



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD CIENCIAS

CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**MODELO MATEMÁTICO ESTOCÁSTICO PARA DIAGNOSTICAR
CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS EN ZONAS INFLUENCIADAS
POR LA ACTIVIDAD PETROLERA EN LA PROVINCIA DE
ORELLANA**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: HEIDY VERÓNICA RUÍZ LEAL

DIRECTORA: DR. FAUSTO YAULEMA

Riobamba-Ecuador

2020

© 2020, **Heidy Verónica Ruíz Leal.**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Heidy Verónica Ruíz Leal, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 31 de agosto de 2020



A handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval border. The signature is cursive and appears to read 'Heidy Verónica Ruíz Leal'.

Heidy Verónica Ruíz Leal

CI: 060358328-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal de Trabajo de titulación experimental certifica que: El trabajo de titulación Tipo: Proyecto Técnico, “**MODELO MATEMÁTICO ESTOCÁSTICO PARA DIAGNOSTICAR CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS EN ZONAS INFLUENCIADAS POR LA ACTIVIDAD PETROLERA EN LA PROVINCIA DE ORELLANA**”, realizado por la señorita: **HEIDY VERÓNICA RUIZ LEAL**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Silvana Paola Ocaña Coello PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: SILVANA PAOLA OCANA COELLO	31-08-2020
Dr. Fausto Manolo Yaulema Garcés DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado digitalmente por: FAUSTO MANOLO YAULEMA GARCÉS Fecha: 2021.01.04 21:26:47 -05'00'	31-08-2020
Ing. Carlos Rolando Rosero Erazo MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: CARLOS ROLANDO ROSERO ERAZO	31-08-2020

DEDICATORIA

A mis padres Pacifico Ruiz y Yessica Leal por ser un ejemplo de sabiduría e inculcarme buenos valores para ser una persona de bien, por el apoyo que siempre me han brindado y ser los principales gestores de cada éxito en mi vida.

A mis hermanas Pamela Ruiz y Jennifer Ruiz quienes siempre me dieron palabras de aliento y estuvieron conmigo en cada paso que he dado en esta etapa hermosa de mi vida.

A mi pequeño Benjamín, la bendición más grande que Dios me pudo haber enviado.

A Fernando Hidalgo por ser un apoyo incondicional, mil gracias por cada consejo dado, por siempre estar presente en todo momento y sobretodo motivándome a crecer cada día más.

A mis amigos que de alguna manera estuvieron en mi crecimiento, por compartir momentos que siempre quedaran en mi memoria.

Heidy

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento a Dios por guiarme siempre por el camino correcto y permitirme con su bendición concluir esta etapa de mi vida.

A mis padres y a toda mi familia por siempre creer y confiar en mi aun cuando yo no lo hacía. Porque cada día con su esfuerzo y paciencia me ayudaron a que culmine una etapa muy importante como lo es mi carrera universitaria. A Fernando por el tiempo dedicado y por siempre extenderme la mano en cualquier situación.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme permitido estudiar y formarme como una excelente profesional.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Orellana por el apoyo en la ejecución de mi proyecto técnico y a la gran colaboración del Dr. Fausto Yaulema e Ing. Carlos Rosero por su guía y acompañamiento en el desarrollo del presente trabajo.

A mis amigos, en especial a Dayaneth Vallejo quien siempre estuvo ahí alentándome desde el principio, y apporto extensamente para que este trabajo se pueda forjar de una correcta manera, mil gracias por todo.

Heidy

TABLA DE CONTENIDOS

INDICE DE TABLAS	x
INDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
INDICE DE ECUACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	4
1.1. Antecedentes de la investigación	4

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS	6
2.1. Calidad de agua	6
2.2. Contaminación del agua	7
2.3. Hidrocarburos	8
2.3.1. <i>Contaminación con hidrocarburos</i>	8
2.3.2. <i>Contaminación con metales pesados</i>	9
2.3.2.1. <i>Efectos de la contaminación con hidrocarburos</i>	10
2.4. Modelos matemáticos	10
2.4.1. <i>Tipos de modelos matemáticos</i>	11
2.4.1.1. <i>Modelos para la calidad de agua</i>	11
2.4.2. <i>Modelos estocásticos</i>	12
2.4.3. <i>VARIABLES A MODELAR</i>	13
2.4.4. <i>Etapas para la construcción de un modelo matemático</i>	14

2.4.5.	<i>Usos de los modelos matemáticos</i>	16
2.4.6.	<i>Importancia de la modelación</i>	16
2.5.	Base Legal	17
2.5.1.	<i>Normas Internacionales</i>	17
2.5.2.	<i>Normas Nacionales</i>	17
2.5.2.1.	<i>Constitución de la República del Ecuador</i>	17
2.5.2.2.	<i>Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua.</i>	17
2.5.2.3.	<i>Ley Orgánica de Salud del Ecuador</i>	18
2.5.2.4.	<i>Ley de Gestión Ambiental del Ecuador</i>	19
2.5.2.5.	<i>Ley de Prevención y Control de Contaminación Ambiental del Ecuador</i>	19
2.5.2.6.	<i>Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas</i>	19
2.5.2.7.	<i>Acuerdo Ministerial 097. Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua</i>	20

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	22
3.1.	Unidad de análisis	22
3.2.	Recolección de datos	24
3.3.	Selección del Río o Canal Natural	26
3.3.1.	<i>Metodología de modelo hidraulico (hecras)_hidrologico (hidrology)</i>	26
3.3.1.1.	<i>Geometría del canal natural</i>	26
3.4.	Estimación de datos	27
3.5.	Elección del modelo matemático unidimensional	31
3.5.1.	<i>Balance de Masas</i>	31
3.5.2.	<i>Régimen Permanente, Compuesto No conservativo</i>	33
3.5.2.1.	<i>Tasa de desoxigenación (K)</i>	34
3.6.	Diagrama de flujo	35

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	36
4.1.	Estructura de la matriz de datos original	36

4.2.	Análisis exploratorio de datos	43
4.3.	Calidad de agua en Ríos	47
4.4.	Estimación de concentración de variables	49
4.5.	Balance de masas.....	50
4.6.	Aplicación del Modelo Matemático para compuestos no conservativos	54
	CONCLUSIONES	59
	RECOMENDACIONES	59
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Variables para modelamiento de cuerpos de agua.....	14
Tabla 2-2: Límites permisibles en el punto de descarga de efluentes	20
Tabla 3-2: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	20
Tabla 1-3: División político-administrativo de la provincia de Orellana, 2015	22
Tabla 2-3: Coordenadas de los puntos de monitoreo	25
Tabla 3-3: Ríos seleccionados antes y después de la descarga	27
Tabla 4-3: Concentración de cada contaminante en el año 2015-2019 en el río Payamino-Napo...	28
Tabla 5-3: Concentración de cada contaminante en el año 2015-2019 en el río Coca-Napo.....	28
Tabla 6-3: Concentración de cada contaminante en el año 2015-2019 en el río Jivino-Napo	29
Tabla 7-3: Concentración de cada contaminante en el año 2015-2019 en el río Huamayacu -Napo	29
Tabla 8-3: Concentración de cada contaminante en el año 2015-2019 en el río Blanco-Napo	30
Tabla 9-3: Concentración de cada contaminante en el año 2015-2019 en el río Sacha-Napo	30
Tabla 1-4: Datos de TPH en los puntos de monitoreo.....	36
Tabla 2-4: Datos de sedimentos del factor Cadmio (mg/L) año 2015-2019	37
Tabla 3-4: Datos de sedimentos del factor Níquel (mg/L) año 2015-2019	38
Tabla 4-4: Datos de sedimentos del factor Plomo (mg/L) año 2015-2019	39
Tabla 5-4: Datos de sedimentos del factor TPH (mg/L) año 2015-2019	39
Tabla 6-4: Caudal en bruto	40
Tabla 7-4: Balance de masa de las variables en cada río estimado	50
Tabla 8-4: Parámetros a considerar en el modelo matemático.....	55
Tabla 9-4: Aplicación del modelo matemático para compuestos no conservativos.....	55

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Causas de la contaminación	8
Figura 2-2: Modelos matemáticos	11
Figura 3-2: Protocolo de modelación	15
Figura 1-3: Metodología del modelo matemático	35
Figura 1-4: Aplicación del modelo matemático	56

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1: Puntos de muestreo en zonas de actividades petroleras de la Región Amazónica	5
Gráfico 1-3: División político-administrativa de la provincia de Orellana	24
Gráfico 2-3: Mapa de la ubicación de datos de sedimentos y dirección de los ríos de la provincia de Orellana.....	26
Gráfico 1-4: Compuesto Cadmio.....	44
Gráfico 2-4: Compuesto Níquel	45
Gráfico 3-4: Compuesto Plomo.....	46
Gráfico 4-4: Compuesto TPH.....	47
Gráfico 5-4: Dirección de los ríos de la zona de estudio.....	48
Gráfico 6-4: Aplicación del modelo matemático	49
Gráfico 7-4: Balance de masa de Cadmio	51
Gráfico 8-4: Balance de masa de Níquel	52
Gráfico 9-4: Balance de masa de Plomo	53
Gráfico 10-4: Balance de masa de TPH	54
Gráfico 11-4: Mapa de cobertura vegetal y tipo de suelo.....	57
Gráfico 12-4: Mapa de unidades de respuesta hidrológica.....	58

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2: Probabilidad de ocurrencia.....	12
Ecuación 1-3: Ecuación matemática determinística.....	27
Ecuación 2-3: Masa total del compuesto.....	31
Ecuación 3-3: Masa del contaminante que sale del volumen de control.....	32
Ecuación 4-3: Variación de la masa del compuesto C.....	32
Ecuación 5-3: Ecuación extendida.....	32
Ecuación 6-3: Ecuación aproximada a cero.....	32
Ecuación 7-3: Ecuación aproximada a cero reducida.....	32
Ecuación 8-3: Condición de borde.....	33
Ecuación 9-3: Ecuación a cero.....	33
Ecuación 10-3: Ecuación a cer extendida.....	33
Ecuación 11-3: Concentración.....	34
Ecuación 12-3: Integración ecuación de la concentración.....	34
Ecuación 13-3: Estimación para la tasa de desoxigenación.....	34
Ecuación 14-3: Ecuación de la concentración.....	34

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MODELAMIENTO SWAT

ANEXO B: MODELO HIDROLÓGICO

ANEXO C: PROCESOS DE CORRIENTE MODELADOS POR SWAT

ANEXO D: CLASIFICACIÓN CORRESPONDIENTE A LA FAO

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar el modelo matemático estocástico para diagnosticar calidad de agua y sedimentos en zonas influenciadas por la actividad petrolera en la provincia de Orellana, para lo cual se recolectó datos a través de los 24 puntos de monitoreo activos ubicados dentro de la provincia, en el caso de sedimentos, excepto Mini estación Culebra, debido a que no existió datos de los años establecidos 2015-2019. Se registró las concentraciones de los compuestos no conservativos en estudio como: Cadmio, Níquel, Plomo e Hidrocarburos Totales de Petróleo, mediante una estadística descriptiva se determinó el río o canal natural de primer orden: río Napo y de segundo orden: río Payamino, río Coca, río Jivino, río Huamayacu, río Blanco y río Sacha. Para el modelo matemático se aplicó el modelamiento SWAT dando como resultado que los TPH (Hidrocarburos Totales de Petróleo) son los que cubrieron un mayor rango de sedimentación con una concentración de 18704.4 a 90080 mg/ha en la mayoría de microcuencas, en cuanto a la sedimentación de Ni (Níquel) 1332.68 a 1512.34 mg/ha con mayor concentración en las microcuencas de la zona norte y centro-este, por otro lado, la concentración de Pb (Plomo) 269.948 a 323.55 mg/ha en las microcuencas de la zona norte y por ultimo Cd (Cadmio) el contaminante que menor sedimentación presenta con una concentración de 49.49 a 187.88 mg/ha, estableciendo así que los datos obtenidos exceden la capacidad de carga, suponiendo una acumulación virtual de dichos contaminantes analizados en los ríos por lo que se recomienda establecer un plan de manejo ambiental para el control y tratamiento de las emisiones hidrocarburíferas ocasionadas por la actividad petrolera en la provincia de Orellana mediante el accionar de las autoridades competentes.

Palabras clave: <CONTAMINACIÓN DEL SUELO>; <METALES PESADOS>; <ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA>; < CALIDAD DEL AGUA >; <ORELLANA (PROVINCIA)>.



19/10/2020
0395-DBRAI-UPT-2020

ABSTRACT

The purpose of this research was to define the stochastic mathematical model to determine the quality of water and sediment in areas affected by oil activity in Orellana province so, it was necessary to collect data from 24 active monitoring points located in the province. These points provided information related to sediment, except Culebra Mini station since it did not have any data corresponding to the period 2015 – 2019. The concentrations of non-conservative compounds under study such as Cadmium, Nickel, Lead and Total Petroleum Hydrocarbons were registered through descriptive statistics and it was possible to determine the primary tributaries: Napo River and secondary tributaries: Payamino, Coca, Jivino, Huamayacu, Blanco and Sacha river. For the implementation of the mathematic model SWAT modeling was used, the results were: Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) represented a higher sedimentation range with a concentration from 18704.4 to 90080 mg/ha in most micro watersheds, with regard to Nickel (Ni) sedimentation, the values were from 1332.68 to 1512.34 mg/ha with a higher concentration in micro watersheds located in the north and central-east areas; on the other hand, the concentration values of Lead (Pb) were from 269.948 to 323.55 mg/ha in micro watersheds located in the north area. Finally Cadmium (Cd) is the pollutant with a lower sedimentation, it reflects a concentration from 49.49 to 187.88 mg/ha, consequently it is established that the data obtained exceed the load capacity, this supposes a virtual cumulation of such pollutants analyzed in the rivers, thus it is recommended to establish an environmental management plan for the treatment and control of hydrocarbon emissions caused by the oil activity in Orellana province through the actions of the authorities concerned.

Key words: <SOIL POLLUTION>, <HEAVY METALS>, <DESCRIPTIVE STATISTICS>, <WATER QUALITY>, <ORELLANA PROVINCE>.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años el Ambiente a nivel global ha sufrido pérdida y disminución de su calidad ambiental, consecuencia de las actividades humanas como la explotación de recursos naturales y la presión socioambiental a la que se ha sometido provocando el deterioro de los ecosistemas y la pérdida de renovabilidad de sus recursos. La provincia de Orellana no es una excepción ya que es considerada como un *hotspot* de biodiversidad producto de su situación geográfica y de unas condiciones climatológicas especiales. Estas características también han favorecido una alta presencia de recursos naturales como hidrocarburos, madera, agricultura.

La explotación de hidrocarburos han sido una de las principales atracciones económicas históricas de la provincia si bien esto ha provocado también una alta presencia de contaminación derivada de dicha actividad y en especial en el sector rural, donde también se acumula la mayor presión de pobreza. Si bien es necesario monitorear la calidad del Ambiente, las zonas con alta densidad de extracción de recursos naturales y actividades hidrocarburíferas con el fin de prevenir a tiempo y mitigar de forma rápida posibles daños ambientales.

JUSTIFICACIÓN

Las apreciaciones existentes respecto a la actividad petrolera se caracterizan por ser parcializadas, lo que se distorsiona la visión de la realidad económica, ambiental y social de la Amazonía del Ecuador, de continuar esta situación en la que se desconocen las causas fundamentales de sus principales problemas, lo que podría suceder es que no se preste la atención suficiente y a tiempo para solucionar sus verdaderos conflictos retrasando aún más el desarrollo de esta región. (Chávez & Real, 2011, p.33)

Dicha actividad se da principalmente en la provincia de Orellana que concentra gran parte de los bloques concesionados y de los campos operativos, siendo la provincia con mayor producción de petróleo en el país, es importante mencionar que dicha actividad implica una alteración de graves proporciones.

El suelo es contaminado por la incorrecta disposición de líquidos y desechos industriales como las aguas servidas, lodos de perforación, residuos sólidos y fluidos de perforación. Así mismo se puede identificar las modificaciones topográficas por la construcción de helipuertos y plataformas y cambio de uso del suelo que altera los ecosistemas intervenidos en el área. El agua es otro elemento abiótico afectado, se expresa en el cambio de calidad de agua que se ve afectada por la incorrecta disposición de desechos sólidos y líquidos se producen alrededor de 850.000 barriles diarios de aguas de formación cada día, dichos elementos se mantienen durante mucho tiempo en el agua formando capas de crudo en las profundidades de los ríos que al ser removidas generan contaminación de otras fuentes cercanas.

Esto hace que el estudio tenga por objetivo conocer los índices de calidad ambiental de la provincia de Orellana a través de un modelo matemático unidimensional y determinístico para la calidad de agua y sedimentos en zonas influenciadas por la actividad petrolera. El fin de este trabajo es poder establecer medidas de control de la calidad ambiental y facilitar la definición de acciones que mitiguen los efectos nocivos que pueden tener la contaminación sobre la salud de las personas, las actividades socioeconómicas y la conservación de especies de fauna y flora presente en la región.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar el modelo matemático estocástico para diagnosticar calidad de agua y sedimentos en zonas influenciadas por la actividad petrolera en la provincia de Orellana

Objetivos Específicos

- Realizar un análisis exploratorio de datos para la aplicación del modelo matemático de diagnóstico de calidad de agua.
- Establecer un modelo hidrológico para la aplicación del modelo matemático de diagnóstico de calidad de agua.
- Aplicación del modelo matemático y evaluación de la calidad de agua

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DE LA PROBLEMÁTICA

1.1. Antecedentes de la investigación

La expansión del sector hidrocarburífero juega un papel importante en el crecimiento de la economía a nivel mundial, este incremento trae como consecuencia altos índices de contaminación debido a las características que los hidrocarburos presentan, pues, imposibilitan el intercambio gaseoso con la atmósfera, siendo los iniciadores de procesos físico-químicos simultáneos como evaporación y penetración, procesos que causan toxicidad dependiendo del tipo de hidrocarburo y las características del suelo como humedad, textura y temperatura así como también la cantidad de petróleo vertida. (Velásquez, 2017)

La actividad petrolera en algunos países de Latinoamérica ha ocasionado serios problemas ambientales como es el caso de Venezuela cuyas operaciones petroleras se iniciaron a mediados del siglo XX en la cuenca de lago Maracaibo, estas operaciones han provocado las descargas de crudo al lago por lo que las aguas han presentado cambios en la composición química tanto en el incremento de la concentración salina como en temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, salinidad y profundidad. (Bravo 2005)

En el Ecuador, la explotación petrolera inició en 1972, las descargas directas al suelo, ríos y agua de formación empezaron a presentar salinidad seis veces mayor a la del mar, además presentaron restos de hidrocarburos y metales pesados. Durante las actividades se produjeron derrames de crudo sobre el suelo, contaminando los ecosistemas presentes en la región amazónica. (CEPAL 2012)

En la contaminación de agua por hidrocarburos se observa que la misma disminuye su caudal afectando directamente al sector agrícola ya que además de utilizar esta agua en manera de riego para sus cultivos, la lluvia puede arrastrar también hidrocarburos, aunque en ocasiones el agua se presenta clara pero igualmente contiene trazas de hidrocarburos por lo que la contaminación es inevitable. (Quiquinta, Rueda y Terrazas 2003)

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Calidad de agua

Según Meybeck et al. (1996), la define como el parámetro que permite determinar la idoneidad del agua para ser utilizada en diferentes aspectos, dependiendo del uso que se requiera dar al agua se considerará las características físicas, químicas y biológicas que el agua posee, es decir, la determinación de la calidad del agua está relacionada con el propósito de ésta dentro de la población.

Algunos autores mencionan que el índice de la calidad del agua es un número que determina las características del agua por la combinación de ocho variables con el objetivo de dar a conocer un método simple, veraz y consistente para expresar la calidad del agua ambiente. (Barrabino et al. 2017, p.3)

La demanda de agua para diferentes sectores de la población no siempre es compatible, debido a que la actividad de uno puede restringir la actividad de otro, lo que recae en esfuerzos por mejorar o mantener una calidad que pueda satisfacer la demanda de gran parte de la población. (Meybeck et al. 1996, pp.1-4)

Desde el punto de vista ambiental, la calidad de agua está definida como las condiciones físicoquímicas de un sistema que contribuyen al mantenimiento de la biota presente en los cuerpos de agua, garantizando el equilibrio del sistema con el ambiente. (Marusic, 2013, p.80)

La calidad de agua es medida por varios factores como:

- Oxígeno disuelto
- Cantidad de microorganismos, especialmente bacterias
- Material suspendido
- Presencia de metales pesados. (Florida Keys National Marine Sanctuary, 2019)

La calidad del agua no está influenciada únicamente por las actividades antropogénicas, en algunos sectores este parámetro viene determinado por la erosión de la fracción mineral del suelo, procesos

atmosféricos, sedimentación de lodos, lixiviación de la materia orgánica presente y algunos procesos físicos o químicos que alteran la composición química del agua. (ONU, 2015)

2.2. Contaminación del agua

Varios autores la definen como la presencia de sustancias o condiciones que degradan la calidad del agua evitando el uso de esta para propósitos específicos, la presencia excesiva de contaminantes debido a las actividades extractivas, modelos de transportes, generación de energía y actividades cotidianas producen contaminantes que son transportados por las corrientes de aire y son depositados en cuerpos de agua. (Owa, 2014, pp.2-3)

Las principales causas de la contaminación del agua son:

- **Crecimiento poblacional:** uno de los principales problemas ambientales el Ecuador es el crecimiento poblacional y por ende la contaminación del agua, ya que los desechos generados por las actividades humanas las contaminan disminuyendo su capacidad para purificarse de forma natural y terminan contaminándola. (Alcívar, Ortiz y Muñoz 2015)
- **Revolución industrial:** la mayoría de las industrias en todo el mundo necesitan grandes cantidades de agua limpia para sus procesos de producción acarreado sustancias tóxicas como ácidos, metales pesados, sales y restos de materiales en descomposición siendo esta agua es lanzada por grandes tubos a ríos, lagos o mares, como un líquido contaminado. Los afectados directos son la flora y la fauna acuática. (Torey 2014)
- **Prácticas agrícolas:** la contaminación del agua por prácticas agrícolas insostenibles plantea una grave amenaza para la salud humana y los ecosistemas del planeta, un problema que a menudo subestiman tanto los responsables de las políticas como los agricultores. (FAO 2018)

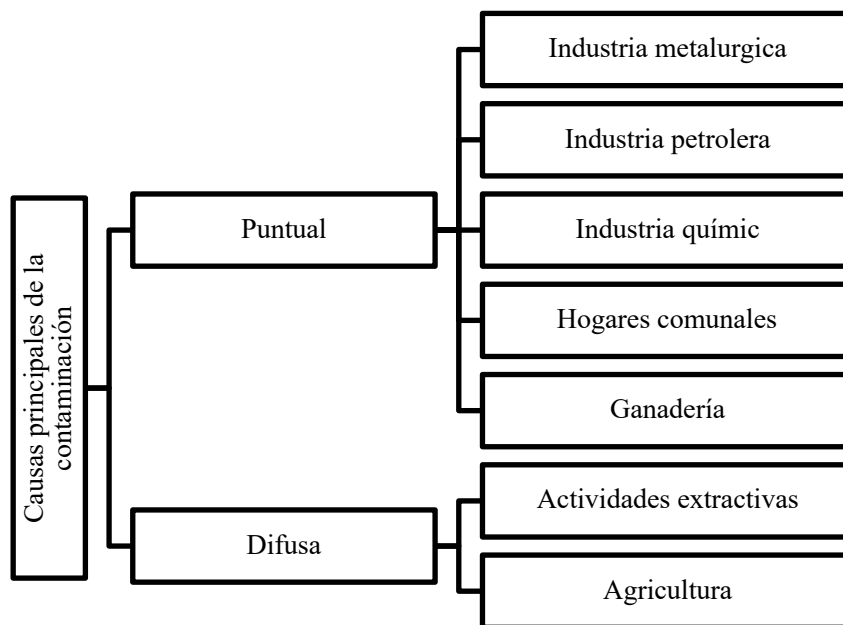


Figura 1-2: Causas de la contaminación

Fuente: Marusic, 2013, p.81. A study on the mathematical modeling of water quality in "river-type".

