

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**“MODELACION DE LA CALIDAD FISICOQUIMICA DE LAS
AGUAS DEL RÍO SUQUIAPA”**

PRESENTADO POR:

LUIS ENRIQUE AMAYA GRANDE

DANIEL ERNESTO ARRIOLA CASTILLO

ZULMA VERÓNICA CERNA DÍAZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE 2015

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

DIRECTOR :

ING. TANIA TORRES RIVERA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO QUÍMICO

Título :

**“MODELACION DE LA CALIDAD FISICOQUIMICA DE LAS
AGUAS DEL RÍO SUQUIAPA”**

Presentado por :

**LUIS ENRIQUE AMAYA GRANDE
DANIEL ERNESTO ARRIOLA CASTILLO
ZULMA VERÓNICA CERNA DÍAZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. ÁLVARO JOSUÉ AMAYA ARÉVALO

San Salvador, Septiembre 2015.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

ING. ÁLVARO JOSUÉ AMAYA ARÉVALO

RESUMEN

En la presente investigación se estudió la parte alta del Río Suquiapa, Santa Ana (El Salvador, C.A.) segmentando el cuerpo de agua en 18 puntos de muestreo a lo largo de 10 km del curso natural del río, esto con el objetivo de recolectar información para evaluar el estado fisicoquímico del río. Para evaluar la calidad fisicoquímica del agua se utilizaron tres metodologías: el cálculo del Índice de Calidad de Agua Canadiense (reconocido por sus siglas en inglés CWQI), la modelación de la carga orgánica aplicando el modelo de DBO₅/OD en ríos y una modelación de metales pesados (arsénico y plomo).

Para el caso del índice de calidad de agua se utilizó la metodología establecida para el cálculo propuesta por el CCME (Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente). El índice que se seleccionó fue el índice canadiense de calidad del agua, CWQI, el procedimiento tiene una estructura determinada, para ello el CCME presenta una hoja de cálculo donde solamente es necesario el insertar los datos que han sido tomados previamente del cuerpo de agua para dar como resultado una de las categorías de calidad del agua, las categorías son: Mala, Marginal, Regular, Buena, Muy buena y Excelente. Para este análisis fueron necesarios múltiples datos los cuales fueron recopilados en los muestreos de campo, entre ellos están: conductividad eléctrica, temperatura, pH, sólidos disueltos, etc. y algunos análisis realizados inmediatamente después de las tomas de las muestras de agua como, hierro, bromo, yodo, cloro libre entre otros.

La modelación de carga orgánica se realizó siguiendo el procedimiento utilizado por el software desarrollado por la UNESCO para fines de rehabilitación ambiental, llamado WQMCAL siglas en inglés de “Water Quality Modeling Computer Aided Learning”, este programa cuenta con una interfaz sencilla y de fácil aplicación en el segmento del río Suquiapa. En cuanto a la modelación orgánica realizada mediante el software WQMCAL se basó en la metodología que fue programada por el software, la cual es el de la modelación de DBO₅/OD de Streeter & Phelps, un modelo matemático que relaciona el abastecimiento de oxígeno disuelto en una corriente de agua cuando recibe descarga de materia orgánica, relacionado directamente con la demanda bioquímica de oxígeno; el software es sumamente práctico permitiendo realizar el análisis a partir de un agrupamiento estratégico de los 18

puntos de estudio del segmento del cuerpo de agua, proporcionando información valiosa en cuanto a condiciones actuales del río para la propuesta de escenarios de descontaminación.

En el caso de la modelación de metales pesados se utilizó el software de versión libre de la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA) llamado WASP, siglas en inglés de “Water Quality Simulation Program”, este software es más complejo en su uso que el mencionado anteriormente, pero se contaban con los datos necesarios para hacer uso de él, fue ventajoso utilizarlo ya que provee resultados muy precisos al hacer un uso adecuado del mismo, otro aspecto importante es que se contó con el apoyo y asesoramiento del Ingeniero Ambiental de la EPA Chris Nightes, quien es el ingeniero a cargo del desarrollo del software.

Para la modelación de metales pesados a partir del software de la EPA, WASP, se utilizaron diferentes técnicas matemáticas de aproximación y predicción bajo un modelo matemático propio del software, el programa cuenta con una vasta cantidad de ecuaciones interrelacionadas para una mejor reproducción del cuerpo de agua en estudio, sin embargo la efectividad de esta reproducibilidad depende únicamente del usuario ya que los datos ingresados y más aún el correcto establecimiento de la hidrogeografía es exclusivamente responsabilidad del usuario, de esta manera es importante estudiar profundamente el software y contar con asesoría calificada para su utilización.

Como resumen se obtuvieron los siguientes resultados. Para el índice canadiense de calidad del agua, en general, el estado del río se puede poner en la categoría de regular, esto como un promedio entre los 18 puntos, pero hay puntos que fueron categorizados como malos y algunos como excelentes, esto denota dispersión en cuanto a los resultados. Con respecto a la modelación orgánica los resultados fueron igualmente dispersos, por lo que fue evidente que los primeros dos segmentos del río eran los más contaminados, llegando a tener niveles de oxígeno disuelto crítico de 0 mg/l, niveles que muestran considerables diferencias con respecto a los demás puntos de estudio, además las curvas de decaimiento de DBO₅ y OD presentaban comportamientos que denotaban las malas condiciones del agua, con estos resultados fue posible elaborar un escenario para el establecimiento de una planta de tratamiento en esta parte del río, con ayuda del software WQMCAL se obtuvo la

concentración de DBO₅ y OD que cumpliera con la normativa para la calidad de aguas superficiales y se sugiriera un tratamiento para remover la carga orgánica y recuperar oxígeno.

La modelación de metales pesados fue por su parte muy precisa ya que se logró la reproducibilidad del cuerpo de agua que se quería, parte importante de esto fue la calibración del software utilizando valores de conductividad eléctrica, esta reproducibilidad pudo corroborarse fácilmente a partir de la comparación entre los patrones de los gráficos de datos experimentales y los predichos por el software. En el caso del plomo las concentraciones eran mínimas en la mayoría de los puntos, sin embargo aumentaban considerablemente en otros, esto fue motivo de investigación, llegando a establecer una teoría de que se tratase de una carga difusa generada por los plaguicidas y pesticidas utilizados por los agricultores que tienen cultivos cerca del cauce del río. Para el arsénico los valores encontrados fueron considerados normales, ya que los valores son tan bajos que se mantienen en el rango de valores esperados que transportan los sedimentos del río.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios Todopoderoso por permitirnos terminar nuestro trabajo de graduación y de esta manera alcanzar la meta de convertirnos en Ingenieros Químicos, detrás de esta labor tenemos que reconocer a las personas que hicieron posible este logro.

A los docentes de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos, Maestra e Inga. Tania Torres Rivera, Inga. Cecilia de Flamenco por proporcionarnos su cooperación y apoyo en la realización de los análisis de laboratorio, al Ing. Teodoro Ramírez, por acompañarnos en la realización de los muestreos en el río Suquiapa y especialmente, al Ing. Álvaro Amaya, nuestro docente asesor, por proporcionarnos su guía profesional, tiempo y dedicación, además de proponer nuestro tema de Trabajo de Graduación. Mil gracias.

A todas las personas que nos colaboraron en la realización de los muestreos, a Don Luis y Don Tomás, por colaborarnos en el transporte, al Ing. Oscar Mauricio Carrillo jefe del Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas, juntamente al Lic. Fredy Alexander Carranza, por su colaboración en la realización de los análisis de metales pesados arsénico y plomo, y por permitirnos conocer de forma detallada el procedimiento empleado en la determinación de dichos metales.

A los químicos analistas de ANDA, especialmente al Lic. Douglas Ernesto García, Jefe de Laboratorio de Control de Calidad, que nos ayudó para la realización de los análisis de DBO₅ en el laboratorio en dicha institución y nos permitió tener un panorama de la realización de dichos análisis.

A nuestros compañeros y amigos, que han sido un gran apoyo moral en todo nuestro período de estudio. Gracias a todos.

LUIS AMAYA, DANIEL ARRIOLA, ZULMA CERNA.

DEDICATORIA

Al culminar este largo trayecto de grandes experiencias quiero agradecer primordial e inicialmente a Dios por obrar en mi vida y darme la fortaleza para nunca rendirme en este proceso, además por todas aquellas situaciones en las cuales solo un milagro justificaría que salí vencedor. Después de Dios quiero agradecer a mis padres, mi madre **Marina Genoveva Grande de Amaya** que ha hecho incontable cantidad de sacrificios por darme todo lo que he necesitado no solamente a lo largo de mi carrera sino de mi vida, es ella mi motivación y mi fuerza para ser un profesional responsable y con éxito, gracias madre por mostrarme el camino de la rectitud y el esfuerzo, por enseñarme que cuando se quiere se puede y que no hay nada que una madre no pueda dar a un hijo gracias por tanto amor y por nunca dejarme solo, gracias por soportarme en los momentos donde mi orgullo y mi soberbia me hacían rabiar, a mi padre **Manuel Freddy Amaya** que también me ha acompañado en este proceso, que ha asumido grandes sacrificios por darle lo mejor a su familia, gracias papá por ser el mejor papá del mundo y por el ejemplo que me has dado, gracias por tu silencioso apoyo, por tu sigiloso afecto y por tu eterna confianza, papá, mamá, esto es por y para ustedes, nunca olviden que son las personas más importantes de mi vida, y que juro darles una mejor vida como ustedes han luchado por dármela a mí, hoy su lucha ha terminado y comienza la mía, es momento de que yo les devuelva un poco de todo lo que me han dado.

A mis hermanas, **Johana Lissette de Henríquez** que siempre creyó y confió en mi capacidad, que me mostró profundo apoyo y me motivo a luchar por lo que quería y **Marina Stefany de Rodríguez** a quien nunca podré devolverle todo lo que ha hecho por mí, gracias por complacerme en todos mis caprichos por absurdos que sean, por consentirme tanto y por darme un apoyo que quizá nunca tuviste la obligación de darme, gracias por ser como otra madre para mí, a ambas les prometo que mis sobrinos jamás estarán solos, que siempre tendrán mi apoyo y mi cuidado y que yo me aseguraré de que forjen un futuro digno de unas madres tan extraordinarias como ustedes, las quiero profundamente y saben que siempre podrán contar conmigo.

A mis amigos, **Mahllory, Carmen, Tiffany, David, Jessica, Edwin, Vanessa, Andrea, Gustavo, Alejandro y Salvador** ustedes que aguantaron mis momentos de stress y que

siempre tuvieron alguna palabra de aliento para mí, quiero decirles que son parte importante de mi vida y que espero siempre estén a mi lado disfrutando de los buenos momentos que como amigos hemos forjado, decirles que hoy ya tendremos dinero para salir y hacer lo que cuando no era profesional no pudimos hacer, mi primer sueldo lo gastaré con ustedes. A mis familiares y demás amigos, quisiera poder mencionarlos a cada uno de todos ustedes pero me resulta difícil, cada una de aquellas personas que de una manera u otra ha colaborado en mi crecer profesional, este logro es para ustedes, que aquella ayuda que sin interés alguno me proporcionaron hoy dio fruto y espero que estén orgullosos de mí.

A mis docentes a lo largo de mi educación aquellos que marcaron mi vida, especialmente a los de mi humilde **escuela rural mixta cantón el portezuelo**, quienes siempre me motivaron y confiaron en mis capacidades académicas, este título es dedicado a ustedes y pongo mis conocimientos a su disposición. A los docentes de la Universidad de El Salvador tanto en la Facultad Multidisciplinaria de Occidente como en la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos, gracias por transmitir su conocimiento. A nuestro asesor y amigo **Ing. Álvaro Amaya** por motivarnos, ayudarnos y corregirnos con su gran capacidad de enseñanza, gracias por confiar en nosotros y por compartir momentos divertidos a lo largo de esta larga experiencia, agradezco su gran integridad como profesional y su hambre de conocimiento, le deseo lo mejor en sus proyectos. A mis amigos y compañeros de tesis **Zulma Cerna y Daniel Arriola**, no les puedo decir más que gracias por ser las personas que son, gracias por comprometerse desde dos años antes en hacer esto juntos y mantener esa promesa, son personas extraordinarias y grandes profesionales.

“Tú tienes que hacer las reglas, no simplemente seguirlas.”

Sir. Isaac Newton

LUIS ENRIQUE AMAYA GRANDE

DEDICATORIA

En esta nueva etapa que inicio primero tengo que agradecer a Dios Todo Poderoso por permitir culminar mi carrera y a Nuestra Madre Santísima que siempre intercede por nosotros sus hijos.

Dedicada a mi madre **María Concepción Castillo** por todo el apoyo incondicional brindado en toda mi vida y en esta etapa en la universidad además de estar siempre orando por mí al estar muy lejos de ella, e inculcarme todos los valores que la caracterizan, todo se lo debo a ella. Muchas gracias MAMI te amo.

A mi padre **Tomas Roberto Arriola** por su apoyo económico y por ayudarme sin importar que me atreviera a tomar esta carrera sabiendo todos los problemas que nos depararían pero aquí están los frutos de ese atrevimiento, gracias PAPÁ.

A mi hermano **Juan Roberto Arriola Castillo** y su familia por el apoyo económico y moral que me brindaron, a mi hermana **Cecilia Elizabeth Arriola Castillo** y su familia por todo el apoyo que me dieron y por soportarme tanto, Gracias mis hermanos son los mejores y los quiero mucho.

A **María Josefina Rivera** por haber estado siempre a mi lado en todo este proceso, por todo ese cariño y amor que me ha dado, y por haberme soportado en mis momentos de estrés, le doy gracias a Dios por ponerla en mi camino cuando más la necesité. ¡¡Gracias por todo mi Zarquita!!

A mi Tía **Rosa Gilma Arriola** y su familia por el apoyo económico que fue de gran ayuda en estos años residiendo en San Salvador.

Agradezco a mis compañeros de Trabajo de Graduación **Zulma Cerna** y **Luis Amaya** no los cambiaría por nada, gracias por cumplir la promesa que hicimos años atrás de trabajar siempre juntos, ¡somos los mejores!

A nuestro docente asesor **Ing. Álvaro Josué Amaya Arévalo** por toda su enseñanza en la carrera y en nuestro trabajo de graduación, además de ver en nosotros la aptitud y actitud para poder realizar este proyecto que hoy culminamos, ¡Gracias!

A todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Química y Alimentos por todo lo aprendido en esta hermosa carrera que terminamos, a los docentes que me dieron clases en la Facultad Multidisciplinaria de Occidente que me inculcaron fuerza y perseverancia, y a todos los docentes del colegio que cada uno puso un granito de arena para poder estar en esta etapa tan grande de mi vida.

A toda mi demás familia y amigos que siempre estuvieron pendientes de nuestro proceso, en especial los que compartimos clases, nos divertimos juntos creando momentos que recordaremos siempre en nuestras vidas.

“¡No entierren los talentos!, ¡No tengan miedo de soñar cosas grandes!”

Papa Francisco

GRACIAS.....

DANIEL ERNESTO ARRIOLA CASTILLO.

DEDICATORIA

Al finalizar esta etapa de estudiante de ingeniería química, agradezco a Dios por el logro obtenido, todo es gracias a Él, es mi soporte y fortaleza en los tiempos difíciles.

También agradezco a mi madre, **María Victoria Díaz**, por mostrarme que hay que trabajar duro y luchar por lo que vale la pena, por brindarme su apoyo moral y económico, sus consejos colmados de razón y especialmente su paciencia en todas mis decisiones, buenas o malas; a mi hermano **Wilber Edgardo Cerna**, que fue de gran ayuda al repararme mi computadora, la graficadora... en fin, gracias por estar conmigo siempre.

A la familia Salgado Díaz, mis padrinos y primos, ya que no solo me brindaron una casa donde pasar mis días de estudio, me dieron un segundo hogar y un soporte incondicional que todavía mantengo. Muchísimas gracias.

A la familia Ramírez Castro, por su constante ayuda y a toda mi familia en general, que son muchos y no puedo nombrarlos a todos, pero el apoyo que me brindaron no tiene precio.

A mis compañeros de tesis, **Daniel Arriola** y **Luis Amaya**, que fueron un excelente equipo, el mejor, vale la pena tener amigos como ustedes.

A los educadores de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos, principalmente a mi asesor de tesis, el ingeniero **Álvaro Amaya** al que admiro y agradezco por compartir con nosotros sus conocimientos, especialmente los relacionados a la calidad del agua, una gran persona y excelente ejemplo de ingeniero químico.

A mis mejores amigas **Wendy Solís**, **Karen Funes**, **Claudia Díaz** y **Miriam Sandoval**, que siempre han estado conmigo, en las buenas y en las malas. Gracias.

ZULMA VERÓNICA CERNA.

