	103
6/2014	4.34E-01	0	2.69E+03	1.16E+03	9/2016	0.4101	0	3799	3238
7/2014	1.23E+00	0	3.82E+03	1.64E+03	10/2016	0.04107	0	399.8	156.8

8/2014	1.01E-01	0	5.94E+02	1.81E+02	11/2016	0.009233	0	51	14.45
9/2014	6.64E-02	0	6.33E+02	2.38E+02	12/2016	0.03206	0	141.7	9.364
10/2014	9.23E-02	0	1.05E+03	5.79E+02	1/2017	0.00874	0	26.95	0.8745
11/2014	1.44E-02	0	1.16E+02	3.75E+01	2/2017	0.004206	0	3.408	0.09615
12/2014	2.52E-02	0	8.82E+01	1.01E+01	3/2017	0.00574	0	7.124	0.1643
1/2015	1.17E-02	0	3.49E+01	1.93E+00	4/2017	0.002065	0	0.5088	0.008247
2/2015	1.55E-02	0	3.33E+01	1.74E+00	5/2017	0.131	0	720	77.25
3/2015	4.12E-02	0	1.56E+02	1.44E+01	6/2017	0.04808	0	278.5	26.97
4/2015	5.99E-03	0	1.44E+01	6.48E-01	7/2017	0.07495	0	524.5	54.61
5/2015	3.09E-03	0	4.03E+00	1.57E-01	8/2017	0.1566	0	1261	403.3
6/2015	2.61E-02	0	1.08E+02	1.89E+01	9/2017	0.3008	0	2766	1579
7/2015	1.79E-01	0	1.25E+03	4.61E+02	10/2017	0.05949	0	898.7	312.1
8/2015	1.43E-02	0	7.14E+01	1.39E+01	11/2017	0.009649	0	64.59	12.99
9/2015	6.12E-01	0	5.40E+03	4.60E+03	12/2017	0.005811	0	9.047	1.66
10/2015	1.53E-02	0	1.07E+02	3.15E+01	1/2018	0.004665	0	1.745	0.3117
11/2015	1.08E-02	0	4.46E+01	1.23E+01	2/2018	0.003381	0	0.2546	0.04219
12/2015	5.26E-03	0	5.62E+00	1.26E+00	3/2018	0.002863	0	0.04201	0.006994
1/2016	5.33E-02	0	1.93E+02	1.10E+01	4/2018	0.001587	0	0.003018	0.0005112
2/2016	6.55E-03	0	1.14E+01	2.73E-01	5/2018	0.005207	0	9.048	0.3285
3/2016	3.15E-03	0	1.80E+00	3.94E-02	6/2018	0.2787	0	1962	163.9

Channel 70									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	9.11E-03	0.00E+00	3.98E+00	1.58E+00	4/2016	0.001356	0	0.3665	0.01075
2/2014	6.04E-03	0.00E+00	7.54E-01	2.37E-01	5/2016	0.004105	0	5.83	0.4265
3/2014	2.83E-03	0.00E+00	1.73E-01	4.26E-02	6/2016	0.03083	0	111.4	22.35
4/2014	1.32E-03	0.00E+00	3.24E-02	6.60E-03	7/2016	0.004225	0	12.62	0.9671
5/2014	1.79E-01	0.00E+00	7.69E+02	4.60E+02	8/2016	0.02969	0	148.2	100.7
6/2014	2.85E-01	0.00E+00	1.40E+03	1.24E+03	9/2016	0.2675	0	2107	3434
7/2014	9.45E-01	0.00E+00	1.98E+03	1.55E+03	10/2016	0.03273	0	178.9	126.1
8/2014	7.61E-02	0.00E+00	2.18E+02	1.34E+02	11/2016	0.009155	0	26.33	11.36
9/2014	3.77E-02	0.00E+00	2.48E+02	1.64E+02	12/2016	0.02424	0	75.12	9.738
10/2014	5.41E-02	0.00E+00	4.75E+02	4.19E+02	1/2017	0.008345	0	16.39	1.102
11/2014	1.35E-02	0.00E+00	7.22E+01	3.94E+01	2/2017	0.004062	0	2.764	0.1364
12/2014	1.97E-02	0.00E+00	5.22E+01	1.14E+01	3/2017	0.004263	0	4.385	0.1458
1/2015	9.78E-03	0.00E+00	1.87E+01	1.90E+00	4/2017	0.001458	0	0.8302	0.01518
2/2015	1.13E-02	0.00E+00	1.77E+01	1.48E+00	5/2017	0.08642	0	368.7	78.11
3/2015	2.78E-02	0.00E+00	7.82E+01	1.30E+01	6/2017	0.03105	0	130.9	23.21

4/2015	4.39E-03	0.00E+00	8.97E+00	5.62E-01	7/2017	0.05176	0	229.9	45.92
5/2015	2.52E-03	0.00E+00	4.52E+00	2.29E-01	8/2017	0.1045	0	616.1	408.4
6/2015	1.81E-02	0.00E+00	5.75E+01	1.62E+01	9/2017	0.1993	0	1436	1613
7/2015	1.19E-01	0.00E+00	6.14E+02	4.67E+02	10/2017	0.03328	0	369.5	217
8/2015	1.17E-02	0.00E+00	3.80E+01	1.19E+01	11/2017	0.01002	0	44.68	16.21
9/2015	4.03E-01	0.00E+00	3.01E+03	4.98E+03	12/2017	0.00636	0	7.484	2.235
10/2015	1.27E-02	0.00E+00	5.07E+01	2.42E+01	1/2018	0.005153	0	1.714	0.4607
11/2015	1.00E-02	0.00E+00	2.36E+01	1.04E+01	2/2018	0.003694	0	0.3619	0.08269
12/2015	5.76E-03	0.00E+00	4.29E+00	1.34E+00	3/2018	0.002611	0	0.0971	0.0199
1/2016	3.77E-02	0.00E+00	1.00E+02	1.04E+01	4/2018	0.001123	0	0.01761	0.003126
2/2016	5.49E-03	0.00E+00	7.31E+00	3.51E-01	5/2018	0.003327	0	5.058	0.2241
3/2016	2.58E-03	0.00E+00	1.88E+00	6.84E-02	6/2018	0.1831	0	923.6	148.1