2.3. Hidrocarburos

Son compuestos químicos orgánicos formados por carbono e hidrógeno, son considerados la base de la vida animal y vegetal, además, juegan un papel importante en la vida diaria de los seres humanos, debido a que representan las fuentes de energía más utilizadas en la actualidad, alrededor de la tercera parte de la energía mundial se obtienen a través del petróleo. (Universidad Peruana Cayetano Heredia, 2000, p.3).

2.3.1. Contaminación con hidrocarburos

Los procesos de extracción de hidrocarburos generan contaminación tanto en el agua como en el suelo por derrames accidentales que se generan durante las operaciones, las filtraciones que se producen son la principal fuente de contaminación, mismas que afectan a toda la biodiversidad presente en el ecosistema. (Velásquez, 2019, p.154)

Los derivados de los hidrocarburos, pueden contaminar no solo durante los procesos de extracción y producción sino también en actividades cotidianas resultado de la industrialización, los vertidos que pueden provocarse no solo perjudican cuerpos de agua, suelos y sedimentos pueden verse afectados de manera directa, pues, los compuestos presentes en los hidrocarburos crean condiciones anóxicas en el suelo, interfiriendo con las relaciones bióticas que se dan lugar en los diferentes horizontes del suelo. (Velásquez, 2019, p.158)

Los hidrocarburos presentes en el agua son tóxicos, en algunas ocasiones las concentraciones presentes en los cuerpos de agua no representan una amenaza para la salud, sin embargo, pueden causar inconvenientes porque las presencias de partículas extrañas modifican las características organolépticas del agua, según normativa, este tipo de compuestos no deben estar presentes en el agua. (Barrenechea, 2003, p.36)

La exposición del petróleo no se ve limitada únicamente al área cercana de contaminación, pues los componentes más pesados tienden a depositarse en sedimentos por su afinidad con la materia orgánica asociada a las arcillas y de esta forma contaminar las fuentes de agua o ingresar a la cadena trófica aguas abajo.

2.3.2. Contaminación con metales pesados

Son elementos propios de la naturaleza que presentan una densidad mayor a la del agua. Los más comunes son el Zinc, el estaño, plomo, níquel, mercurio, cromo, el cobalto, cadmio y arsénico, entre los más conocidos se encuentran el plomo y el cadmio debido a que representan un problema de salud global, aunque estén presentes en bajas concentraciones, la incapacidad de los sistemas para degradarlos los vuelve interesantes en la modelación matemática. (Guevara et al., 2016)

Los metales pesados se encuentran libres, o en formas coloidales, asociados a compuestos orgánicos, por tal motivo, en los últimos años, el análisis de sedimentos ha constituido una herramienta importante en el estudio de la contaminación por metales pesados en hidrosistemas, debido que los sedimentos permiten evaluar a largo plazo los cambios ocurridos en la cuenca de drenaje (Pérez Naranjo et al. 2015)

Los efectos en el medio ambiente son graves porque pueden alterar la alcalinidad del suelo, agua y cultivos. De acuerdo con información obtenida de la Organización Mundial de Salud se conoce que

los límites máximos permisibles en el agua de consumo humano son 0,001 mg/L de mercurio, 0,1mg/L de plomo y 0,003 mg/L de cadmio, valores superiores traen consigo consecuencias severas.

2.3.2.1. *Efectos de la contaminación con hidrocarburos*

Entre los principales problemas que los derrames de crudo generan se encuentran:

- Toxicidad química que provoque efectos perjudiciales en las poblaciones
- Cambios ecológicos.
- Pérdida de hábitat y eliminación de especies
- Aumento en las cantidades de los nutrientes del suelo y agua, provocando eutrofización.
- Incremento en los niveles de NO_x y SO_x , provocando lluvia ácida.(ITOP, 2013)

2.4. **Modelos matemáticos**

Son herramientas que facilitan la replicación del funcionamiento de los sistemas naturales, es decir, permiten la simulación de un sistema que simplifican o modifican las condiciones y situaciones que se producen en el lugar permitiendo predecir, analizar y actuar conforme los factores sufran modificaciones. (Muñoz & Luis 2015, p.362)

Se basan en la simulación que permiten evaluar planes de ingeniería para controlar y manejar la calidad de los sistemas ambientales porque permiten relacionar los flujos de entrada y salida en los ecosistemas que se encuentran en estudio, y permiten la evaluación el beneficio que se obtiene en la calidad ambiental al modificar o eliminar sustancias contaminantes que se encuentran presentes en los ecosistemas producto de las actividades humanas.(Muñoz y Luis 2015)

Deben ser capaces de representar debidamente los fenómenos físicos, químicos y biológicos que acontecen en un sistema natural. Generalmente se suelen simplificar, representando el fenómeno con uno o dos parámetros. (Valcárcel Rojas et al., 2010, pp. 17-18)

La validación de un modelo matemático implica el uso de un gran número de datos y pruebas con estos, misma que puede ser operacional (comparación de datos reales con datos simulados) o conceptual (justificación del modelo). (Sámano, 2011, pp. 66-69)

2.4.1. Tipos de modelos matemáticos

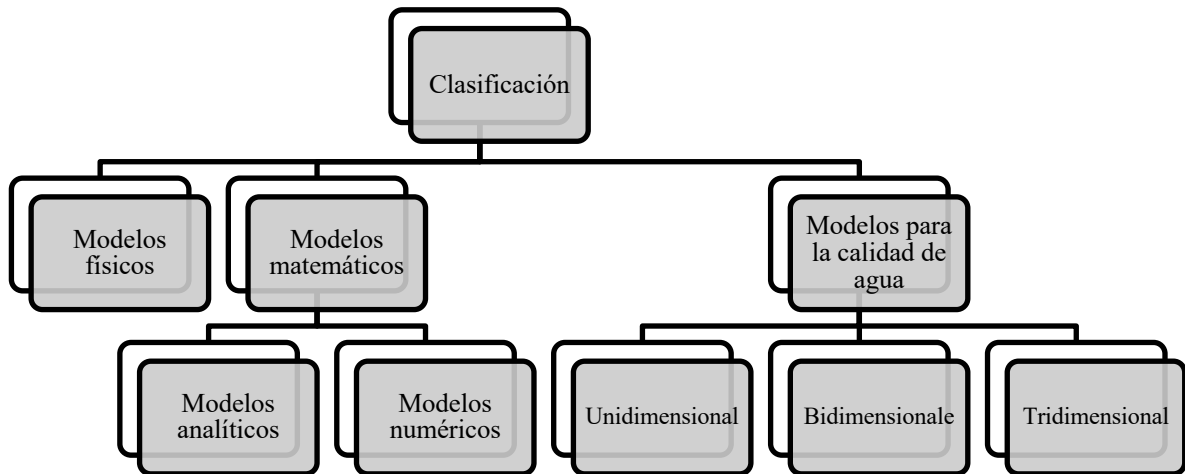


Figura 2-2: Modelos matemáticos

Fuente: Ziemska-Stolarska, Aleksandra Skrzypski, 2012, p.199. Review of mathematical models of water quality

2.4.1.1. Modelos para la calidad de agua

Unidimensionales.

Son los modelos más simples y comúnmente utilizados en el análisis de la calidad de agua de ríos, estos modelos asumen que los cambios significativos que sufren los parámetros determinan la calidad del agua a lo largo del perfil longitudinal del recurso acuático. Se basan principalmente en la medida de las concentraciones de las cargas contaminantes que ingresan y salen, se debe considerar que estos modelos no permiten calcular la variación de las concentraciones en el tiempo y no describen las características de las reacciones físicas, químicas y biológicas que se producen en el reservorio. (Ziemska-Stolarska, Aleksandra Skrzypski, 2012, p.199)

Bidimensionales

Son modelos utilizados cuando las concentraciones de contaminantes varían de una ribera del río al otro, en ocasiones es necesario analizar la calidad del agua a diferentes profundidades, estos modelos

son utilizados principalmente en lagos, reservorios y ríos profundos, la ventaja que representan estos modelos es que son sensibles a los cambios por lo que los datos obtenidos son cercanos a las concentraciones reales de los cuerpos de agua. (Zieminska-Stolarska, Aleksandra Skrzypski, 2012, p.199)

Tridimensionales

Son modelos que examinan la distribución espacial simulada de las concentraciones de parámetro que intervienen en la calidad del agua, éstos necesitan gran cantidad de datos y gran experiencia por parte del usuario. (Zieminska-Stolarska, Aleksandra Skrzypski, 2012, p.199)

2.4.2. Modelos estocásticos

Los modelos estocásticos son procesos que permiten el estudio y modelización de sistemas que evolucionan con el tiempo, es decir, sistemas con variables aleatorias que permiten la predicción de probabilidades de cada suceso que pueda darse en el tiempo permitiendo conocerlo a un determinado intervalo. (Calderón et al., 2012, p.27)

Estos se fundamentan en el aprovechamiento de la información contenida en las muestras que se analizan, por lo que se utilizan como modelos predictores input – output en la evaluación de aportaciones, debido a su sencillez están muy limitados en la representación de modelos hidrológicos. (Estrela , 1992)

Se dice que el modelo estocástico presenta una ventaja ante el modelo determinístico puesto que presenta su formulación estocástica facilitando la obtención de las incertidumbres en las estimas de parámetros y variables, es así que cuando una variable aleatoria puede ser observada de una manera secuencial, X_1, X_2, \dots, X_n , donde el subíndice representa intervalos de tiempo, a tal secuencia se le denomina serie temporal estocástica.

La representación de la probabilidad de ocurrencia en los métodos estocásticos viene determinada por:

$$x = \bar{x} + \xi$$

Ec. 1-2

Donde:

x Variable

\bar{x} Valor medio

ξ Representa la desviación con respecto a la media que puede ser desconocida, con una distribución probabilística estimada. (Torrez, 2011, p.70)

Se considera que en los modelos de calidad es necesario incluir la hidrología del sistema hídrico, considerando que, al calcular los planes alternativos de ingeniería para el control y manejo de la calidad del agua, se pueden utilizar modelos matemáticos que relacionen las entradas de aguas residuales con la calidad del agua del cuerpo receptor. (Torrez, 2011, p.70)

Las partes constitutivas de los modelos estocásticos para la calidad del agua están divididas en tres módulos idénticos y compuestos de la siguiente manera:

- **MODCA 1.-** Variables físicas, como la temperatura y la salinidad.
- **MODCA 2.-** Variables químicas y biológicas; OD, DBO, coliformes fecales, nitrógeno, orgánico, fosforo orgánico.
- **MODCA 3.-** Resolución de sustancias toxicas, propiamente metales pesados; zinc, hierro y manganeso. Aunque también se tiene la capacidad de modelar hidrocarburos. (Ancienta, 2014, p.31)

2.4.3. *Variables a modelar*

Las variables más significativas para representar el transporte, hidrodinámica y la calidad del agua se presentan en la tabla 1-2:

Tabla 1-2: Variables para modelamiento de cuerpos de agua

	Variable	Concepto
Variables para el modelamiento	Temperatura del agua	Es una variable que representa las condiciones de la calidad de agua, debido a que gobierna a todas las reacciones bioquímicas presentes en los ecosistemas, de ésta depende el acondicionamiento del nivel de saturación del agua y la descomposición de la materia orgánica.
	Campo de velocidad,	Permiten establecer las condiciones en las que se transportan, mueven y mezclan las sustancias contaminantes.
Variables para el modelamiento	Volumen o la profundidad	Define el tiempo de residencia del material extraño en el cuerpo de agua.
	Flujo e intercambio de sustancias en la interface sedimento-agua	La entrada de sedimentos en los cuerpos de agua, alteran la vida acuática y causan la pérdida de capacidad de almacenamiento, además por la capacidad de adsorción que poseen, pueden convertirse en medios de transporte de sustancias tóxicas.
	Organismos patógenos	
	pH y alcalinidad	Parámetros que determinan la función de la biota en el cuerpo de agua.
	Sustancias tóxicas	Metales pesados Hidrocarburos aromáticos policíclicos
	Oxígeno disuelto	Permite determinar la cantidad de oxígeno disponible para las actividades biológicas y químicas en el agua.
	Nutrientes	Estrechamente relacionados con procesos de eutrofización, este parámetro puede alterar el balance natural de los ecosistemas, con la modelación se permite analizar el comportamiento de los productores primarios en el agua.

Fuente: Pineda et al. 2018, pp.10-11. Guía nacional de modelación de recursos hídricos para aguas superficiales continentales

Realizado por: Heidy Ruíz, 2020

2.4.4. Etapas para la construcción de un modelo matemático

La construcción de modelos matemáticos eficaces comprende una serie de etapas:

- Se definen objetivos que permitan la simulación de los flujos de agua y el transporte de las sustancias tóxicas para su posterior simulado sometido a diferentes tipos y niveles de estrés.

- Caracterización del espacio-tiempo, para la obtención de datos reales que permitan una construcción más confiable del modelo, esta fase debe incluirse en la etapa de investigación al momento de la caracterización de los cuerpos de agua:

- o Dirección del flujo
- o Cantidad del contaminante
- o Textura
- o Porosidad
- o Datos climáticos

- Construcción de un modelo conceptual simple que facilite la construcción de un modelo matemático considerando todas las características.

- Verificar resultados con datos reales actuales e históricos. (Muñoz y Luis, 2015, pp. 363-364)

Varios autores coinciden que las etapas para la modelación matemática de recursos ambientales, debe seguir el siguiente protocolo.

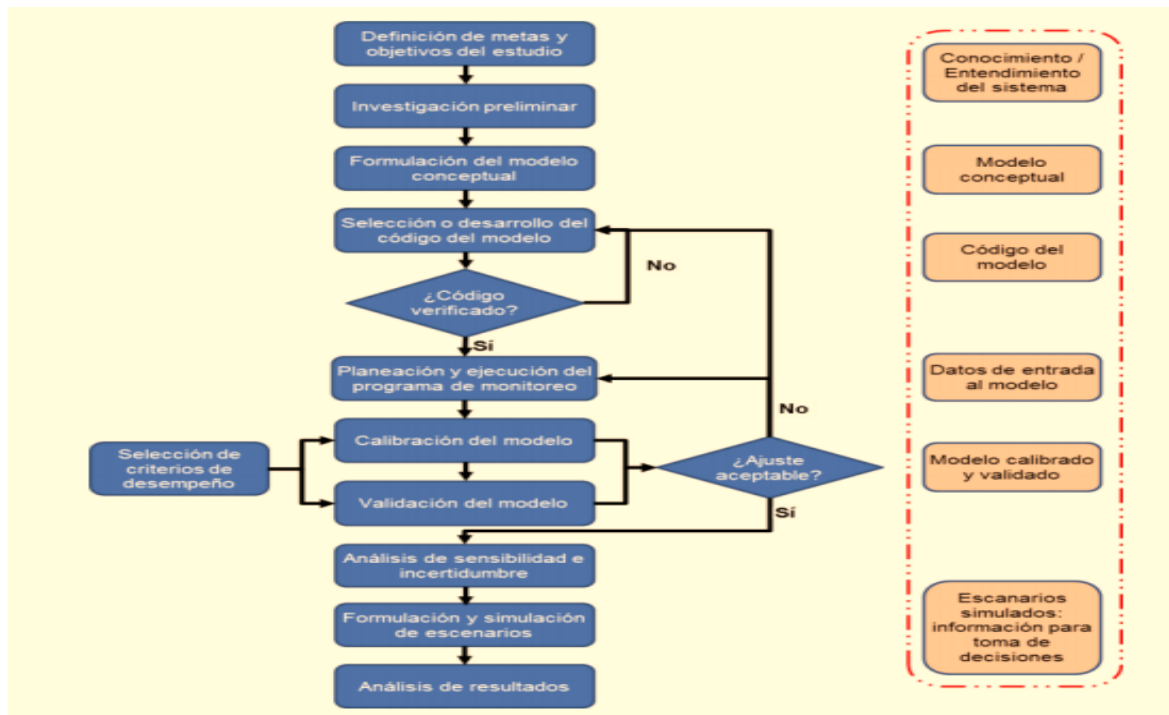


Figura 3-2: Protocolo de modelación

Fuente: Pineda et al. 2018, p.14. Guía nacional de modelación de recursos hídricos para aguas superficiales continentales

2.4.5. Usos de los modelos matemáticos

Los modelos matemáticos no son métodos actuales, han sido utilizados desde décadas anteriores con diferentes perspectivas, actualmente debido a los cambios ambientales, se ha implementado el uso de estas herramientas dentro de los modelos de calidad del agua cuyos usos principales son:

- Ubicación de las fuentes de contaminación del área, estableciendo límites de contaminantes)Planificación de la ubicación de las entradas y salidas de agua que descargan efluentes pretratados de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Ubicación de los segmentos de la corriente o la profundidad del agua del embalse en la que hay incluso condiciones ambientales peligrosas para los organismos vivos.
- Protección de cursos de agua diseñados para la ubicación de fuentes de agua potable.
- Establecimiento de las causas del deterioro de la calidad del agua en un segmento dado de una corriente.
- Pronóstico de cambios en la calidad del agua simulando el desarrollo de diferentes versiones de cuencas de drenaje.
- Selección de una estrategia óptima para el desarrollo sostenible de la cuenca de drenaje. (Zieminska-Stolarska, Aleksandra Skrzypski, 2012, p.198)

2.4.6. Importancia de la modelación

El auge del uso de modelos matemáticos para simular los procesos de dispersión y transporte de los contaminantes vertidos en cuerpos receptores han alcanzado auge durante los últimos años, la predicción de los procesos contaminantes afecta el desarrollo de las actividades antropogénicas. (Bejarano et al. 2015, p.8)

Los estudios de modelación son importantes porque permiten conocer la cantidad, calidad y tipo de sustancias que ingresan en los cuerpos de agua, esto permite la fijación de condiciones particulares

de descargas, así como la toma de decisiones que permitan establecer acciones para la conservación de los recursos, garantizando y promoviendo la conservación sustentable del ambiente. (Arturo et al. 2008, p.6)

2.5. Base Legal

2.5.1. Normas Internacionales

Según la resolución Conama No. 20 Brasil 1986.- Establece los límites permisibles para clase de agua VI: pH, Zinc, cobre, hierro y manganeso

Norma de calidad del agua y control de descargas ag – cc-01 república dominicana 2001.- Establece límites máximos permisibles para clase de agua G: Temperatura y aceite y/o grasas.

2.5.2. Normas Nacionales

2.5.2.1. Constitución de la República del Ecuador

“Art. 318.- El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua.” (Asamblea Nacional Constituyente, 2008, p.150)

“Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

...2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.” (Asamblea Nacional Constituyente, 2008, p.177)

2.5.2.2. Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua.

“Artículo. 3.- Objeto de la Ley. El objeto de la presente Ley es garantizar el derecho humano al agua, así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración, de los

recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua, la gestión integral y su recuperación, en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el sumak kawsay o buen vivir y los derechos de la naturaleza establecidos en la Constitución.” (Asamblea Nacional Constituyente, 2014, p.4)

En el artículo anterior se ratifica a que todos los ciudadanos puedan gozar del beneficio del agua y también controla de que se respete lo que conlleva su aprovechamiento que es el de preservarla como se encontró la naturaleza.

“Artículo. 60.- Libre acceso y uso del agua. El derecho humano al agua implica el libre acceso y uso del agua superficial o subterránea para consumo humano, siempre que no se desvíen de su cauce ni se descarguen vertidos ni se produzca alteración en su calidad o disminución significativa en su cantidad ni se afecte a derechos de terceros y de conformidad con los límites y parámetros que establezcan la Autoridad Ambiental Nacional y la Autoridad Única del Agua. La Autoridad Única del Agua mantendrá un registro del uso para consumo humano del agua subterránea.” (Asamblea Nacional Constituyente, 2014, p.15)

En el párrafo anterior se manifiesta que se le da el derecho al hombre de poder usar tanto las aguas superficiales como las subterráneas siempre y cuando respete los límites ya establecidos por las autoridades ambientales correspondientes.

“Artículo. 82.- Participación y veeduría ciudadana. Las personas, pueblos y nacionalidades y colectivos sociales, podrán realizar procesos de veedurías, observatorios y otros mecanismos de control social sobre la calidad del agua y de los planes y programas de prevención y control de la contaminación, de conformidad con la Ley.” (Asamblea Nacional Constituyente, 2014, p.19)

2.5.2.3. *Ley Orgánica de Salud del Ecuador*

“Art. 104.- Todo establecimiento industrial, comercial o de servicios, tiene la obligación de instalar sistemas de tratamiento de aguas contaminadas y de residuos tóxicos que se produzcan por efecto de sus actividades.(Congreso Nacional, 2006, p.21)

2.5.2.4. *Ley de Gestión Ambiental del Ecuador*

“Art. 9.- Le corresponde al Ministerio del ramo:

...j) Coordinar con los organismos competentes sistemas de control para la verificación del cumplimiento de las normas de calidad ambiental referentes al aire, agua, suelo, ruido, desechos y agentes contaminantes.” (Congreso Nacional, 2004, p.3)

2.5.2.5. *Ley de Prevención y Control de Contaminación Ambiental del Ecuador*

“Art. 6.- Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades.” (Congreso Nacional, 2004, p.2)

2.5.2.6. *Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas*

“Art. 12.- Monitoreo ambiental interno. - Los sujetos de control deberán realizar el monitoreo ambiental interno de sus emisiones a la atmósfera, descargas líquidas y sólidas, así como de la remediación de suelos y/o piscinas contaminados.

Para tal efecto, deberán presentar a la Dirección Nacional de Protección Ambiental Hidrocarburífera la identificación de los puntos de monitoreo.” (Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas, 2010, p.4)

“Art. 29.- Manejo y tratamiento de descargas líquidas. - Toda instalación, incluyendo centros de distribución, sean nuevos o remodelados, así como las plataformas off-shore, deberán contar con un sistema convenientemente segregado de drenaje, de forma que se realice un tratamiento específico por separado de aguas lluvias y de escorrentías, aguas grises y negras y efluentes residuales para garantizar su adecuada disposición. Deberán disponer de separadores agua-aceite o separadores ubicados estratégicamente y piscinas de recolección, para contener y tratar cualquier derrame, así como para tratar las aguas contaminadas que salen de los servicios de lavado, lubricación y cambio de aceites, y evitar la contaminación del ambiente. En las plataformas off-shore, el sistema de drenaje

de cubierta contará en cada piso con válvulas que permitirán controlar eventuales derrames en la cubierta y evitar que estos se descarguen al ambiente. Se deberá dar mantenimiento permanente a los canales de drenaje y separadores.” (Reglamento Ambiental de Operaciones Hidrocarburíferas, 2010, p.9)

Tabla 2-2: Límites permisibles en el punto de descarga de efluentes

Parámetro	Expresado en	Unidad	Límite permisible
Potencial hidrógeno	pH	UpH	5 <pH > 9
Conductividad eléctrica	CE	uS/cm	< 2 500
Hidrocarburos totales	TPH	mg/l	< 20
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	< 120
Sólidos totales	ST	mg/l	< 1700
Plomo	Pb	mg/l	< 0.4

Fuente: (Reglamento Ambiental de Actividades Hidrocarburíferas 2010)

Elaborado por: Ruiz, Heidy, 2020.