INDICE

INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	2
1. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS.	3
1.1. Generalidades del Rio Suquiapa	4
1.1.1. Indicadores Demográficos	4
1.1.2. Clima	6
1.1.2.1. Características Climatológicas de Santa Ana.	6
1.1.3. Ríos y Corrientes Superficiales de Agua	9
1.1.3.1. Partes de un Río	9
1.1.3.2. Clasificación de Ríos según Período de Actividad	10
1.1.3.3. Clasificación de Ríos según Geomorfología	11
1.1.4. Interacción del Agua Superficial y El Agua Subterránea.....	11
1.1.4.1. Interacción Acuífero - Manantiales.....	12
1.1.4.2. Ríos que Ganan o Ceden Agua al Acuífero.....	13
1.1.5. Ríos en El Salvador	15
1.1.5.1. Contaminación de los Recursos Hídricos.....	16
1.1.6. Subcuenca del Río Suquiapa.....	18
1.2. Calidad del Agua	21
1.2.1. Métodos de Análisis de Calidad de Agua.....	22
1.2.1.1. Modelo de Índice de Calidad de Agua CCME WQI.....	23
1.2.2. Parámetros Fisicoquímicos	23
1.2.2.1. Conductividad Eléctrica	24
1.2.2.2. Total de Solidos Disueltos	25
1.2.2.3. Turbidez.....	25
1.2.2.4. Potencial de Hidrógeno	25
1.2.2.5. Temperatura	26
1.2.2.6. Oxígeno Disuelto	26
1.2.2.7. Hierro.....	27

1.2.2.8. Cloro Libre.....	27
1.2.2.9. Yodo	27
1.2.2.10. Bromo	28
1.2.2.11. Demanda Bioquímica de Oxígeno	29
1.2.2.12. Arsénico	29
1.2.2.13. Plomo.....	30
1.2.3. Antecedentes de Análisis de Calidad de Agua	32
1.2.3.1. Investigaciones de Servicio Nacional de Estudios Territoriales SNET.	32
1.3. Fuentes Contaminantes.	41
1.3.1. Actualización de Fuentes Contaminantes.....	42
1.3.2. Antecedentes de Fuentes contaminantes.	51
1.3.2.1. Estrategias de Descontaminación de los Ríos Acelhuate, Sucio y Suquiapa.	51
1.3.2.2. Caracterización Hidrodinámica y Dispersión de Contaminantes de la Parte Alta del Río Suquiapa, Santa Ana	52
1.4. Modelación Ambiental	53
1.4.1. Definición de Modelación Ambiental	53
1.4.2. Softwares de Modelación	55
1.4.2.1. WQMCAL	55
1.4.2.2. WASP 7.0	56
1.4.3. Metodología Utilizada por el Software	60
1.4.3.1. WQMCAL	60
1.4.3.2. WASP 7.0	62
1.4.4. Antecedentes de Modelación Ambiental.....	68
2. METODOLOGÍA DE CAMPO	71
2.1. Técnica de Muestreo en Ríos	71
2.2. Procedimiento de Medición de Parámetros Físicoquímicos	78
2.2.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno.	78
2.2.2. Arsénico	82
2.2.3. Plomo.....	86

2.3.	Procedimiento de Medición del Índice de Calidad de Agua por el método CCME WQI.	88
2.4.	Procedimiento de Modelacion.....	95
2.4.1.	Modelación Organica con WQMCAL.	95
2.4.2.	Modelación de Metales Pesados en WASP	98
2.4.2.1.	Segmentación del Río.....	99
2.4.2.2.	Calibración del Software.	101
2.4.2.3.	Modelación WASP 7.3.	102
3.	RESULTADOS	122
3.1.	Resultados de Parámetros Fisicoquímicos.....	122
3.1.1.	Conductividad Eléctrica	122
3.1.2.	Total de Sólidos Disueltos	124
3.1.3.	Turbidez.....	126
3.1.4.	Potencial de Hidrógeno.	127
3.1.5.	Oxígeno Disuelto.	129
3.1.6.	Hierro.....	130
3.1.7.	Cloro Libre.....	132
3.1.8.	Yodo	133
3.1.9.	Bromo	135
3.1.10.	Demanda Bioquímica de Oxígeno	136
3.1.11.	Arsénico	138
3.1.12.	Plomo.....	139
3.2.	Resultados de Calidad de Agua.....	141
3.3.	Resultado de la Modelación Orgánica Utilizando el Software WQMCAL.....	144
3.3.1.	Resultado para los puntos A01SUQUI y A02VERTI.....	146
3.3.2.	Resultado para los puntos A03SUQUI y A04APANT.	154
3.3.3.	Resultado para los puntos A05SUQUI y A06SAUCE.....	157
3.3.4.	Resultado para los puntos A07CARCA y A08SUQUI.....	161
3.3.5.	Resultado para los puntos A09MOLIN y A10SUQUI.....	164
3.3.6.	Resultado de los puntos A11ZARCO y A12SUQUI.	167

3.3.7.	Resultado de los puntos A13VERTI y A14SUQUI.....	170
3.3.8.	Resultado de los puntos A15PUENTE y A16SUQUI.....	173
3.3.9.	Resultado de los puntos A17GUILGU y A18SUQUI.....	176
3.4.	Resultados de la Modelación de Metales Pesados con WASP	179
3.4.1.	Calibración con Conductividad Eléctrica	179
3.4.2.	Modelación con Arsénico.	182
3.4.3.	Modelación con Plomo.....	183
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	186
4.1.	Resultados de Parámetros Fisicoquímicos.....	186
4.1.1.	Conductividad Eléctrica.	186
4.1.2.	Total de Sólidos Disueltos.	187
4.1.3.	Turbidez.....	188
4.1.4.	Potencial de Hidrógeno.	189
4.1.5.	Oxígeno Disuelto	190
4.1.6.	Hierro.....	191
4.1.7.	Cloro Libre.....	192
4.1.8.	Yodo	193
4.1.9.	Bromo	194
4.1.10.	Demanda Bioquímica de Oxígeno	195
4.1.11.	Arsénico.....	196
4.1.12.	Plomo.....	197
4.2.	Resultados de Calidad de Agua.....	198
4.3.	Análisis de la Modelación Orgánica Utilizando el Software WQMCAL	200
4.3.1.	Análisis de los puntos A01SUQUI y A02VERTI.....	203
4.3.2.	Análisis de los puntos A03SUQUI y A04APANT.	205
4.3.3.	Análisis de los puntos A05SUQUI y A06SAUCE.	208
4.3.4.	Análisis de los puntos A07CARCA y A08SUQUI.....	210
4.3.5.	Análisis de los puntos A09MOLIN y A10SUQUI.	213
4.3.6.	Análisis de los puntos A11ZARCO y A12SUQUI.....	215
4.3.7.	Análisis de los puntos A13VERTI y A14SUQUI.....	218

4.3.8.	Análisis de los puntos A15PUENTE y A16SUQUI.	220
4.3.9.	Análisis de los puntos A17GUILGU y A18SUQUI.	223
4.4.	Análisis de Modelación de Metales Pesados	225
4.4.1.	Calibración con Conductividad Eléctrica	225
4.4.2.	Modelación de Arsénico	228
4.4.3.	Modelación de Plomo.....	231
4.5.	Propuesta de Descontaminación.....	236
4.5.1.	Escenario de remoción de DBO ₅ /OD.	237
4.5.2.	Escenario con WASP para metales pesados	244
	CONCLUSIONES.....	261
	RECOMENDACIONES	263
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	265
	ANEXOS	269
A.	Técnica de Muestreos	269
B.	Procedimiento de Calibración y Medición de Parámetros Físicoquímicos	274
B.1	Conductividad Eléctrica.....	274
B.1.1	Procedimiento de calibración	274
B.1.2	Descripción del Procedimiento	275
B.2	Total de Sólidos Disueltos	276
B.2.1	Procedimiento de Calibración	276
B.2.2	Descripción del Procedimiento	277
B.3	Turbidez	277
B.3.1	Procedimiento de Calibración	277
B.3.2	Descripción de Procedimiento	278
B.4	Potencial de Hidrógeno.....	279
B.4.1	Procedimiento de Calibración	279
B.4.2	Descripción de procedimiento.....	280
B.5	Oxígeno Disuelto.....	282
B.5.1	Preparación de equipo según tipo de agua	282

B.5.2 Descripción del procedimiento.....	283
B.6 Hierro.....	284
B.6.1 Calibración del instrumento.	285
B.6.2 Preparación de reactivos.	285
B.6.3 Procedimiento general	285
B.7 Cloro Libre.....	286
B.7.1 Calibración del equipo.	286
B.7.2 Procedimiento general.	286
B.8 Yodo	286
B.8.1 Calibración del equipo.	287
B.8.2 Procedimiento general.	287
B.9 Bromo	287
B.9.1 Calibración del instrumento	287
B.9.2 Procedimiento general.	287
C. Resultados De DBO ₅ , Arsenico y Plomo.....	289
D. Fichas Tecnicas de los Sitios de Estudio	308

INDICE DE TABLAS

ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Tabla 1. 1 Densidad poblacional.	4
Tabla 1. 2 Población por área y sexo.	5
Tabla 1. 3 Indicadores sociodemográficos.	6
Tabla 1. 4 Regiones Hidrográficas de El Salvador.....	15
Tabla 1. 5 Centrales hidroeléctricas en la parte alta del río Suquiapa.	19
Tabla 1. 6 Inventario de descargas de vertidos industriales realizados en la cuenca del río Suquiapa.	43
Tabla 1. 7 Descripción de modelos.....	69

METODOLOGIA DE CAMPO

Tabla 2. 1 Ubicación geográfica de puntos de muestreo	72
Tabla 2. 2 Categorías de calidad de agua	90
Tabla 2. 3 Tabla para uso de software de calidad de agua.	91

RESULTADOS

Tabla 3. 1 Resultados de conductividad eléctrica.....	123
Tabla 3. 2 Resultados de Total de Sólidos Disueltos.....	124
Tabla 3. 3 Resultados de turbidez.	126
Tabla 3. 4 Resultados de pH.....	127
Tabla 3. 5 Resultados de OD.....	129
Tabla 3. 6 Resultados de Hierro.	130
Tabla 3. 7 Resultados de Cloro libre.....	132
Tabla 3. 8 Resultados de Yodo.....	133
Tabla 3. 9 Resultados de Bromo.....	135
Tabla 3. 10 Resultados de DBO ₅	136
Tabla 3. 11 Resultados de Arsénico.....	138
Tabla 3. 12 Resultados de Plomo.....	139
Tabla 3. 13 Resultados del Índice de Calidad de Agua Canadiense.....	141
Tabla 3. 14 Resultado del Índice de Calidad de Agua Canadiense para la parte alta de la subcuenca del río Suquiapa.	144
Tabla 3. 15 Parámetros a utilizar en el software WQMCAL.	145
Tabla 3. 16 Cálculo de f a partir de la descripción del cuerpo de agua.	150
Tabla 3. 17 Conductividades de los puntos en análisis.....	179

ANALISIS DE RESULTADOS

Tabla 4. 1 Tabla resumen de modelación orgánica.	200
Tabla 4. 2 Productos Agroquímicos.....	235
Tabla 4. 3 Cantidad de Metales pesados en Agroquímicos.....	236
Tabla 4. 4 Niveles de tratamiento de DBO5.	242
Tabla 4. 5 Mecanismos de Fitorremediación.	246
Tabla 4. 6 Plantas utilizadas para la Rizofiltración	248
Tabla 4. 7 Valores límites de acumulación de metales pesados en las plantas	248
Tabla 4. 8 Caudales de época lluviosa	257
Tabla 4. 9. Comparación de concentraciones de plomo en años diferentes.....	260

INDICE DE FIGURA

ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS TEORICOS

Figura 1. 1 Esquema del capítulo 1.....	3
Figura 1. 2 Promedio mensual de precipitación en el municipio de Santa Ana.	7
Figura 1. 3 Promedio mensual de humedad relativa en el municipio de Santa Ana.	8
Figura 1. 4 Promedio de temperaturas en el municipio de Santa Ana.	8
Figura 1. 5 Tramos característicos en el desarrollo de un río.....	9
Figura 1. 6 Esquema de surgimiento de manantiales.....	12
Figura 1. 7 Tipos de ríos: A) Efluente, B) Influyente, C) Efluente en período de lluvia e influyente en época de sequía.....	13
Figura 1. 8 Manantiales en el área geográfica de interés.	14
Figura 1. 9 Ríos principales y secundarios del área geográfica de interés.....	14
Figura 1. 10 Región A: Río Lempa.....	16
Figura 1. 11 Ríos de la subcuenca del río Suquiapa.	19

Figura 1. 12 Composición de fuentes contaminantes que descargan directamente al río Suquiapa.	42
Figura 1. 13 Mapa de fuentes contaminantes en la subcuenca del río Suquiapa.	50
Figura 1. 14 Esquema de segmentación.	57
Figura 1. 15 Descripción de opciones de flujo en WASP.	59
Figura 1. 16 Modelo conceptual del transporte de sedimentos.	66

METODOLOGIA DE CAMPO

Figura 2. 1 Esquema del capítulo 2.	71
Figura 2. 2 Técnicas de muestreo en ríos.	78
Figura 2. 3 Solución de Tiosulfato de Sodio.	79
Figura 2. 4 Muestras para análisis después de 5 días.	80
Figura 2. 5 Muestras después de adición de reactivos sulfato manganoso y álcali-yoduro-nitruro.	80
Figura 2. 6 Muestras después de adición de ácido sulfúrico y agitación.	81
Figura 2. 7 Titulación de las muestras.	81
Figura 2. 8 Reducción de As^{+5} a As^{+3}	82
Figura 2. 9 Posicionamiento de los tubos con estándares y muestras.	83
Figura 2. 10 Accesorio para adsorción atómica por llama.	83
Figura 2. 11 Inicio de software y encendido del equipo.	84
Figura 2. 12 Bomba peristáltica.	85
Figura 2. 13 Curva de calibración para arsénico.	85
Figura 2. 14 Equipo completo (absorción atómica por llama con sistema generador de hidruros).	86
Figura 2. 15 Posición para análisis con horno de grafito.	86

Figura 2. 16 Software y su ventana de inicio.	87
Figura 2. 17 Curva de calibración para plomo.	87
Figura 2. 18 Medición de muestras.....	88
Figura 2. 19 Ilustración de botón DATA.	92
Figura 2. 20 Ilustración de botones CLEAR DATA y OPEN DATA.....	92
Figura 2. 21 Ilustración de botón CRITERIA.	93
Figura 2. 22 Ilustración de pasos a seguir en CRITERIA.....	93
Figura 2. 23 Pasos finales a seguir.....	94
Figura 2. 24 Resultado de análisis de índice de calidad.....	94
Figura 2. 25 Interfaz inicial de WQMCAL.	95
Figura 2. 26 Opciones de modelos de WQMCAL.....	96
Figura 2. 27 Imagen satelital de los 18 tramos de división del río Suquiapa.	99
Figura 2. 28 Pantalla de segmentos del programa WASP.....	101
Figura 2. 29 Introducción de valores de conductividad eléctrica para calibración.	102
Figura 2. 30 Barra de herramientas de la pantalla principal de WASP.	103
Figura 2. 31 Pantalla de datos (data set screen).....	104
Figura 2. 32 Pantalla de segmentos.....	106
Figura 2. 33 Pantalla de flujos.....	109
Figura 2. 34 Ejemplo esquema segmentación río.	112
Figura 2. 35 Ejemplo pares de segmentos para función de agua superficial principal.	112
Figura 2. 36 Ejemplo pares de segmentos para función de agua superficial T1 (tributario A02VERTI).	113
Figura 2. 37 Ejemplo pares de segmentos para función de agua superficial T2 (tributario A04APANT).....	113

Figura 2. 38 Pantalla de intercambios.	115
Figura 2. 39 Pantalla de condiciones de borde.	118
Figura 2. 40 Recuperación de datos al ejecutar el modelo WASP.	119
Figura 2. 41 A: Menú para configurar el gráfico, B: Elección del dominio del gráfico (time).	120
Figura 2. 42 Pantalla del gráfico.	121
Figura 2. 43 Elección de los parámetros a graficar.	121

RESULTADOS

Figura 3. 1 Esquema del capítulo 3.	122
Figura 3. 2 Gráfico de resultados conductividad eléctrica.	124
Figura 3. 3 Gráfico de resultados de Total de Sólidos Disueltos.	125
Figura 3. 4 Gráfico de resultados de turbidez.	127
Figura 3. 5 Gráfico de resultados de pH.	128
Figura 3. 6 Gráfico de resultados de OD.	130
Figura 3. 7 Gráfico de resultados de Hierro.	131
Figura 3. 8 Gráfico de resultado de Cloro libre.	133
Figura 3. 9 Gráfico de resultados de Yodo.	134
Figura 3. 10 Gráfico de resultados de Bromo.	136
Figura 3. 11 Gráfico de resultados de DBO ₅	137
Figura 3. 12 Gráfico de resultados de Arsénico.	139
Figura 3. 13 Gráfico de resultados de Plomo.	140
Figura 3. 14 Gráfico de resultados del Índice de Calidad de Agua Canadiense, río principal.	143

Figura 3. 15 Gráfico de resultados del Índice de Calidad de Agua Canadiense, ríos tributarios.	143
Figura 3. 16 Resultado de las ecuaciones de dilución.....	148
Figura 3. 17 Curva de oxígeno disuelto saturado.	149
Figura 3. 18 Estimación del coeficiente de reaireación.	150
Figura 3. 19 Estimación de K1.	151
Figura 3. 20 Corrección debido a la temperatura del coeficiente K1.	152
Figura 3. 21 Curva de decaimiento de carga orgánica A01SUQUI-A02VERTI.	153
Figura 3. 22 Curva de caída de oxígeno A01SUQUI- A02VERTI.	154
Figura 3. 23 Resultado ecuación de dilución A03SUQUI-A04APANT.	155
Figura 3. 24 Déficit inicial de oxígeno A03SUQUI-A04APANT.	155
Figura 3. 25 Coeficiente de reaireación A03SUQUI-A04APANT.	156
Figura 3. 26 Corrección de K1 debido a la temperatura A03SUQUI-A04APANT.	156
Figura 3. 27 Curva de decaimiento de DBO ₅ A03SUQUI-A04APANT.....	157
Figura 3. 28 Curva de caída de OD A03SUQUI-A04APANT.	157
Figura 3. 29 Resultado ecuación de dilución A05SUQUI-A06SAUCE.....	158
Figura 3. 30 Déficit inicial de oxígeno A05SUQUI-A06SAUCE.....	158
Figura 3. 31 Coeficiente de reaireación A05SUQUI-A06SAUCE.	159
Figura 3. 32 Corrección de K1 debido a la temperatura A05SUQUI-A06SAUCE	159
Figura 3. 33 Curva de decaimiento de DBO ₅ A05SUQUI-A06SAUCE.	160
Figura 3. 34 Curva de caída de OD A05SUQUI-A06SAUCE.....	160
Figura 3. 35 Resultado ecuación de dilución A07CARCA-A08SUQUI.	161
Figura 3. 36 Déficit inicial de oxígeno A07CARCA-A08SUQUI.	161
Figura 3. 37 Coeficiente de reaireación A07CARCA-A08SUQUI.....	162