Escenario VII:

Channel 09									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	1.08E+00	42930	4.90E+03	2.48E+03	4/2016	0.802	32190	4336	2108
2/2014	1.71E+00	45680	5.08E+03	2.50E+03	5/2016	1.436	45620	5160	2573
3/2014	9.83E-01	37520	4.55E+03	2.32E+03	6/2016	32.09	770300	24930	31980
4/2014	2.88E+00	59250	6.52E+03	3.15E+03	7/2016	60.45	2168000	25500	75340
5/2014	1.38E+01	227400	1.75E+04	1.13E+04	8/2016	67.04	1326000	108000	142500
6/2014	5.91E+01	1791000	4.23E+04	7.93E+04	9/2016	55.85	1419000	68350	83610
7/2014	9.19E+01	2827000	7.65E+04	1.35E+05	10/2016	18.39	263800	32100	15970
8/2014	5.13E+01	1632000	3.69E+04	6.28E+04	11/2016	23.56	444200	22890	19800
9/2014	7.49E+01	2226000	1.11E+05	1.63E+05	12/2016	6.288	93160	10870	4664
10/2014	9.90E+01	2405000	1.97E+05	3.98E+05	1/2017	3.187	62380	7423	3036
11/2014	1.91E+01	363900	2.49E+04	1.95E+04	2/2017	2.273	49720	5483	2464
12/2014	5.50E+00	88970	1.11E+04	4.75E+03	3/2017	1.382	45410	4988	2489
1/2015	3.09E+00	62170	7.83E+03	3.14E+03	4/2017	0.8229	33230	4314	2141
2/2015	2.15E+00	49460	5.56E+03	2.50E+03	5/2017	2.566	50950	12460	4495
3/2015	3.22E+00	63500	7.58E+03	3.23E+03	6/2017	14.99	276400	16220	12790
4/2015	2.15E+00	51070	5.89E+03	2.68E+03	7/2017	41.6	1188000	27050	44700
5/2015	2.58E+01	624000	1.92E+04	2.47E+04	8/2017	32.08	801300	23090	30960
6/2015	4.13E+01	994400	3.91E+04	4.68E+04	9/2017	83.15	2395000	56350	117000
7/2015	5.77E+01	1746000	3.81E+04	6.79E+04	10/2017	18.72	185200	44820	18690
8/2015	9.95E+00	138600	1.68E+04	7.09E+03	11/2017	9.394	106300	17970	6338
9/2015	4.76E+01	1234000	4.87E+04	5.56E+04	12/2017	6.607	85730	12260	4490
10/2015	8.12E+00	113600	1.64E+04	6.00E+03	1/2018	2.745	61910	6706	3121

11/2015	3.75E+00	62200	8.93E+03	3.09E+03	2/2018	1.902	46740	5286	2460
12/2015	3.37E+00	62040	7.86E+03	2.95E+03	3/2018	1.152	40810	4876	2384
1/2016	2.94E+00	60810	6.94E+03	2.87E+03	4/2018	5.837	87880	9273	4488
2/2016	1.80E+00	48270	5.06E+03	2.46E+03	5/2018	15.52	281600	15830	12820
3/2016	1.09E+00	40590	4.69E+03	2.37E+03	6/2018	28.38	633400	22430	26600

Channel 59									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	6.74E-03	0	8.47E+00	2.13E+00	4/2016	0.00175	0	0.09171	0.001909
2/2014	4.55E-03	0	1.39E+00	3.32E-01	5/2016	0.005679	0	9.468	0.5581
3/2014	2.84E-03	0	1.84E-01	4.31E-02	6/2016	0.04644	0	226.5	24.68
4/2014	1.55E-03	0	1.24E-02	2.79E-03	7/2016	0.005673	0	21.62	1.239
5/2014	2.75E-01	0	1.48E+03	4.25E+02	8/2016	0.04398	0	281.8	103
6/2014	4.34E-01	0	2.69E+03	1.16E+03	9/2016	0.4101	0	3799	3238
7/2014	1.23E+00	0	3.82E+03	1.64E+03	10/2016	0.04107	0	399.8	156.8
8/2014	1.01E-01	0	5.94E+02	1.81E+02	11/2016	0.009233	0	51	14.45
9/2014	6.64E-02	0	6.33E+02	2.38E+02	12/2016	0.03206	0	141.7	9.364
10/2014	9.23E-02	0	1.05E+03	5.79E+02	1/2017	0.00874	0	26.95	0.8745
11/2014	1.44E-02	0	1.16E+02	3.75E+01	2/2017	0.004206	0	3.408	0.09615
12/2014	2.52E-02	0	8.82E+01	1.01E+01	3/2017	0.00574	0	7.124	0.1643
1/2015	1.17E-02	0	3.49E+01	1.93E+00	4/2017	0.002065	0	0.5088	0.008247
2/2015	1.55E-02	0	3.33E+01	1.74E+00	5/2017	0.131	0	720	77.25
3/2015	4.12E-02	0	1.56E+02	1.44E+01	6/2017	0.04808	0	278.5	26.97
4/2015	5.99E-03	0	1.44E+01	6.48E-01	7/2017	0.07495	0	524.5	54.61
5/2015	3.09E-03	0	4.03E+00	1.57E-01	8/2017	0.1566	0	1261	403.3
6/2015	2.61E-02	0	1.08E+02	1.89E+01	9/2017	0.3008	0	2766	1579
7/2015	1.79E-01	0	1.25E+03	4.61E+02	10/2017	0.05949	0	898.7	312.1
8/2015	1.43E-02	0	7.14E+01	1.39E+01	11/2017	0.009649	0	64.59	12.99
9/2015	6.12E-01	0	5.40E+03	4.60E+03	12/2017	0.005811	0	9.047	1.66
10/2015	1.53E-02	0	1.07E+02	3.15E+01	1/2018	0.004665	0	1.745	0.3117
11/2015	1.08E-02	0	4.46E+01	1.23E+01	2/2018	0.003381	0	0.2546	0.04219
12/2015	5.26E-03	0	5.62E+00	1.26E+00	3/2018	0.002863	0	0.04201	0.006994
1/2016	5.33E-02	0	1.93E+02	1.10E+01	4/2018	0.001587	0	0.003018	0.0005112
2/2016	6.55E-03	0	1.14E+01	2.73E-01	5/2018	0.005207	0	9.048	0.3285
3/2016	3.15E-03	0	1.80E+00	3.94E-02	6/2018	0.2787	0	1962	163.9