2.5.2.7. *Acuerdo Ministerial 097. Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua*

Tabla 3-2: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro Total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobalto	Co	mg/l	0,5

Cobre	Cu	mg/l	1,0
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100ml	2 000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,00
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,1
Compuestos Organofosforados	Organofosforados Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	1 000,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	0,5

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2015, pp.21-22)

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Unidad de análisis

La unidad de análisis fue el sector hidrocarburífero de la Provincia de Orellana, la misma que se encuentra delimitada al Norte por la provincia de Sucumbíos, al Sur por las provincias de Napo y Pastaza, al Este por Perú y al Oeste por la provincia de Napo, situada al nororiente del país, En la Región Amazónica Ecuatoriana. Cuenta con una superficie de 21. 730,05 Km² y se encuentra dividida en 4 cantones y 33 parroquias (28 parroquias rurales y 5 urbanas). Pertenece a la Zona de Planificación 2, junto con las provincias de Pichincha y Napo. (PDOT, 2015)

Según datos del VII Censo de Población y VI de Vivienda del año 2010, la provincia de Orellana contaba con 139.336 habitantes. Las proyecciones de población al 2015, plantean que la población de Orellana asciende a un total de 150.977 personas, la mayoría asentados en el cantón Francisco de Orellana (especialmente en la capital). Más del 30% de su población se auto identifica como indígena (Nacionalidades Kichwa, Shuar y Waodani). (PDOT 2015b)

Tabla 4-3: División político-administrativo de la provincia de Orellana, 2015

CANTON	PARROQUIA
AGUARICO	Capitán Augusto Rivadeneira
	Cononaco
	Nuevo Rocafuerte
	Santa María de Huiririma
	Tiputini
	Yasuní
LA JOYA DE LOS SACHAS	Enokanqui (Cab. en el Paraíso)
	La Joya de los Sachas
	Lago San Pedro
	Pompeya
	Rumipamba

LA JOYA DE LOS SACHAS	San Carlos
	San Sebastián del Coca
	Tres de Noviembre
	Unión Milagreña
LORETO	Loreto
	Puerto Murialdo
	San José de Dahuano
	San José de Payamino
	San Vicente de Huaticocha
	Ávila (Cab. en Huiruno)
FRANCISCO DE ORELLANA	Alejandro Labaka
	Dayuma
	El Dorado
	El Edén
	García Moreno
	Inés Arango
	La Belleza
	Nuevo Paraíso
	Puerto Francisco de Orellana (El Coca)
	San José de Guayusa
	San Luis de Armenia
	Taracoa (Cab. en Nueva Esperanza: Yuca)

Fuente: (PDOT, 2015, p.16)

Realizado por: Ruiz, Heidi, 2020.

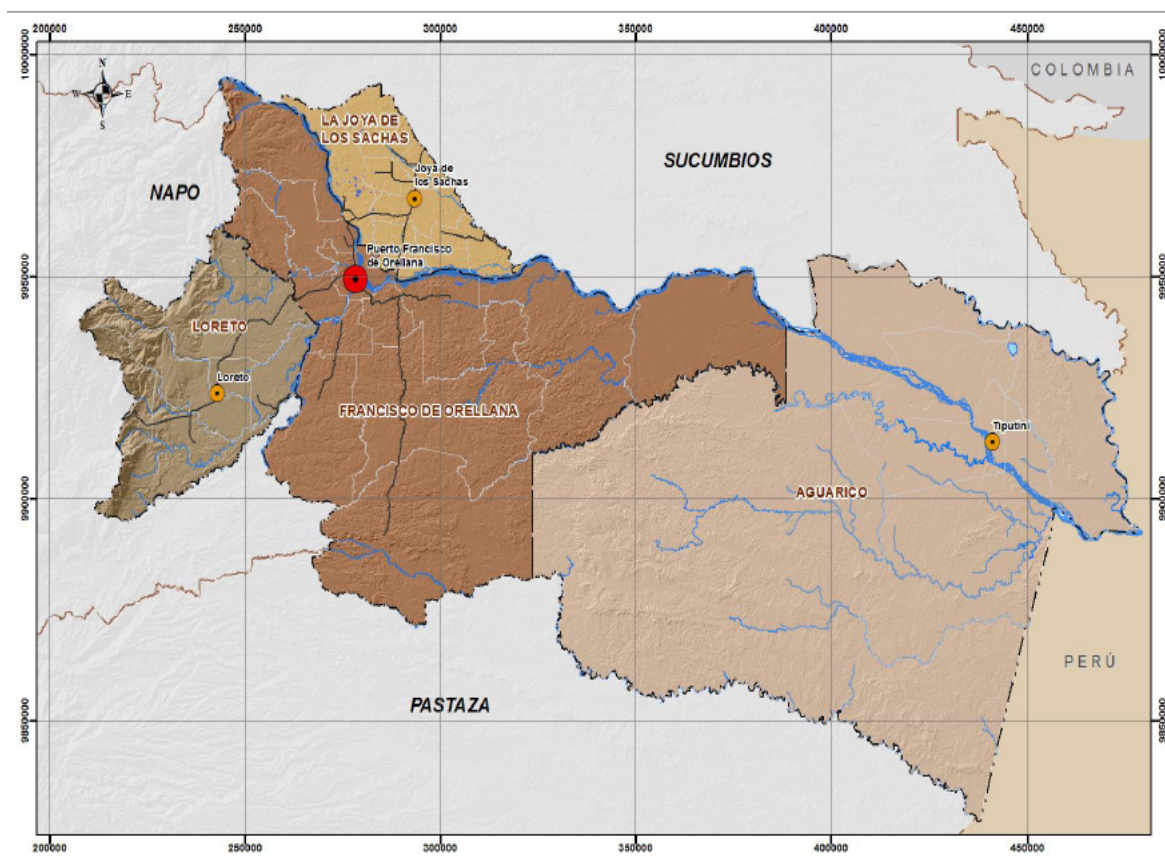


Gráfico 2-3: División político-administrativa de la provincia de Orellana

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de Orellana, 2015, p.17)

3.2. Recolección de datos

Los datos de las concentraciones de agua y sedimentos de la provincia de Orellana se los obtuvo gracias a la colaboración del GADPO, a través de estudios anteriores cuyos resultados reposan en los archivos departamentales de la institución. Dichos datos se obtuvieron de los 24 puntos existentes de monitoreo activos ubicados dentro de la provincia excepto el punto Mini estación Culebra el cual no posee datos de los años establecidos (2015-2019).

Tabla 5-3: Coordenadas de los puntos de monitoreo

ID	Puntos de monitoreo	X	Y
1	Palo Azul - La Unión la Moreña	280819.0	9979701.0
2	Sacha Norte 2 - Enokanqui	293839.0	9975291.0
3	Sacha Norte 1	292989.0	9965884.0
4	Sacha Central	291138.0	9961630.0
5	Sacha 192	296131.0	9971666.0
6	Nuevo Paraiso	273088.0	9960967.0
7	Huashito	272694.0	9955560.0
8	Estación Coca	269905.0	9954387.0
9	Tigüino	284072.0	9875996.0
10	Puma 2	282800.0	9923394.0
11	Nantu A	303462.0	9916947.0
12	Pindo Central	299429.0	9923999.0
13	Auca Central	290011.0	9928856.0
14	Auca Sur	290140.0	9921892.0
15	Auca 51	291211.0	9932706.0
16	Anaconda 1	294612.0	9942183.0
17	Yuca Central	301507.0	9947932.0
18	Mini Estación Culebra	289487.0	9945960.0
19	Yulebra 1	292337.0	9946419.0
20	Mono 1 - CPF	272232.0	9907280.0
21	Mono 6 - SUR	272352.0	9905740.0
22	Oso 9	263054.0	9924935.0
23	Lobo 3	275401.0	9941727.0
24	Oso B	261387.0	9923896.0

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de Orellana, 2015)

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

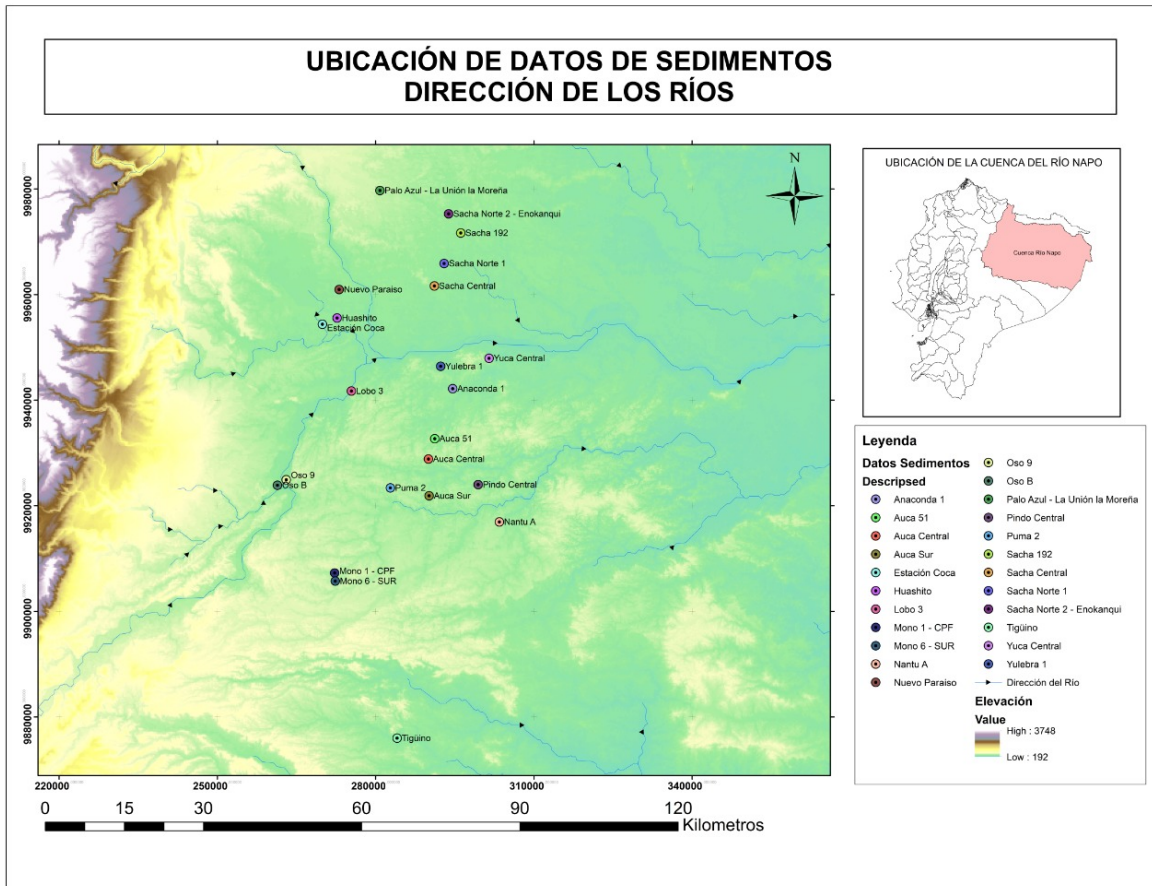


Gráfico 3 -3: Mapa de la ubicación de datos de sedimentos y dirección de los ríos de la provincia de Orellana

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de Orellana, 2015)

3.3. Selección del Río o Canal Natural

3.3.1. Metodología de modelo hidraulico (hecras)_hidrologico (hidrology)

3.3.1.1. Geometría del canal natural

Se seleccionaron los ríos de primer orden, río Napo y de segundo orden río Payamino, río Coca, río Jivino, río Huamayacu, río Blanco y río Sacha, debido a la cercanía de los puntos de monitoreo y a la existencia de información cartográfica de antes y después de la descarga de los contaminantes en la

fuente receptora, y el caudal promedio es la media ponderada de los datos proporcionados por dicha información de cada uno de los ríos.

Tabla 6-3: Ríos seleccionados antes y después de la descarga

Ríos	Descripción	Caudal promedio $Q = (m^3/s)$
Payamino	Antes	40.34
Napo	Después	42.50
Ríos	Descripción	Caudal promedio $Q = (m^3/s)$
Coca	Antes	19.86
Napo	Después	17.50
Ríos	Descripción	Caudal promedio $Q = (m^3/s)$
Jivino	Antes	7.51
Napo	Después	17.50
Ríos	Descripción	Caudal promedio $Q = (m^3/s)$
Huamayacu	Antes	5.84
Napo	Después	12.50
Ríos	Descripción	Caudal promedio $Q = (m^3/s)$
Blanco	Antes	5.01
Napo	Después	20.00
Ríos	Descripción	Caudal promedio $Q = (m^3/s)$
Sacha	Antes	7.51
Napo	Después	15.00

Realizado por: Ruiz, Heidi, 2020

3.4. Estimación de datos

La estimación de datos se realizó mediante una ecuación matemática determinística, diferencias de concentraciones de un punto a otro más cercano.

$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Z_i}{d_i^p} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^p} \right)}$$

Ec. 2-3

La interpolación del punto problema se realiza asignando pesos a los datos del entorno en función inversa de la distancia que los separa, trata una media ponderada de los datos en función de la distancia hacia los datos cercanos.

Tabla 7-3: Concentración de cada contaminante en el año 2015-2019 en el río Payamino-Napo

Ríos	Cdpro2015 (mg/L)	Cdpro2016 (mg/L)	Cdpro2017 (mg/L)	Cdpro2018 (mg/L)	Cdpro2019 (mg/L)
Payamino	0.21	1.17	0.59	1.50	0.61
Napo	0.25	1.55	0.67	1.36	0.63
Ríos	Nipro2015 (mg/L)	Nipro2016 (mg/L)	Nipro2017 (mg/L)	Nipro2018 (mg/L)	Nipro2019 (mg/L)
Payamino	14.66	20.84	8.42	22.49	28.92
Napo	14.64	21.35	8.12	21.81	28.47
Ríos	Pbpro2015 (mg/L)	Pbpro2016 (mg/L)	Pbpro2017 (mg/L)	Pbpro2018 (mg/L)	Pbpro2019 (mg/L)
Payamino	14.07	15.28	14.64	21.01	18.89
Napo	13.74	15.31	16.28	19.95	18.84
Ríos	TPHpro2015 (mg/L)	TPHpro2016 (mg/L)	TPHpro2017 (mg/L)	TPHpro2018 (mg/L)	TPHpro2019 (mg/L)
Payamino	1760.00	1183.54	657.44	849.28	70.40
Napo	2194.25	1854.11	1068.38	1302.19	110.20

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

Tabla 8-3: Concentración de cada contaminante en el año 2015-2019 en el río Coca-Napo

Ríos	Cdpro2015 (mg/L)	Cdpro2016 (mg/L)	Cdpro2017 (mg/L)	Cdpro2018 (mg/L)	Cdpro2019 (mg/L)
Coca	0.12	1.09	0.87	1.41	0.30
Napo	0.28	2.49	0.68	1.28	0.48
Ríos	Nipro2015 (mg/L)	Nipro2016 (mg/L)	Nipro2017 (mg/L)	Nipro2018 (mg/L)	Nipro2019 (mg/L)
Coca	14.86	18.42	7.81	19.83	25.10
Napo	14.86	20.36	8.93	20.56	27.73
Ríos	Pbpro2015 (mg/L)	Pbpro2016 (mg/L)	Pbpro2017 (mg/L)	Pbpro2018 (mg/L)	Pbpro2019 (mg/L)
Coca	14.38	12.14	12.37	15.47	15.59
Napo	14.51	15.63	21.00	19.79	18.70
Ríos	TPHpro2015 (mg/L)	TPHpro2016 (mg/L)	TPHpro2017 (mg/L)	TPHpro2018 (mg/L)	TPHpro2019 (mg/L)
Coca	3377.06	1453.17	641.26	1018.55	84.85
Napo	3100.35	3341.37	1890.21	2243.44	179.51

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

Tabla 9-3: Concentración de cada contaminante en el año 2015-2019 en el río Jivino-Napo

Ríos	Cdpro2015 (mg/L)	Cdpro2016 (mg/L)	Cdpro2017 (mg/L)	Cdpro2018 (mg/L)	Cdpro2019 (mg/L)
Jivino	0.22	1.30	1.28	1.54	0.25
Napo	0.32	1.77	1.04	1.30	0.30
Ríos	Nipro2015 (mg/L)	Nipro2016 (mg/L)	Nipro2017 (mg/L)	Nipro2018 (mg/L)	Nipro2019 (mg/L)
Jivino	17.20	18.34	8.52	19.11	24.66
Napo	15.90	16.75	8.94	18.11	24.86
Ríos	Pbpro2015 (mg/L)	Pbpro2016 (mg/L)	Pbpro2017 (mg/L)	Pbpro2018 (mg/L)	Pbpro2019 (mg/L)
Jivino	13.55	13.63	17.94	19.40	17.28
Napo	14.31	15.22	19.42	19.63	18.34
Ríos	TPHpro2015 (mg/L)	TPHpro2016 (mg/L)	TPHpro2017 (mg/L)	TPHpro2018 (mg/L)	TPHpro2019 (mg/L)
Jivino	5782.37	1787.14	1771.60	1797.92	292.07
Napo	7598.28	2219.76	2136.71	1989.83	333.10

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

Tabla 10-3: Concentración de cada contaminante en el año 2015-2019 en el río Huamayacu -Napo

Ríos	Cdpro2015 (mg/L)	Cdpro2016 (mg/L)	Cdpro2017 (mg/L)	Cdpro2018 (mg/L)	Cdpro2019 (mg/L)
Huamayacu	0.23	2.04	1.70	0.57	0.26
Napo	0.49	1.58	0.45	12.50	0.34
Ríos	Nipro2015 (mg/L)	Nipro2016 (mg/L)	Nipro2017 (mg/L)	Nipro2018 (mg/L)	Nipro2019 (mg/L)
Huamayacu	20.98	25.49	12.37	27.10	32.84
Napo	19.28	17.40	7.66	13.41	28.47
Ríos	Pbpro2015 (mg/L)	Pbpro2016 (mg/L)	Pbpro2017 (mg/L)	Pbpro2018 (mg/L)	Pbpro2019 (mg/L)
Huamayacu	15.10	15.40	22.85	19.45	19.65
Napo	16.74	14.15	18.75	11.39	18.66
Ríos	TPHpro2015 (mg/L)	TPHpro2016 (mg/L)	TPHpro2017 (mg/L)	TPHpro2018 (mg/L)	TPHpro2019 (mg/L)
Huamayacu	5778.71	3271.21	2541.96	5213.39	481.97
Napo	20078.80	2510.42	5422.72	1793.97	965.23

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

Tabla 11-3: Concentración de cada contaminante en el año 2015-2019 en el río Blanco-Napo

Ríos	Cdpro2015 (mg/L)	Cdpro2016 (mg/L)	Cdpro2017 (mg/L)	Cdpro2018 (mg/L)	Cdpro2019 (mg/L)
Blanco	0.24	1.47	1.94	0.76	0.26
Napo	0.50	1.18	0.41	0.33	0.35
Ríos	Nipro2015 (mg/L)	Nipro2016 (mg/L)	Nipro2017 (mg/L)	Nipro2018 (mg/L)	Nipro2019 (mg/L)
Blanco	19.89	23.16	10.80	23.79	30.47
Napo	19.75	17.15	7.22	12.80	28.76
Ríos	Pbpro2015 (mg/L)	Pbpro2016 (mg/L)	Pbpro2017 (mg/L)	Pbpro2018 (mg/L)	Pbpro2019 (mg/L)
Blanco	14.46	14.13	19.63	18.00	18.76
Napo	16.82	13.83	16.90	10.57	18.59
Ríos	TPHpro2015 (mg/L)	TPHpro2016 (mg/L)	TPHpro2017 (mg/L)	TPHpro2018 (mg/L)	TPHpro2019 (mg/L)
Blanco	7265.18	2357.56	2497.06	3984.50	495.81
Napo	22022.75	1946.19	5617.35	1452.95	1044.66

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

Tabla 12-3: Concentración de cada contaminante en el año 2015-2019 en el río Sacha-Napo

Ríos	Cdpro2015 (mg/L)	Cdpro2016 (mg/L)	Cdpro2017 (mg/L)	Cdpro2018 (mg/L)	Cdpro2019 (mg/L)
Sacha	0.29	1.31	2.64	0.87	0.29
Napo	0.42	1.59	0.76	0.76	0.33
Ríos	Nipro2015 (mg/L)	Nipro2016 (mg/L)	Nipro2017 (mg/L)	Nipro2018 (mg/L)	Nipro2019 (mg/L)
Sacha	16.28	17.64	7.96	15.72	24.89
Napo	17.94	17.59	8.08	15.57	27.25
Ríos	Pbpro2015 (mg/L)	Pbpro2016 (mg/L)	Pbpro2017 (mg/L)	Pbpro2018 (mg/L)	Pbpro2019 (mg/L)
Sacha	13.63	11.87	17.28	13.71	17.36
Napo	15.62	14.45	18.66	14.81	18.49
Ríos	TPHpro2015 (mg/L)	TPHpro2016 (mg/L)	TPHpro2017 (mg/L)	TPHpro2018 (mg/L)	TPHpro2019 (mg/L)
Sacha	9580.27	1981.42	2905.88	1820.71	488.17
Napo	14265.75	2314.04	4038.10	1924.68	706.56

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

3.5. Elección del modelo matemático unidimensional

Para formular una relación determinística entre los residuos descargados al ambiente y la calidad del agua resultante, ambas en términos de un mismo compuesto, se debe considerar un volumen de río donde la coordenada x se alinea con la longitud del río, la coordenada y con su ancho, y la coordenada z con la profundidad del río. (Espinoza et al., 2005, p.1)

Varios ríos y esteros son considerados cuerpos de agua homogéneos considerando las variables de la calidad de agua en direcciones transversal y vertical, pues, el contaminante varía solo en la dirección del río, esta característica es conocida como unidimensional, en contraste con los cuerpos de agua que presentan variaciones importantes en los sistemas tridimensionales. (Espinoza et al., 2005, pp.1-2)

Para muchas situaciones relacionadas con la calidad del agua en ríos y esteros es posible asumir que el medio es no dispersivo, es decir, cada elemento del material contaminante fluye en la dirección de la corriente (agua abajo). No existe mezcla debido a difusión o dispersión. Esto se conoce como flujo pistón. (Espinoza et al., 2005, p.2)

3.5.1. Balance de Masas

Las fórmulas utilizadas en el balance de masas se basan en lo descrito por Espinoza, Rodríguez & Muñoz (2005)

La masa total del compuesto $C \left[\frac{M}{L^3} \right]$ que entra a través de la sección de control, en un intervalo de tiempo Δt es:

$$Q \cdot C \cdot \Delta t$$

Ec. 3-3

Donde:

Q es el caudal en el río.

De manera similar, la masa de contaminante que sale del volumen de control a través de una cara situada a una distancia Δx de la zona de entrada está dada por:

$$(Q + \Delta Q) \cdot \left(C + \frac{\partial C}{\partial x} \Delta x \right) \cdot \Delta x$$

Ec. 4-3

A partir de las definiciones anteriores, la variación de la masa del compuesto C dentro del volumen de control debido a la entrada y salida de contaminante, así como también debido a reacciones simples, sobre el intervalo de tiempo Δt es:

$$V \cdot \Delta C = Q \cdot C \cdot \Delta t - (Q + \Delta Q) \cdot \left(C + \frac{\partial C}{\partial x} \Delta x \right) \cdot \Delta t \pm K \cdot V \cdot C \cdot \Delta t$$

Ec. 5-3

Donde:

$K[1/T]$ representa el coeficiente de una reacción de primer orden que describe la pérdida o ganancia del compuesto C .