Figura 3. 38 Corrección de K1 debido a la temperatura A07CARCA-A08SUQUI.....	162
Figura 3. 39 Curva de decaimiento de DBO ₅ A07CARCA-A08SUQUI.....	163
Figura 3. 40 Curva de caída de OD A07CARCA-A08SUQUI.....	163
Figura 3. 41 Resultado ecuación de dilución A09MOLIN-A10SUQUI.....	164
Figura 3. 42 Déficit inicial de oxígeno A09MOLIN- A10SUQUI.....	164
Figura 3. 43 Coeficiente de reaireación A09MOLIN- A10SUQUI.....	165
Figura 3. 44 Corrección de K1 debido a la temperatura A09MOLIN-A10SUQUI.	165
Figura 3. 45 Curva de decaimiento de DBO ₅ A09MOLIN-A10SUQUI.	166
Figura 3. 46 Curva de caída de OD A09MOLIN-A10SUQUI.....	166
Figura 3. 47 Resultado ecuación de dilución A11ZARCO-A12SUQUI.	167
Figura 3. 48 Déficit inicial de oxígeno A11ZARCO-A12SUQUI.	167
Figura 3. 49 Coeficiente de reaireación A11ZARCO-A12SUQUI.....	168
Figura 3. 50 Corrección de K1 debido a la temperatura A11ZARCO-A12SUQUI.....	168
Figura 3. 51 Curva de decaimiento de DBO ₅ A11ZARCO-A12SUQUI.....	169
Figura 3. 52 Curva de caída de OD A11ZARCO-A12SUQUI.	169
Figura 3. 53 Resultado ecuación de dilución A13VERTI-A14SUQUI.....	170
Figura 3. 54 Déficit inicial de oxígeno A13VERTI-A14SUQUI.....	170
Figura 3. 55 Coeficiente de reaireación A13VERTI-A14SUQUI.....	171
Figura 3. 56 Corrección de K1 debido a la temperatura A13VERTI-A14SUQUI.....	171
Figura 3. 57 Curva de decaimiento de DBO ₅ A13VERTI-A14SUQUI.	172
Figura 3. 58 Curva de caída de OD A13VERTI-A14SUQUI.....	172
Figura 3. 59 Resultado ecuación de dilución A15PUENTE-A16SUQUI.....	173
Figura 3. 60 Déficit inicial de oxígeno A15PUENTE-A16SUQUI.....	173

Figura 3. 61 Coeficiente de reaireación A15PUENTE-A16SUQUI.	174
Figura 3. 62 Corrección de K1 debido a la temperatura A15PUENTE-A16SUQUI.	174
Figura 3. 63 Curva de decaimiento de DBO ₅ A15PUENTE-A16SUQUI.	175
Figura 3. 64 Curva de caída de OD A15PUENTE-A16SUQUI.	175
Figura 3. 65 Resultado ecuación de dilución A17GUILGU-A18SUQUI.	176
Figura 3. 66 Déficit inicial de oxígeno A17GUILGU-A18SUQUI.	176
Figura 3. 67 Coeficiente de reaireación A17GUILGU-A18SUQUI.	177
Figura 3. 68 Corrección de K1 debido a la temperatura A17GUILGU-A18SUQUI.	177
Figura 3. 69 Curva de decaimiento de DBO ₅ A17GUILGU-A18SUQUI.	178
Figura 3. 70 Curva de caída de OD A17GUILGU-A18SUQUI.	178
Figura 3. 71 Gráfico de conductividad por tiempo en WASP.	180
Figura 3. 72 Gráfico de conductividad por segmento en WASP.	181
Figura 3. 73 Gráfico de la evolución de la concentración de arsénico con respecto al tiempo.	182
Figura 3. 74 Gráfico de la concentración de arsénico por segmento en WASP.	183
Figura 3. 75 Gráfico de la evolución de la concentración de plomo respecto al tiempo. ..	184
Figura 3. 76 Gráfico de la evolución de la concentración de plomo por segmento en WASP.	185

ANALISIS DE RESULTADOS

Figura 4. 1 Esquema del capítulo 4.	186
Figura 4. 2 Gráfico de resultados Conductividad Eléctrica	187
Figura 4. 3 Gráfico de resultados de Total de Solidos Disueltos.	188
Figura 4. 4 Gráfico de resultados de Turbidez.	189
Figura 4. 5 Gráfico de resultados de pH.	190

Figura 4. 6 Gráfico de resultados de Oxígeno Disuelto.....	191
Figura 4. 7 Gráfico de resultados de Hierro.....	192
Figura 4. 8 Gráfico de resultados de Cloro libre.....	193
Figura 4. 9 Gráfico resultado de Yodo.....	194
Figura 4. 10 Gráfico de resultados de Bromo.....	195
Figura 4. 11 Gráfico de resultados de DBO ₅	196
Figura 4. 12 Gráfico de resultados de Arsénico.....	197
Figura 4. 13 Gráfico de resultados de Plomo.....	198
Figura 4. 14 Gráfico resultado del Índice de Calidad de Agua Canadiense, río principal.	199
Figura 4. 15 Grafico resultado del Índice de Calidad de Agua Canadiense, ríos tributarios.	199
Figura 4. 16 Zonas de recuperación del río.....	202
Figura 4. 17 Clasificación de la calidad de agua WQMCAL.....	203
Figura 4. 18 Localización de los puntos A01SUQUI y A02VERTI.....	203
Figura 4. 19 Curva de decaimiento de carga orgánica A01SUQUI y A02VERTI.....	204
Figura 4. 20 Curva de caída de oxígeno A01SUQUI y A02VERTI.....	204
Figura 4. 21 Ubicación de los puntos A03SUQUI y A04APANT.....	206
Figura 4. 22 Curva de decaimiento de DBO ₅ A03SUQUI-A04APANT.....	206
Figura 4. 23 Curva de caída de OD A03SUQUI-A04APANT.....	207
Figura 4. 24 Localización de los puntos A05SUQUI y A06SAUCE.....	208
Figura 4. 25 Curva de decaimiento de DBO ₅ A05SUQUI-A06SAUCE.....	209
Figura 4. 26 Curva de caída de OD A05SUQUI-A06SAUCE.....	209
Figura 4. 27 Localización de los puntos A07CARCA Y A08SUQUI.....	211

Figura 4. 28 Curva de decaimiento de DBO ₅ A07CARCA-A08SUQUI.....	211
Figura 4. 29 Curva de caída de OD A07CARCA-A08SUQUI.	212
Figura 4. 30 Localización de los puntos A09MOLIN y A010SUQUI.	213
Figura 4. 31 Curva de decaimiento de DBO ₅ A09MOLIN Y A10SUQUI.....	214
Figura 4. 32 Curva de caída de OD A09MOLIN Y A10SUQUI.	214
Figura 4. 33 Localización de los puntos A11ZARCO y A12SUQUI.....	216
Figura 4. 34 Curva de decaimiento de DBO ₅ A11ZARCO Y A12SUQUI.	216
Figura 4. 35 Curva de caída de OD A11ZARCO Y A12SUQUI.	217
Figura 4. 36 Localización de los puntos A013VERTI y A14SUQUI.	218
Figura 4. 37 Curva de decaimiento de DBO ₅ A13VERTI y A14SUQUI.....	219
Figura 4. 38 Curva de caída de OD A13VERTI y A14SUQUI	219
Figura 4. 39 Localización de los puntos A15PUENTE y A16SUQUI.	221
Figura 4. 40 Curva de decaimiento de DBO ₅ A15PUENTE Y A16SUQUI.....	221
Figura 4. 41 Curva de caída de OD A15PUENTE Y A16SUQUI.	222
Figura 4. 42 Localización de los puntos A17GUILCU y A18SUQUI.	223
Figura 4. 43 Curva de decaimiento de DBO ₅ A17GUILGU Y A18SUQUI.....	224
Figura 4. 44 Curva de caída de OD A17GUILGU Y A18SUQUI.	224
Figura 4. 45 Grafico de conductividad por tiempo en WASP.....	226
Figura 4. 46 Grafico de conductividad por segmento en WASP.....	227
Figura 4. 47 Gráfica de resultados Conductividad Eléctrica.....	228
Figura 4. 48 Grafico de la evolución de la concentración de arsénico con respecto al tiempo.	229
Figura 4. 49 Grafico resultado de Arsénico	230
Figura 4. 50 Grafico de Arsénico por Segmento	230

Figura 4. 51 Grafico de la evolución de la concentración de plomo respecto al tiempo. ..	232
Figura 4. 52 Grafico de Plomo por Segmento	233
Figura 4. 53 Grafico resultado de Plomo	234
Figura 4. 54 Valores de Ls y ODs.	238
Figura 4. 55 Curva de decaimiento de DBO5 luego de remover la carga contaminante... ..	238
Figura 4. 56 Curva de agotamiento de oxígeno luego de remover la carga contaminante. ..	239
Figura 4. 57 Curva de decaimiento de oxígeno en función de la distancia, luego la remoción.	240
Figura 4. 58 Esquema de la Rizofiltración	247
Figura 4. 59 Concentración de plomo en el tiempo posterior al tratamiento de fitorremediación.....	250
Figura 4. 60 Concentración de plomo por segmento posterior al tratamiento de fitorremediación.....	251
Figura 4. 61 Concentración de plomo en el tiempo con variación de 50% menos en su coeficiente de dispersión.	253
Figura 4. 62 Concentración por segmento de plomo con un coeficiente de dispersión 50% menor al original.	254
Figura 4. 63 Concentración en el tiempo de plomo con un coeficiente de dispersión 50% mayor al original.	255
Figura 4. 64 Concentración de plomo por segmento con un coeficiente de dispersión 50% mayor al original.....	256
Figura 4. 65 Concentración de plomo en el tiempo con caudales en época de lluvia.	258
Figura 4. 66 Concentración por segmento de plomo con caudales en época lluviosa.....	259

NOMENCLATURA.

A:	Área de la sección transversal al flujo.
ANDA:	Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados.
As:	Arsénico.
Bact.:	Bacterias.
C:	Concentración del constituyente medido.
°C:	Grados centígrados.
CCME_WQI:	Water Quality Index of Canadian Council of Ministers of the Environment.
CE:	Conductividad Eléctrica.
cm:	Centímetros.
CWQI:	Índice de Calidad de Agua Canadiense.
D:	Déficit de oxígeno.
D₀:	Déficit de oxígeno inicial, en el punto de descarga del efluente.
DBO₅:	Demanda Bioquímica de Oxígeno.
DDY:	Desorden por Deficiencia de Yodo.
E_L:	Coficiente de dispersión longitudinal.
EPA:	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.
f:	Coficiente de autodepuración.
Fe:	Hierro.

g O₂:	Gramos de oxígeno.
G:	Conductancia.
g:	Gramos.
GPS:	Sistema de Posicionamiento Global.
hh/mm/ss:	hora/minuto/segundo.
h:	Hora
ICA:	Índice de Calidad de Agua.
k:	Conductividad.
K1:	Coefficiente de descomposición bioquímica de la materia orgánica.
K2:	Coefficiente de reaireación.
km:	Kilómetros.
l H₂O	Litro de agua.
l:	Litro.
L₀:	DBO ₅ inicial, en el punto de descarga del efluente.
L_b:	DBO ₅ en el fondo del río.
L_s:	DBO ₅ en las aguas residuales.
M:	Masa molar.
m:	Metro.
MAG:	Ministerio de Agricultura y Ganadería.
MARN:	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

mg O₂:	Miligramos de oxígeno.
mg:	Miligramos.
ml:	Militros.
mm/dd/aa:	Mes/día/año.
mS:	Milisiemens.
msnm:	Metros sobre el nivel del mar.
NMP:	Número Más Probable.
NTU:	Unidad Nefelométrica de Turbidez.
OD:	Oxígeno Disuelto.
OD₀:	Oxígeno disuelto inicial, en el punto de descarga del efluente
OD_b:	Oxígeno disuelto en el fondo del río.
OD_s:	Oxígeno disuelto en las aguas residuales.
OD_{sat}:	Oxígeno disuelto saturado en agua.
OMS:	Organización Mundial de la Salud.
ONU:	Organización de las Naciones Unidas.
Pb:	Plomo.
pH:	Potencial de Hidrógeno.
ppm:	Partes por millón.
Q_b:	Caudal del río.

q_s:	Caudal del efluente.
R:	Resistencia.
s:	Segundo.
S:	Siemens.
S_B:	Tasa de carga de contorno
SI:	Sistema Internacional.
S_K:	Tasa de transformaciones cinéticas totales.
S_L:	Tasa de carga directa y difusa
SNET:	Servicio Nacional de Estudios Territoriales.
TDS:	Total de Sólidos Disueltos.
UNESCO:	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
WASP:	Water Analysis Simulation Program.
WQAM:	Water Quality Assessment Model.
WQMCAL:	Water Quality Modeling Computer Aided Learning.
μho:	Microohmnios.
μS:	Microsiemens.

GLOSARIO.

Adsorción: Fenómeno por el cual un sólido o un líquido atrae y retiene en su superficie gases, vapores, líquidos o cuerpos disueltos.

Agente patógeno: Es aquel elemento o medio capaz de producir algún tipo de enfermedad o daño en el cuerpo de un animal, ser humano o vegetal que presente predisposición a dicho agente.

Antropogénico: Se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas. Normalmente se usa para describir contaminaciones ambientales en forma de desechos químicos o biológicos como consecuencia de las actividades económicas, tales como la producción de dióxido de carbono por consumo de combustibles fósiles.

Biotemperatura: Temperatura del aire, aproximadamente entre 0°C y 30°C que determina el ritmo e intensidad de los procesos fisiológicos de las plantas (fotosíntesis, respiración y transpiración) y la tasa de evaporación directa del agua contenida en el suelo y en la vegetación.

Bocio endémico: Es el agrandamiento de la glándula tiroides, los bocios coloideos nodulares, también conocidos como bocios endémicos, generalmente son causados por un contenido inadecuado de yodo en la dieta.

Calibración: Es el proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia (o estándar).

Coliformes fecales: La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos. Son definidas como bacilos gram-negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas. La mayor especie en el grupo de coliforme fecal es el Escherichia Coli. La presencia de coliformes en el suministro de agua es un indicio de que el suministro de agua puede estar contaminado con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente,

las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo.

Desorción: Fenómeno por el cual un gas abandona un sólido cuando este alcanza cierta temperatura.

Detritus: Materia orgánica muerta.

Discretización: Es un proceso matemático mediante el cual vamos a obtener resultados aproximados de una ecuación diferencial del problema.

Efluente: Término empleado para nombrar a las aguas servidas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son emitidos por viviendas y/o industrias, generalmente a los cursos de agua; o que se incorporan a estas por el escurrimiento de terrenos causado por las lluvias.

Escherichia Coli: También conocida por la abreviación de su nombre, E. coli, es quizás el organismo procariota más estudiado por el ser humano. Se trata de una enterobacteria que se encuentra generalmente en los intestinos animales, y por ende en las aguas negras, pero se lo puede encontrar en todos lados, dado que es un organismo ubicuo.

Eutrofización: Acumulación de residuos orgánicos en el litoral marino o en un lago, laguna, embalse, etc., que causa la proliferación de ciertas algas.

Fitoplancton: En biología fósil y limnología se llama fitoplancton al conjunto de los organismos acuáticos autótrofos del plancton, que tienen capacidad fotosintética y que viven dispersos en el agua.

Fitosanitario: Cualquier sustancia o mezcla de ellas utilizada para prevenir o controlar cualquier especie de plantas o animales indeseables, incluyendo también cualquier otra sustancia o mezcla de ellas destinada a utilizarse como regulador del crecimiento de las plantas, defoliantes o como desecantes

Freático: Que está acumulado en el subsuelo sobre una capa impermeable y puede aprovecharse mediante pozos.

Humedad relativa: Relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que podría tener.

Indicadores demográficos: Son aquellos que representan, en cifras, las características, evolución, ubicación, comportamiento, dimensiones, etc. de una población o de un grupo de personas.

Meandro: Es una curva descrita por el curso de un río, cuya sinuosidad es pronunciada.

Microclima: Es un clima local de características distintas a las de la zona en que se encuentra. El microclima es un conjunto de patrones y procesos atmosféricos que caracterizan un entorno o ámbito reducido.

Nitrobacter: Son bacterias que parten del nitrito para producir nitrato. La combinación de amonificación y nitrificación devuelve a una forma asimilable por las plantas, el nitrógeno que ellas tomaron del suelo y pusieron en circulación por la cadena trófica. Su población está influenciada por la acidez del medio (suelo, mar o agua corriente), reducen el pH.