Channel 70									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out

	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	9.11E-03	0.00E+00	3.98E+00	1.58E+00	4/2016	0.001356	0	0.3665	0.01075
2/2014	6.04E-03	0.00E+00	7.54E-01	2.37E-01	5/2016	0.004105	0	5.83	0.4265
3/2014	2.83E-03	0.00E+00	1.73E-01	4.26E-02	6/2016	0.03083	0	111.4	22.35
4/2014	1.32E-03	0.00E+00	3.24E-02	6.60E-03	7/2016	0.004225	0	12.62	0.9671
5/2014	1.79E-01	0.00E+00	7.69E+02	4.60E+02	8/2016	0.02969	0	148.2	100.7
6/2014	2.85E-01	0.00E+00	1.40E+03	1.24E+03	9/2016	0.2675	0	2107	3434
7/2014	9.45E-01	0.00E+00	1.98E+03	1.55E+03	10/2016	0.03273	0	178.9	126.1
8/2014	7.61E-02	0.00E+00	2.18E+02	1.34E+02	11/2016	0.009155	0	26.33	11.36
9/2014	3.77E-02	0.00E+00	2.48E+02	1.64E+02	12/2016	0.02424	0	75.12	9.738
10/2014	5.41E-02	0.00E+00	4.75E+02	4.19E+02	1/2017	0.008345	0	16.39	1.102
11/2014	1.35E-02	0.00E+00	7.22E+01	3.94E+01	2/2017	0.004062	0	2.764	0.1364
12/2014	1.97E-02	0.00E+00	5.22E+01	1.14E+01	3/2017	0.004263	0	4.385	0.1458
1/2015	9.78E-03	0.00E+00	1.87E+01	1.90E+00	4/2017	0.001458	0	0.8302	0.01518
2/2015	1.13E-02	0.00E+00	1.77E+01	1.48E+00	5/2017	0.08642	0	368.7	78.11
3/2015	2.78E-02	0.00E+00	7.82E+01	1.30E+01	6/2017	0.03105	0	130.9	23.21
4/2015	4.39E-03	0.00E+00	8.97E+00	5.62E-01	7/2017	0.05176	0	229.9	45.92
5/2015	2.52E-03	0.00E+00	4.52E+00	2.29E-01	8/2017	0.1045	0	616.1	408.4
6/2015	1.81E-02	0.00E+00	5.75E+01	1.62E+01	9/2017	0.1993	0	1436	1613
7/2015	1.19E-01	0.00E+00	6.14E+02	4.67E+02	10/2017	0.03328	0	369.5	217
8/2015	1.17E-02	0.00E+00	3.80E+01	1.19E+01	11/2017	0.01002	0	44.68	16.21
9/2015	4.03E-01	0.00E+00	3.01E+03	4.98E+03	12/2017	0.00636	0	7.484	2.235
10/2015	1.27E-02	0.00E+00	5.07E+01	2.42E+01	1/2018	0.005153	0	1.714	0.4607
11/2015	1.00E-02	0.00E+00	2.36E+01	1.04E+01	2/2018	0.003694	0	0.3619	0.08269
12/2015	5.76E-03	0.00E+00	4.29E+00	1.34E+00	3/2018	0.002611	0	0.0971	0.0199
1/2016	3.77E-02	0.00E+00	1.00E+02	1.04E+01	4/2018	0.001123	0	0.01761	0.003126
2/2016	5.49E-03	0.00E+00	7.31E+00	3.51E-01	5/2018	0.003327	0	5.058	0.2241
3/2016	2.58E-03	0.00E+00	1.88E+00	6.84E-02	6/2018	0.1831	0	923.6	148.1

Escenario VIII:

Channel 09									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	1.08E+00	15800	4.27E+03	5.15E+02	4/2016	0.802	11820	3609	419.1
2/2014	1.71E+00	17300	4.49E+03	6.27E+02	5/2016	1.436	16990	4466	580.3
3/2014	9.83E-01	13900	3.86E+03	5.06E+02	6/2016	32.09	720500	24500	29570
4/2014	2.88E+00	24470	5.90E+03	1.05E+03	7/2016	60.45	2115000	25100	72840
5/2014	1.38E+01	179100	1.71E+04	8.88E+03	8/2016	67.04	1272000	107600	139900
6/2014	5.91E+01	1739000	4.20E+04	7.69E+04	9/2016	55.85	1368000	67980	81200