Al expandir la ecuación 4-3 y dividir por el intervalo de tiempo, Δt , y el volumen $V (= A \cdot \Delta x)$, se tiene:

$$\frac{\Delta C}{\Delta t} = -\frac{Q}{A} \cdot \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{C}{A} \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta x} - \frac{\Delta Q}{A} \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \pm K \cdot C$$

Ec. 6-3

Si el límite cuando el tamaño de la separación, Δx , y el intervalo de tiempo, Δt , se aproximan a cero se define como:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{Q}{A} \cdot \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{C}{A} \cdot \frac{\partial Q}{\partial x} \pm K \cdot C$$

Ec. 7-3

O escrito en forma más reducida:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{1}{A} \cdot \frac{\partial(Q \cdot C)}{\partial x} \pm K \cdot C$$

Ec. 8-3

Las ecuaciones 6-3 y 7-3 representan la ecuación diferencial básica para el estudio de un sistema simple y no dispersivo, pues, este modelo asume que no existe mezcla o dispersión y se conoce comúnmente como *modelo advectivo o modelo máximo gradiente*.

Si la variable C representa un compuesto conservativo, $K = 0$. El flujo, el área perpendicular, así como el coeficiente de decaimiento pueden ser funciones de la distancia y tiempo.

Comúnmente se considera el origen del eje x en la ubicación de una descarga. De esta manera, una condición de borde característica es:

$$C = C_0(t) \text{ en } x = 0$$

Ec. 9-3

Donde:

$C_0(t)$ es la concentración del compuesto C en la localización de la descarga.

3.5.2. *Régimen Permanente, Compuesto No conservativo*

Las fórmulas utilizadas en el balance de masas se basan en lo descrito por Espinoza, Rodríguez & Muñoz (2005)

En este caso la ecuación 6-3 se puede escribir como:

$$0 = -\frac{Q}{A} \cdot \frac{dC}{dx} - \frac{C}{A} \cdot \frac{dQ}{dx} - K \cdot C$$

Ec. 10-3

Si nuevamente se supone que el caudal y el área transversal son constantes, y solo se considera descargas puntuales, la ecuación 9-3 se puede escribir como:

$$0 = -\frac{Q}{A_0} \cdot \frac{dC}{dx} - K \cdot C = -u \cdot \frac{dC}{dx} - K \cdot C$$

Ec. 11-3

Con la condición de borde:

$$C = C_0 \text{ en } x = 0$$

Ec. 12-3

La integración de la ecuación 11-3 permite escribir:

$$C(x) = C_0 \cdot \exp\left[-\frac{K}{u} \cdot x\right]$$

Ec. 13-3

3.5.2.1. Tasa de desoxigenación (K)

Wright y McDonnell (1979) propuso una estimación para la tasa de desoxigenación en función del caudal:

$$k = 1.796 Q^{-0.49}$$

Ec. 14-3

En la ecuación 11-3, K está en d^{-1} y el caudal Q en m^3/s . El rango de aplicación de esta expresión es para caudales entre 0.3 y $23m^3/s$, por encima del mayor caudal, los autores de la ecuación demostraron que K es independiente del caudal y los valores son consistentes con las tasas encontradas por laboratorio. Por encima del rango de la ecuación 12-3, puede suponerse un valor constante de $0.30 d^{-1}$ (ANLA, 2015, p.14)

Al sustituir la expresión para la concentración C_0 se puede obtener:

$$C(x) = \left(\frac{Q_R \cdot C_R + Q_D \cdot C_D}{Q_R + Q_D}\right) \cdot \exp\left[-\frac{K}{u} \cdot x\right]$$

Ec. 15-3

3.6. Diagrama de flujo

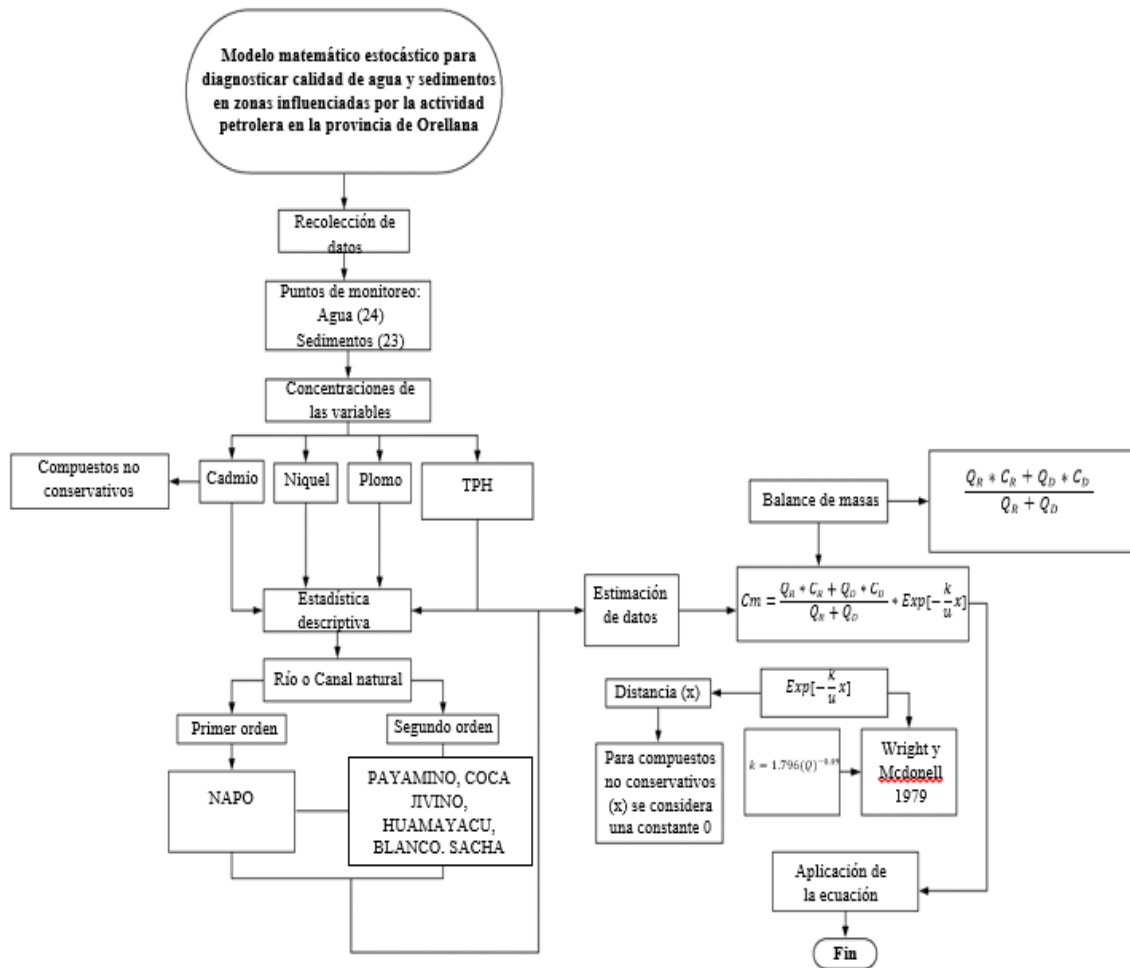


Figura 4-3: Metodología del modelo matemático

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

CAPTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Estructura de la matriz de datos original

Los datos de las concentraciones de agua y sedimentos de la provincia de Orellana se los obtuvo gracias a la colaboración del GADPO de estudios anteriores cuyos resultados reposan en los archivos departamentales de la institución el cual, a través de sus 24 puntos de monitoreo ubicados dentro de la provincia, actualmente activas, en el caso de sedimentos, excepto Mini estación Culebra, debido a que no poseen datos de los años establecidos 2015-2019.

Tabla 13-4: Datos de TPH en los puntos de monitoreo

ID	PUNTOS DE MONITOREO	TPH (MG/L)				
		2015	2016	2017	2018	2019
1	Palo Azul - La Unión la Moreña	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Sacha Norte 2 - Enokanqui	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Sacha Norte 1	33.20	0.00	0.00	0.038	0.00
4	Sacha Central	1.40	0.00	0.00	15.00	0.00
5	Sacha 192	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Nuevo Paraiso	0.00	0.00	0.00	0.0078	0.00
7	Huashito	0.00	0.00	0.00	0.0073	0.00
8	Estación Coca	0.00	0.00	0.00	0.0095	0.00
9	Tigiino	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	Puma 2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	Nantu A	0.00	0.00	0.00	0.0087	0.00
12	Pindo Central	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	Auca Central	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	Auca Sur	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Auca 51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	Anaconda 1	0.00	0.00	0.00	0.0069	0.00
17	Yuca Central	0.00	0.00	0.00	0.0028	0.00
18	Mini Estación Culebra	0.00	0.00	0.00	0.0066	0.00
19	Yulebra 1	0.00	0.00	0.00	0.0076	0.00

20	Mono 1 - CPF	0.00	0.00	0.00	0.0059	0.00
21	Mono 6 - SUR	0.00	0.00	0.00	0.0365	0.00
22	Oso 9	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
23	Lobo 3	0.00	0.00	0.00	0.0059	0.00
24	Oso B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de Orellana, 2015)

Realizado por: Ruiz, Heidy 2020

De acuerdo con los datos de TPH de calidad de agua existen datos faltantes debido a que en los puntos de monitoreo del GADPO no se está analizando dicho factor, por lo que a continuación se describe los datos de sedimentos de cada uno de los factores que se analizaron tales como: Cadmio, Níquel, Plomo y TPH en los años establecidos.

Tabla 14-4: Datos de sedimentos del factor Cadmio (mg/L) año 2015-2019

ID	PUNTOS DE MONITOREO	2015	2016	2017	2018	2019
1	Palo Azul - La Unión la Moreña	0.04	0.13	0.08	0.08	0.07
2	Sacha Norte 2 - Enokanqui	0.00	0.13	0.75	0.26	0.18
3	Sacha Norte 1	0.05	0.26	6.35	1.26	0.26
4	Sacha Central	0.06	0.14	2.45	0.15	0.18
5	Sacha 192	0.00	0.29	0.49	4.39	0.20
6	Nuevo Paraiso	0.04	0.88	0.99	2.68	0.15
7	Huashito	0.02	0.23	0.10	0.21	0.19
8	Estación Coca	0.09	1.07	0.15	0.63	0.46
9	Tigüino	0.18	0.91	0.65	0.83	0.70
10	Puma 2	0.06	0.25	0.01	7.13	0.58
11	Nantu A	0.47	1.66	0.10	0.83	0.58
12	Pindo Central	0.12	2.43	0.74	1.18	0.72
13	Auca Central	0.13	2.09	0.28	7.80	0.17
14	Auca Sur	0.32	0.89	0.00	0.13	0.60
15	Auca 51	0.44	0.64	0.14	1.87	0.11
16	Anaconda 1	1.07	0.33	0.00	0.14	0.11
17	Yuca Central	0.53	0.46	0.26	0.13	0.37
18	Yulebra 1	0.30	12.41	0.06	0.26	0.35
19	Mono 1 - CPF	0.03	0.77	0.23	0.69	0.53

20	Mono 6 - SUR	0.34	0.70	0.22	0.81	0.59
21	Oso 9	0.45	0.59	0.05	10.46	0.84
22	Lobo 3	0.29	0.31	0.77	1.42	1.31
23	Oso B	0.29	1.00	0.38	3.20	0.71

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de Orellana, 2015)

Realizado por: Heidy Ruiz, 2020

Tabla 15-4: Datos de sedimentos del factor Níquel (mg/L) año 2015-2019

ID	PUNTOS DE MONITOREO	2015	2016	2017	2018	2019
1	Palo Azul - La Unión la Moreña	16.09	10.50	10.80	15.12	23.10
2	Sacha Norte 2 - Enokanqui	15.42	6.24	6.56	12.90	23.37
3	Sacha Norte 1	11.38	15.01	6.54	13.72	18.12
4	Sacha Central	29.62	38.11	18.03	45.64	45.93
5	Sacha 192	20.70	26.15	6.33	24.72	19.79
6	Nuevo Paraiso	13.25	13.61	5.72	12.68	12.87
7	Huashito	12.31	20.86	7.12	23.25	36.42
8	Estación Coca	16.46	18.83	8.12	28.57	34.17
9	Tigüino	18.42	10.77	20.18	21.81	29.73
10	Puma 2	8.80	7.37	1.83	11.97	13.32
11	Nantu A	5.53	5.04	0.97	9.55	18.44
12	Pindo Central	10.39	8.33	18.27	23.24	22.46
13	Auca Central	11.19	12.99	8.38	10.98	21.42
14	Auca Sur	17.68	14.43	15.38	25.47	21.81
15	Auca 51	10.54	13.84	2.94	18.47	23.39
16	Anaconda 1	6.16	8.13	2.46	9.97	13.94
17	Yuca Central	21.14	16.65	6.29	10.98	29.73
18	Yulebra 1	18.25	24.04	18.65	17.53	29.71
19	Mono 1 - CPF	15.71	24.37	33.16	44.93	29.50
20	Mono 6 - SUR	18.17	23.11	45.67	40.40	42.08
21	Oso 9	16.74	15.95	18.48	21.00	18.22
22	Lobo 3	14.80	26.88	7.36	24.74	29.70
23	Oso B	11.73	9.78	23.56	13.38	21.21

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de Orellana, 2015)

Realizado por: Heidy Ruiz, 2020

Tabla 16-4: Datos de sedimentos del factor Plomo (mg/L) año 2015-2019

ID	PUNTOS DE MONITOREO	2015	2016	2017	2018	2019
1	Palo Azul - La Unión la Moreña	9.98	5.96	4.53	8.42	13.20
2	Sacha Norte 2 - Enokanqui	14.64	17.71	13.17	15.69	17.23
3	Sacha Norte 1	9.20	6.67	11.50	11.79	15.02
4	Sacha Central	14.85	17.34	18.15	26.96	22.47
5	Sacha 192	10.04	9.84	17.25	29.20	14.15
6	Nuevo Paraiso	16.64	8.22	6.44	9.24	9.46
7	Huashito	10.48	10.00	8.58	16.53	16.59
8	Estación Coca	17.48	20.43	14.47	20.67	22.95
9	Tigüino	15.40	16.84	20.29	20.87	28.06
10	Puma 2	9.73	13.51	10.14	45.28	19.66
11	Nantu A	14.24	20.36	17.42	17.90	21.20
12	Pindo Central	14.54	16.05	17.96	20.45	24.32
13	Auca Central	11.11	21.56	16.49	44.45	14.17
14	Auca Sur	15.04	16.14	17.71	19.57	19.48
15	Auca 51	12.46	17.94	5.84	36.76	16.71
16	Anaconda 1	12.76	13.66	10.19	15.51	16.19
17	Yuca Central	17.38	13.18	13.67	7.90	18.56
18	Yulebra 1	21.39	21.25	70.71	14.84	22.00
19	Mono 1 - CPF	20.76	25.44	18.97	25.99	30.26
20	Mono 6 - SUR	18.91	21.67	17.84	25.74	32.61
21	Oso 9	16.90	14.14	22.62	78.96	20.69
22	Lobo 3	12.12	15.69	10.95	19.65	20.37
23	Oso B	28.81	27.41	20.92	25.98	17.14

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de Orellana, 2015)

Realizado por: Heidy Ruiz, 2020

Tabla 17-4: Datos de sedimentos del factor TPH (mg/L) año 2015-2019

ID	PUNTOS DE MONITOREO	2015	2016	2017	2018	2019
1	Palo Azul - La Unión la Moreña	294.08	0.00	0.00	73.52	0.00
2	Sacha Norte 2 - Enokanqui	488.94	0.00	104.10	149.92	6.65
3	Sacha Norte 1	548.77	299.42	310.02	498.85	23.85
4	Sacha Central	2742.46	848.69	885.24	9499.05	628.67
5	Sacha 192	679.53	499.00	0.00	0.00	1.18
6	Nuevo Paraiso	6565.66	1645.56	151.38	0.00	0.00
7	Huashito	349.32	0.00	0.00	0.00	0.00

8	Estación Coca	599.37	0.00	0.00	0.00	0.00
9	Tigüino	490.07	0.00	122.52	0.00	0.00
10	Puma 2	646.96	0.00	0.00	0.05	0.00
11	Nantu A	395.51	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Pindo Central	778.39	948.01	0.00	299.31	0.00
13	Auca Central	1138.49	285.30	0.00	0.00	2.69
14	Auca Sur	34257.85	1147.25	0.00	348.90	4.12
15	Auca 51	628.78	260.79	406.12	1.73	6.52
16	Anaconda 1	632.45	259.25	105.72	298.83	0.00
17	Yuca Central	27607.27	999.15	6463.29	798.56	1280.97
18	Yulebra 1	5648.02	18613.45	9017.97	9529.04	492.08
19	Mono 1 - CPF	428.93	0.00	453.35	0.00	38.06
20	Mono 6 - SUR	609.65	0.00	0.00	0.00	0.00
21	Oso 9	533.51	99.99	0.00	0.00	0.00
22	Lobo 3	199.30	0.00	0.00	0.00	0.00
23	Oso B	566.17	0.00	204.94	0.00	3.21

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de Orellana, 2015)

Realizado por: Heidy Ruiz, 2020

Tabla 18-4: Caudal en bruto

SISTEMA HÍDRICO	ESTACIÓN DE MONITOREO	FECHA DE MUESTRA	QM3/S
RÍO BUENO	Río Bueno arriba	10/04/2019	5.072
	Río Pucuno arriba	10/04/2019	6.962
	Río Iginio arriba	11/04/2019	0.082
	Río Cotona arriba	11/04/2019	0.465
	Río Dahuano arriba	11/04/2019	0.584
	Río Huataraco-Loreto	11/04/2019	11.159
	Río Huataraco 1	12/06/2019	5.288
	Estero Huiruno	12/06/2019	3.020
	Río Suno Loreto abajo	17/04/2019	22.111
	Río Bueno-Pto Murialdo	19/07/2019	7.949
	Río Suno Pto.Murialdo	07/02/2019	50.815
	Huataraco-Puscococha	04/07/2019	27.652
	Pucuno 24 de Mayo	17/04/2019	11.811
RÍO PAYAMINO	Río Juan Pio Montufar Reserva	12/06/2019	1.198
	Río Payamino arriba	10/09/2019	12.255
	Río Paushiyacu	10/09/2019	10.703

RÍO PAYAMINO	Río Punino	10/09/2019	13.633
	Río Pingullo Captacion de agua	08/02/2019	1.231
	Estero Pingullo-Paraiso	08/02/2019	0.454
	Río Guachito-Paraiso	20/02/2019	1.826
	Killupakay-Comuna Corazón	20/02/2019	1.797
	Estero Ernesto Tanguila-Paraiso	20/02/2019	0.972
	Huashito bocana Payamino	10/09/2019	1.304
	Estero Añango-estación Payamino	14/02/2019	0.443
	Estero Añango Flor del Pantano	09/04/2019	0.717
	Río Payamino bocana Napo	10/09/2019	93.583
	Estero Pawayacu-Armenia	14/02/2019	0.050
RÍO NAPO	Río Napo Parro. Pto Murialdo	11/09/2019	16.009
	Suyuno arriba	17/04/2019	0.253
	Río Suyuno Bocana Napo	11/09/2019	7.282
	Río Manduro arriba	14/02/2019	0.509
	Río El Dorado km.3 Vía Auca	09/04/2019	0.483
	Río km. 5 Vía Auca	04/04/2019	0.662
	Laguna Taracoa (Yuca km 35)	05/04/2019	37.728
	Centinela de la patria	05/04/2019	0.112
	Río Yanayacu-Balneario	31/01/2019	2.990
	Río Huamayacu-San Carlos	06/06/2019	1.822
	Río Yanayacu Bocana Napo	12/09/2019	1.217
	Estero Guamayacu Alto	31/01/2019	0.195
	Estero Guamayacu Castillo	31/01/2019	0.442
	Estero Iniap-San Carlos	06/06/2019	0.114
	Río Basura-San Carlos	25/02/2019	0.535
	Río Blanco - Bomba la Parke	25/02/2019	3.024
	Río Huamayacu Bocana Napo	12/09/2019	8.589
	Río Blanco Reserva Juan Montalvo	02/08/2019	0.343
	Río Sacha-Yanaquincha	01/03/2019	1.819
	Río Sacha-10 de Agosto	07/06/2019	2.442
	S/N-Sachas-10 de agosto	07/06/2019	0.674
	Río Tucan-La Belleza km. 33	16/01/2019	0.039
	Garcia Moreno	16/01/2019	0.013
	Estero km. 36 la Belleza	15/01/2019	0.261
Río QuincHe	07/06/2019	1.220	
RÍO COCA	Río Coca (Cañon)puente abajo	09/09/2019	31.503
	Río Basura- Grande	31/01/2019	2.013
	Río Coca Captacion depuradora	09/09/2019	25.200

RÍO INDILLAMA	Río 6 de Octubre km. 17 Vía Auca	09/07/2019	0.783
	Estero El Carmen Km 23 Vía Auca	09/07/2019	0.657
	Estero Km. 25 Vía Auca	09/07/2019	0.312
	Estero km. 26 Vía Auca	09/07/2019	0.419
	Río Indillama - Km. 30 vía Taracoa	05/04/2019	3.207
	Estero Ingreso a Yuca (tres)	05/04/2019	0.142
	Río Indillima Bocana Napo	19/07/2019	27.315
RÍO JIVINO	Río Jivino Verde-Arriba	01/03/2019	4.657
	Río Jivino Azul-Enokanqui	25/02/2019	1.035
	Río Jivino Rojo-3 de Noviembre	01/03/2019	8.218
	Río Jivino Rojo-Enokanqui	04/08/2019	3.226
	Río Jivino Negro-Valladolid	25/02/2019	0.390
	Río Jivino Verde-Pompeya	12/09/2019	12.960
RÍO TIPUTINI	Estero Km 30 Via auca	04/04/2019	0.155
	Estero Km. 36 Via Auca	01/10/2019	0.122
	Río Tiputini-La Belleza km. 49	10/01/2019	1.133
	Río Tiputini-Km 51 Vía Auca	01/10/2019	0.686
	Río Dayuma-Rumiyacu Km. 40	01/10/2019	1.960
	Río Shiripuno-Km. 42 Vía Auca	04/04/2019	0.245
	Río Cristal Saar Entsa Vía Auca.	01/10/2019	0.729
	Río 8 de Abril-Dayuma	22/08/2019	0.200
	Río Tiwano-Via Auca.	22/08/2019	2.725
	Río Valle HERMOSO Km. 61	22/08/2019	0.692
	Estero Sur - Pindo-Los Leones	17/10/2019	0.234
	Estero Pindo-Estación Pindo central	17/10/2019	0.099
	Río Buenos Amigos Pindo	17/10/2019	0.197
	Río Tiputini-Rodrigo Borja	02/10/2019	15.029
	Río Tiputini Control Compañía AEC	02/10/2019	8.563
	Río Miwaguno	02/10/2019	1.274
	Río Tiputini-Bocana Napo	19/07/2019	47.858
	Estero Puma	17/10/2019	0.118
	Río Guester 1 ARRIBA	15/08/2019	0.064
	Río Guester 2 - Km 70 ABAJO	15/08/2019	0.511
	Río Rumiyacu-Armadillo Km. 80 Via Auca	15/08/2019	0.689
	Río Pelona-Armadillo Km. 81 Via Auca	15/08/2019	0.125
	Estero Belleza	16/01/2019	0.691
	Estero Jaguar	16/01/2019	0.171
	Río Las Delicias km.41	15/01/2019	0.445

RÍO TIPUTINI	Estero Manguilla Km 46	15/01/2019	0.511
	Río Calzon-La Belleza km. 47	15/01/2019	0.036
	Río La Cascada-La Belleza Km. 55	10/01/2019	0.289
	Río Mono-La belleza km.58	10/01/2019	3.891
	Río Mono-km 59 La belleza	10/01/2019	1.919
RÍO CURARAY	Río La Andina-Km 86 Via Auca	15/08/2019	0.319
	Río Shiripuno Ñoneno Via Auca	11/07/2019	6.913
	Río Huancavilca Via Auca	11/07/2019	2.345
	Río Cristalino Km 90 Via Auca	11/07/2019	0.198
	Río Tiguino	11/07/2019	7.614
RÍO YASUNÍ	Laguna Jatuncocha (Aguarico)	18/07/2019	26.064
	Río Napo - Bocana Yasuní	18/07/2019	33.396
RÍO AGUARICO	Río Yanayacu-Puerto Loja	16/07/2019	9.092
	Río Cocaya	16/07/2019	9.377
	Río Zancudo cocha	17/07/2019	4.596

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de Orellana, 2015)

Realizado por: Heidy Ruiz, 2020

4.2. Análisis exploratorio de datos

Estudio de datos desde todas las perspectivas y con todas las herramientas posibles, cuyo propósito es extraer cuanta información sea posible, a través de gráficos estadísticos.