Nitrógeno Total Kjeldalh: Se usa para determinar tanto las formas orgánicas como inorgánicas de nitrógeno. Refleja la cantidad total de nitrógeno en el agua analizada, suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas (proteínas y ácidos nucleicos en diversos estados de degradación, urea, aminas, etc.) y el ion amonio NH_4^+ . También se utiliza para determinar proteínas en alimentos. El principio básico consiste en la mineralización de sulfato de amonio, a partir del cual se libera el amonio, que se destila y determina a continuación mediante una valoración.

Nitrosomas: Es un género de bacterias elipsoidales del suelo. Son importantes en el ciclo del nitrógeno por transformar amonio (NH_4) a nitrito (NO_2^-) y así obtienen su energía de la quimiosíntesis.

Plaguicidas: Son sustancias químicas empleadas por el hombre para controlar o combatir algunos organismos considerados como plagas especialmente, debido a que pueden estropear los campos y los frutos cultivados.

Segmentación: Es el proceso de dividir un sistema en varias partes con el objetivo de simplificar y/o cambiar la representación de un sistema en otro más significativo y más fácil de analizar.

Software de modelación: Es una herramienta que se emplea para la creación de un modelo que permite crear un "simulacro" del sistema, generalmente a bajo costo y riesgo mínimo. Los software de modelado, permiten concentrarse en ciertas características importantes del sistema, prestando menos atención a otras.

Subcuenca: Es un área considerada como una subdivisión de la cuenca hidrológica que presenta características particulares de escurrimiento y extensión.

Transporte advectivo: se refiere al movimiento pasivo de solutos disueltos en el agua.

Tributario: Corriente de agua que desemboca en un río mayor en un mar.

Zona Béntica: Es la región ecológica en el nivel más bajo de un cuerpo de agua, como un océano o un lago, incluyendo la superficie del sedimento y de algunas capas del subsuelo. Los organismos que viven en esta zona se llaman bentos. Por lo general, viven en estrecha relación con la parte inferior del substrato, y muchos de dichos organismos están permanentemente sujetos a la parte inferior.

INTRODUCCION

Diversas actividades humanas producen la degradación de la calidad en los recursos hídricos, por ejemplo, las actividades agrícolas aportan al agua sustancias producto de la fertilización agrícola y residuos fitosanitarios provenientes de los plaguicidas; lodos de desecho de establecimientos ganaderos o agroindustriales, vertidos de origen humano como aguas negras, etc.

A partir de estas actividades se produce una constante contaminación de recursos hídricos que son de vital importancia en el país, los cuales afectan al medio ambiente y por ende a las personas que habitan en su contexto, por dicha contaminación se pueden generar diversos problemas tanto medioambientales como de salud humana, es por ello que la recuperación del recurso hídrico y el control y manejo de desechos por las industrias en estos, toma mucha importancia.

Para lograr tal recuperación se necesita tener un conocimiento detallado de las condiciones del manto acuífero, justamente de este hecho, surge la necesidad de realizar una modelación detallada que exponga las características del río, así como también pueda describir los aspectos necesarios para realizar proyecciones a largo y mediano plazo.

Esta modelación se vuelve aún más importante ya que genera información vital a la hora de establecer medidas de mitigación del río, estas acciones suelen ser inmediatas, ya que se empieza todo un proceso de recuperación del recurso en cuestión.

Para realizar el modelado del río, es necesario conocer cuáles son sus tributarios y realizar una serie de muestreos en ellos para recopilar información detallada que será introducida en un software de modelación especializado, con ello y otros análisis como el de la calidad de agua y la comparación de las condiciones del agua con normas nacionales e internacionales completan el estudio del río.

OBJETIVOS

GENERAL

- Modelar la calidad del agua del río Suquiapa para la posterior proposición de medidas apropiadas de mitigación a través de tecnologías adecuadas y con un enfoque de análisis de Ingeniería Química.

ESPECÍFICOS

- Actualizar el levantamiento de fuentes contaminantes del río Suquiapa.
- Caracterizar la calidad de las aguas superficiales en el tramo de estudio a través del índice de calidad de agua canadiense (CCME-WQI).
- Modelar la carga orgánica contaminante del río Suquiapa.
- Proponer medidas de descontaminación del río Suquiapa.

1. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

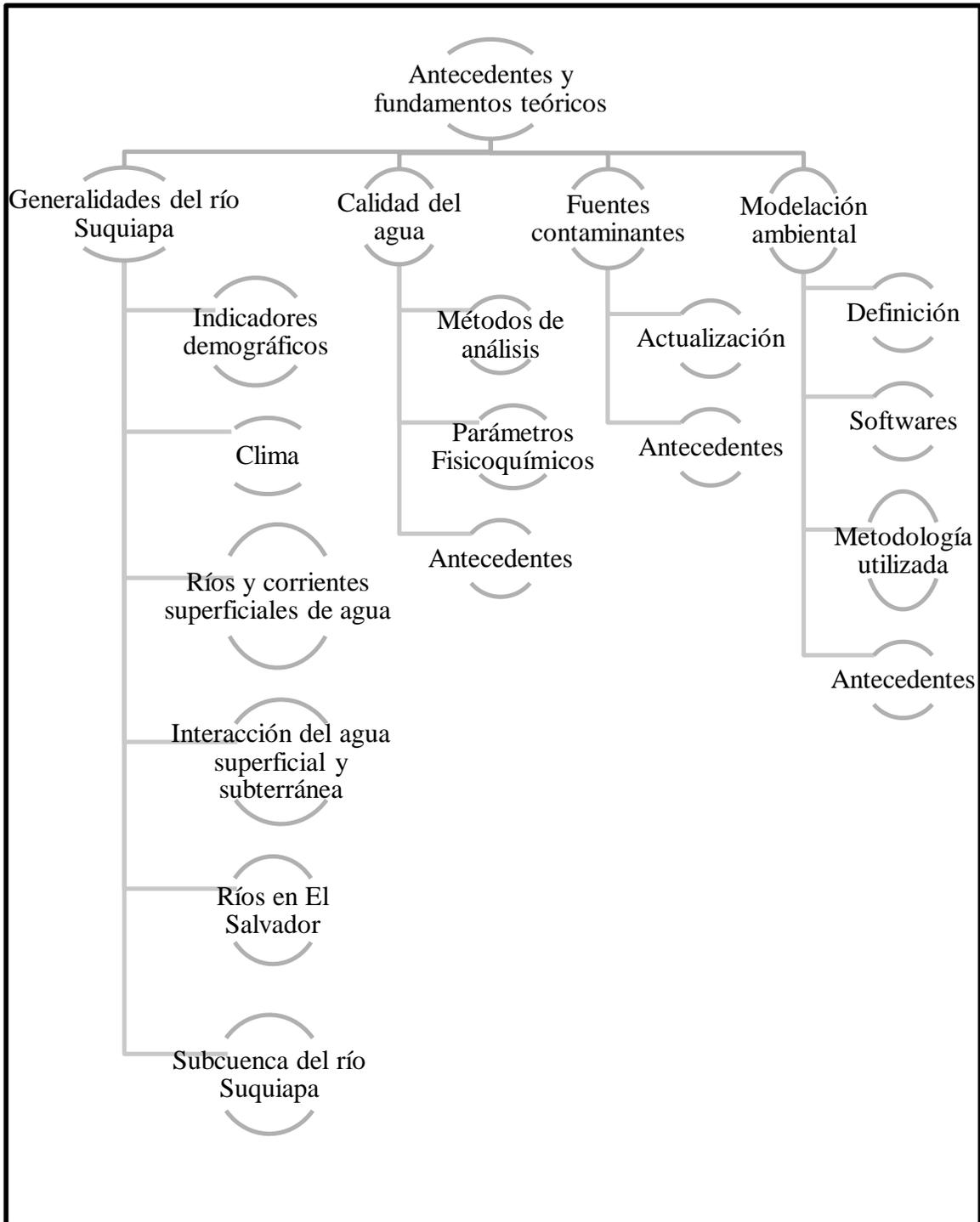


Figura 1. 1 Esquema del capítulo 1.

Fuente: Elaboración propia.

1.1. GENERALIDADES DEL RIO SUQUIAPA

Para conocer de una mejor manera el río a analizar se presenta la siguiente información acerca de los ríos y corrientes superficiales de agua dividida en el conocimiento de las partes de un río y de su clasificación ya sea por su periodo de actividad o por su geomorfología, además de mencionar sobre los ríos en El Salvador y conocer más del río Suquiapa, su cuenca y los usos de esta.

1.1.1. INDICADORES DEMOGRÁFICOS

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda de El Salvador realizado en el año 2007 (Dirección General de Estadística y Censos, 2007), el municipio de Santa Ana, cabecera departamental del mismo nombre, posee un área geográfica de 400.05 km², posee una densidad poblacional de 613.48 habitantes por km² (Ver Tabla 1. 1 para ampliar sobre la estimación de este parámetro), el porcentaje de población urbana es equivalente a 83.26%; otros indicadores sociodemográficos y datos estadísticos del municipio se presentan en la Tabla 1. 2 y en la Tabla 1. 3.

Tabla 1. 1 Densidad poblacional.

MUNICIPIO		Santa Ana
ÁREA (km ²)		400.05
POBLACIÓN (NÚMERO DE HABITANTES)	TOTAL	245,421
DENSIDAD POBLACIONAL (HABITANTE/km ²)		613.475816

Fuente: Censo de población y vivienda, El Salvador, 2007.

Tabla 1. 2 Población por área y sexo.

MUNICIPIO: SANTA ANA		NÚMERO DE HABITANTES	
POBLACIÓN		TOTAL	245,421
		HOMBRES	117,565
		MUJERES	127,856
ÁREA	URBANO	TOTAL	204,340
		HOMBRES	9,7115
		MUJERES	107,225
	RURAL	TOTAL	41,081
		HOMBRES	20,450
		MUJERES	20,631
% POBLACIÓN URBANA		83.2610086	

Fuente: Censo de población y vivienda, El Salvador, 2007

En la Tabla 1. 3 pueden observarse algunos indicadores sociodemográficos importantes como la tasa de mortalidad infantil, la cual es similar a el promedio nacional de El Salvador, también pueden resaltar algunos indicadores que están relacionados con la infraestructura de los hogares y los servicios que poseen de manera porcentual en los hogares del municipio de Santa Ana, como el porcentaje de los hogares que son abastecidos con agua potable (84.13%); dicha agua en su mayoría es proveniente del acuífero profundo y el 15.87% restante probablemente se compone de los hogares que se autoabastecen de agua de pozos artesanales (excavados), agua de manantiales, o de agua de ríos cercanos a sus hogares.

Tabla 1. 3 Indicadores sociodemográficos.

	MUNICIPIO	Santa Ana
	DENSIDAD	613.475816
	% URBANO	83.2610086
	% 60 AÑOS Y MÁS	10.4978792
TASA GLOBAL DE FECUNDIDAD (PROMEDIO DE HIJOS POR MUJER)		2.3
TASA DE MORTALIDAD INFANTIL (MENORES DE UN AÑO POR CADA 1000 NACIDOS)		25
TASA – ANALFABETISMO		11.8760454
% ASISTENCIA ESCOLAR		86.8736256
% HOGARES (SERVICIOS BÁSICOS)	AGUA POTABLE	84.1259126
	ELECTRICIDAD	90.2928016
	SIN SERVICIO SANITARIO	1.94206767
% VIVIENDAS	CON PISO DE TIERRA	14.6426402

Fuente: Censo de población y vivienda, El Salvador, 2007.

1.1.2. CLIMA

Según Amaya (2015), el microclima de la región del municipio de Santa Ana se define como “sabana tropical caliente o tierra caliente” (0-800 msnm). La estación de Santa Ana “El Palmar”, de donde se obtuvo la información que se presenta en este apartado, se encuentra ubicada al costado sur del estadio Oscar Quiteño, en el valle interior de la región occidental del país. Es una zona urbanizada en los alrededores, se caracteriza por tener tierras planas con suelo arcilloso. La región donde se ubica la estación se zonifica climáticamente según la regionalidad climática de Holdridge como “bosque húmedo subtropical”, con biotemperatura y temperatura del aire, medio anual menor a 24°C. Los rumbos de los vientos son predominantemente del suroeste y del oeste durante la estación seca y lluviosa y la velocidad promedio anual es de 7.8 km/h.

1.1.2.1. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE SANTA ANA.

Según Amaya (2015) en la Figura 1. 2 se muestra el promedio mensual de precipitación en el municipio de Santa Ana, es importante resaltar que la época lluviosa principalmente se

registra entre los meses de mayo y octubre y la época seca entre los meses de noviembre y abril, siendo generalmente los meses límites los considerados de transición propios de cada año hidrológico.

En la Figura 1. 3 se observa el promedio mensual de humedad relativa en el municipio de Santa Ana; es importante destacar que el mes promedio más húmedo del municipio es septiembre y el más seco es febrero.

En la Figura 1. 4 se muestra el promedio de temperaturas en el municipio de Santa Ana, correspondientes a la mínima, máxima y media para cada mes del año.

En general la temperatura mínima promedio es de 18.5°C, la temperatura máxima promedio de 30.1°C y la media de 22.8°C, estos datos aportan elementos acerca del contexto climático local.

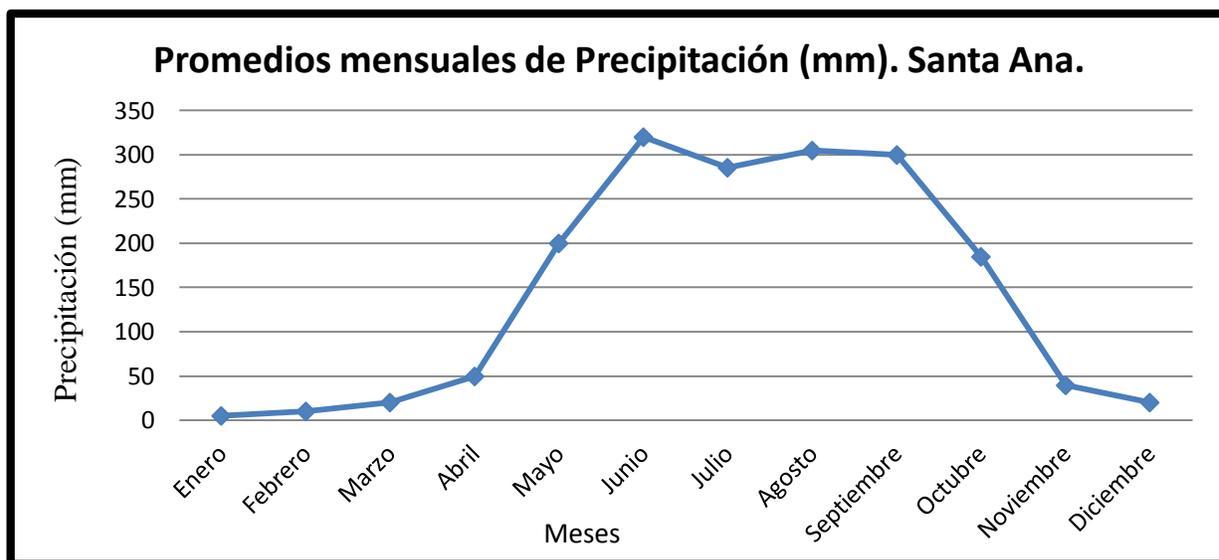


Figura 1. 2 Promedio mensual de precipitación en el municipio de Santa Ana.

Fuente: (Amaya Arévalo, 2015)

Es importante mencionar que las temperaturas ambientales contribuyen indirectamente a la especiación química de las especies y a la microbiología de los cuerpos de agua en especial a los que se encuentran en reposo.

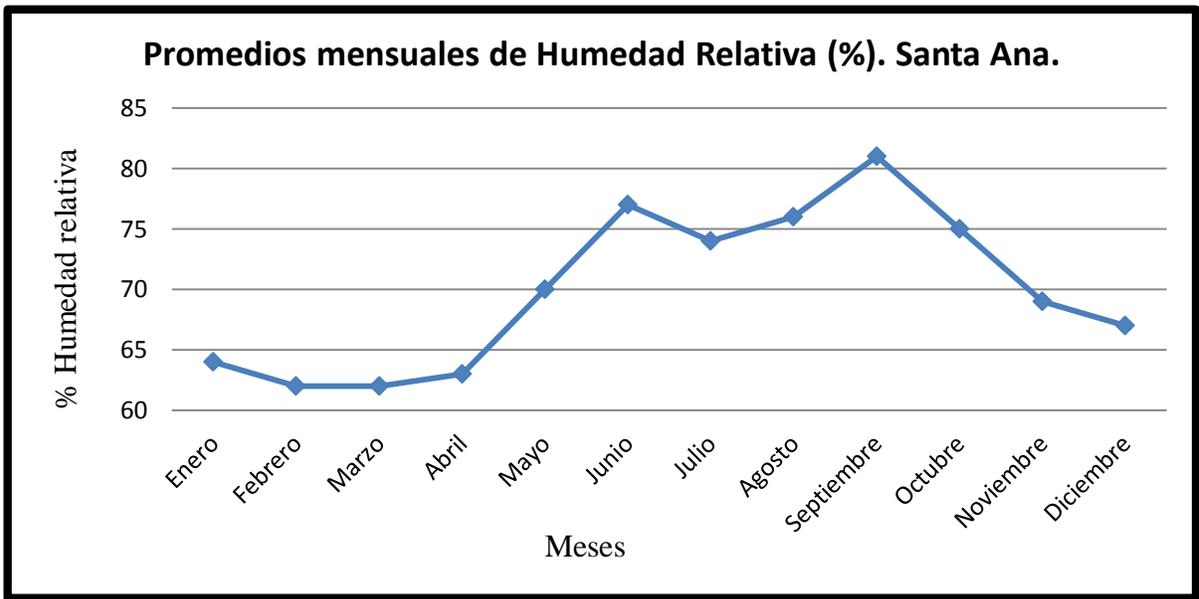


Figura 1. 3 Promedio mensual de humedad relativa en el municipio de Santa Ana.