7/2014	9.19E+01	2771000	7.62E+04	1.33E+05	10/2016	18.39	214300	31670	13560
8/2014	5.13E+01	1580000	3.65E+04	6.03E+04	11/2016	23.56	394900	22500	17430
9/2014	7.49E+01	2172000	1.11E+05	1.61E+05	12/2016	6.288	49410	10380	2369
10/2014	9.90E+01	2348000	1.97E+05	3.96E+05	1/2017	3.187	23650	6875	828.5
11/2014	1.91E+01	315800	2.45E+04	1.72E+04	2/2017	2.273	18340	4956	552.1
12/2014	5.50E+00	46120	1.06E+04	2.47E+03	3/2017	1.382	16720	4348	516.9
1/2015	3.09E+00	23690	7.30E+03	9.40E+02	4/2017	0.8229	12200	3614	427.4
2/2015	2.15E+00	18240	5.04E+03	5.86E+02	5/2017	2.566	18800	11780	2446
3/2015	3.22E+00	25090	6.99E+03	1.02E+03	6/2017	14.99	229600	15770	10450
4/2015	2.15E+00	19390	5.28E+03	7.00E+02	7/2017	41.6	1135000	26620	42220
5/2015	2.58E+01	572800	1.87E+04	2.22E+04	8/2017	32.08	750100	22680	28500
6/2015	4.13E+01	944000	3.87E+04	4.44E+04	9/2017	83.15	2342000	55970	114600
7/2015	5.77E+01	1693000	3.77E+04	6.54E+04	10/2017	18.72	136100	44390	16290
8/2015	9.95E+00	92660	1.63E+04	4.77E+03	11/2017	9.394	60920	17520	4046
9/2015	4.76E+01	1183000	4.83E+04	5.32E+04	12/2017	6.607	41300	11770	2174
10/2015	8.12E+00	68600	1.59E+04	3.68E+03	1/2018	2.745	24350	6167	932.1
11/2015	3.75E+00	24240	8.38E+03	9.57E+02	2/2018	1.902	17370	4731	593.5
12/2015	3.37E+00	22920	7.30E+03	7.29E+02	3/2018	1.152	15010	4200	499.4
1/2016	2.94E+00	22460	6.38E+03	6.65E+02	4/2018	5.837	46710	8730	2254
2/2016	1.80E+00	17790	4.50E+03	5.21E+02	5/2018	15.52	232800	15390	10420
3/2016	1.09E+00	14930	4.02E+03	4.78E+02	6/2018	28.38	584200	22030	24230

Channel 59									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	6.74E-03	0	8.47E+00	2.13E+00	4/2016	0.00175	0	0.09171	0.001909
2/2014	4.55E-03	0	1.39E+00	3.32E-01	5/2016	0.005679	0	9.468	0.5581
3/2014	2.84E-03	0	1.84E-01	4.31E-02	6/2016	0.04644	0	226.5	24.68
4/2014	1.55E-03	0	1.24E-02	2.79E-03	7/2016	0.005673	0	21.62	1.239
5/2014	2.75E-01	0	1.48E+03	4.25E+02	8/2016	0.04398	0	281.8	103
6/2014	4.34E-01	0	2.69E+03	1.16E+03	9/2016	0.4101	0	3799	3238
7/2014	1.23E+00	0	3.82E+03	1.64E+03	10/2016	0.04107	0	399.8	156.8
8/2014	1.01E-01	0	5.94E+02	1.81E+02	11/2016	0.009233	0	51	14.45
9/2014	6.64E-02	0	6.33E+02	2.38E+02	12/2016	0.03206	0	141.7	9.364
10/2014	9.23E-02	0	1.05E+03	5.79E+02	1/2017	0.00874	0	26.95	0.8745
11/2014	1.44E-02	0	1.16E+02	3.75E+01	2/2017	0.004206	0	3.408	0.09615
12/2014	2.52E-02	0	8.82E+01	1.01E+01	3/2017	0.00574	0	7.124	0.1643
1/2015	1.17E-02	0	3.49E+01	1.93E+00	4/2017	0.002065	0	0.5088	0.008247
2/2015	1.55E-02	0	3.33E+01	1.74E+00	5/2017	0.131	0	720	77.25

3/2015	4.12E-02	0	1.56E+02	1.44E+01	6/2017	0.04808	0	278.5	26.97
4/2015	5.99E-03	0	1.44E+01	6.48E-01	7/2017	0.07495	0	524.5	54.61
5/2015	3.09E-03	0	4.03E+00	1.57E-01	8/2017	0.1566	0	1261	403.3
6/2015	2.61E-02	0	1.08E+02	1.89E+01	9/2017	0.3008	0	2766	1579
7/2015	1.79E-01	0	1.25E+03	4.61E+02	10/2017	0.05949	0	898.7	312.1
8/2015	1.43E-02	0	7.14E+01	1.39E+01	11/2017	0.009649	0	64.59	12.99
9/2015	6.12E-01	0	5.40E+03	4.60E+03	12/2017	0.005811	0	9.047	1.66
10/2015	1.53E-02	0	1.07E+02	3.15E+01	1/2018	0.004665	0	1.745	0.3117
11/2015	1.08E-02	0	4.46E+01	1.23E+01	2/2018	0.003381	0	0.2546	0.04219
12/2015	5.26E-03	0	5.62E+00	1.26E+00	3/2018	0.002863	0	0.04201	0.006994
1/2016	5.33E-02	0	1.93E+02	1.10E+01	4/2018	0.001587	0	0.003018	0.0005112
2/2016	6.55E-03	0	1.14E+01	2.73E-01	5/2018	0.005207	0	9.048	0.3285
3/2016	3.15E-03	0	1.80E+00	3.94E-02	6/2018	0.2787	0	1962	163.9