- Cadmio

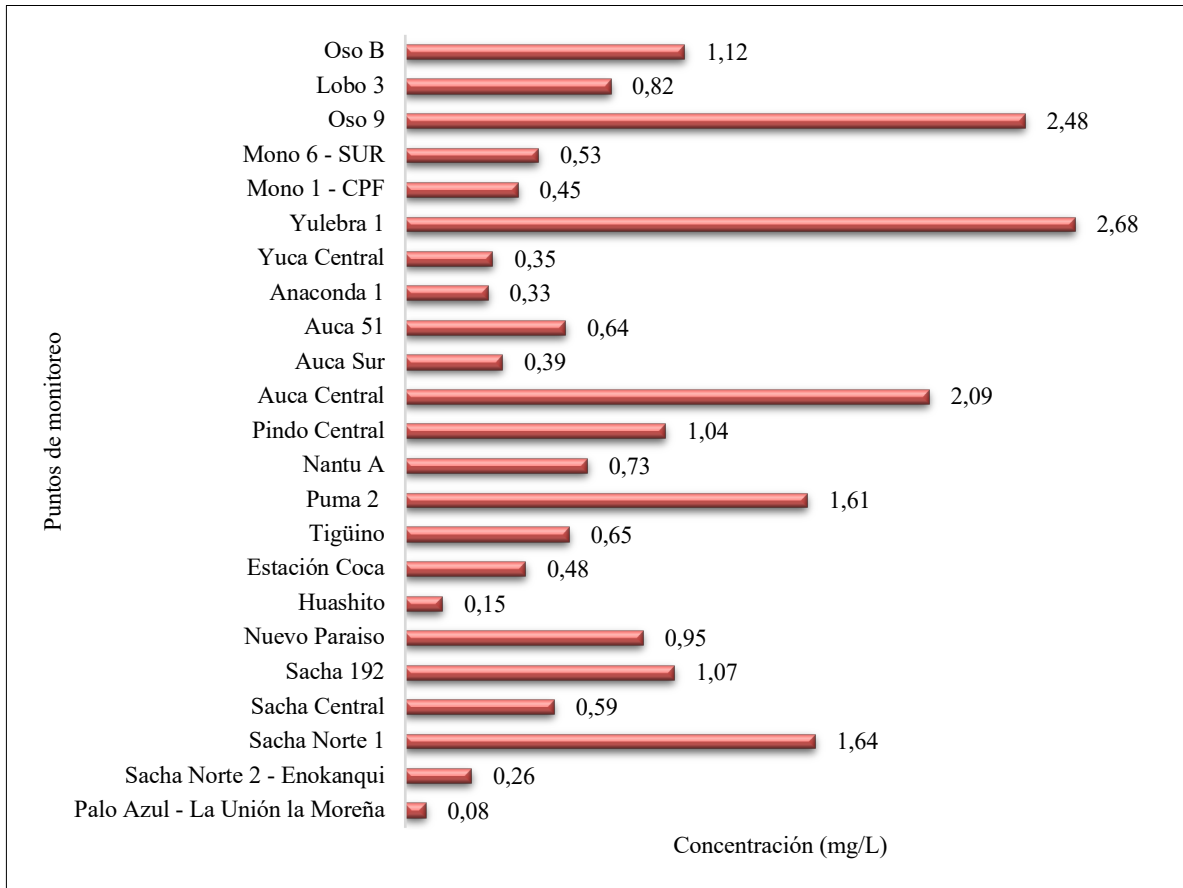


Gráfico 4-4: Compuesto Cadmio

Realizado por: Ruiz, Heidi, 2020.

Interpretación de resultados: En el punto Yulebra 1 existió una concentración de 2.68 mg/L, a través de una media ponderada, por lo que indica que hay una mayor acumulación de Cadmio, mientras que en el punto Palo Azul-La Unión la Moreña se obtuvo una concentración de 0.08 mg/L, es decir una menor acumulación.

- Níquel

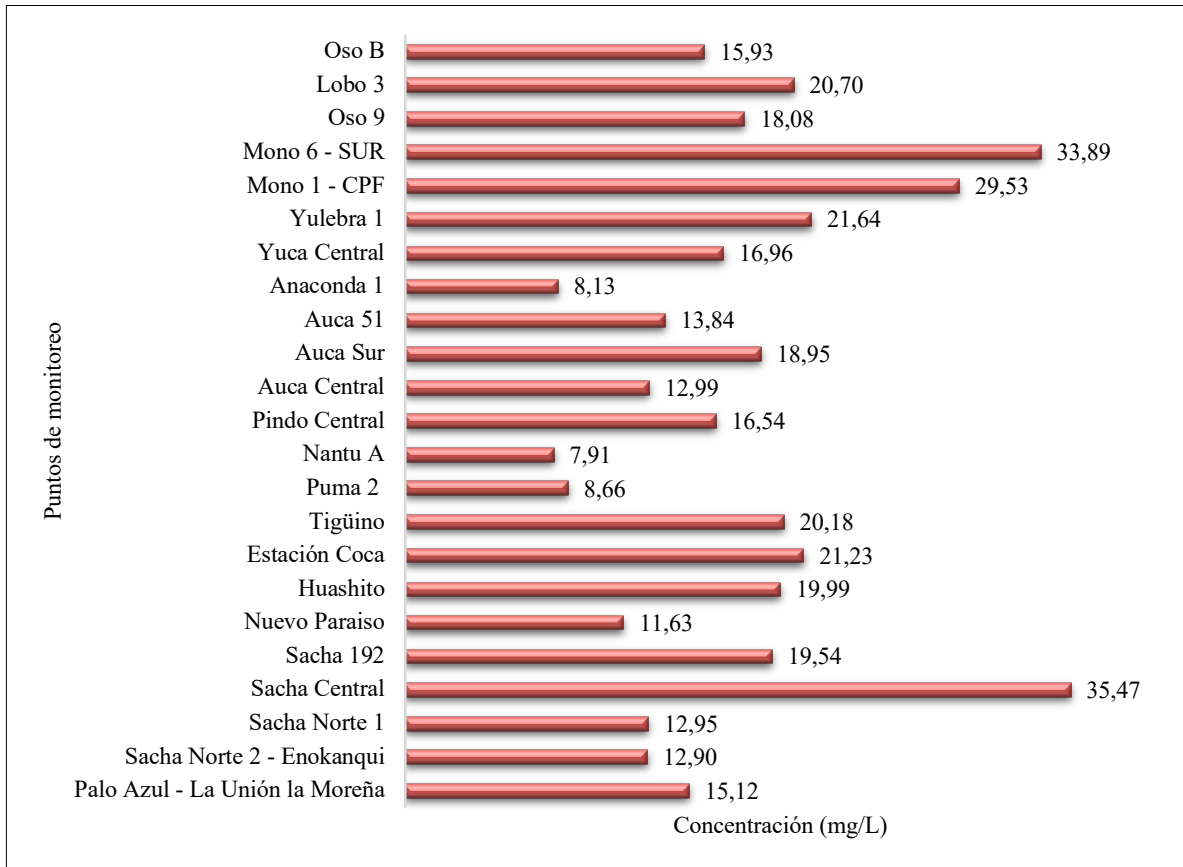


Gráfico 5-4: Compuesto Níquel

Realizado por: Ruiz, Heidi, 2020.

Interpretación de resultados: En el punto Sacha central existió una concentración de 35.47 mg/L, a través de una media ponderada, por lo que indica que hay una mayor acumulación de Níquel, mientras que en el punto Nantu-A se obtuvo una concentración de 7.91 mg/L, es decir una menor acumulación de Níquel.

- Plomo

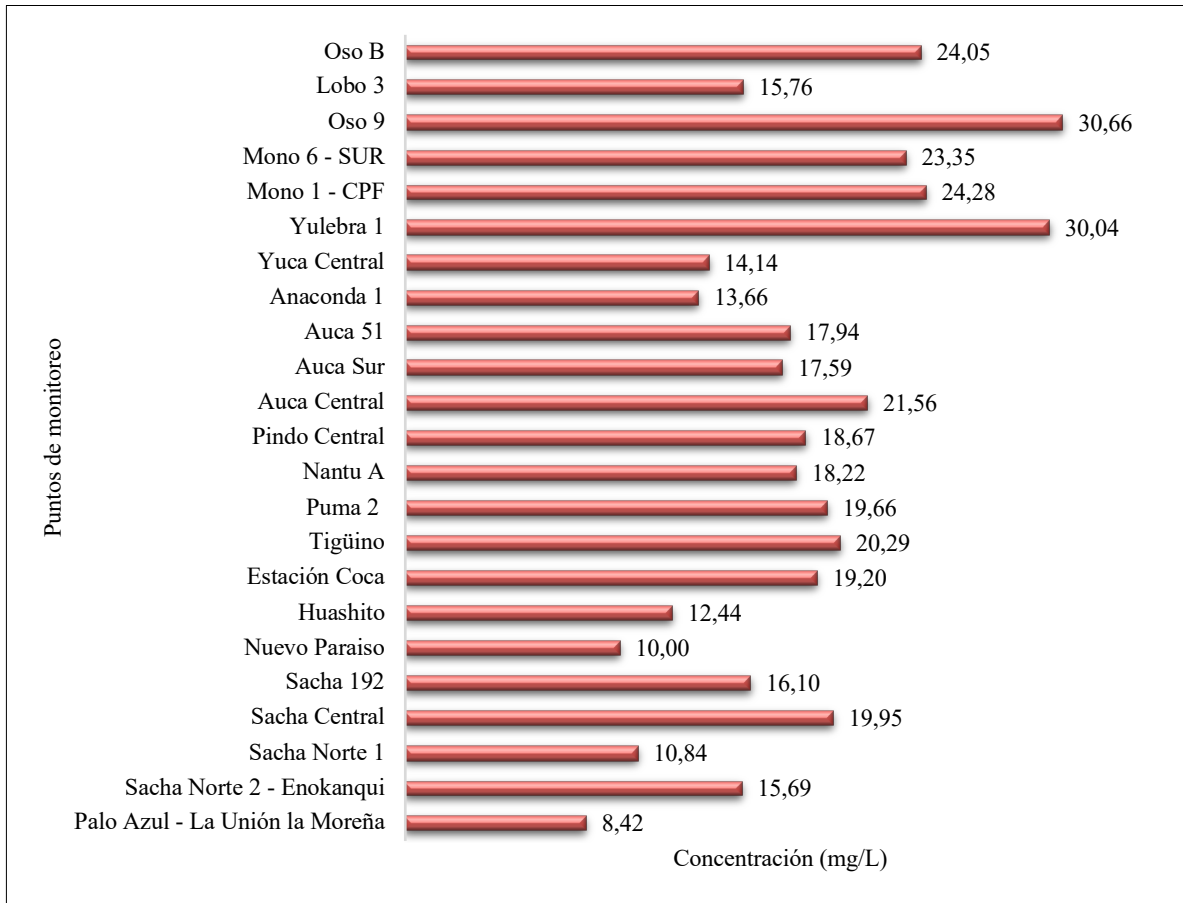
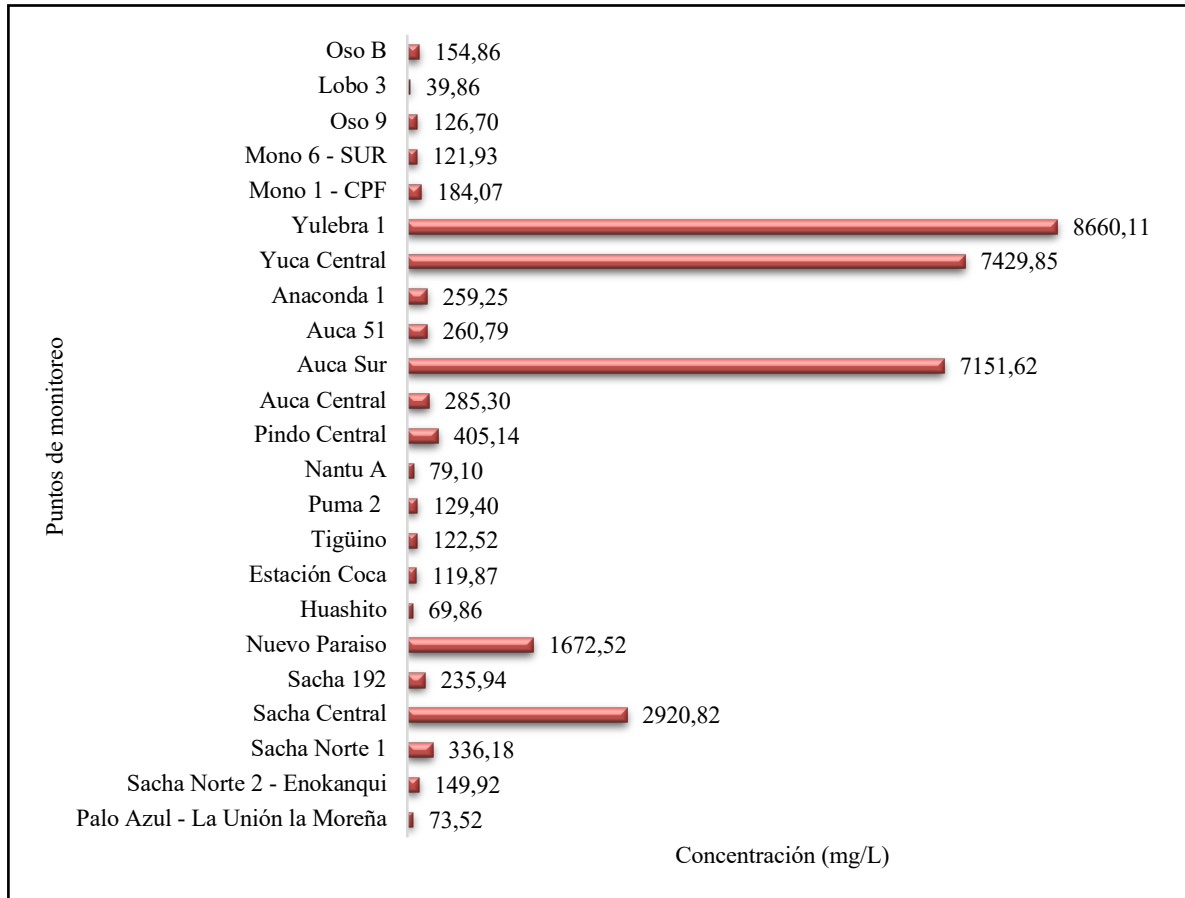


Gráfico 6-4: Compuesto Plomo

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

Interpretación de resultados: En el punto Oso 9 existió una concentración de 30.66 mg/L por medio de una media ponderada, lo que indica una mayor acumulación de Plomo, mientras que en el punto Palo Azul-La Unión la Moreña se obtuvo una concentración de 8.42 mg/L, es decir una menor acumulación de Plomo.

- Hidrocarburos Totales de Petróleo



Gráfico 7-4: Compuesto TPH

Realizado por: Ruiz, Heidi, 2020.

Interpretación de resultados: En el punto Yulebra 1 existió una concentración de 8660.11mg/L a través de una media ponderada, por lo que indica una mayor acumulación de TPH, mientras que en el punto Lobo 3 tuvo una concentración de 39.86 mg/L, es decir una menor acumulación de TPH.

4.3. Calidad de agua en Ríos

4.3.1. Sustancias conservativas y no conservativas

Los contaminantes conservativos son aquellos que no son afectados por los procesos naturales, en principio dichas concentraciones solo son reducidas por dilución. Dentro de este tipo de contaminación se encuentran muchas sustancias inorgánicas, su estructura química se mantiene a lo

largo del tiempo a pesar de su interacción con los materiales del medio. Los no conservativos son sustancias que pueden ser degradadas por los procesos naturales de auto-purificación y sus concentraciones se reducen con el tiempo, dependiendo de la calidad del agua receptora, de la temperatura y de otros factores ambientales. Entran en este tipo de contaminación la mayoría de las sustancias orgánicas, algunas sustancias inorgánicas y muchos microorganismos.

4.3.2. Modelo teórico general

Por medio del uso de software especializado se identificó la dirección de los Ríos en la zona de estudio. Este es un parámetro importante para el modelo matemático La dirección se lo realiza con las herramientas de HYDROLOGY sustentado en el software (arcgis).

Se seleccionaron los ríos de primer orden, río Napo y de segundo orden río Payamino, río Coca, río Jivino, río Huamayacu, río Blanco y río Sacha, debido a la cercanía de los puntos de monitoreo y a la existencia de información cartográfica de antes y después de la descarga de los contaminantes en la fuente receptora, y el caudal promedio es la media ponderada de los datos proporcionados por dicha información de cada uno de los ríos

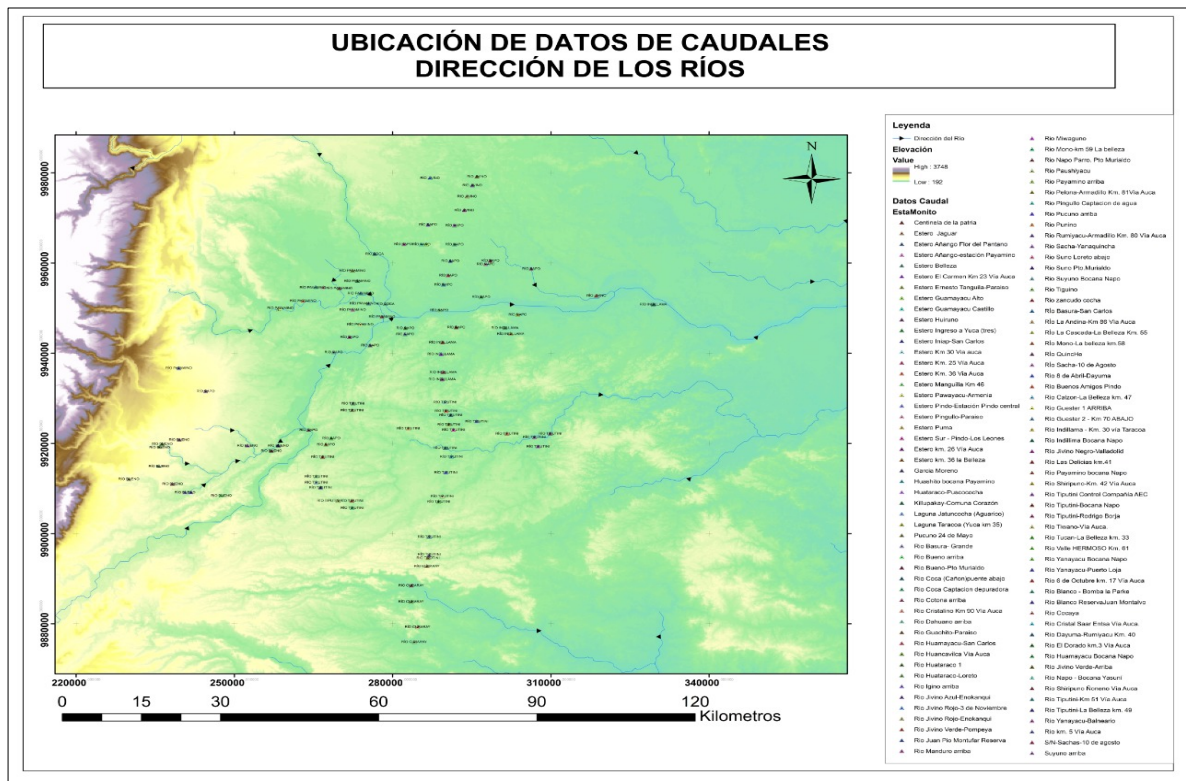


Gráfico 8-4: Dirección de los ríos de la zona de estudio

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

4.4. Estimación de concentración de variables

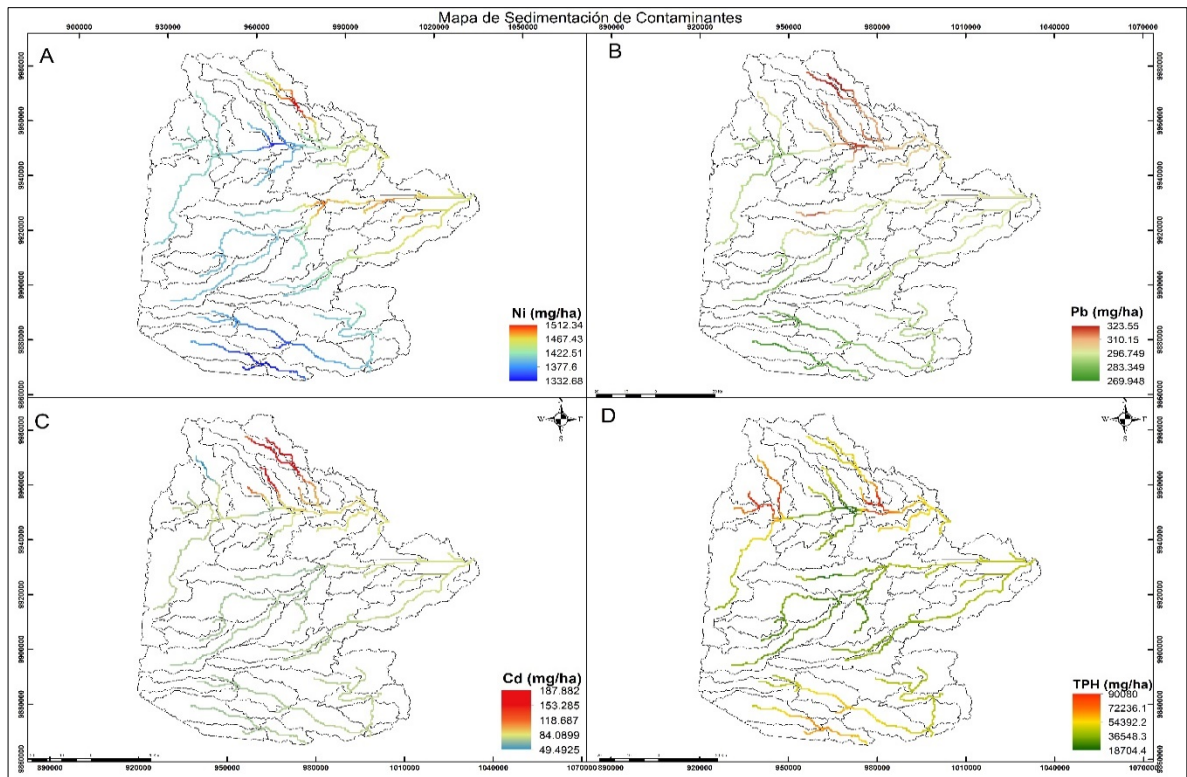


Gráfico 9-4: Aplicación del modelo matemático

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

En el gráfico (6-4) se observa que una vez aplicado el modelo matemático en el modelamiento SWAT, el mapa A indica que la sedimentación de Ni va de 1332.68 a 1512.34 mg/ha, donde las microcuencas de la zona norte y centro-este tienden a tener mayor acumulación de dicho contaminante. Por otro lado, en el mapa B, la concentración de Pb va de 269.948 a 323.55 mg/ha en las microcuencas de la zona norte. El Cd es el contaminante que menor sedimentación presenta, de 49.49 a 187.88 mg/ha y mantienen la predominancia, al igual que en los anteriores casos, de mayor acumulación en las microcuencas de la zona norte. En contraste a este, los TPH son los que cubren un mayor rango de sedimentación de 18704.4 a 90080 mg/ha en la mayoría de microcuencas, por lo estos excedería la capacidad de carga, suponiendo una acumulación virtual de dichos contaminantes. Cabe señalar que se programó un período de 5 años, correspondiente al período de monitoreo, como el período de iso-balance en donde la escurriencia y precipitación garantizan una acumulación hídrica correspondiente al balance de los cuerpos hídricos subterráneos sean estos confinados o libres según la litología que los origine.