Fuente (Amaya Arévalo, 2015)

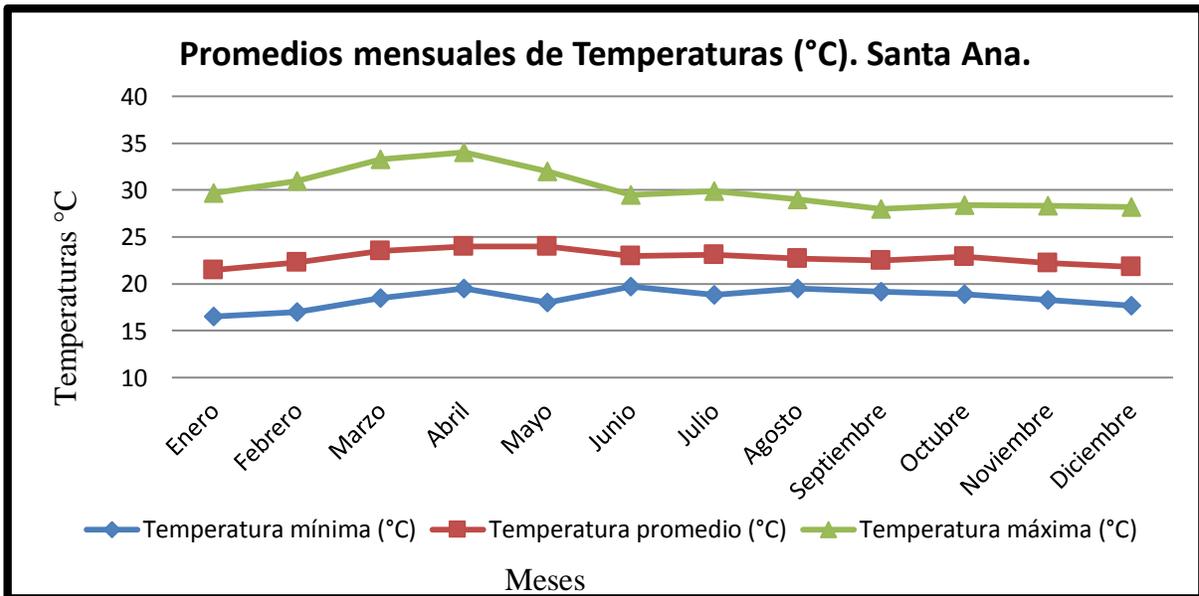


Figura 1. 4 Promedio de temperaturas en el municipio de Santa Ana.

Fuente: (Amaya Arévalo, 2015).

También destaca el indicador relacionado al porcentaje de hogares que no posee servicio sanitario en sus hogares (1.94%), lo cual conlleva a suponer que poseen letrinas y

dependiendo de su construcción a su vez pueden ser fuentes puntuales de contaminación del acuífero superficial

1.1.3. RÍOS Y CORRIENTES SUPERFICIALES DE AGUA

Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado, rara vez constante a lo largo del año, y desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en cuyo caso se denomina afluente. La parte final de un río es su desembocadura. Los ríos transportan agua y sedimento desde las áreas de captación hasta el mar. El curso y la forma del fondo del río resultan de una interacción entre el agua y el sedimento (Espinoza Rivas, Vinicio Merino, & Zavaleta Lemus, 2013).

1.1.3.1. PARTES DE UN RÍO

Según Espinoza Rivas, Vinicio Merino & Zavaleta Lemus (2013) un río está compuesto por varias partes básicas. Por lo general, los más grandes, se dividen en tres partes principales, de acuerdo con su capacidad erosiva y de transporte de sedimentos (ver Figura 1. 5).

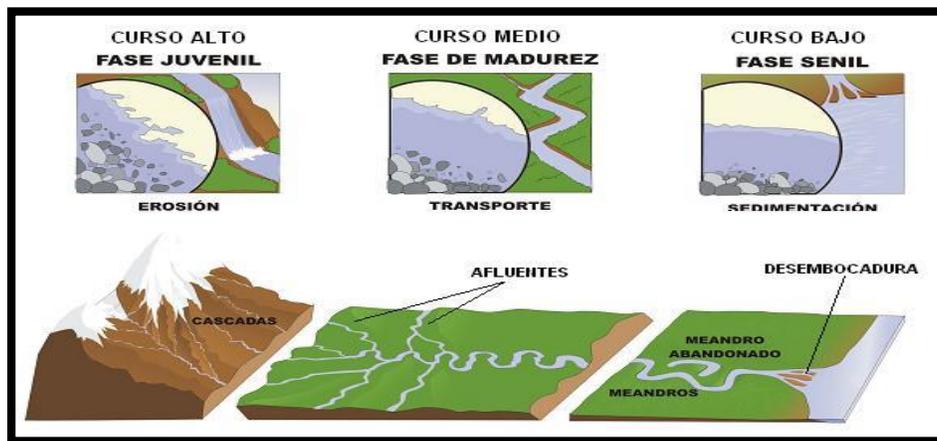


Figura 1. 5 Tramos característicos en el desarrollo de un río.

Fuente: (Espinoza Rivas, Vinicio Merino, & Zavaleta Lemus, 2013)

Curso superior: generalmente, esta parte de los ríos coincide con las áreas montañosas de una cuenca determinada. Está caracterizado por erosión e incisiones verticales. El material de fondo consiste de rocas y piedras. Se trata de pequeñas corrientes de agua con altas velocidades de flujo.

Curso medio: generalmente, en el curso medio de un río suelen alternarse las áreas o zonas donde el río erosiona y donde deposita parte de sus sedimentos, lo cual se debe, principalmente, a las fluctuaciones de la pendiente y a la influencia que reciben con respecto al caudal y sedimentos de sus afluentes. Puede presentar brazos entrelazados y tramos meandrosos. La aparición de entrelazamiento o meandros depende de la pendiente del río, el material de fondo y la descarga a curso lleno. Generalmente, los brazos entrelazados tienen fondos de grava, mientras que los canales meandrosos presentan fondos de arena.

Curso inferior: en las partes en donde el río fluye en áreas relativamente planas, se suelen formar meandros o lagos en herradura. Al fluir el río, acarrea grandes cantidades de sedimentos, los que pueden dar origen a islas sedimentarias, llamadas deltas y también puede ocasionar la elevación del cauce por encima del nivel de la llanura, por lo que muchos ríos suelen discurrir paralelos al mismo.

1.1.3.2. CLASIFICACIÓN DE RÍOS SEGÚN PERÍODO DE ACTIVIDAD

Los ríos por su periodo de actividad se clasifican en:

Perennes: estos ríos están formados por cursos de agua localizados en regiones de lluvias abundantes con escasas fluctuaciones a lo largo del año. Sin embargo, incluso en las áreas donde llueve muy poco pueden existir ríos con caudal permanente si existe una alimentación freática (es decir, de aguas subterráneas) suficiente.

Estacionales: estos ríos y ramblas son de zonas con clima tipo mediterráneo, en donde hay estaciones muy diferenciadas, con inviernos húmedos y veranos secos o viceversa. Suelen darse más en zonas de montaña que en las zonas de llanura.

Transitorios: son los ríos de zonas con clima desértico o seco, de caudal esporádico. Esto es debido a la poca frecuencia de las tormentas en zonas de clima de desierto. Pero cuando existen descargas de tormenta, que muchas veces son torrenciales, los ríos surgen rápidamente y a gran velocidad.

Alóctonos: son ríos, generalmente de zonas áridas, cuyas aguas proceden de otras regiones más lluviosas. (Espinoza Rivas, Vinicio Merino, & Zavaleta Lemus, 2013)

1.1.3.3. CLASIFICACIÓN DE RÍOS SEGÚN GEOMORFOLOGÍA

Según la geomorfología que adopta la corriente, se pueden clasificar los ríos en tres tipos básicos: rectilíneo, meándrico, y anastomosado. Los parámetros utilizados para esta clasificación son la sinuosidad y multiplicidad. Esta última depende del número de barras que divide la corriente en varios brazos.

Rectilíneo: estas corrientes se caracterizan por una sinuosidad baja (menor a 1,5) y multiplicidad 1, es decir, un único canal. Son muy inestables, tendiendo a evolucionar a otros tipos de río. Tienen caudal de alta energía y gran capacidad erosiva.

Anastomosado: estas corrientes presentan canales múltiples. Tienen gran capacidad de transporte y sedimentación. Tienen menor energía que las corrientes rectilíneas, por lo que, al encontrarse con obstáculos, tienden a modificar su trayectoria adecuándose al relieve y a los sedimentos en el fondo del cauce, siendo la deposición en el fondo de sedimentos de granulometría heterogénea.

Meándrico: este tipo de río tiene sinuosidad alta (mayor a 1,5) y canal único. Su característica principal es la unidad geométrica llamada meandro, curva completa sobre el canal, compuesto por dos arcos sucesivos. (Espinoza Rivas, Vinicio Merino, & Zavaleta Lemus, 2013)

1.1.4. INTERACCIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL Y EL AGUA SUBTERRÁNEA

En los manantiales y ríos siempre existe una conexión hidráulica con el acuífero. Por eso es necesario conocer su interrelación entre cada uno de ellos e indagar el comportamiento del acuífero para poder llevar un control de calidad y cantidad que permitan una buena gestión del recurso hídrico.

1.1.4.1. INTERACCIÓN ACUÍFERO - MANANTIALES

Un manantial vinculado a un acuífero libre surge donde la superficie topográfica intercepta al nivel freático. Para un manantial vinculado a un acuífero cautivo supone la salida espontánea del agua provocada por una discontinuidad (fractura, diaclasa, falla). Un manantial tiene por lo tanto un amplio significado sobre la dinámica del acuífero. Se puede definir un manantial como un lugar donde se produce un afloramiento natural del agua subterránea. En lugares donde estratos impermeables bloquean el flujo subterráneo del agua, esta logra llegar a la superficie tal como puede observarse en la Figura 1. 6, la descarga del acuífero se puede dar en una situación al descubierto, como manantial, o de un modo invisible, como cuando el flujo subterráneo aporta a un río o arroyo.

En lugares donde el agua aflora en forma de manantial se le puede captar fácilmente. De hecho, los abastecimientos públicos de agua más antiguos se basaban a menudo en manantiales y cuando el flujo subterráneo aporta al río o viceversa es importante conocer la calidad y cantidad de ambos aportes con el fin de establecer riesgos para su uso. (Bryan, 1979).

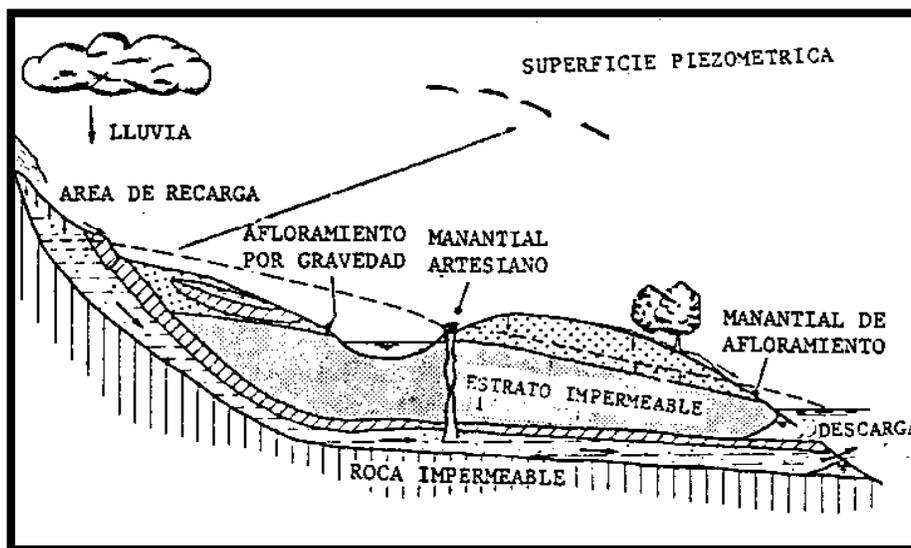


Figura 1. 6 Esquema de surgimiento de manantiales.

Fuente: (Bryan, K. Classification of springs, Journal of Geology, 1979)

1.1.4.2. RÍOS QUE GANAN O CEDEN AGUA AL ACUÍFERO

El río o arroyo típico de una región húmeda recibe agua del nivel freático. Éste es un río efluente o que gana agua (Figura 1. 7A). En las regiones áridas, muchos ríos llevan bastante agua en las partes altas. A medida que llegan a una elevación más baja, su cauce decrece debido a una menor precipitación, lo que provoca un descenso en el nivel freático, hasta el punto en que el río cede agua al acuífero, y se llama río influente (Figura 1. 7B).

Algunos ríos pueden ser de ambos tipos, cediendo agua en épocas de sequía y recibéndola en tiempos de lluvia (Figura 1. 7C). La técnica más utilizada para poder definir esta relación se le llama aforos diferenciales y consiste en medir caudal del canal principal del río y de todas las entradas de ríos tributarios al sistema, de modo que si no existe balance las pérdidas o ganancias corresponden a contribuciones o descargas del acuífero, lo cual se describirá en la metodología de la investigación a continuación de esta sección. (Bryan, 1979).

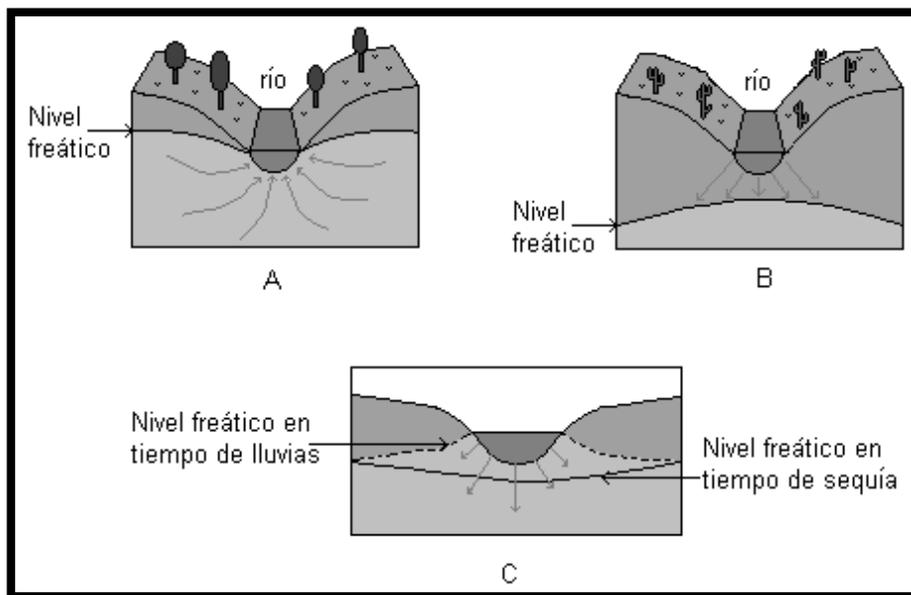


Figura 1. 7 Tipos de ríos: A) Efluente, B) Influyente, C) Efluente en período de lluvia e influente en época de sequía.

Fuente: (Bryan, K. Classification of springs, Journal of Geology, 1979).

En la Figura 1. 8 y Figura 1. 9 se muestran los manantiales y las aguas superficiales del sitio geográfico de estudio.

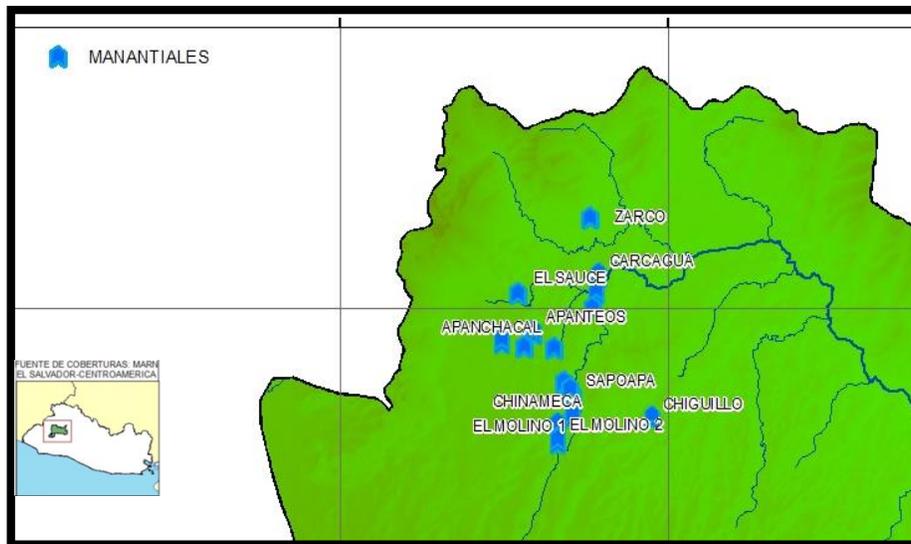


Figura 1. 8 Manantiales en el área geográfica de interés.
Fuente: (Amaya Arévalo, 2015).