Channel 70									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	9.11E-03	0.00E+00	3.98E+00	1.58E+00	4/2016	0.001356	0	0.3665	0.01075
2/2014	6.04E-03	0.00E+00	7.54E-01	2.37E-01	5/2016	0.004105	0	5.83	0.4265
3/2014	2.83E-03	0.00E+00	1.73E-01	4.26E-02	6/2016	0.03083	0	111.4	22.35
4/2014	1.32E-03	0.00E+00	3.24E-02	6.60E-03	7/2016	0.004225	0	12.62	0.9671
5/2014	1.79E-01	0.00E+00	7.69E+02	4.60E+02	8/2016	0.02969	0	148.2	100.7
6/2014	2.85E-01	0.00E+00	1.40E+03	1.24E+03	9/2016	0.2675	0	2107	3434
7/2014	9.45E-01	0.00E+00	1.98E+03	1.55E+03	10/2016	0.03273	0	178.9	126.1
8/2014	7.61E-02	0.00E+00	2.18E+02	1.34E+02	11/2016	0.009155	0	26.33	11.36
9/2014	3.77E-02	0.00E+00	2.48E+02	1.64E+02	12/2016	0.02424	0	75.12	9.738
10/2014	5.41E-02	0.00E+00	4.75E+02	4.19E+02	1/2017	0.008345	0	16.39	1.102
11/2014	1.35E-02	0.00E+00	7.22E+01	3.94E+01	2/2017	0.004062	0	2.764	0.1364
12/2014	1.97E-02	0.00E+00	5.22E+01	1.14E+01	3/2017	0.004263	0	4.385	0.1458
1/2015	9.78E-03	0.00E+00	1.87E+01	1.90E+00	4/2017	0.001458	0	0.8302	0.01518
2/2015	1.13E-02	0.00E+00	1.77E+01	1.48E+00	5/2017	0.08642	0	368.7	78.11
3/2015	2.78E-02	0.00E+00	7.82E+01	1.30E+01	6/2017	0.03105	0	130.9	23.21
4/2015	4.39E-03	0.00E+00	8.97E+00	5.62E-01	7/2017	0.05176	0	229.9	45.92
5/2015	2.52E-03	0.00E+00	4.52E+00	2.29E-01	8/2017	0.1045	0	616.1	408.4
6/2015	1.81E-02	0.00E+00	5.75E+01	1.62E+01	9/2017	0.1993	0	1436	1613
7/2015	1.19E-01	0.00E+00	6.14E+02	4.67E+02	10/2017	0.03328	0	369.5	217
8/2015	1.17E-02	0.00E+00	3.80E+01	1.19E+01	11/2017	0.01002	0	44.68	16.21
9/2015	4.03E-01	0.00E+00	3.01E+03	4.98E+03	12/2017	0.00636	0	7.484	2.235
10/2015	1.27E-02	0.00E+00	5.07E+01	2.42E+01	1/2018	0.005153	0	1.714	0.4607

11/2015	1.00E-02	0.00E+00	2.36E+01	1.04E+01	2/2018	0.003694	0	0.3619	0.08269
12/2015	5.76E-03	0.00E+00	4.29E+00	1.34E+00	3/2018	0.002611	0	0.0971	0.0199
1/2016	3.77E-02	0.00E+00	1.00E+02	1.04E+01	4/2018	0.001123	0	0.01761	0.003126
2/2016	5.49E-03	0.00E+00	7.31E+00	3.51E-01	5/2018	0.003327	0	5.058	0.2241
3/2016	2.58E-03	0.00E+00	1.88E+00	6.84E-02	6/2018	0.1831	0	923.6	148.1

Escenario IX:

Channel 09									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	1.08E+00	15800	4.27E+03	5.15E+02	4/2016	0.802	11820	3609	419.1
2/2014	1.71E+00	17300	4.49E+03	6.27E+02	5/2016	1.436	16990	4466	580.3
3/2014	9.83E-01	13900	3.86E+03	5.06E+02	6/2016	32.09	720500	24500	29570
4/2014	2.88E+00	24470	5.90E+03	1.05E+03	7/2016	60.45	2115000	25100	72840
5/2014	1.38E+01	179100	1.71E+04	8.88E+03	8/2016	67.04	1272000	107600	139900
6/2014	5.91E+01	1739000	4.20E+04	7.69E+04	9/2016	55.85	1368000	67980	81200
7/2014	9.19E+01	2771000	7.62E+04	1.33E+05	10/2016	18.39	214300	31670	13560
8/2014	5.13E+01	1580000	3.65E+04	6.03E+04	11/2016	23.56	394900	22500	17430
9/2014	7.49E+01	2172000	1.11E+05	1.61E+05	12/2016	6.288	49410	10380	2369
10/2014	9.90E+01	2348000	1.97E+05	3.96E+05	1/2017	3.187	23650	6875	828.5
11/2014	1.91E+01	315800	2.45E+04	1.72E+04	2/2017	2.273	18340	4956	552.1
12/2014	5.50E+00	46120	1.06E+04	2.47E+03	3/2017	1.382	16720	4348	516.9
1/2015	3.09E+00	23690	7.30E+03	9.40E+02	4/2017	0.8229	12200	3614	427.4
2/2015	2.15E+00	18240	5.04E+03	5.86E+02	5/2017	2.566	18800	11780	2446
3/2015	3.22E+00	25090	6.99E+03	1.02E+03	6/2017	14.99	229600	15770	10450
4/2015	2.15E+00	19390	5.28E+03	7.00E+02	7/2017	41.6	1135000	26620	42220
5/2015	2.58E+01	572800	1.87E+04	2.22E+04	8/2017	32.08	750100	22680	28500
6/2015	4.13E+01	944000	3.87E+04	4.44E+04	9/2017	83.15	2342000	55970	114600
7/2015	5.77E+01	1693000	3.77E+04	6.54E+04	10/2017	18.72	136100	44390	16290
8/2015	9.95E+00	92660	1.63E+04	4.77E+03	11/2017	9.394	60920	17520	4046
9/2015	4.76E+01	1183000	4.83E+04	5.32E+04	12/2017	6.607	41300	11770	2174
10/2015	8.12E+00	68600	1.59E+04	3.68E+03	1/2018	2.745	24350	6167	932.1
11/2015	3.75E+00	24240	8.38E+03	9.57E+02	2/2018	1.902	17370	4731	593.5
12/2015	3.37E+00	22920	7.30E+03	7.29E+02	3/2018	1.152	15010	4200	499.4
1/2016	2.94E+00	22460	6.38E+03	6.65E+02	4/2018	5.837	46710	8730	2254
2/2016	1.80E+00	17790	4.50E+03	5.21E+02	5/2018	15.52	232800	15390	10420
3/2016	1.09E+00	14930	4.02E+03	4.78E+02	6/2018	28.38	584200	22030	24230