4.5. Balance de masas

Tabla 19-4: Balance de masa de las variables en cada río estimado

COMPUESTO NO CONSERVATIVO	AÑO	PAYAMINO- NAPO	COCA- NAPO	JIVINO- NAPO	HUAMAYACU- NAPO	BLANCO- NAPO	SACHA- NAPO
Cadmio (mg/L)	2015	0.23	0.19	0.29	0.41	0.45	0.38
	2016	1.37	1.74	1.63	1.73	1.24	1.50
	2017	0.64	0.78	1.11	0.85	0.72	1.39
	2018	1.43	1.35	1.37	8.70	0.42	0.80
	2019	0.62	0.38	0.29	0.31	0.33	0.32
Níquel (mg/L)	2015	14.65	14.86	16.29	19.82	19.78	17.38
	2016	21.10	19.33	17.23	19.98	18.35	17.61
	2017	8.27	8.33	8.81	9.16	7.93	8.04
	2018	22.14	20.17	18.41	17.77	15.00	15.62
	2019	28.69	26.33	24.80	29.86	29.10	26.46
Plomo (mg/L)	2015	13.90	14.44	14.08	16.22	16.35	14.95
	2016	15.30	13.78	14.75	14.55	13.89	13.59
	2017	15.48	16.41	18.98	20.05	17.44	18.20
	2018	20.47	17.49	19.56	13.96	12.06	14.44
	2019	18.86	17.05	18.02	18.97	18.63	18.11
TPH (mg/L)	2015	1982.78	3247.43	7053.21	15525.67	19067.10	12703.12
	2016	1527.56	2337.75	2089.90	2752.65	2028.58	2203.10
	2017	868.26	1226.36	2027.12	4505.49	4992.42	3660.50
	2018	1081.63	1592.38	1932.23	2882.71	1959.96	1890.00
	2019	90.82	129.20	320.79	811.36	934.73	633.72

Realicado por: Ruiz, Heidy, 2020

- Cadmio

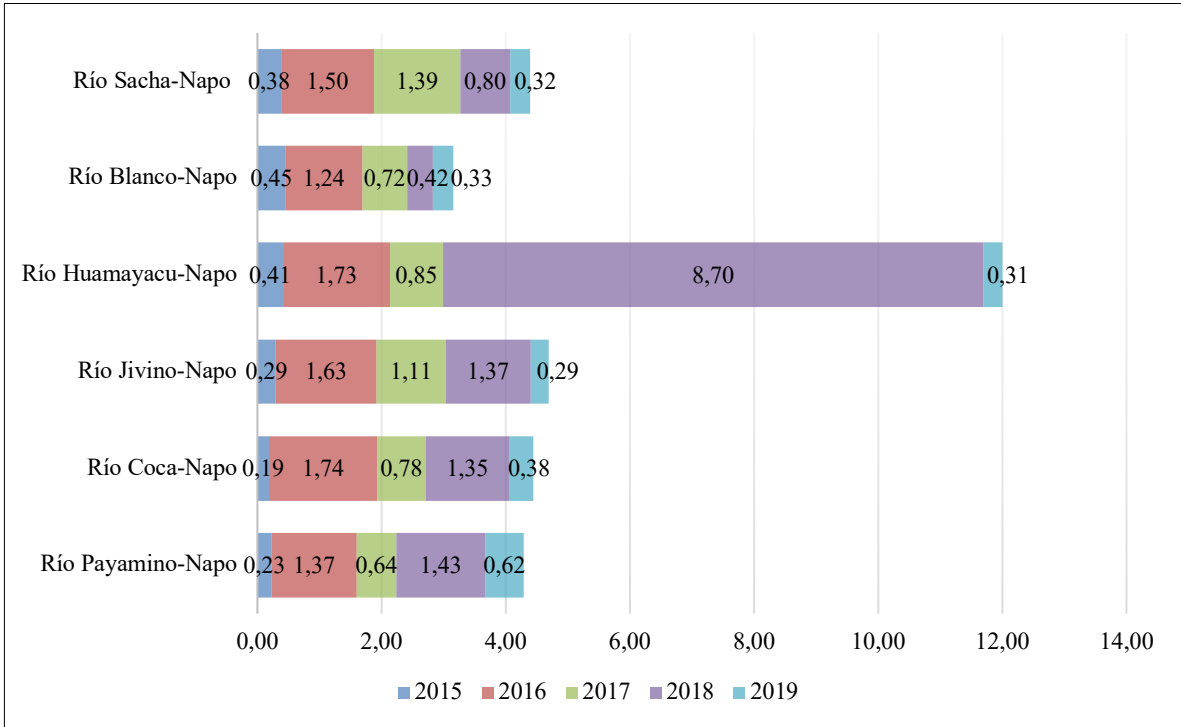


Gráfico 10-4: Balance de masa de Cadmio

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

Interpretación: mediante el balance de masa realizado se obtiene como resultado que en la relación de contaminación del río principal de la provincia de Orellana (río Napo) con los ríos secundarios se encuentra la mayor concentración de Cadmio en el río Huamayacu con 8,70 mg/l ocurrido en el año 2018 el cual sobrepasa los límites permisibles, teniendo en consideración que en ese año se encuentra la mayor concentración de cadmio en todos los ríos estudiados, pero existe una considerable disminución en el año 2019 con una concentración de 0,29 mg/L en el río Jivino-Napo lo cual se considera favorable para la población ya que el cadmio al llegar a los ríos se deposita en los sedimentos es absorbido por plantas y animales que llegando a la cadena alimentaria perjudica a los pobladores de la provincia causando daños en sus riñones, pulmones y sistema nervioso. (Mero et al. 2019)

- Níquel

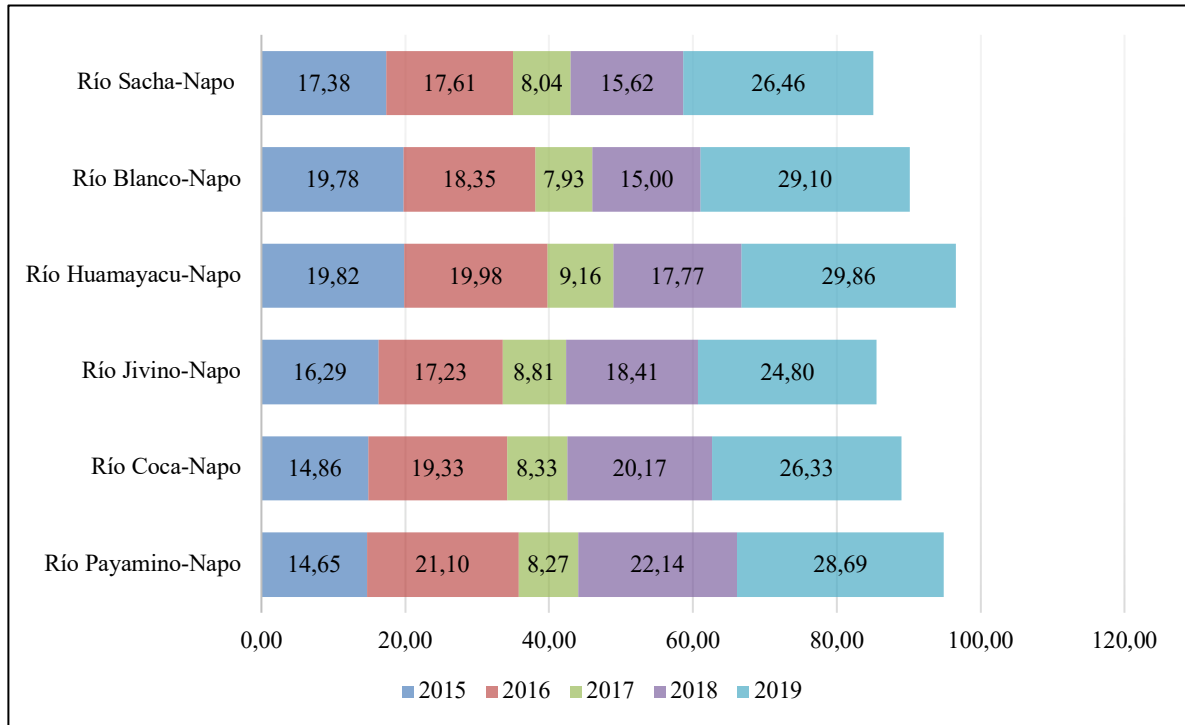


Gráfico 11-4: Balance de masa de Níquel

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

Interpretación: el análisis en la concentración de Níquel nos indica que existe una mayor concentración en el año 2019 en todos los ríos, concerniente a la relación río Huamayacu – Napo tiene una concentración de 29,86 mg/L siendo esta la mayor de todas y la menor concentración en el mismo año con 24,80 mg/L en el río Jivino-Napo.

El Níquel al terminar en la superficie de agua puede disminuir el rango de crecimiento de algas ocasionando alteración en los ciclos biogeoquímicos, la retención de nutrientes, la formación y estabilidad de los sedimentos y modifican la velocidad de la corriente.(Bojorge-García y Cantoral 2016)

Puede ser también peligroso cuando se excede la máxima cantidad tolerable. Esto puede causar varios tipos de cánceres en diferentes lugares de los cuerpos de los animales, mayormente en aquellos que viven cerca de refinerías. No es conocido que el níquel se acumule en plantas o animales. Como resultado el níquel no se biomagnifica en la cadena alimentaria.(Lenntech 2019)

- Plomo

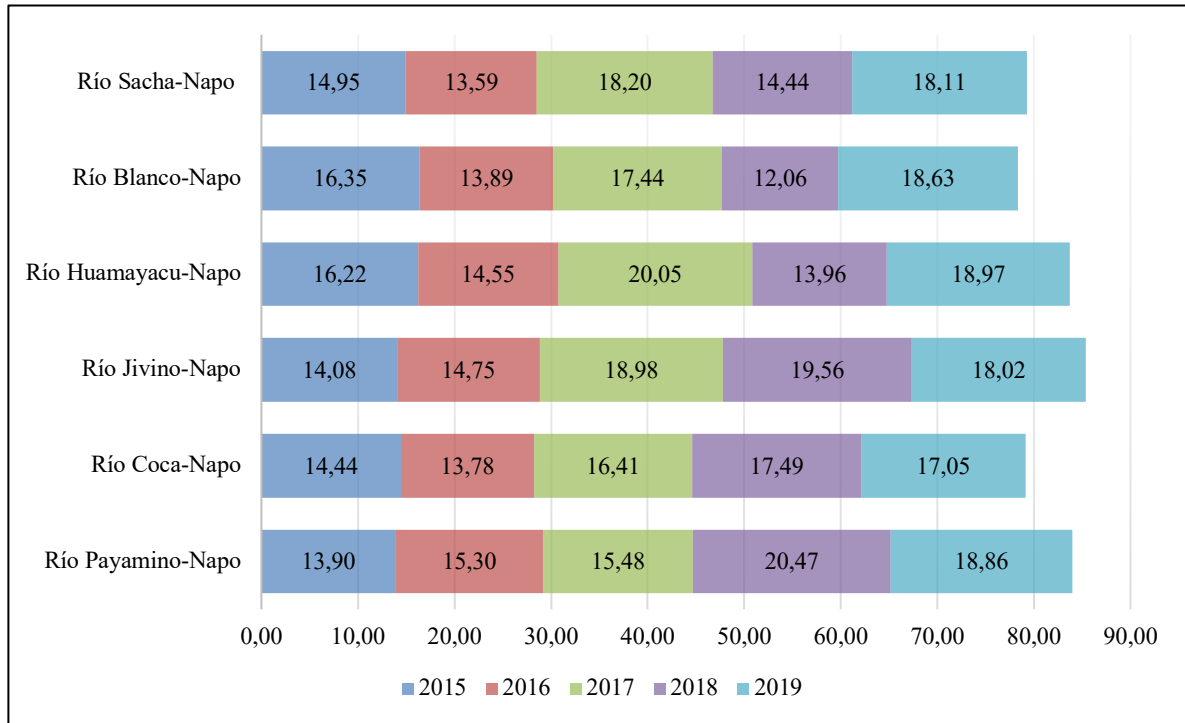


Gráfico 12-4: Balance de masa de Plomo

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

Interpretación: con respecto a la concentración de plomo a pesar de que no exista gran variabilidad en sus concentraciones se observa que un mayor porcentaje de este metal en la relación río Payamino-Napo en el año 2018 con 20,47 mg/L, concentración que representa un peligro ya que el plomo no es un elemento biodegradable y persiste en el agua y sedimentos acumulándose en los sistemas acuáticos ocasionando alteraciones en los organismos vivos que lo habitan con la posibilidad de que llegue a la cadena alimentaria y perjudique la salud de los pobladores.

- Hidrocarburos Totales de Petróleo

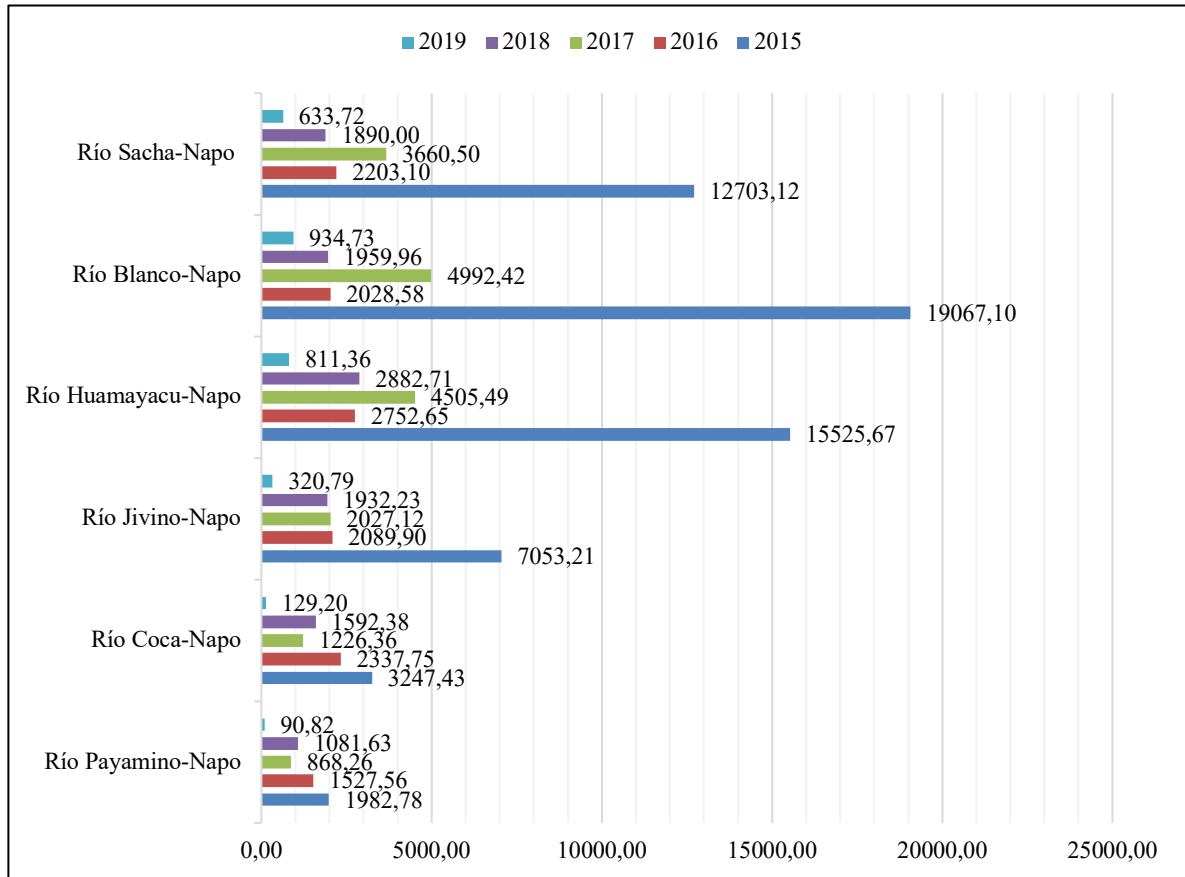


Gráfico 13-4: Balance de masa de TPH

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

Interpretación: mediante el diagrama de barras se puede identificar que la mayor concentración de hidrocarburos totales de petróleo se encuentra en la relación Río Blanco – Napo con 19057, 10 mg/L o ppm, siguiéndole la relación Río Jivino-Napo con 15525,67 mg/L y la menor concentración ocurrió en el año 2019 relación río Coca-Napo por lo que se puede evidenciar una descendiente actividad hidrocarburífera en la localidad o a la vez un mejor tratamiento de TPH.

4.6. Aplicación del Modelo Matemático para compuestos no conservativos

Para la aplicación del modelo se tomó en consideración algunos parámetros, uno de los cuales fue la constante de la tasa de desoxigenación (K) donde se consideró la fórmula propuesta por Wright y McDonnell (1979), en cuanto a la distancia (x) se consideró 0 debido a que se trabajó con compuestos no conservativos, es decir a aquellos que sufren diversos tipos de reacciones.

Tabla 20-4: Parámetros a considerar en el modelo matemático

PARÁMETRO	PAYAMINO	COCA	JIVINO	HUAMAYACU	BLANCO	SACHA
K (d⁻¹)	0.30	0.42	0.67	0.76	0.82	0.67
X (m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
u (m/s)	0.31	0.22	0.36	0.40	0.25	0.33

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

Mediante la fórmula del modelo matemático descrito anteriormente se realizó la aplicación en los compuestos no conservativos como fue el cadmio, Níquel, plomo, Tph en los ríos considerados antes y después de la descarga de tales compuestos.

Tabla 21-4: Aplicación del modelo matemático para compuestos no conservativos

COMPUESTO NO CONSERVATIVO	AÑO	PAYAMINO-NAPO	COCA-NAPO	JIVINO-NAPO	HUAMAYACU-NAPO	BLANCO-NAPO	SACHA-NAPO
Cadmio (mg/L)	2015	0.23	0.19	0.29	0.41	0.45	0.38
	2016	1.37	1.74	1.63	1.73	1.24	1.50
	2017	0.64	0.78	1.11	0.85	0.72	1.39
	2018	1.43	1.35	1.37	8.70	0.42	0.80
	2019	0.62	0.38	0.29	0.31	0.33	0.32
Níquel (mg/L)	2015	14.65	14.86	16.29	19.82	19.78	17.38
	2016	21.10	19.33	17.23	19.98	18.35	17.61
	2017	8.27	8.33	8.81	9.16	7.93	8.04
	2018	22.14	20.17	18.41	17.77	15.00	15.62
	2019	28.69	26.33	24.80	29.86	29.10	26.46
Plomo (mg/L)	2015	13.90	14.44	14.08	16.22	16.35	14.95
	2016	15.30	13.78	14.75	14.55	13.89	13.59
	2017	15.48	16.41	18.98	20.05	17.44	18.20
	2018	20.47	17.49	19.56	13.96	12.06	14.44
	2019	18.86	17.05	18.02	18.97	18.63	18.11
TPH (mg/L)	2015	1982.78	3247.43	7053.21	15525.67	19067.10	12703.12
	2016	1527.56	2337.75	2089.90	2752.65	2028.58	2203.10
	2017	868.26	1226.36	2027.12	4505.49	4992.42	3660.50
	2018	1081.63	1592.38	1932.23	2882.71	1959.96	1890.00
	2019	90.82	129.20	320.79	811.36	934.73	633.72

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

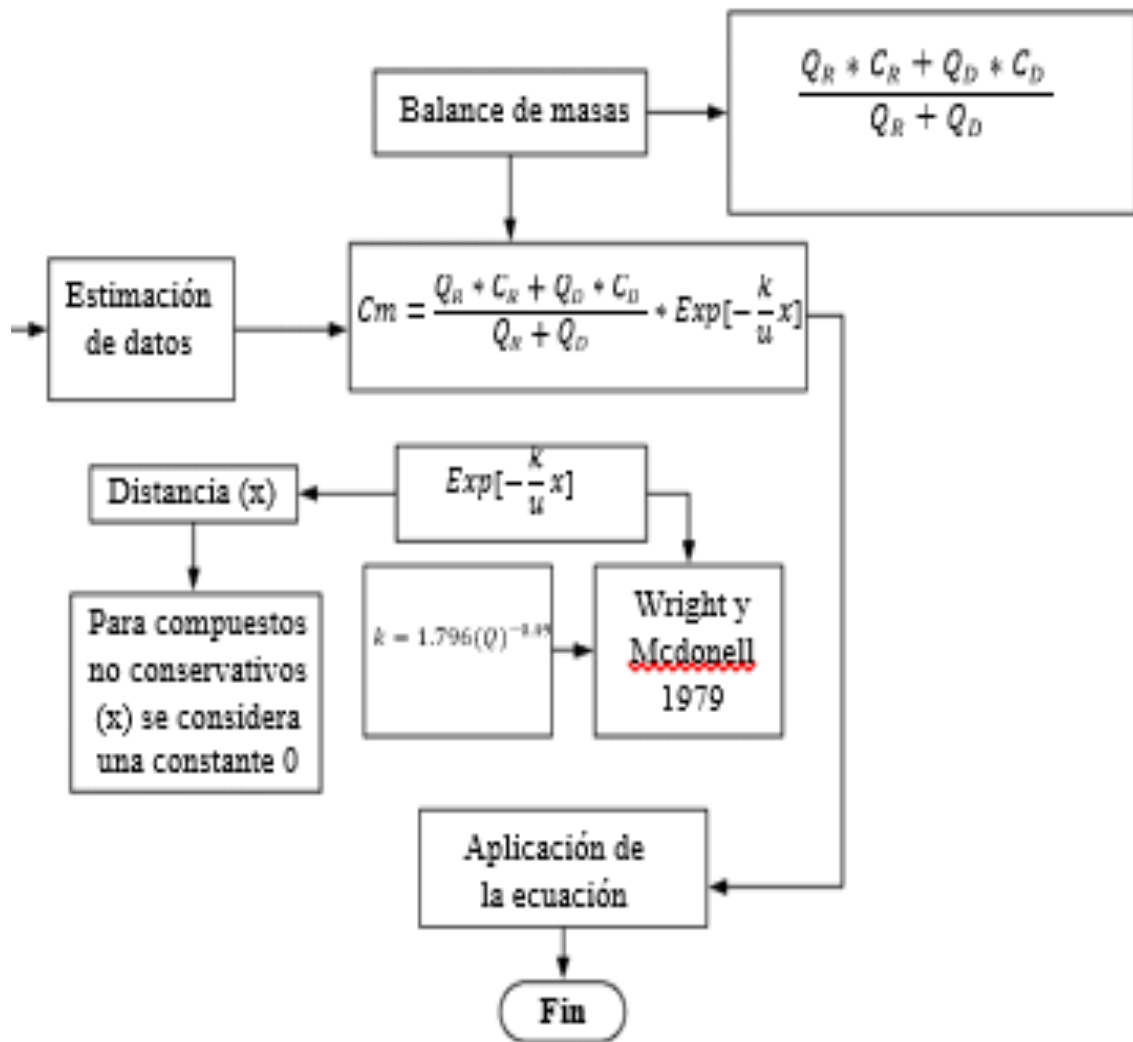


Figura 5-4: Aplicación del modelo matemático

Realizado por: Ruiz, Heidi, 2020.