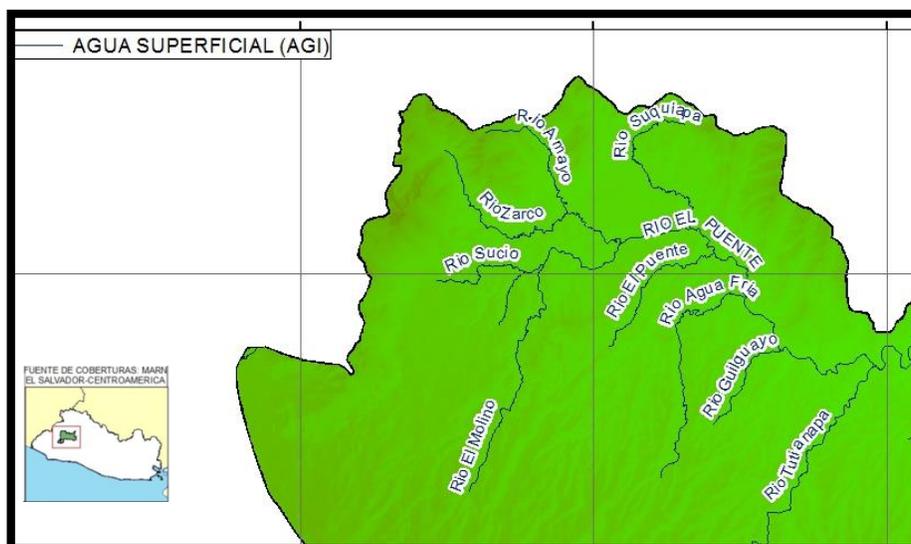


Figura 1. 9 Ríos principales y secundarios del área geográfica de interés
Fuente: (Amaya Arévalo, 2015).

1.1.5. RÍOS EN EL SALVADOR

Según Espinoza Rivas, Vinicio Merino & Zavaleta Lemus (2013), El Salvador posee 360 ríos que drenan el territorio nacional; el más importante de estos, es el río Lempa, que produce el 72 % de la disponibilidad del recurso agua en El Salvador, siendo sus principales tributarios los ríos Acelhuate, Sucio, Torola, Sumpul y Suquiapa. El segundo en importancia es el río Grande de San Miguel, el cual se origina en el departamento de Morazán, atravesando los departamentos de San Miguel y Usulután; produciendo una escorrentía total por año de 6.54 %.

Las regiones hidrográficas de El Salvador, se determinan por medio de la delimitación de las cuencas de los principales ríos del país, según el Plan Maestro Hídrico de 1982 (PNUD, 1982), se han establecido 10 regiones hidrográficas y se identifican por el nombre de los principales ríos (Tabla 1. 4).

Tabla 1. 4 Regiones Hidrográficas de El Salvador.

Regiones Hidrográficas de El Salvador		
1	Región A	Río Lempa
2	Región B	Río Paz
3	Región C	Río Carasucia
4	Región D	Río Grande de Sonsonate
5	Región E	Río Mandinga
6	Región F	Río Jiboa
7	Región G	Estero de Jaltepeque
8	Región H	Bahía de Jiquilisco
9	Región I	Río Grande de San Miguel
10	Región J	Río Sirama

Fuente: (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2012)

Dentro de estas regiones, se pueden mencionar la región A como una de las más importantes ya que es la más grande, cuya parte alta de la cuenca cubre territorio de Honduras y Guatemala, en total son 18,246 km², casi un 49 % del territorio nacional, dentro de la cuenca están núcleos poblacionales importantes como el de las áreas metropolitanas de San Salvador y Santa Ana.

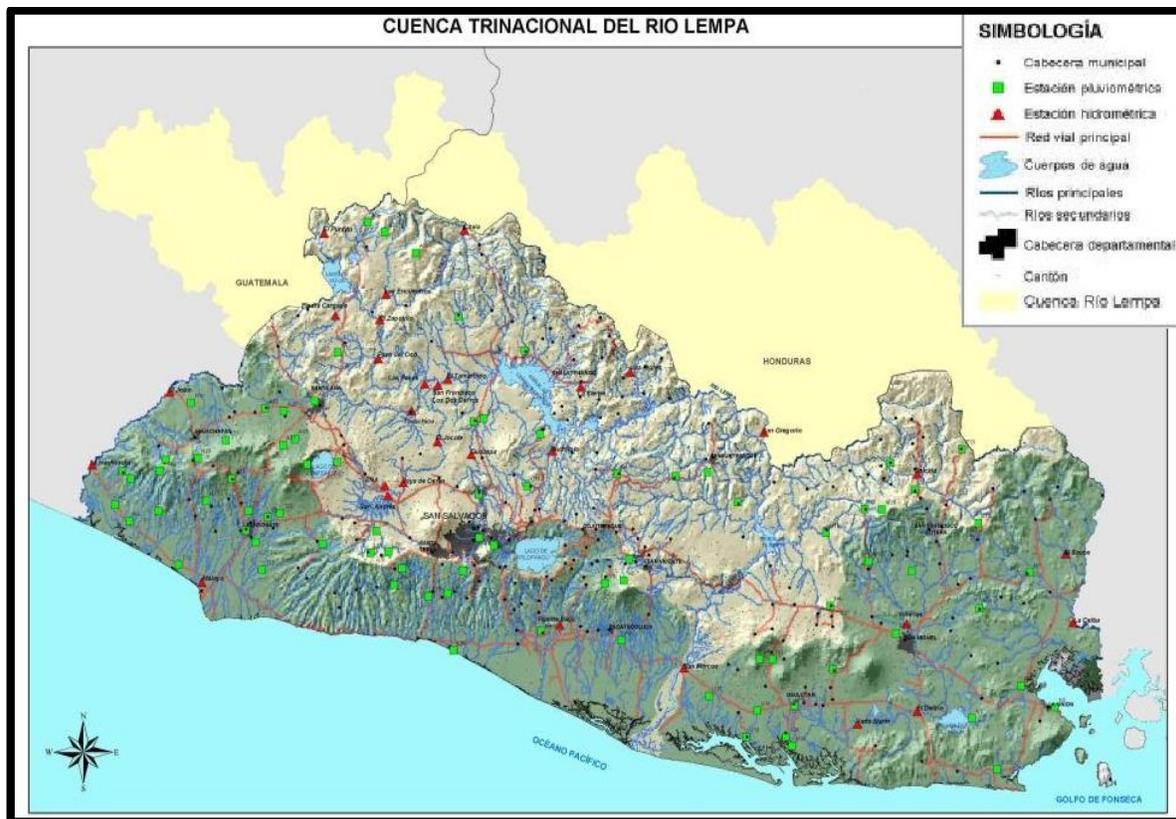


Figura 1. 10 Región A: Río Lempa.

Fuente: (Hernández, 2005)

1.1.5.1. CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

La contaminación de los recursos hídricos superficiales en El Salvador está relacionada directamente al desarrollo poblacional, industrial y agrícola de las regiones (Espinoza Rivas, Vinicio Merino, & Zavaleta Lemus, 2013).

A continuación se detalla los tipos de contaminación más usuales de los recursos hídricos:

- Contaminación agrícola

La contaminación agrícola es una fuente de contaminación no localizada, o no puntual, por lo que resulta más difícil controlarla y darle seguimiento para su tratamiento. En general los contaminantes agrícolas más significativos son tres:

-Los sedimentos producidos por la erosión, que acarrean las diversas sustancias químicas que se han absorbido.

-La pesada carga de nutrientes, sobre todo en nitrógeno y en fósforo procedente de la fertilización de cultivos o de áreas de crianza de animales.

-Los pesticidas, aunado a estos está el alto nivel de agentes patógenos en las masas de aguas superficiales.

- Contaminación de origen doméstico

Las aguas servidas domésticas son una mezcla de residuos que incluyen sustancias presentes en el excremento humano, es decir, una mezcla de compuestos orgánicos y minerales no disueltos en solución acuosa. Los compuestos orgánicos son las grasas, jabones, proteínas, glúcidos y los compuestos provenientes de la descomposición, detergentes, aceites minerales y otros desperdicios de origen animal y vegetal.

- Contaminación de origen industrial

Los contaminantes contenidos en aguas de origen industrial son innumerables dependiendo del tipo de producción. En general, la contaminación puede ser debida a materia inorgánica que se encuentra en suspensión y en solución, y también, a sustancias orgánicas como los desechos químicos fenólicos, orgánicos fermentables y desechos tóxicos. Los detergentes contenidos en las aguas naturales provienen en su mayoría de descargas industriales.

En marzo del año 2011 el MARN reportó que el 50% de 55 ríos evaluados en el país, presentaron calidad de agua “regular” desde el punto de vista ambiental, lo que sugiere que el 50% de los ríos del país no poseen aptitud para la fauna y flora acuática.

De este mismo informe, se destaca que solamente un 12% de los ríos evaluados presentaron calidad de agua “buena”, y 38% presentaron calidad entre “mala” y pésima”; entre éstos ríos se encuentra el río Suquiapa.

Según los resultados presentados en dicho informe, el 17% de los ríos evaluados poseen aptitud de agua cruda para potabilizar mediante métodos convencionales (Espinoza Rivas, Vinicio Merino, & Zavaleta Lemus, 2013).

1.1.6. SUBCUENCA DEL RÍO SUQUIAPA

Según el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (2002), la subcuenca del río Suquiapa tiene un área de 425 km², en el 21% de ésta área (88 km²) se encuentran localizadas las fuentes que contaminan el río principal y sus afluentes. La contaminación es producida principalmente por las descargas de aguas negras de las áreas urbanas, beneficios de café que aún descargan a los ríos (algunos sin darle tratamiento a sus aguas mieles), tenerías, industrias alimenticias y otros tipos de vertidos en la ciudad de Santa Ana.

La subcuenca del río Suquiapa, a comparación de las cuencas del río Acelhuate y río Sucio, ha sido menos estudiada, pero es de vital importancia comenzar a desarrollar planes de intervención para que la contaminación no llegue a grados mucho más alarmantes.

La subcuenca del río Suquiapa abarca significativamente cinco municipios que son: Santa Ana, Coatepeque, San Juan Opico, San Matías y San Pablo Tacachico. Es importante considerar las actividades agrícolas, comerciales e industriales de tales municipios; con el objetivo de considerar el impacto ambiental en el cuerpo de agua en estudio debido a estas actividades.

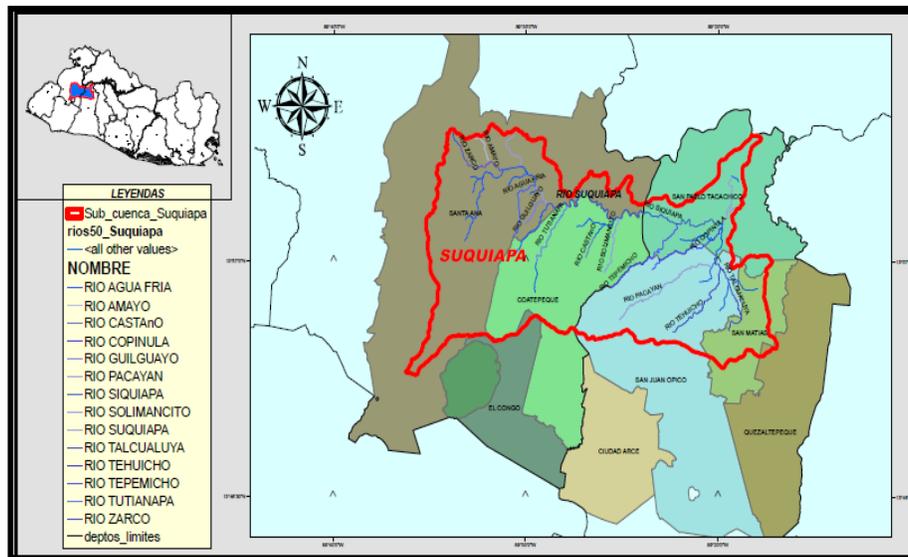


Figura 1. 11 Ríos de la subcuenca del río Suquiapa.

Fuente: (Pastora Flores, 2009).

Se puede observar el contorno rojo que delimita la superficie de la sub cuenca; a la que pertenecen catorce ríos.

Entre los usos que se da a la subcuenca del río Suquiapa se encuentran los siguientes:

- Generación de energía hidroeléctrica

La velocidad del cauce del río Suquiapa y de algunos de sus tributarios es utilizada para la producción de energía hidroeléctrica. A continuación se presentan las centrales instaladas y los proyectos en curso que utilizan el cauce del río Suquiapa.

Tabla 1. 5 Centrales hidroeléctricas en la parte alta del río Suquiapa.

Planta	Río utilizado	Potencia instalada (MW)
Central Hidroeléctrica Atehuesias	Río El Molino	0.60
Central Hidroeléctrica Cutumay Camones	Río El Sauce	0.40
Central Hidroeléctrica San Luis I	Río Suquiapa	0.63
Proyecto Hidroeléctrico San Luis II	Río Suquiapa	0.74

Fuente: (Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones)

Entre las plantas hidroeléctricas instaladas se encuentra la Planta Hidroeléctrica San Luis N° 2, ubicada en la jurisdicción del cantón Nancintepeque. Esta mini central es administrada por la Compañía Eléctrica Cucumacayán, S.A. de C.V. (CECSA), permite una generación con dos unidades de 384 kW cada una.

- Distrito de riego de Atiocoyo

Según la Ley de Creación del Distrito de Riego y Avenamiento N° 2 Atiocoyo (1973), el Distrito será de una extensión superficial de cinco mil setecientos setenta hectáreas. Sus límites territoriales están comprendidos en jurisdicción de los municipios de San Pablo Tacachico, en el departamento de La Libertad, y Nueva Concepción y Agua Caliente, en el departamento de Chalatenango. Comprende tres zonas de riego definidas así:

-Atiocoyo; delimitada por la margen derecha del río Suquiapa, la línea ferroviaria San Salvador-Santa Ana, margen izquierda del río Sucio y la cota 285 msnm.

Los principales cultivos de la zona son granos básicos, entre estos, arroz y maíz. También se cultivan cítricos, frutas y caña de azúcar.

- Turismo

La zona cuenta con algunos balnearios cuyas aguas provienen de fuentes subterráneas y manantiales de la zona. Uno de los sitios turísticos más grandes, es el balneario Las Cascadas: ubicado en las cercanías del río Zarco, Hacienda San Cayetano, Lotificación Amayito.

Además de presencia de piscinas artesanales en haciendas privadas utilizadas para fines recreativos (Espinoza Rivas, Vinicio Merino, & Zavaleta Lemus, 2013)

- Acuicultura

La crianza de tilapias es una actividad característica de la zona. El Comité Acuicultores de Atiocoyo utiliza recursos hídricos del Distrito de riego de Atiocoyo para fines de producción acuícola. También se encuentra el Beneficio El Sauce, donde se crían y venden tilapias.

- Distribución de Agua

Uno de los manantiales que alimentan la corriente principal del río Suquiapa, además de ser un espacio de recreación, también sirve como fuente de agua para sus hogares. Se ha formado una asociación comunal para mantener tal proyecto, distribuyendo de agua a aproximadamente 200 familias. (Espinoza Rivas, Vinicio Merino, & Zavaleta Lemus, 2013)

1.2. CALIDAD DEL AGUA

Según la Organización de las Naciones Unidas (2014), la calidad de cualquier masa de agua, superficial o subterránea depende tanto de factores naturales como de la acción humana, sin ella, la calidad del agua vendría determinada por la erosión del substrato mineral, los procesos atmosféricos de evapotranspiración y sedimentación de lodos y sales, la lixiviación natural de la materia orgánica y los nutrientes del suelo por los factores hidrológicos, y los procesos biológicos en el medio acuático que pueden alterar la composición física y química del agua.

Por lo general, la calidad del agua se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua con unas directrices de calidad del agua o estándares, estas normas se establecen para asegurar un suministro de agua limpia y saludable para el consumo humano y, de este modo, proteger la salud de las personas. Estas normas se basan normalmente en unos niveles de toxicidad científicamente aceptables tanto para los humanos como para los organismos acuáticos.

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico.

A nivel global, el principal problema relacionado con la calidad del agua lo constituye la eutrofización, que es el resultado de un aumento de los niveles de nutrientes y afecta sustancialmente a los usos del agua. Las mayores fuentes de nutrientes provienen de la escorrentía agrícola y de las aguas residuales domésticas (también fuente de contaminación microbiana), de efluentes industriales y emisiones a la atmósfera procedentes de la

combustión de combustibles fósiles y de los incendios forestales. Los lagos y los pantanos son especialmente susceptibles a los impactos negativos de la eutrofización debido a su complejo dinamismo, con un periodo de residencia del agua relativamente largo, y al hecho de que concentran los contaminantes procedentes de las cuencas de drenaje.

1.2.1. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA

Según Samboni, Carvajal & Escobar (2007), el desarrollo sostenible de una región pasa por el cuidado y conservación de los recursos naturales, en los cuales el agua juega un rol fundamental al ser insustituible por otras sustancias. La sostenibilidad del agua tiene dos componentes fundamentales: disponibilidad y calidad. Ambos están íntimamente relacionados pues si la calidad es deficiente implica que habrá un decrecimiento en la disponibilidad, al igual que la abundancia de agua sin los requerimientos necesarios, entraña déficit del recurso hídrico.