Channel 59

Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	6.74E-03	0	8.47E+00	2.13E+00	4/2016	0.00175	0	0.09171	0.001909
2/2014	4.55E-03	0	1.39E+00	3.32E-01	5/2016	0.005679	0	9.468	0.5581
3/2014	2.84E-03	0	1.84E-01	4.31E-02	6/2016	0.04644	0	226.5	24.68
4/2014	1.55E-03	0	1.24E-02	2.79E-03	7/2016	0.005673	0	21.62	1.239
5/2014	2.75E-01	0	1.48E+03	4.25E+02	8/2016	0.04398	0	281.8	103
6/2014	4.34E-01	0	2.69E+03	1.16E+03	9/2016	0.4101	0	3799	3238
7/2014	1.23E+00	0	3.82E+03	1.64E+03	10/2016	0.04107	0	399.8	156.8
8/2014	1.01E-01	0	5.94E+02	1.81E+02	11/2016	0.009233	0	51	14.45
9/2014	6.64E-02	0	6.33E+02	2.38E+02	12/2016	0.03206	0	141.7	9.364
10/2014	9.23E-02	0	1.05E+03	5.79E+02	1/2017	0.00874	0	26.95	0.8745
11/2014	1.44E-02	0	1.16E+02	3.75E+01	2/2017	0.004206	0	3.408	0.09615
12/2014	2.52E-02	0	8.82E+01	1.01E+01	3/2017	0.00574	0	7.124	0.1643
1/2015	1.17E-02	0	3.49E+01	1.93E+00	4/2017	0.002065	0	0.5088	0.008247
2/2015	1.55E-02	0	3.33E+01	1.74E+00	5/2017	0.131	0	720	77.25
3/2015	4.12E-02	0	1.56E+02	1.44E+01	6/2017	0.04808	0	278.5	26.97
4/2015	5.99E-03	0	1.44E+01	6.48E-01	7/2017	0.07495	0	524.5	54.61
5/2015	3.09E-03	0	4.03E+00	1.57E-01	8/2017	0.1566	0	1261	403.3
6/2015	2.61E-02	0	1.08E+02	1.89E+01	9/2017	0.3008	0	2766	1579
7/2015	1.79E-01	0	1.25E+03	4.61E+02	10/2017	0.05949	0	898.7	312.1
8/2015	1.43E-02	0	7.14E+01	1.39E+01	11/2017	0.009649	0	64.59	12.99
9/2015	6.12E-01	0	5.40E+03	4.60E+03	12/2017	0.005811	0	9.047	1.66
10/2015	1.53E-02	0	1.07E+02	3.15E+01	1/2018	0.004665	0	1.745	0.3117
11/2015	1.08E-02	0	4.46E+01	1.23E+01	2/2018	0.003381	0	0.2546	0.04219
12/2015	5.26E-03	0	5.62E+00	1.26E+00	3/2018	0.002863	0	0.04201	0.006994
1/2016	5.33E-02	0	1.93E+02	1.10E+01	4/2018	0.001587	0	0.003018	0.0005112
2/2016	6.55E-03	0	1.14E+01	2.73E-01	5/2018	0.005207	0	9.048	0.3285
3/2016	3.15E-03	0	1.80E+00	3.94E-02	6/2018	0.2787	0	1962	163.9

Channel 70									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	9.11E-03	0.00E+00	3.98E+00	1.58E+00	4/2016	0.001356	0	0.3665	0.01075
2/2014	6.04E-03	0.00E+00	7.54E-01	2.37E-01	5/2016	0.004105	0	5.83	0.4265
3/2014	2.83E-03	0.00E+00	1.73E-01	4.26E-02	6/2016	0.03083	0	111.4	22.35
4/2014	1.32E-03	0.00E+00	3.24E-02	6.60E-03	7/2016	0.004225	0	12.62	0.9671
5/2014	1.79E-01	0.00E+00	7.69E+02	4.60E+02	8/2016	0.02969	0	148.2	100.7
6/2014	2.85E-01	0.00E+00	1.40E+03	1.24E+03	9/2016	0.2675	0	2107	3434

7/2014	9.45E-01	0.00E+00	1.98E+03	1.55E+03	10/2016	0.03273	0	178.9	126.1
8/2014	7.61E-02	0.00E+00	2.18E+02	1.34E+02	11/2016	0.009155	0	26.33	11.36
9/2014	3.77E-02	0.00E+00	2.48E+02	1.64E+02	12/2016	0.02424	0	75.12	9.738
10/2014	5.41E-02	0.00E+00	4.75E+02	4.19E+02	1/2017	0.008345	0	16.39	1.102
11/2014	1.35E-02	0.00E+00	7.22E+01	3.94E+01	2/2017	0.004062	0	2.764	0.1364
12/2014	1.97E-02	0.00E+00	5.22E+01	1.14E+01	3/2017	0.004263	0	4.385	0.1458
1/2015	9.78E-03	0.00E+00	1.87E+01	1.90E+00	4/2017	0.001458	0	0.8302	0.01518
2/2015	1.13E-02	0.00E+00	1.77E+01	1.48E+00	5/2017	0.08642	0	368.7	78.11
3/2015	2.78E-02	0.00E+00	7.82E+01	1.30E+01	6/2017	0.03105	0	130.9	23.21
4/2015	4.39E-03	0.00E+00	8.97E+00	5.62E-01	7/2017	0.05176	0	229.9	45.92
5/2015	2.52E-03	0.00E+00	4.52E+00	2.29E-01	8/2017	0.1045	0	616.1	408.4
6/2015	1.81E-02	0.00E+00	5.75E+01	1.62E+01	9/2017	0.1993	0	1436	1613
7/2015	1.19E-01	0.00E+00	6.14E+02	4.67E+02	10/2017	0.03328	0	369.5	217
8/2015	1.17E-02	0.00E+00	3.80E+01	1.19E+01	11/2017	0.01002	0	44.68	16.21
9/2015	4.03E-01	0.00E+00	3.01E+03	4.98E+03	12/2017	0.00636	0	7.484	2.235
10/2015	1.27E-02	0.00E+00	5.07E+01	2.42E+01	1/2018	0.005153	0	1.714	0.4607
11/2015	1.00E-02	0.00E+00	2.36E+01	1.04E+01	2/2018	0.003694	0	0.3619	0.08269
12/2015	5.76E-03	0.00E+00	4.29E+00	1.34E+00	3/2018	0.002611	0	0.0971	0.0199
1/2016	3.77E-02	0.00E+00	1.00E+02	1.04E+01	4/2018	0.001123	0	0.01761	0.003126
2/2016	5.49E-03	0.00E+00	7.31E+00	3.51E-01	5/2018	0.003327	0	5.058	0.2241
3/2016	2.58E-03	0.00E+00	1.88E+00	6.84E-02	6/2018	0.1831	0	923.6	148.1