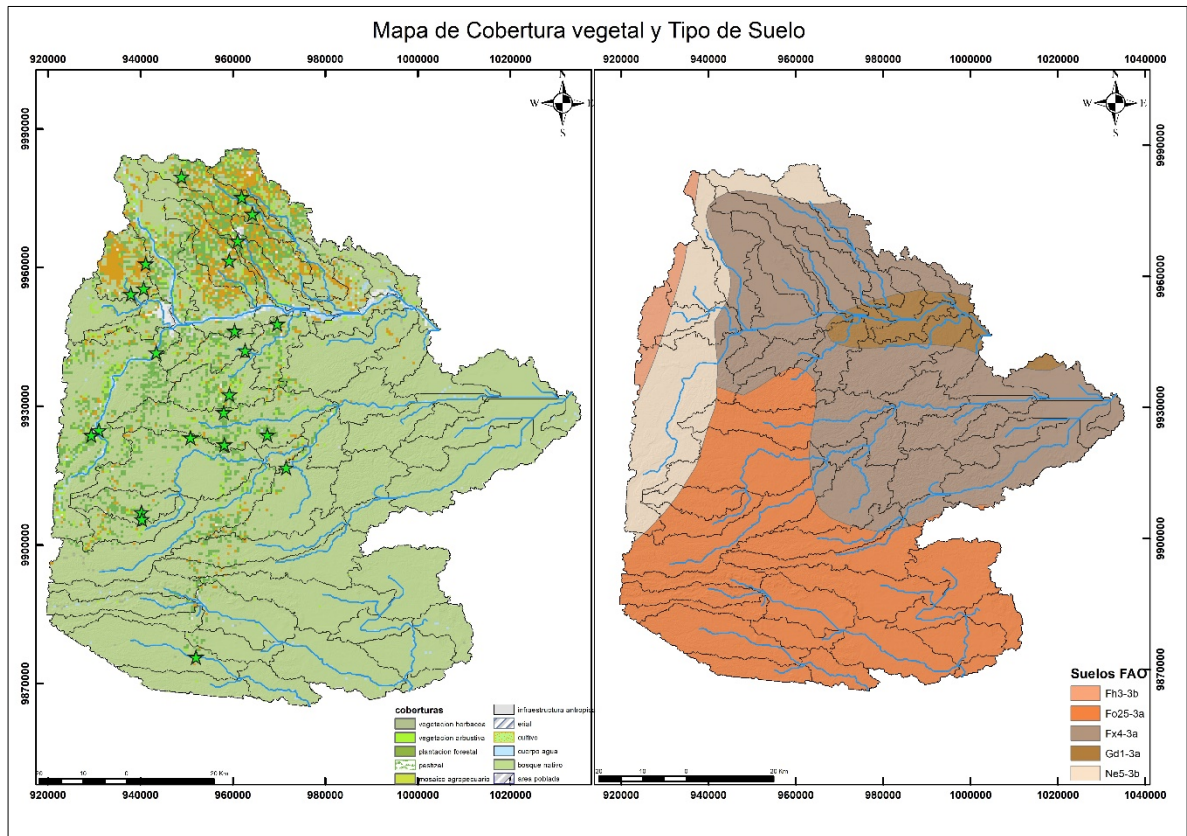


Gráfico 14-4: Mapa de cobertura vegetal y tipo de suelo

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

En el gráfico 11-4 se observa que el mapa A las coberturas vegetales con mayor porcentaje dentro del área de estudio son los de tipo bosque nativo, seguido de plantaciones forestales; adicional a esto se observa que la vegetación agropecuaria y cultivos en general son los que aprovechan las áreas colindantes a los cuerpos hídricos y mismas en que se desarrollan determinados asentamientos humanos en la zona norte.

Por otro lado, el mapa B indica el tipo de suelo predominante Fo25-3^a asociado a suelos Acrisoles pinílicos y oórticos, y Fx4-3^a asociados a Glendisoles distríticos y plintíticos según la clasificación correspondiente de la FAO (Ver Anexo D) que corresponden a los órdenes taxonómicos de inceptisoles, ultisoles, entisoles y andosoles correspondientemente.

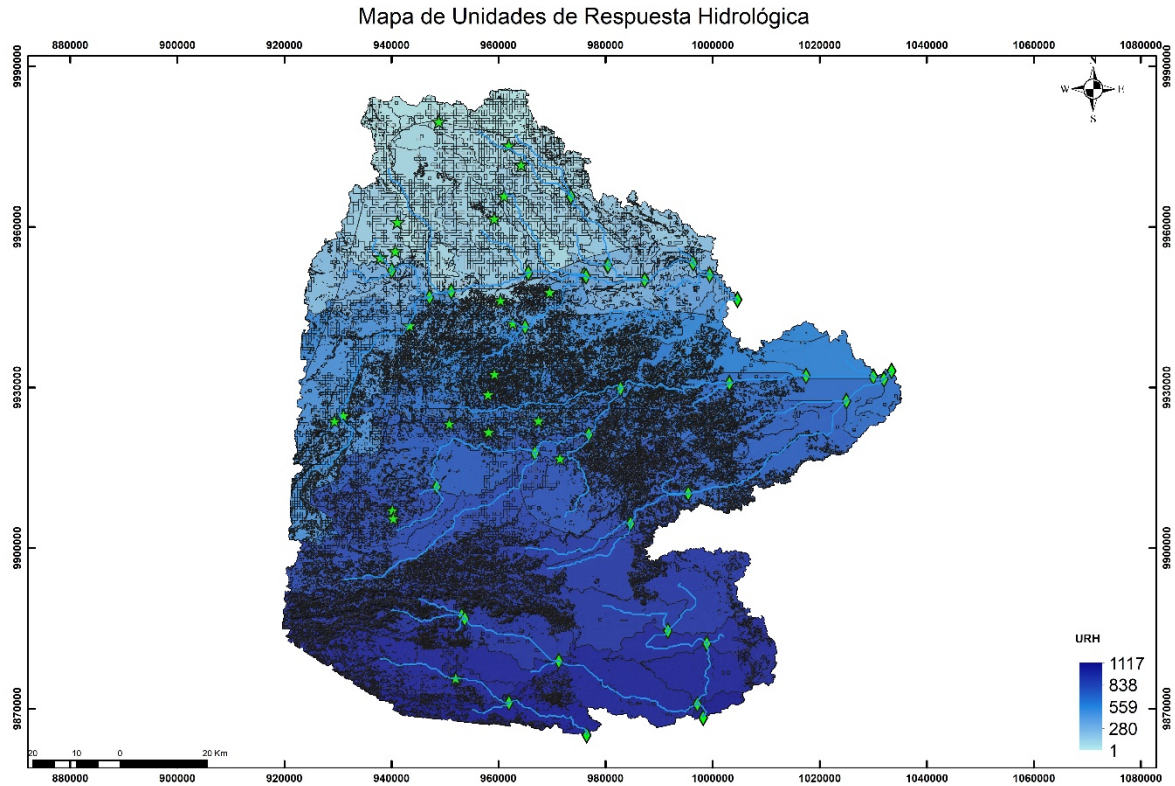


Gráfico 15-4: Mapa de unidades de respuesta hidrológica

Realizado por: Ruiz, Heidy, 2020.

Las unidades de respuesta hidrológica (URH) nos indican homogeneidad en términos de respuesta hidrológica y características geo-climáticas: la pendiente (la cual determina la velocidad de la escorrentía), la elevación (de esta depende la precipitación) y las condiciones metereológicas (temperatura, precipitación, velocidad, dirección del viento, evotranspiración y radiación solar)

Estas permiten determinar las propiedades dominantes y como indica el gráfico 12-4 el mapa posee una mayor generación de escorrentía y acumulación de agua en la zona baja de la subcuenca de forma semi-distribuida acorde a los caudales, tipo de suelo y pendiente que son los factores principales a los que se le atribuye en el modelo. Esto va ligado con la cantidad de sedimentación promedio anual por hectárea ya que es inversamente proporcional a las condiciones del ciclo hidrológico obtenido por el modelo.

CONCLUSIONES

Se realizó un análisis exploratorio de datos para la aplicación del modelo matemático de diagnóstico de calidad de agua y sedimentos, donde se identificó mediante la aplicación de gráficos estadísticos y una media ponderada la mayor concentración de los diferentes puntos de monitoreos analizados en donde, cadmio se encontró en mayor concentración en el punto Yulebra 1 con 2,68 mg /L, níquel tuvo su mayor concentración en el punto Sacha central con 35,47 mg /L, con respecto al plomo su mayor concentración fue en el punto Oso 9 con 30,66 mg /L y finalmente la mayor concentración de hidrocarburos totales de petróleo se encontró en el punto Yulebra 1 con 8660,11 mg /L.

Se estableció un modelo hidrológico mediante el cual se identificó la dirección de los ríos de primer orden río Napo y de segundo orden río Payamino, río Coca, río Jivino, río Huamayacu, río Blanco y río Sacha obteniendo así una media ponderada la cual vendría a ser el caudal promedio de los ríos antes y después de la descarga siendo el río de primer orden río Napo el de mayor caudal con 42,50 (m^3/s) seguido del río de segundo orden el río Payamino con 40,34 (m^3/s) y aplicando una ecuación determinística se realizó la diferencia de concentraciones de un punto a otro más cercano.

Se evaluó la calidad de los ríos de primer y segundo orden mediante la aplicación del modelo matemático, en donde nos indica que la sedimentación de Ni que va de 1332.68 a 1512.34 mg/ha, tiene a acumularse en la zona norte centro, la concentración de Pb que va de 269.948 a 323.55 mg/ha se acumula en la zona norte, el Cd es el contaminante que menor sedimentación presenta, de 49.49 a 187.88 mg/ha tiende a acumularse en la zona norte y los TPH es el contaminante con mayor grado de sedimentación de 18704.4 a 90080 mg/ha en todas las zonas, estableciendo así que los datos obtenidos exceden la capacidad de carga, suponiendo así una acumulación virtual de dichos contaminantes analizados en los ríos.

RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar un estudio con equipos específicos para realizar una comparación de los resultados obtenidos con el modelo matemático aplicado y los resultados por equipos especializados, para poder establecer medidas preventivas y de control en las actividades hidrocarburíferas realizadas en la provincia de Orellana y actualizar la información en la aplicación del modelo matemático según el año que deseen trabajar.

Establecer un plan de manejo ambiental para el control y tratamiento de las emisiones hidrocarburíferas ocasionadas por la actividad petrolera en la provincia de Orellana mediante el accionar de las autoridades competentes.

Se recomienda realizar constantes monitoreos en las descargas de emisiones hidrocarburíferas en las empresas petroleras situadas en la provincia de Orellana además establecer puntos de control y obtener los datos necesarios para su posterior análisis y comparación con años anteriores.

GLOSARIO

Ambiente: Región, alrededores y circunstancias en las que se encuentra un ser u objeto. El ambiente de un individuo comprende dos tipos de constituyentes: El medio abiótico y el biótico. (Labandeira et al., 2011: p. 67)

Calidad: La totalidad de las características de una entidad, que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades establecidas o implícitas. (Barrios, 2007, p. 4)

Contaminación: La contaminación es la introducción de agentes biológicos, químicos o físicos a un medio al que no pertenecen. Cualquier modificación indeseable de la composición natural de un medio; por ejemplo, agua, aire o alimentos. (Peñaloza, 2012, p.1)

Contaminante: Es aquella sustancia química, biológica o radiológica, en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o encontrarse por encima de sus concentraciones normales en la atmósfera, agua, suelo, fauna o cualquier elemento del medio ambiente, altera y cambia su composición y condición natural. (Peñaloza, 2012, p.2)

Erosión: Pérdida de la capa vegetal que cubre la tierra, dejándola sin capacidad para sustentar la vida. (Jaramillo 2002, p. 20).

Degradación de suelos: Reducción o pérdida de la productividad biológica o económica y la complejidad de las tierras agrícolas de secano, las tierras de cultivo de regadío, los pastizales, los bosques y las tierras arboladas. (Jaramillo 2002, p.74).

Hidrocarburos: Los Hidrocarburos son un grupo de compuestos orgánicos que contienen principalmente carbono e hidrógeno. Son los compuestos orgánicos más simples y pueden ser considerados como las sustancias principales de las que se derivan todos los demás compuestos orgánicos. (Secretaría de energía, 2015)

BIBLIOGRAFÍA

ALCÍVAR, C.; et al. "El crecimiento poblacional y su impacto a la contaminación ambiental". *Contribuciones a las Ciencias Sociales* [en línea], 2015, vol. 27. [Consulta: 6 marzo 2020]. ISSN 0193-2691. Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/cccss/2015/01/poblacion.html>.

ANCIENTA, C.A. *Centro de documentacion cientifica y traducciones instituto de investigación de Ingeniería Química* [en línea]. Ecuador: 2014. [Consulta: 6 marzo 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/UNAC/1124/062.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

ANLA. *Metodología para la definición de la longitud de influencia de vertimientos sobre corrientes de agua superficial autoridad nacional de licencias ambientales* [en línea]. Colombia: 2015. [Consulta: 8 agosto 2020]. Disponible en: www.anla.gov.co.

ARTURO, O.; et al. "Modelación de la calidad del agua del río Tula, estado de Hidalgo" ,*Dyna* [en línea] , 2008, vol.75, no.154, pp. 33-34. [Consulta: 15 agosto 2020]. ISSN 01878895. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532008000100001

ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTE. *Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua* [en línea]. Ecuador: 2014. [Consulta: 8 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/LEYD-E-RECURSOS-HIDRICOS-II-SUPLEMENTO-RO-305-6-08-204.pdf>.

ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTE. *Constitucion de la Republica del Ecuador* [en línea]. Ecuador: 2008. [Consulta: 21 enero 2020]. Disponible en: https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTES. *Reglamento ambiental de actividades hidrocarburíferas.* [en línea]. Ecuador: 2010. [Consulta: 9 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/RAOHE-DECRETO-EJECUTIVO-1215.pdf>

BARRABINO, A.; et al. "Enhanced sedimentation and coalescence of petroleum crude oil emulsions

by the new generation of environmentally friendly yellow chemicals new generation of environmentally friendly yellow chemicals". *Journal of Dispersion Science and Technology*, vol. 38, no. 12 (2017), pp. 1677-1686.

BARRENECHEA, A. *Aspectos físico químicos de la calidad del agua* [en línea], Colombia: Publicación anual de Ciencias, 2003. [Consulta: 21 marzo 2020]. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>-----

BARRIOS, F. Administración de calidad total para un mejoramiento continuo de los servicios en el instituto politécnico nacional [en línea]. 2007, (Colombia). [Consulta: 13 julio 2020]. Disponible en: 200.23.113.51/pdf/24787.pdf

BEJARANO, F.; et al. "Validación de un modelo hidrodinámico y calidad del agua para el Río Magdalena ". *Hidrobiologica.* , vol. 25, no. 1 (2015), Colombia pp. 7-23.

BOJORGEM.; & CANTORAL, E." La importancia ecológica de las algas en los ríos". *Hidrobiologica* [en línea], 2016, vol. 26, no. 1, pp. 1-8. [Consulta: 15 agosto 2020]. ISSN 01888897. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-8897201600010000.

BRAVO, E. *Impactos de la explotación petrolera en América Latina* [en línea]. Cuba: 2005. [Consulta: 9 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.grain.org/es/article/entries/1031-impactos-de-la-explotacion-petrolera-en-america-latina>.

CORNEJO, B.; et al. Comparación de modelos de cálculo estocástico y su aplicación en el modelamiento del índice general de la bolsa de valores de lima y la tasa de rendimiento del bono del gobierno Peruano [en línea] (Trabajo de Titulación) (Maestría) Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. 2012. pp.12-14. [Consulta: 9 marzo 2020]. Disponible en: <http://bibliotecas.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10102/ECpucob.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CASTILLO, J.; & ESPINOZA, C. *Contaminación de Recursos Hídricos* [en línea]. Argentina: 2005. [Consulta: 12 marzo 2020]. Disponible en:

<https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/1365/2/TFLACSO-02-2009SBM.pdf>

CEPAL. *Diagnóstico de la información estadística del agua 1 ecuador-cepal* [en línea]. Ecuador: 2012. [Consulta: 12 marzo 2020]. Disponible en: <https://silo.tips/download/diagnostico-de-las-estadisticas-del-agua-en-ecuador-informe-final>

CHÁVEZ, A.; & REAL, C. Evaluación integral: económica, social y ambiental de la actividad petrolera en las provincias de Orellana y Sucumbios". (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador 2011. pp. 261-263. [Consulta: 8 agosto 2020]. Disponible en: <https://1library.co/document/y6emk1nz-evaluacion-economica-ambiental-actividad-petrolera-provincias-orellana-sucumbios.html>.

CONGRESO NACIONAL DE ECUADOR. *Codificación De La Ley De Gestion Ambiental* [en línea]. Ecuador: 2004. [Consulta: 8 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf>

CONGRESO NACIONAL DE ECUADOR. *Ley De Prevencion y Control De La Contaminacion Ambiental* [en línea]. Ecuador: 2005. [Consulta: 8 marzo 2020]. Disponible en: www.lexis.ec.

CONGRESO NACIONAL DE ECUADOR. *Ley Orgánica de Salud.* Ecuador [en línea]. Ecuador: 2006. [Consulta: 8 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/LEY-ORG%C3%81NICA-DE-SALUD4.pdf>

ESTRELA, T. *Modelos matemáticos para la evaluación de recursos hídricos* [en línea]. Chile: 1992. [Consulta: 6 marzo 2020]. Disponible en: chrome-extension://dagcmkpagjhlakfdhnbomgmjdpkdklff/enhanced-reader.html?pdf=http%3A%2F%2Faulavirtual.usal.es%2Faulavirtual%2Fdemost%2Fsimulacion%2Fmodulos%2FLibros%2Funi_02%2FModelos_matematicos.pdf.

FAO. *Los contaminantes agrícolas: una grave amenaza para el agua del planeta | Agronoticias: Actualidad agropecuaria de América Latina y el Caribe* [en línea]. 2018. [Consulta: 6 marzo 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/1141955/>.

ITOP. *Efectos de la contaminación por hidrocarburos en el medio marino* [en línea]. 2013.

[Consulta: 12 abril 2020]. Disponible en:
https://www.itopf.org/uploads/translated/Final_TIP_13_2011_SP.pdf

JARAMILLO, D. *Introducción a la ciencia del suelo* [en línea]. Colombia: 2002. [Consulta: 25 enero 2020]. Disponible en: <http://sistemaagricola.com.mx/blog/materia-organica-la-actividad-biologica/>

LABANDEIRA, X.; et al. *Economía ambiental* [en línea]. Madrid: Pearson, 2007, pp. 139-145. [Consulta: 25 noviembre 20219. Disponible en: <https://www.pearsoneducacion.net/mexico/tienda-online/economia-ambiental-labandeira-1ed-ebook1>

LENNTech, H. Plomo (Pb) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente [en línea], España; 2019. [Consulta: 15 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/ni.htm>.

MARUSIC, G. "A study on the mathematical modeling of water quality in «river-type» aquatic systems". *Mathematica Systeml*, vol. 8, no. 2 (2013), pp. 82-83.

MERO, M.; et al. "Concentration of cadmium in water, sediments, eichhornia crassipes and pomacea canaliculata in the Guayas (Ecuador) river and tributaries". *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* [en línea], 2019, (Ecuador) vol. 35 (no. 3,) pp. 623-640. [Consulta: 15 agosto 2020]. ISSN 01884999. DOI 10.20937/RICA.2019.35.03.09. Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2019.35.03.09>.

MEYBECK, M.; et al. *Water Quality* [en línea]. Washington: 2006. [Consulta: 23 marzo 2020]. Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wqmchap2.pdf

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Acuerdo Ministerial 097. Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua* [en línea]. Ecuador: 2015. [Consulta: 23 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.gob.ec/regulaciones/acuerdo-ministerial-097-anexos-normativa-reforma-libro-vi-texto-unificado-legislacion-secundaria-ministerio-ambiente>

MUÑOZ, N.; & LUIS, J. "Aplicación de los modelos matemáticos de flujo y transporte de

contaminantes para el diseño de sistemas de remediación". *Ciencias Ambientales* [en línea], 2015, (España) vol.7 (no.8), pp. 361-370. [Consulta: 28 marzo 2020]. Disponible en: http://www.igme.es/ACTIVIDADES/IGME/LINEAS/HIDROYCA/publica/libros4_CCA/lib15/pdflib15/034.pdf

ONU. *Informe mundial de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos* [en línea]. 20019 [Consulta: 09 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>

OWA, F.W. "Water pollution : sources , effects , control and management". *Meditarranean Journal of Social Sciences* [en línea], 2014, vol. 3 (no.8), pp. 1-6. [Consulta: 23 marzo 2020]. Disponible en: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1024.7661&rep=rep1&type=pdf#:~:text=Regulation%20and%20monitoring%20is%20an,the%20adverse%20effects%20of%20pollution.&ext=Pollution%20control%20means%20to%20control,water%20and%20land%20or%20soil>.

PÉREZ, C.; et al. "Determinación de elementos mayores en sedimentos provenientes de zonas afectadas por actividades petroleras en Ecuador". *Avances en Ciencias e Ingenierías* [en línea], 2015 , (Ecuador) vol. 7 (no. 2), pp. 43-47 [Consulta: 6 marzo 2020]. ISSN 1390-5384. DOI 10.18272/aci.v7i2.271. Disponible en: researchgate.net/publication/291953498_Determinacion_de_elementos_mayores_en_sedimentos_provenientes_de_zonas_afectadas_por_actividades_petroleras_en_Ecuador.

PEÑALOZA, J. *Desarrollo local sostenible* [en línea]. España: 2015. [Consulta: 9 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/delos/13/japp.html>

PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PROVINCIA DE ORELLANA [en línea]. Ecuador: 2015. [Consulta: 9 agosto 2020]. Disponible en: https://www.gporellana.gob.ec/wp-content/uploads/2015/11/PDYOT-2015-2019_ORELLANA_ACTUALIZADO.pdf.

PINEDA, C.; et al. *Guía nacional de modelación de recursos hídricos para aguas superficiales continentales* [en línea], Bogotá: 2018, [Consulta: 10 mayo 2020]. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/Gu%C3%ADa_modelaci%C3%B3n_Final_%20aguasuperficialcontinental.pdf

RODRÍGUEZ, R.; et al. *Calidad de Agua* [en línea], Perú: 2005, [Consulta: 9 marzo 2020]. Disponible en: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:65rXfygmcNgJ:https://www.u-}cursos.cl/ingenieria/2005/1/CI41B/1/material_docente/bajar%3Fid_material%3D62657+&cd=1&hl=es419&ct=clnk&gl=ec.

QUIQUINTA, W.; et al. *Contaminación del agua e impactos por actividad hidrocarburífera en la serranía Aguaragüe* [en línea], Bolivia: Edición Fundación PIEB, 2003 [Consulta: 6 marzo 2020]. Disponible en: <https://books.google.com/books?id=1-QU0Xw9VXwC&pgis=1>.