Escenario X:

Channel 09									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	1.08E+00	15790	4.20E+03	5.14E+02	4/2016	0.8016	11820	3603	418.9
2/2014	1.71E+00	17300	4.46E+03	6.27E+02	5/2016	1.436	16990	4458	579.3
3/2014	9.83E-01	13900	3.86E+03	5.07E+02	6/2016	32.09	720500	20720	27230
4/2014	2.88E+00	24470	5.89E+03	1.05E+03	7/2016	60.45	2115000	19730	71430
5/2014	1.38E+01	179100	1.45E+04	8.26E+03	8/2016	67.04	1272000	51730	73850
6/2014	5.91E+01	1739000	2.21E+04	6.56E+04	9/2016	55.85	1368000	43260	64290
7/2014	9.19E+01	2771000	3.52E+04	1.05E+05	10/2016	18.39	214300	23970	12180
8/2014	5.13E+01	1580000	2.44E+04	5.66E+04	11/2016	23.56	394900	20780	17210
9/2014	7.49E+01	2172000	4.37E+04	9.14E+04	12/2016	6.286	49410	9794	2345
10/2014	9.89E+01	2348000	9.15E+04	1.93E+05	1/2017	3.185	23640	6614	825.3
11/2014	1.91E+01	315800	2.16E+04	1.68E+04	2/2017	2.272	18330	4856	552.2
12/2014	5.50E+00	46120	1.01E+04	2.49E+03	3/2017	1.381	16710	4314	517.2
1/2015	3.09E+00	23690	7.06E+03	9.58E+02	4/2017	0.8218	12190	3608	427.2

2/2015	2.15E+00	18240	4.95E+03	5.95E+02	5/2017	2.566	18800	5909	822.6
3/2015	3.22E+00	25100	6.68E+03	9.70E+02	6/2017	14.99	229600	13630	10140
4/2015	2.15E+00	19390	5.03E+03	6.91E+02	7/2017	41.6	1135000	23080	40990
5/2015	2.58E+01	572800	1.80E+04	2.21E+04	8/2017	32.07	750100	20700	28210
6/2015	4.13E+01	944000	2.21E+04	3.59E+04	9/2017	83.14	2342000	32540	90920
7/2015	5.77E+01	1693000	2.39E+04	6.08E+04	10/2017	18.7	136100	26290	10340
8/2015	9.95E+00	92660	1.25E+04	4.38E+03	11/2017	9.39	60920	14610	3625
9/2015	4.76E+01	1183000	2.58E+04	4.38E+04	12/2017	6.606	41300	10870	2081
10/2015	8.12E+00	68600	1.16E+04	3.13E+03	1/2018	2.743	24350	5998	918.7
11/2015	3.75E+00	24240	7.18E+03	8.48E+02	2/2018	1.901	17360	4608	561
12/2015	3.37E+00	22910	6.64E+03	6.63E+02	3/2018	1.15	14990	4090	485.5
1/2016	2.93E+00	22450	5.98E+03	6.29E+02	4/2018	5.836	46710	8639	2251
2/2016	1.80E+00	17790	4.39E+03	5.10E+02	5/2018	15.52	232800	14220	10230
3/2016	1.09E+00	14930	3.99E+03	4.76E+02	6/2018	28.38	584200	19000	22930

Channel 59									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	6.73E-03	0	1.00E+00	3.51E-01	4/2016	0.002018	0	0.01152	0.001793
2/2014	4.49E-03	0	1.62E-01	5.36E-02	5/2016	0.005733	0	0.9306	0.1114
3/2014	2.81E-03	0	2.15E-02	7.05E-03	6/2016	0.04631	0	19.67	4.205
4/2014	1.55E-03	0	1.43E-03	4.52E-04	7/2016	0.005396	0	1.642	0.1833
5/2014	2.75E-01	0	1.37E+02	5.66E+01	8/2016	0.04398	0	24.18	11.96
6/2014	4.34E-01	0	2.53E+02	1.53E+02	9/2016	0.4093	0	306.6	322.5
7/2014	1.23E+00	0	6.96E+02	3.94E+02	10/2016	0.0392	0	32.19	15.26
8/2014	9.65E-02	0	6.33E+01	2.26E+01	11/2016	0.008144	0	3.864	1.336
9/2014	3.10E-02	0	1.63E+01	5.73E+00	12/2016	0.03111	0	13.27	3.607
10/2014	5.50E-02	0	3.38E+01	2.07E+01	1/2017	0.007572	0	2.175	0.3011
11/2014	1.17E-02	0	4.42E+00	1.58E+00	2/2017	0.002824	0	0.2072	0.02502
12/2014	2.48E-02	0	7.32E+00	2.14E+00	3/2017	0.004506	0	0.5182	0.07648
1/2015	1.11E-02	0	2.98E+00	4.75E-01	4/2017	0.001371	0	0.03177	0.003604
2/2015	1.54E-02	0	2.56E+00	4.48E-01	5/2017	0.1306	0	60.91	13.83
3/2015	4.08E-02	0	1.17E+01	3.24E+00	6/2017	0.04756	0	23	5.171
4/2015	5.90E-03	0	1.02E+00	1.29E-01	7/2017	0.07528	0	45.35	10.06
5/2015	3.15E-03	0	3.04E-01	3.23E-02	8/2017	0.1551	0	107.9	54
6/2015	2.62E-02	0	9.72E+00	2.58E+00	9/2017	0.2995	0	228.3	181.8
7/2015	1.78E-01	0	1.10E+02	5.81E+01	10/2017	0.01766	0	11.75	3.773
8/2015	1.45E-02	0	6.39E+00	1.72E+00	11/2017	0.006076	0	1.466	0.3658
9/2015	6.10E-01	0	4.65E+02	4.98E+02	12/2017	0.003794	0	0.2545	0.06002

10/2015	1.45E-02	0	9.02E+00	3.26E+00	1/2018	0.002934	0	0.04761	0.01177
11/2015	1.00E-02	0	4.01E+00	1.39E+00	2/2018	0.001589	0	0.006234	0.001459
12/2015	4.22E-03	0	4.94E-01	1.38E-01	3/2018	0.001213	0	0.001063	0.0002376
1/2016	5.15E-02	0	1.90E+01	7.87E+00	4/2018	0.0008064	0	0.0001452	0.000028
2/2016	5.43E-03	0	9.14E-01	1.57E-01	5/2018	0.004322	0	0.7864	0.07854
3/2016	2.56E-03	0	9.84E-02	1.62E-02	6/2018	0.2788	0	170	43.59

Channel 70									
Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out	Date (mm/yyyy)	flo_out	cbod_out	solp_out	sedp_out
	m3/s	kg/month				m3/s	kg/month		
1/2014	9.06E-03	0.00E+00	7.53E-01	3.26E-01	4/2016	0.00136	0	0.07487	0.01265
2/2014	5.95E-03	0.00E+00	1.43E-01	4.88E-02	5/2016	0.004214	0	0.7178	0.1001
3/2014	2.80E-03	0.00E+00	3.34E-02	9.00E-03	6/2016	0.03084	0	11.64	3.928
4/2014	1.31E-03	0.00E+00	6.24E-03	1.39E-03	7/2016	0.004113	0	1.322	0.1653
5/2014	1.79E-01	0.00E+00	8.21E+01	5.70E+01	8/2016	0.02939	0	14.8	11.4
6/2014	2.85E-01	0.00E+00	1.58E+02	1.51E+02	9/2016	0.2664	0	189.3	326.4
7/2014	9.44E-01	0.00E+00	4.90E+02	3.28E+02	10/2016	0.03125	0	19.39	14.13
8/2014	7.41E-02	0.00E+00	3.66E+01	1.89E+01	11/2016	0.007997	0	2.851	1.269
9/2014	2.37E-02	0.00E+00	8.64E+00	4.56E+00	12/2016	0.02194	0	8.088	3.216
10/2014	3.74E-02	0.00E+00	1.85E+01	1.71E+01	1/2017	0.005966	0	1.578	0.3004
11/2014	1.16E-02	0.00E+00	3.05E+00	1.68E+00	2/2017	0.002346	0	0.3378	0.04819
12/2014	1.91E-02	0.00E+00	4.97E+00	2.10E+00	3/2017	0.003227	0	0.4866	0.08066
1/2015	9.35E-03	0.00E+00	2.22E+00	5.19E-01	4/2017	0.001121	0	0.09459	0.008976
2/2015	1.08E-02	0.00E+00	1.64E+00	4.10E-01	5/2017	0.08615	0	35.43	14.58
3/2015	2.76E-02	0.00E+00	6.75E+00	2.94E+00	6/2017	0.03105	0	13.49	4.617
4/2015	4.35E-03	0.00E+00	8.11E-01	1.33E-01	7/2017	0.05148	0	25.16	8.979
5/2015	2.55E-03	0.00E+00	4.10E-01	5.45E-02	8/2017	0.1034	0	62.36	53.12
6/2015	1.82E-02	0.00E+00	6.40E+00	2.33E+00	9/2017	0.197	0	136.4	179.2
7/2015	1.18E-01	0.00E+00	6.50E+01	5.44E+01	10/2017	0.01498	0	6.911	3.416
8/2015	1.10E-02	0.00E+00	4.40E+00	1.57E+00	11/2017	0.006516	0	1.086	0.3478
9/2015	4.02E-01	0.00E+00	2.92E+02	4.98E+02	12/2017	0.004209	0	0.2338	0.06684
10/2015	1.23E-02	0.00E+00	6.13E+00	3.04E+00	1/2018	0.002564	0	0.05055	0.013
11/2015	8.50E-03	0.00E+00	2.57E+00	1.09E+00	2/2018	0.001298	0	0.01099	0.002256
12/2015	4.11E-03	0.00E+00	4.24E-01	1.26E-01	3/2018	0.0009145	0	0.003856	0.0008564
1/2016	3.46E-02	0.00E+00	1.12E+01	6.83E+00	4/2018	0.0005345	0	0.0008042	0.0001565
2/2016	4.88E-03	0.00E+00	1.02E+00	2.64E-01	5/2018	0.002901	0	0.528	0.05403
3/2016	2.25E-03	0.00E+00	2.82E-01	5.78E-02	6/2018	0.1828	0	96.24	40.65