SÁMANO, M.L. *Desarrollo e Integración de Modelos Numéricos de Calidad del agua en un Sistema de Información Geográfica* [en línea]. Cantabria: 2011. [Consulta: 9 marzo 2020]. Disponible en: <https://tdx.cat/handle/10803/35687>

SECRETARÍA DE ENERGÍA. *Definición de Hidrocarburos* [en línea]. México: 2015. [Consulta: 15 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.gob.mx/sener/articulos/que-solos-hidrocarburos#:~:text=Los%20Hidrocarburos%20son%20un%20grupo,todos%20los%20dem%C3%A1s%20compuestos%20org%C3%A1nicos>.

TOREY, S. *Contaminación del agua por actividades industriales. nuestra esfera* [en línea]. España: 2014. [Consulta: 6 marzo 2020]. Disponible en: <http://nuestraesfera.cl/zoom/contaminacion-del-agua-por-actividades-industriales/>.

TORREZ, M. Evaluación de la calidad de las aguas del río Katari (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia: 2011. pp. 35-37. [Consulta: 6 marzo 2020]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=1P5sBgAAQBAJ&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.

VALCÁRCEL, L.; ET AL. "Modelación de la calidad del agua en el segmento medio del río Luyanó". *Nucleus* [en línea], 2010,(Cuba) vol.8 (no.47), pp. 1-2 [Consulta: 9 marzo 2020]. ISSN 0864-084X. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-084X2010000100003.

VELÁSQUEZ, J. "Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación". *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* [en línea], 2017 (Colombia) vol. 8, (no. 1), pp. 151-167. [Consulta: 9 marzo 2020]. ISSN 2145-6097. DOI 10.22490/21456453.1846. Disponible en: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1846/2065>.

ZIEMINSKA, J. "Review of mathematical model of water quality". *Ecology Chemistry engineer*, vol. 19, no. 2 (2012), pp. 197-211.

ANEXOS

ANEXO A. MODELAMIENTO SWAT

SUB	YEAR	MON	AREAKm2	PRECIPmm	SNOWMELTmm
1	2015	1	166.45	316.154	0
2	2015	1	165.12	316.154	0
3	2015	1	85.792	222.898	0
4	2015	1	104.78	333.177	0
5	2015	1	67.373	222.898	0
6	2015	1	155.18	173.103	0
7	2015	1	156.68	333.177	0
8	2015	1	44.874	222.898	0
9	2015	1	158.71	316.154	0
10	2015	1	0.24239	333.177	0
11	2015	1	48.832	333.177	0
12	2015	1	74.605	222.898	0
13	2015	1	72.029	222.898	0
14	2015	1	116.57	173.103	0
15	2015	1	28.194	222.898	0
16	2015	1	177.89	333.177	0
17	2015	1	252.01	316.154	0
18	2015	1	80.312	173.103	0
19	2015	1	53.18	333.177	0
20	2015	1	14.433	222.898	0
21	2015	1	269.24	222.898	0
22	2015	1	94.573	222.898	0
23	2015	1	96.682	333.177	0
24	2015	1	124.47	333.177	0
25	2015	1	171.32	333.177	0
26	2015	1	87.059	222.898	0
27	2015	1	1.8716	49.961	0
28	2015	1	131.4	49.961	0
29	2015	1	6.7243	49.961	0
30	2015	1	33.394	34.313	0
31	2015	1	41.998	222.898	0
32	2015	1	129.94	222.898	0
33	2015	1	155.82	34.313	0
34	2015	1	112.72	164.811	0
35	2015	1	338.97	245.791	0
36	2015	1	131.04	164.811	0
37	2015	1	95.925	164.811	0
38	2015	1	40.134	245.791	0
39	2015	1	623.99	465.319	0
40	2015	1	372.8	245.791	0
41	2015	1	142.53	164.811	0
42	2015	1	291.39	164.811	0

PETmm	ETmm	SWmm	PERCmm	SURQmm	GW_Qmm
88.877	65.23	164.551	128.227	113.759	86.744
88.516	64.67	157.098	122.705	121.074	83.074
98.899	61.326	180.586	113.06	42.12	129.542
74.631	62.332	176.85	167.45	97.914	156.886
97.464	60.056	176.206	109.96	45.548	126.881
91.045	63.682	132.916	78.911	31.77	98.018
74.88	62.56	178.478	170.239	94.468	159.7
100.464	62.117	179.508	117.257	38.59	134.009
89.632	66.138	178.747	140.102	99.82	94.516
132.144	92.501	0	0	0	0
83.961	66.983	208.14	167.472	98.068	156.572
102.486	63.657	183.615	109.208	47.101	125.504
106.187	66.08	186.561	113.677	43.136	129.621
92.036	63.273	135.731	91.749	19.98	119.821
115.605	74.295	227.934	106.123	50.871	121.928
79.25	64.664	193.417	175.861	88.793	165.138
92.373	67.027	175.018	139.525	104.441	93.607
92.252	65.43	152.703	84.849	24.747	109.509
75.439	62.572	180.108	177.911	86.423	166.764
109.496	68.91	198.103	103.898	53.716	118.359
96.87	59.197	172.411	117.339	36.527	133.954
96.738	59.207	174.079	118.996	35.847	135.927
74.654	62.14	177.629	182.481	80.264	171.542
75.701	62.239	174.53	182.343	81.993	170.985
74.659	61.983	177.638	181.832	81.549	170.835
97.292	60.05	179.753	119.24	35.192	136.34
132.55	56.187	155.941	0	2.647	41.672
132.551	55.911	153.175	0.148	2.532	42.052
132.548	56.191	155.95	0	2.621	41.756
162.768	60.261	126.131	0	0.077	0
99.1	61.549	185.159	119.785	35.191	136.961
97.383	60.123	179.921	114.23	35.383	130.737
158.75	55.051	121.221	0	0.241	0
116.164	62.308	177.942	65.67	19.343	61.003
88.585	55.235	175.684	132.276	48.075	150.393
116.438	62.615	178.703	67.538	16.432	63.159
116.328	62.535	178.288	65.024	20.717	60.689
89.511	55.959	181.695	136.857	45.177	156.089
84.35	62.199	148.471	195.669	193.766	154.13
88.484	54.703	173.667	135.435	50.017	153.752
116.172	62.305	177.932	65.344	20.92	60.613
116.661	62.829	179.237	67.778	14.887	63.428

WYLDmm	SYLDt_ha	ORGNkg_ha	ORGPkg_ha	NSURQkg_ha	SOLPkg_ha
205.302	2.802	4.198	0.594	0.021	0.02
209.284	8.458	6.033	0.858	0.021	0.018
178.56	2.367	1.004	0.13	0.007	0.006
263.519	1.634	1.971	0.29	0.017	0.015
178.622	1.014	0.918	0.13	0.021	0.008
135.091	0.895	1.031	0.143	0.012	0.005
263.233	1.893	1.897	0.277	0.014	0.013
179.359	1.011	0.653	0.086	0.005	0.006
199.418	1.365	3.129	0.431	0.019	0.021
0	0	0	0	0	0
264.895	1.551	1.463	0.205	0.017	0.012
178.785	2.294	1.286	0.179	0.022	0.009
179.217	1.697	0.873	0.113	0.007	0.005
146.707	0.509	0.414	0.056	0.002	0.004
178.482	1.256	0.884	0.116	0.009	0.005
264.369	2.535	1.677	0.24	0.009	0.01
203.467	3.834	3.429	0.47	0.015	0.02
140.446	1.464	0.774	0.109	0.009	0.007
267.265	13.357	3.538	0.514	0.011	0.01
177.518	1.884	1.089	0.143	0.025	0.01
179.196	0.953	0.637	0.086	0.005	0.006
179.461	0.149	0.361	0.047	0.005	0.006
266.416	13.029	3.393	0.486	0.005	0.008
267.677	12.193	3.254	0.466	0.007	0.009
267.773	13.594	3.946	0.572	0.005	0.008
179.305	0.077	0.236	0.031	0.004	0.006
46.069	0.001	0.003	0	0.002	0.001
46.312	0.001	0.006	0.001	0.002	0.001
46.089	0	0.002	0	0.002	0.001
0.407	0	0	0	0	0
179.4	0.048	0.175	0.023	0.004	0.006
178.467	0.332	0.519	0.068	0.004	0.005
0.671	0	0	0	0	0
86.095	0.214	0.604	0.08	0.005	0.005
210.196	5.028	2.01	0.282	0.006	0.005
83.586	0.118	0.364	0.049	0.006	0.005
86.916	0.973	0.9	0.127	0.009	0.006
211.479	1.609	0.901	0.123	0.012	0.007
359.213	24.685	5.08	0.728	0.009	0.02
212.678	2.531	1.24	0.177	0.008	0.007
87.556	0.278	0.779	0.104	0.005	0.005
82.134	0.095	0.292	0.039	0.005	0.004

ANEXO B. MODELO HIDROLÓGICO

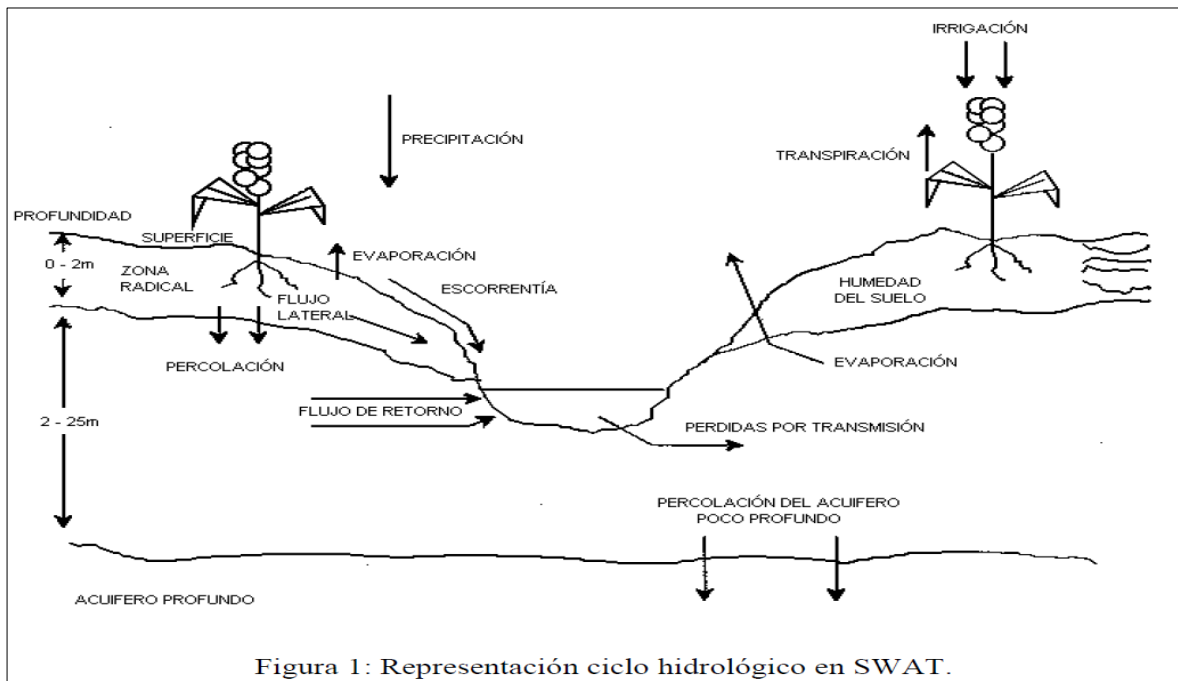
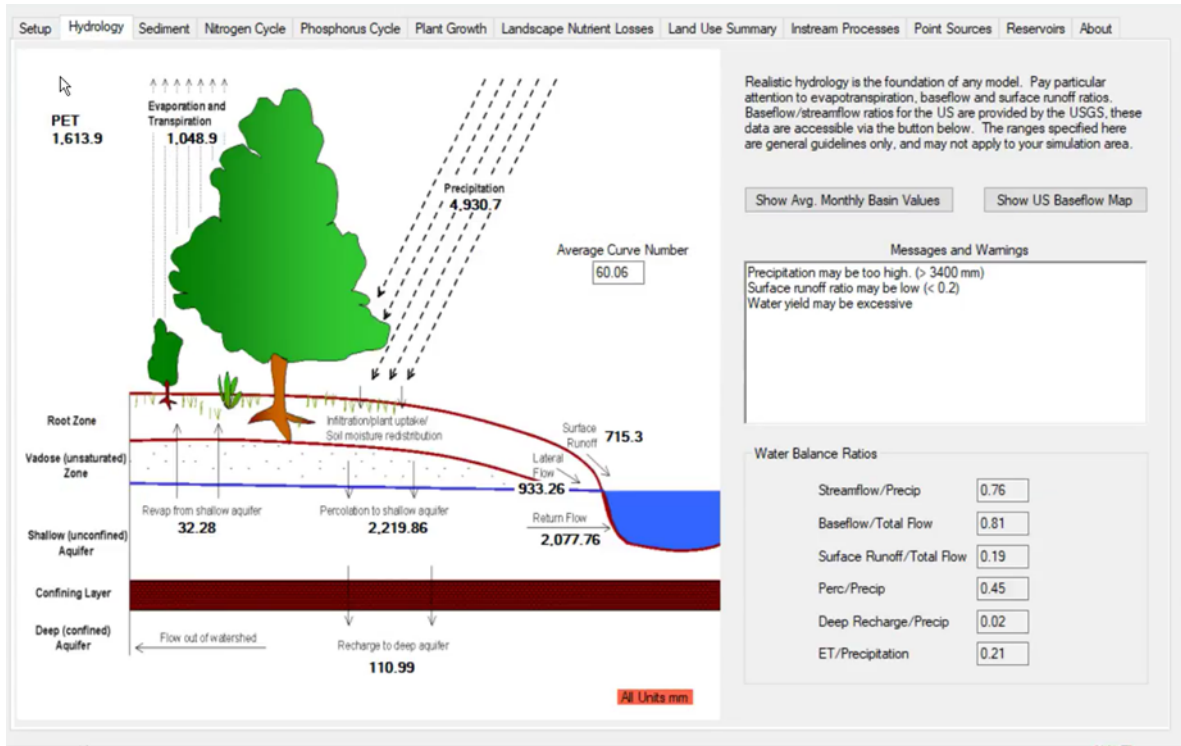
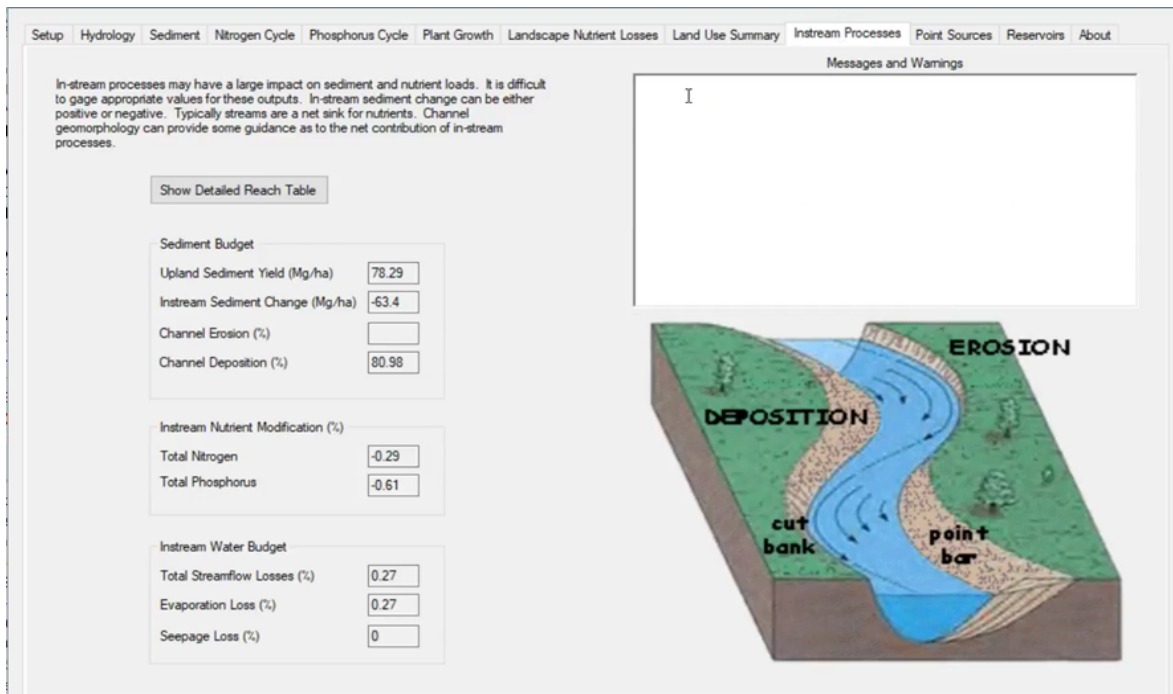
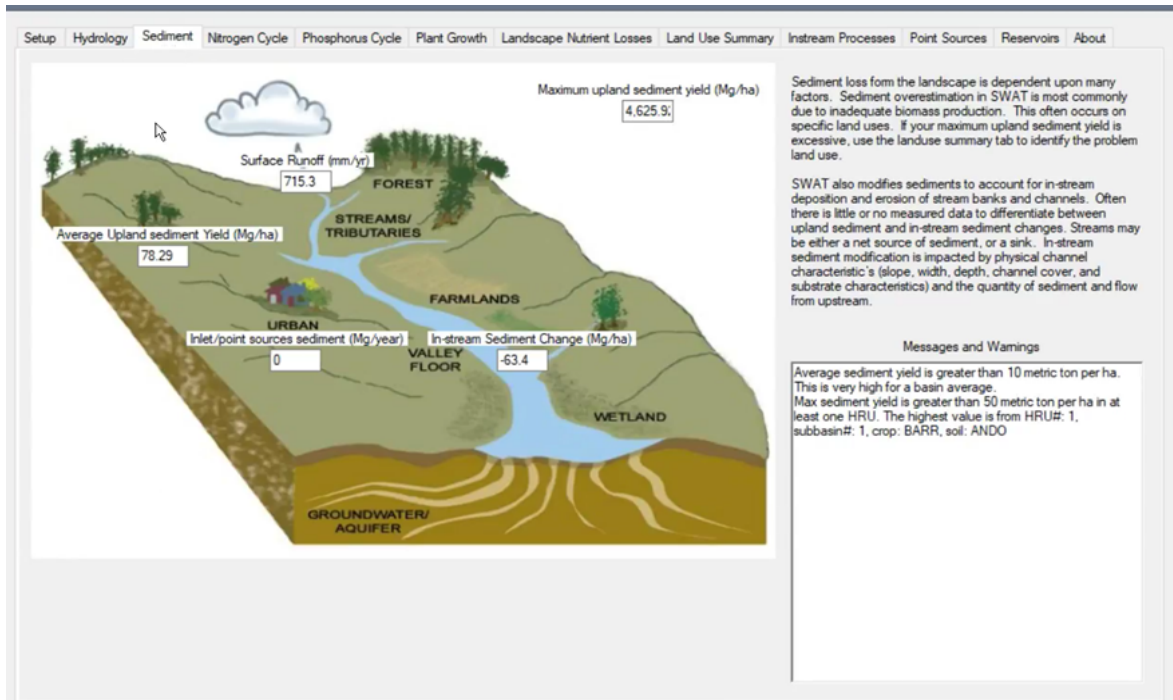


Figura 1: Representación ciclo hidrológico en SWAT.

ANEXO C. PROCESOS DE CORRIENTE MODELADOS POR SWAT



ANEXO D. CLASIFICACIÓN CORRESPONDIENTE A LA FAO

FAO/UNESCO - ФАО/ЮНЕСКО

SOIL MAP OF THE WORLD
CARTE MONDIALE DES SOLS
MAPA MUNDIAL DE SUELOS
ՀԱՅԿԵՆԻԱՆ ԿԱՐՏԱ ՄԻՍՔԻ

1:8 000 000

ANALYTICAL INDEX INDEX ALPHABETIQUE INDEX ALFABETICO INDEX ALFABETICO

SOIL UNITS*
UNITS PEDOLOGIQUES*
UNIDADES DE SUELOS*
ՀԱՅԿԵՆԻԱՆ ԵԴՐՈՒՄՆԵՐ*

PHASES*
UNITS DIVERSES DE PHASES*
UNIDADES DIVERSES DE PHASES*
ՓԱՇՏՈՒՄՆԵՐ (ՄԱՍՏՈՒՄՆԵՐ) ԵԴՐՈՒՄՆԵՐ*

MAP UNITS
UNITS CARTOGRAPHIQUES
UNIDADES CARTOGRAFICAS
ՀԱՅԿԵՆԻԱՆ ԵԴՐՈՒՄՆԵՐ

ANALYTICAL COLOUR CHART
INDEX ANALYTIQUE DES COULEURS
INDEX ANALITICO DE COLORES
ՀԱՅԿԵՆԻԱՆ ԿՐԻՍՏԱՆԻՑԻ ԿՐԻՍՏԱՆԻՑԻ

FAO/UNESCO - ФАО/ЮНЕСКО

SOIL MAP OF THE WORLD
CARTE MONDIALE DES SOLS
MAPA MUNDIAL DE SUELOS
ՀԱՅԿԵՆԻԱՆ ԿԱՐՏԱ ՄԻՍՔԻ

IV.1

MAP UNITS	UNITS CARTOGRAPHIQUES	UNIDADES CARTOGRAFICAS	ՀԱՅԿԵՆԻԱՆ ԵԴՐՈՒՄՆԵՐ	SOIL UNITS	UNITS PEDOLOGIQUES	UNIDADES DE SUELOS	ՀԱՅԿԵՆԻԱՆ ԵԴՐՈՒՄՆԵՐ
Ag10a	Ag10a	Ag10a	Ag10a	A	A	A	Ա
Ag10b	Ag10b	Ag10b	Ag10b	B	B	B	Բ
Ag10c	Ag10c	Ag10c	Ag10c	C	C	C	Շ
Ag10d	Ag10d	Ag10d	Ag10d	D	D	D	Ը
Ag10e	Ag10e	Ag10e	Ag10e	E	E	E	Ե
Ag10f	Ag10f	Ag10f	Ag10f	F	F	F	Ֆ
Ag10g	Ag10g	Ag10g	Ag10g	G	G	G	Գ
Ag10h	Ag10h	Ag10h	Ag10h	H	H	H	Կ
Ag10i	Ag10i	Ag10i	Ag10i	I	I	I	Ի
Ag10j	Ag10j	Ag10j	Ag10j	J	J	J	Ե
Ag10k	Ag10k	Ag10k	Ag10k	K	K	K	Կ
Ag10l	Ag10l	Ag10l	Ag10l	L	L	L	Լ
Ag10m	Ag10m	Ag10m	Ag10m	M	M	M	Մ
Ag10n	Ag10n	Ag10n	Ag10n	N	N	N	Ն
Ag10o	Ag10o	Ag10o	Ag10o	O	O	O	Օ
Ag10p	Ag10p	Ag10p	Ag10p	P	P	P	Փ
Ag10q	Ag10q	Ag10q	Ag10q	Q	Q	Q	Պ
Ag10r	Ag10r	Ag10r	Ag10r	R	R	R	Ր
Ag10s	Ag10s	Ag10s	Ag10s	S	S	S	Տ
Ag10t	Ag10t	Ag10t	Ag10t	T	T	T	Թ
Ag10u	Ag10u	Ag10u	Ag10u	U	U	U	Ս
Ag10v	Ag10v	Ag10v	Ag10v	V	V	V	Վ
Ag10w	Ag10w	Ag10w	Ag10w	W	W	W	Վ
Ag10x	Ag10x	Ag10x	Ag10x	X	X	X	Վ
Ag10y	Ag10y	Ag10y	Ag10y	Y	Y	Y	Վ
Ag10z	Ag10z	Ag10z	Ag10z	Z	Z	Z	Վ