Es común que la evaluación de la calidad se realice a partir de un conjunto de variables físicas, químicas y biológicas, dando como resultado grados de aptitud que solo son interpretables por especialistas en la materia. Sin embargo, por la importancia que tiene la calidad de las aguas para toda la sociedad es necesario que los resultados se expresen de manera comprensible por profesionales y público en general.

Una manera de contribuir a la mejor interpretación y entendimiento de los datos de monitoreo de las aguas es a través del uso de índices de calidad, que son herramientas que permiten asignar un valor de calidad a partir del análisis de diversos parámetros, la idea es convertir los datos en información y ésta en conocimiento, estos índices:

- Poseen la capacidad de resumir y simplificar datos complejos.
- Tienen expresión numérica, por tanto pueden incluirse en modelos para la toma de decisiones.
- Son entendibles por el público, los medios y los usuarios.
- Poseen menos información que los datos brutos.

Por su naturaleza los índices pueden ser: fisicoquímicos, biológicos e hidro-morfológicos; combinan diversas variables (aniones, cationes, pH, conductividad eléctrica, temperatura, turbidez, Coliformes fecales y totales, disponibilidad de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, metales pesados, contenidos de nitrógeno y fósforo, algas, peces, macro-invertebrados, caudales ambientales, continuidad fluvial, entre otros.) y proporcionan una valoración de la calidad del agua en una escala de 0-100, donde 0 (cero) es mala calidad y 100 es excelente. (Balmaseda Espinosa & García Hidalgo, 2014)

1.2.1.1. MODELO DE ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA CCME WQI

Según Ali Khan, Paterson & Khan (2004), el Water Quality Index of Canadian Council of Ministers of the Environment, conocido como CCME_WQI (por sus siglas en inglés) fue desarrollado para simplificar el reporte de los datos de calidad de las aguas. Es una herramienta para generar resúmenes de los datos de calidad útiles tanto para técnicos como para políticos, así como para el público en general interesado en ese conocimiento. No es un sustituto de los análisis detallados de la calidad de las aguas.

Este índice se basa en la determinación de tres factores que representan alcance, frecuencia y amplitud. El alcance define el porcentaje de variables que tienen valores fuera del rango de niveles deseables para el uso que se esté evaluando respecto al total de variables consideradas. La frecuencia se halla por la relación entre la cantidad de valores fuera de los niveles deseables respecto al total de datos de las variables estudiadas. Mientras la amplitud es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la magnitud de los excesos de cada dato fuera de rango al compararlo con su umbral (Ver sección 2.3).

1.2.2. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

El análisis de parámetros fisicoquímicos es una parte fundamental en la modelación ambiental y la obtención de la calidad del agua ya que estos ayudan a validar los métodos utilizados por los software de modelación y con respecto a la calidad del agua estos se comparan con valores normados para el agua a analizar, presentando a continuación los diferentes métodos de análisis para los parámetros que se tomaron en cuenta en dicha investigación.

1.2.2.1. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Según Aguirre Chavarría, González Guidos & Guerrero Granadeño (2015) la conductividad eléctrica (CE), es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transmitir una corriente eléctrica y es igual al recíproco de la resistividad de la solución.

Dicha capacidad depende de la presencia de iones; de su concentración, movilidad y valencia, y de la temperatura ambiental. Las soluciones de la mayoría de los compuestos inorgánicos (ej. aniones de cloruro, nitrato, sulfato y fosfato) son relativamente buenos conductores. Por el contrario, moléculas de compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas (ej. aceites, fenoles, alcoholes y azúcares) son pobres conductores de una corriente eléctrica. La conductancia (G, recíproco de resistencia R) de una solución se mide utilizando dos electrodos químicamente inertes y fijos espacialmente. La conductancia de una solución es directamente proporcional al área superficial del electrodo A, (cm²), e inversamente proporcional a distancia entre los electrodos L, (cm). La constante de proporcionalidad, k (conductividad) es una propiedad característica de la solución localizada entre dos electrodos.

La conductividad se reporta generalmente en micromhos/cm (μmho/cm). En el Sistema Internacional de Unidades (SI), el recíproco del ohm es el siemens (S) y la conductividad se reporta en mili siemens/metro (mS/m). Las siguientes expresiones de conversión se utilizan para cambiar de un sistema de medidas al otro:

$$1 \text{ mS/m} = 10 \text{ } \mu\text{mhos/cm}$$

$$1 \text{ } \mu\text{S/cm} = 1 \text{ } \mu\text{mhos/cm}$$

$$0.1 \text{ mS/m} = 1 \text{ } \mu\text{mhos/cm}$$

El agua destilada en el laboratorio tiene una conductividad en el rango de: 0.5 a 3 μmhos/cm. Cuando medimos la conductividad de una muestra de agua, ésta aumenta poco después de exponerse al aire y luego de entrar en contacto con el envase utilizado para tomar la muestra.

1.2.2.2. TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS

Según Aguirre Chavarría, González Guidos & Guerrero Granadeño (2015) la cantidad de sólidos disueltos totales (TDS) es uno de los principales indicadores de la calidad del agua. El TDS es el total de sales disueltas y se puede expresar en mg/l, g/m³ o ppm (mg/l). El hecho de que el agua tenga sales en disolución, hace que ésta sea conductiva a la electricidad. Así un agua con muchas sales, es muy conductiva y la medida de la conductividad nos permite evaluar de una forma rápida la salinidad del agua. Las sales más frecuentes en el agua son las de calcio, magnesio y sodio. En aguas no salobres, el 90 % del contenido de sales en el agua, son por presencia de calcio y magnesio

1.2.2.3. TURBIDEZ

La turbidez es una característica óptica o propiedad de un líquido, que en términos generales describe la claridad u opacidad del líquido. La turbidez siempre se basó en la observación humana y a la vez que este fenómeno es cuantificable de diferentes formas, todavía se discute mucho acerca de las diferentes técnicas de medición de turbidez de los fluidos.

La turbidez no tiene que ver con el color, sino que se relaciona más con la pérdida de transparencia debida al efecto de partículas en suspensión, material coloidal, o ambos. Una falta de turbidez resulta en la pureza ya que es, en parte, el efecto de estos diversos materiales en suspensión sobre la luz que atraviesa el líquido.

1.2.2.4. POTENCIAL DE HIDRÓGENO

Como se menciona en Aguirre Chavarría, González Guidos & Guerrero Granadeño (2015) el pH es un factor muy importante, porque determinados procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH. Por ejemplo, las reacciones del cloro solo tienen lugar cuando el pH tiene un valor de entre 6.5 y 8.

Un electrodo de pH es un tubo lo suficientemente pequeño como para poder ser introducido en un tarro normal. Está unido a un pH-metro por medio de un cable. Un tipo especial de fluido se coloca dentro del electrodo; este es normalmente “cloruro de potasio 3M”.

1.2.2.5. TEMPERATURA

La temperatura del agua no es sólo importante para los que se dedican a la natación o a la pesca, pero también para las industrias y aún los peces y las algas. Mucha agua se utiliza para enfriar las plantas generadoras de energía que producen electricidad. Estas plantas necesitan enfriar el agua y generalmente la liberan posteriormente al ambiente más caliente que en su estado normal. La temperatura de esta agua que se regresa, puede dañar la vida acuática. También puede afectar la habilidad del agua para retener oxígeno y la habilidad de los organismos para resistir ciertos tipos de contaminantes. (U. S. Geological Survey, 2015)

1.2.2.6. OXÍGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Es un indicador de que tan contaminada está el agua o de lo bien que puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir. El oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua, por lo que están muy influidos por las turbulencias del río (que aumentan el OD) o ríos sin velocidad (en los que baja el OD). Parte del oxígeno disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas, por lo que ríos con muchas plantas en días de sol pueden presentar sobresaturación de OD. Otros factores como la salinidad, o la altitud (debido a que cambia la presión) también afectan los niveles de OD. Además, la cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua depende de la temperatura. El agua más fría puede contener más oxígeno en ella que el agua más caliente. Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 7 y 12 partes por millón (ppm o mg/l). A veces se expresan en términos de porcentaje de saturación. Los niveles bajos de OD pueden encontrarse en áreas donde el material orgánico (vertidos de depuradoras, granjas, plantas muertas y materia animal) está en descomposición. Las bacterias requieren oxígeno para descomponer desechos orgánicos y, por lo tanto, disminuyen el oxígeno del agua. (Aguirre Chavarría, González Guidos, & Guerrero Granadaño, 2015).

1.2.2.7. HIERRO

Según Aguirre Chavarría, González Guidos & Guerrero Granadeño (2015) este procede de minas metálicas y también es frecuente en silicatos. En las aguas subterráneas el hierro se encuentra en forma de Fe^{2+} en condiciones de potencial redox bajo. Si el potencial redox sube, el Fe^{2+} pasa a Fe^{3+} que precipita.

El hierro es un constituyente normal del organismo humano (forma parte de la hemoglobina). Por lo general, sus sales no son tóxicas en las cantidades comúnmente encontradas en las aguas naturales.

La presencia de hierro puede afectar el sabor del agua, producir manchas indelebles sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca. También puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbiedad y el color del agua.

1.2.2.8. CLORO LIBRE

Según Aguirre Chavarría, González Guidos & Guerrero Granadeño (2015), el cloro es un químico importante para la purificación del agua (como en plantas de tratamiento de agua), en desinfectantes, y en la lejía. El cloro en agua es más de tres veces más efectivo como agente desinfectante contra *Escherichia coli* que una concentración equivalente de bromo, y más de seis veces más efectiva que una concentración equivalente de yodo. El cloro como antiséptico fue introducido en 1835 por Holmes y 1847 Semmelweis. El cloro se emplea como desinfectante en mobiliarios, equipos, instrumental y áreas hospitalarias. El cloro suele ser usado en la forma de ácido hipocloroso para eliminar bacterias, hongos, parásitos y virus en los suministros de agua potable y piscinas públicas. En la mayoría de piscinas privadas, el cloro en sí no se usa, sino hipoclorito de sodio, formado a partir de cloro e hidróxido de sodio, o tabletas sólidas de isocianuratos clorados. Incluso los pequeños suministros de agua son clorados rutinariamente ahora.

1.2.2.9. YODO

Según Aguirre Chavarría, González Guidos & Guerrero Granadeño (2015), el yodo es un importante micronutriente necesario para la nutrición humana. Su deficiencia conduce a un

amplio espectro de problemas colectivamente llamados desórdenes por deficiencia de yodo (DDY). Las mayores manifestaciones son el retardo mental, cretinismo, sordomudez, abortos y bocio. Esta carencia también afecta el desarrollo socioeconómico de los países. La industrialización y el desarrollo económico mejoran el yodo en la dieta, permitiendo el consumo de alimentos producidos en ambientes diferentes al local.

La concentración de yodo en el agua refleja su distribución ambiental, y es además un importante índice de la ingesta natural en el hombre y un índice indirecto de contaminación en el entorno. Aunque el contenido de yodo en las aguas nos puede dar una orientación general sobre la situación del yodo en un lugar, el bocio endémico todavía puede prevalecer en áreas con alta cantidad de yodo en el agua.

1.2.2.10. BROMO

Según Aguirre Chavarría, González Guidos & Guerrero Granadeño (2015), el bromo es un elemento que se da en la naturaleza y que puede encontrarse en muchas sustancias inorgánicas. Los humanos, sin embargo, empezaron hace muchos años a introducir bromuros orgánicos en el medio ambiente. Estos son todos ellos compuestos que no son naturales y pueden causar graves daños a la salud humana y el medio ambiente.

Los humanos podemos absorber bromuros orgánicos a través de la piel, con la comida y durante la respiración. Los bromuros orgánicos son ampliamente usados como spray para matar insectos y otras plagas no deseadas. Pero no solo son venenosas para los animales contra los que son usados, sino también para los animales más grandes. En muchos casos también son venenosos para los humanos.

Los efectos sobre la salud más importantes que pueden ser causados por contaminantes orgánicos que contienen bromuros son disfunciones del sistema nervioso y alteraciones del material genético. Pero los bromuros orgánicos pueden también dañar ciertos órganos como el hígado, riñones, pulmones y testículos y puede causar disfunciones estomacales y gastrointestinales.

1.2.2.11. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Según Aguirre Chavarría, González Guidos & Guerrero Granadeño (2015), la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días y es una de las determinaciones más importantes en el control de la contaminación del agua, así como en estudios dirigidos a evaluar la capacidad de purificación de un cuerpo receptor. El DBO₅ corresponde principalmente a la utilización por los microorganismos de tres tipos de materiales:

- Materiales orgánicos carbonados utilizados por microorganismos aeróbicos.
- Nitrógeno oxidable (NO₂ y NH₃) y otros compuestos nitrogenados utilizados específicamente por bacterias de los géneros nitrosomas y nitrobacter.
- Compuestos químicos reductores (ion ferroso, sulfitos y sulfuros).

La DBO₅ en estudios de impacto ambiental es un indicador de la carga de contaminación orgánica del agua, generalmente los rangos de concentración varían de acuerdo al tipo de agua. En el agua potable se puede tener de 0.75 ppm a 1.50 ppm, en el agua contaminada contienen más de 5 ppm, las aguas negras municipales no tratadas se encuentran en un rango de 100 a 400 ppm y las aguas residuales industriales y agrícolas presentan de miles de ppm de DBO.

1.2.2.12. ARSÉNICO

Según el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (2009) el arsénico aparece en la naturaleza fundamentalmente en dos estados de oxidación, As (III) y As (V). El arsénico puede metilarse por acción de las bacterias y otros seres vivos en sedimentos y aguas naturales. Las fuentes de arsénico en el medio ambiente son tanto naturales (como las erupciones volcánicas) como antropogénicas, entre estas destaca el uso de compuestos de arsénico como agentes conservantes de la madera y pesticidas, fungicidas, la fundición de metales no férreos, especialmente el cobre, plomo y cinc, la fabricación de aleaciones y

semiconductores y la combustión del carbón, fabricación de pesticidas y herbicidas, etc. Se han realizado estudios para evaluar la influencia de propiedades del suelo como pH, materia orgánica, arcilla, contenido de óxido de hierro y óxido de aluminio y la capacidad de intercambio catiónico en la adsorción del arsénico; una variable importante es el contenido en hierro y manganeso, ya que el arsénico adsorbido a los óxidos de estos metales puede desorberse en condiciones reductoras como las prevalentes en sedimentos.

La alcalinización del suelo contribuye asimismo a aumentar la movilidad del arsénico.

En aguas superficiales y subterráneas el arsénico inorgánico tiende a adsorberse en la materia en suspensión, sedimentos y fracción sólida del suelo, especialmente a las arcillas, óxidos de hierro, hidróxidos de aluminio, compuestos de manganeso y materia orgánica. En aguas ácidas y neutras, el As (V) se adsorbe fuertemente a los sedimentos mientras que el As (III) lo hace débilmente. La adsorción del arsénico en ambos estados de oxidación disminuye en medios alcalinos. Las plantas pueden absorber arsénico del suelo o de la materia particulada depositada en sus hojas.

El arsénico está clasificado en el grupo I, de sustancias cancerígenas, afectando además los pulmones, el hígado el sistema nervioso y la piel. Por otra parte de acuerdo a estudios recientes de científicos escandinavos, se sabe que el arroz posee un gen que acumula el Arsénico.

1.2.2.13. PLOMO

Según (Lenntech BV, 2015) industrialmente, sus compuestos más importantes son los óxidos de plomo y el tetraetilo de plomo. El plomo forma aleaciones con muchos metales y, en general, se emplea en esta forma en la mayor parte de sus aplicaciones. Todas las aleaciones formadas con estaño, cobre, arsénico, antimonio, bismuto, cadmio y sodio tienen importancia industrial.

Los compuestos del plomo son tóxicos y han producido envenenamiento de trabajadores por su uso inadecuado y por una exposición excesiva a los mismos. Sin embargo, en la actualidad el envenenamiento por plomo es raro en virtud e la aplicación industrial de controles

modernos, tanto de higiene como relacionados con la ingeniería. El mayor peligro proviene de la inhalación de vapor o de polvo. En el caso de los compuestos organoplúmbicos, la absorción a través de la piel puede llegar a ser significativa. Algunos de los síntomas de envenenamiento por plomo son dolores de cabeza, vértigo e insomnio. En los casos agudos, por lo común se presenta estupor, el cual progresa hasta el coma y termina en la muerte. El control médico de los empleados que se encuentren relacionados con el uso de plomo comprende pruebas clínicas de los niveles de este elemento en la sangre y en la orina. Con un control de este tipo y la aplicación apropiada de control de ingeniería, el envenenamiento industrial causado por el plomo puede evitarse por completo.

El plomo rara vez se encuentra en su estado elemental, el mineral más común es el sulfuro, la galeana, los otros minerales de importancia comercial son el carbonato, cerusita, y el sulfato, anglesita, que son mucho más raros. También se encuentra plomo en varios minerales de uranio y de torio, ya que proviene directamente de la desintegración radiactiva (decaimiento radiactivo). Los minerales comerciales pueden contener tan poco plomo como el 3%, pero lo más común es un contenido de poco más o menos el 10%. Los minerales se concentran hasta alcanzar un contenido de plomo de 40% o más antes de fundirse.

El uso más amplio del plomo, como tal, se encuentra en la fabricación de baterías, soldaduras y en aguas blandas y ácidas ($\text{pH} < 6.5$) forma compuestos en los estados de oxidación +2 y +4. Forma precipitados con muchos aniones con hidróxidos, carbonatos sulfatos y fosfatos.

Afecta principalmente los siguientes órganos: huesos, hígado, riñones y el sistema nervioso central y los primeros síntomas son letargo, vómito, irritabilidad, pérdida de apetito, mareos, etc.

El plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo. Estos experimentarán efectos en su salud por envenenamiento por plomo. Los efectos sobre la salud de los crustáceos tienen lugar incluso cuando sólo hay pequeñas concentraciones de plomo presente.

Las funciones en el fitoplancton pueden ser perturbadas cuando interfiere con el plomo. El fitoplancton es una fuente importante de producción de oxígeno en mares y muchos grandes animales marinos lo comen. Este es por qué nosotros ahora empezamos a preguntarnos si la contaminación por plomo puede influir en los balances globales. Las funciones del suelo son perturbadas por la intervención del plomo, especialmente cerca de las autopistas y tierras de cultivos, donde concentraciones extremas pueden estar presente. Los organismos del suelo también sufren envenenamiento por plomo.

El plomo es un elemento químico particularmente peligroso, y se puede acumular en organismos individuales, pero también entrar en las cadenas alimenticias.

1.2.3. ANTECEDENTES DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA

Diferentes investigaciones de campo, sobre la calidad del agua superficial se han realizado en los últimos diez años en el país.

De estas investigaciones especial mención merecen las realizadas en las subcuencas Acelhuate, Sucio y Suquiapa, por cuanto han identificado las fuentes de contaminación puntual y dispersa, tipo de contaminantes, determina el Índice de Calidad Ambiental ICA en diferentes tramos, identifica tramos críticos, ha modelado los parámetros de Oxígeno disuelto y DBO₅ para determinar la capacidad de auto depuración de los ríos y se han propuesto estrategias para descontaminarlos. El resumen de la revisión de las investigaciones previas siguientes, que se presenta estructurado por nombre de la institución, título de la publicación, objetivos y resultados.

1.2.3.1. INVESTIGACIONES DE SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES SNET.

- **ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL. PUBLICACIÓN DEL SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES SNET**

Objetivo

Establece la metodología y parámetros para determinar la Calidad del Agua, referida como Índice de Calidad del Agua General ICA. Este índice es ampliamente utilizado habiendo sido diseñado en 1970, y es utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no.

- EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL CANAL PRINCIPAL DEL RÍO ACELHUATE” PERIODO 2002 AL 2005. SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES / SERVICIO HIDROLÓGICO NACIONAL/02 MARZO 2005

Objetivo

Evaluar la mejora o deterioro de la calidad de las aguas por el cálculo del Índice de Calidad de Agua General (ICA), en el periodo del 2002 a 2005.

Resultados

La calidad del agua del Río Acelhuate desde su nacimiento hasta su desembocadura va de pésima a mala calidad; la investigación determina que el agua es una amenaza para los pobladores que tienen contacto con ella y limita el desarrollo de vida acuática. Los niveles de contaminación fecal para el año 2005 a través de los Coliformes fecales llegan hasta 30,000,000 NMP /100ml; el máximo para el contacto humano es de 1,000 bacterias/100 ml se puede ver que este límite máximo está incluido 30,000 veces en la cantidad de bacterias que transporta el río. Esta carga de contaminación fecal ingresa al embalse del Cerrón Grande, impactando la calidad sanitaria de los productos alimenticios generados con esa agua.

Para el año 2004 determina una mejora de la calidad de agua del río en un 40% con respecto al año 2003, lo que se debe probablemente a las campañas de remoción de desechos sólidos realizadas por el Comité Intersectorial del Río Acelhuate.

Para el 2005 se observa un deterioro grave de la calidad de las aguas del río, con respecto al año 2004, los resultados para la época seca presentan sitios de muestreo con valores de cero

unidades de oxígeno disuelto y valores muy elevados de carga orgánica biodegradables cuantificados a través de la DBO₅ con datos de hasta 473 mg/l. Con respecto a la cantidad de agua, el caudal medido para el año 2005 para la época seca es 30% mayor que el caudal correspondiente al año 2004, por lo anterior, se determina existe un aumento en la carga de contaminante para el primer tramo del río, la cual se puede deber a un aumento en la actividad industrial o descargas basura directamente al río.

- EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DEL RÍO LEMPA EN LA CUENCA ALTA ÉPOCA SECA 2003-2004. MAYO 2004. MARN/SNET. SERVICIO HIDROLÓGICO NACIONAL.

Objetivo

Monitoreo de la cuenca alta del río Lempa para estudiar la evolución de la calidad de agua a través del año, evaluar la amenaza que representa el agua a la población que tiene contacto con ella y las características del agua aptas para el desarrollo de vida acuática.

Resultados

Para noviembre 2003, el ICA clasifica tres de cinco sitios como de calidad “Buena”, lo que indica en estos lugares que el agua no representa una amenaza para el contacto humano y existen condiciones para el desarrollo de vida acuática. Dentro de los resultados se tiene niveles muy buenos de oxígeno disuelto, niveles alcalinos de pH y niveles menores de 1,000 NMP/100ml de Coliformes fecales. Los sitios ubicados aguas debajo de los ríos Ipayo, Las Pavas y Suquiapa el ICA los clasifica como de calidad “Regular”, lo que indica una amenaza para el contacto humano y limita el desarrollo de vida acuática. Dentro de los resultados se observa niveles alcalinos de pH, buenos niveles de oxígeno disuelto y niveles mayores de 1000 bact/100ml de coliformes fecales.

Para marzo 2004, se produce un deterioro de la calidad de las aguas del río, desde su ingreso al país en la frontera con Honduras en Citalá el ICA clasifica el agua de calidad “Mala”, con niveles de pH aproximado a 10 unidades y niveles de oxígeno disuelto menores de 1mg/l.

Los otros cuatro sitios el ICA los clasifica como de calidad “Regular” con niveles de oxígeno disuelto arriba de los 6 mg/l, niveles de pH alcalinos y niveles menores de 300 NMP/100ml de coliformes fecales.

➤ PROYECTO BALANCE HÍDRICO INTEGRADO Y DINÁMICO COMPONENTE EVALUACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS. DICIEMBRE 2005. SNET

Objetivo

Determinar el estado actual y proyecciones futuras del recurso hídrico en cuanto a cantidad y calidad, estableciendo la presión sobre el mismo al considerar su distribución espacial y temporal de oferta, disponibilidad y demanda, con el fin de ser una herramienta que permita desarrollar lineamientos de protección del recurso, ordenación de usos, ordenamiento territorial, mejorar la calidad de vida de la población y asegurar la inversión.

Referente a la calidad del agua, el objetivo específico es:

Realizar un análisis integrado y detallado de la cantidad y calidad de las aguas superficiales y subterráneas actuales y las restricciones de uso debido a su calidad.

En la temática de calidad de aguas superficiales, el proyecto contempla un programa de monitoreo a “largo plazo” para caracterizar temporal y espacialmente el comportamiento de las variables de calidad de agua, que hace factible el aprovechamiento de la misma para los usos priorizados en la cuenca, así como para detectar tendencias en los valores medios de las mismas a través del tiempo.

Los usos de agua que evalúa el proyecto son:

- Agua cruda para potabilizar
- Agua para riego
- Agua con calidad ambiental
- Agua apta para el contacto humano

La aptitud del uso de agua se determina al comparar los resultados de parámetros con normativas existentes y propuestas.

Para la determinación de la calidad ambiental del agua se utiliza el Índice de Calidad de Agua, ICA. El proyecto también comprende la medición de cantidad de agua.

Resultados

Todas las aguas superficiales evaluadas no cumplen con la aptitud de uso para potabilizar por métodos convencionales por los altos niveles de Fenoles. Aunque las aguas pueden ser potabilizadas a través de métodos no convencionales para su eliminación, incrementando el costo de tratamiento.

De 51 sitios de muestreo evaluados, solamente el 33% de las aguas cumplen con la calidad sanitaria necesaria para potabilizar. Es decir, el 77% se puede considerar no apto para este uso.

De 51 sitios de muestreo evaluados, solamente el 55% de las aguas cumple con la carga orgánica biodegradable cuantificada por la DBO₅ para potabilizar.

En general las aguas superficiales del país tienen una calidad de agua físico-química buena para riego, exceptuando pocos casos donde los niveles de contaminación son muy altos y afectan la conductividad de sus aguas como en los ríos Acelhuate, Sucio y Grande de San Miguel.

De 51 sitios de muestreo evaluados para riego, solamente el 33% de las aguas cumplen con la calidad sanitaria necesaria; el otro 77% no lo cumple por los altos niveles de Coliformes fecales.

De las seis regiones hidrográficas evaluadas con el Índice de Calidad de Aguas el 11.70% son aguas con una calidad ambiental que permite el desarrollo de vida acuática.

De las seis regiones hidrográficas evaluadas con el Índice de Calidad de Aguas el 41.70% son aguas con una calidad ambiental que limita el desarrollo de vida acuática.

De las seis regiones hidrográficas evaluadas con el Índice de Calidad de Aguas el 41.20% son aguas con una calidad ambiental que dificulta o no permite el desarrollo de vida acuática.

De las seis regiones hidrográficas evaluadas para la normativa de contacto humano el 37.25% cumplen con la aptitud de uso.

De lo anterior, se puede concluir que de las regiones hidrográficas analizadas, el 77% de las aguas superficiales se encuentran con algún grado de contaminación tomando el caso el uso más restrictivo, para los otros usos el porcentaje de aguas contaminadas puede disminuir.

Los parámetros de calidad de agua que afectan principalmente la aptitud de uso del agua para potabilización fueron los fenoles, Coliformes fecales y DBO₅.

- PROPUESTA DE DESCONTAMINACIÓN DEL CANAL PRINCIPAL DE LOS RÍOS ACELHUATE, SUCIO Y SUQUIAPA. OCTUBRE 2002. TOMADO DE “ESTRATEGIAS DE DESCONTAMINACIÓN DE LOS RÍOS ACELHUATE, SUCIO Y SUQUIAPA”. ELABORADO POR EL SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES. (MARN) CON INFORMACIÓN DEL PROGRAMA AMBIENTAL DE EL SALVADOR (MAG). SERVICIO HIDROLÓGICO NACIONAL

Objetivo

Elaborar una propuesta de trabajo técnica y económicamente factible para descontaminar los ríos Sucio, Suquiapa y Acelhuate con una calidad del agua que responda a un uso propuesto, en base a los planes de desarrollo locales y a un balance real entre economía y sostenibilidad del recurso. Con el objetivo de disminuir el riesgo a la salud de la población y el riesgo por la disminución de la disponibilidad hídrica.

Resultados

El río Acelhuate mantiene una calidad pésima de sus aguas en todo el recorrido del canal principal.

Adicionalmente la carga orgánica sumada por la descarga de desechos sólidos a lo largo de su recorrido es muy elevada y complica el manejo del recurso, mucho se lograría deteniendo esta fuente dispersa de contaminación en el río Acelhuate.

Río Sucio

La contaminación es producida principalmente por las descargas de aguas negras del área urbana, vertidos agroindustriales e industriales. La calidad del agua es mala, en el inicio o nacimiento del río Sucio, los niveles de oxígeno disuelto están arriba de las 4 mg/l, pero los niveles de Coliformes fecales y nitrógeno total Kjeldalh son elevados lo que hace que decaiga el índice.

En la estación que corresponde a la salida del río Sucio del Distrito de Riego de Zapotitán el agua es de calidad pésima para el mes de abril, aunque el 67% de los datos la clasifica como de mala calidad. En esta estación los niveles de oxígeno disuelto están abajo de 4 mg/L y los niveles de Coliformes fecales son elevados con respecto a la estación anterior debido al manejo inadecuado de los desechos sólidos orgánicos del ganado en los establos y de los cerdos en las porquerizas.

En la estación que corresponde al Cantón y Caserío Joya de Cerén el 67 % de los datos valora el agua como de pésima calidad y solamente en el mes de junio la clasifica como de mala calidad. En el mes de junio los niveles de oxígeno disuelto son regulares, se encuentran arriba de 4mg/l y los niveles de Coliformes fecales son bajos lo que aunado permite que el índice tenga una mejor calificación que en fechas distintas.

En la última estación del río Sucio la cual corresponde a la desembocadura, el índice clasifica en un 67% de los datos el agua como de mala calidad pero con un valor cercano a calidad regular. En esta estación los niveles de oxígeno disuelto son regulares y andan arriba de los 5 mg/l y los niveles de Coliformes fecales abajo de los 500 NMP/100 ml.

Se concluye que en el canal principal del río Sucio existe un proceso de auto depuración y la calidad asciende de pésima a mala antes de desembocar al Río Lempa, luego de un recorrido de un poco más de 54 km.

El río Suquiapa, es contaminado principalmente por las descargas de aguas negras de las áreas urbanas, beneficios de café que aún descargan a los ríos (algunos sin darle tratamiento a sus aguas mieles), tenerías, industrias alimenticias y otros tipos de vertidos en la ciudad de Santa Ana.

En los puntos de control del nacimiento del río Suquiapa, que corresponde a los ríos Sucio de Santa Ana y Aranchacal la calidad del agua es pésima debido a que los niveles de oxígeno disuelto, DBO₅, Coliformes fecales y Nitrógeno total Kjeldalsh son característicos de aguas contaminadas y en la estación que corresponde a la desembocadura del río Suquiapa al Lempa el agua presenta una mala calidad debido a los altos niveles de Coliformes fecales y nitrógeno total Kjeldalsh producido probablemente por descargas no puntuales.

➤ DIAGNOSTICO NACIONAL DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES”.
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
MARN/SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES / SERVICIO
HIDROLÓGICO NACIONAL/ MARZO 2007

Objetivos

Elaborar el diagnóstico nacional de la calidad de las aguas superficiales del país y disponibilidad de los recursos hídricos en base a su aptitud de uso.

Resultados

Agua apta para potabilizar por métodos convencionales (cloración, filtración y sedimentación) – Orientada a la población que usa el agua de los ríos superficiales para consumo – Utilizando Normativa Nacional Decreto No. 51

-El 20% de las aguas superficiales es apto para potabilizar por medios convencionales

-La mayor limitante para la potabilización del agua por métodos convencionales es la presencia de Fenoles, los cuales no pueden ser removidos por cloración, filtración o sedimentación.

Agua apta para riego- Utilizando Normativa Nacional Decreto No. 51

-El agua del río Lempa que abastece el Distrito de Riego Atiocoyo Norte, es adecuado para riego.

-El agua del río Lempa y del Río Acahuapa que abastecen el Distrito de Riego Lempa-Acahuapa es adecuada para Riego.

-El agua del río Sucio que abastece el Distrito de Riego Aticoyo Sur tiene limitantes para productos sensibles a contaminación por Coliformes fecales.

En general, la calidad físico química de las aguas superficiales de El Salvador es adecuadas para riego. En relación a la calidad bacteriológica del agua, solo el 24% de las aguas superficiales del país son aptas para riego debido a los altos niveles de Coliformes fecales.

Agua apta para usos recreativos con contacto humano (baño) – Utilizando Normativa Internacional de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

-Los ríos evaluados que cumplen con la normativa de agua para actividades acuáticas que involucren el contacto humano son: los ríos Sumpul, Grande, Torola, Titihuapa, Sesorí, y Lempa en la parte alta, río Paz desde La Hachadura hasta su desembocadura al mar, la cuenca alta del río El Rosario cuenca alta, la cuenca alta del río Guayapa, la Cuenca alta del río Jiboa y el río Goascorán, esto constituye el 14% de las aguas superficiales evaluadas.

-La mayor limitante para usar el agua para actividades recreativas es la turbidez y los Coliformes fecales.

Agua apta para vida acuática – calidad ambiental – Utilizando el Índice de Calidad de Agua (ICA)

-Solamente el 17% de las aguas superficiales de los ríos de El Salvador presenta una valoración “Buena”, lo cual indica que permite el desarrollo de vida acuática.

-El 50% de los ríos de El Salvador presenta un Índice de Calidad de Agua “Regular”, lo cual indica que existe limitación para el desarrollo de la vida acuática.

-El 20% de los ríos de El Salvador tiene calidad de agua “Mala”

-El 13% de los ríos de El Salvador tienen calidad de agua “Pésima”.

-El 83% de los ríos de El Salvador tienen algún tipo de contaminación (proviene de sumar 50% agua “Regular”, 20% agua “Mala” y 13% Agua “Pésima”).

1.3. FUENTES CONTAMINANTES.

Según el SNET (2007), las fuentes de contaminación en las diferentes cuencas se pueden dividir en dos grandes categorías:

-Fuentes puntuales.

-Fuentes no puntuales.

Las fuentes puntuales son aquellas que cuentan con un punto de descarga bien definido y generalmente son continuas. Una descarga determinada puede localizarse e identificarse por una tubería o grupo de tuberías. Los dos grupos principales de fuentes puntuales son los vertidos municipales y los vertidos industriales.

Las principales fuentes no puntuales son agrícolas, forestales, atmosféricas y por escorrentía. El aspecto característico de toda fuente no puntual es el origen disperso de la descarga. Esto quiere decir que no es posible relacionar la descarga con un lugar específico y definido. Además, la fuente puede ingresar al río por escorrentía superficial, como es el caso de las descargas agrícolas.

1.3.1. ACTUALIZACION DE FUENTES CONTAMINANTES

En el mismo documento (SNET, 2007), a fin de identificar las principales fuentes puntuales de contaminación dentro de la subcuenca del río Suquiapa, se realizó una investigación en campo y se levantaron las industrias que vierten directamente al canal principal del río, dentro de los resultados se identificaron 9 industrias que descargaban directamente a las quebradas o al canal principal, como característica a mencionar en la subcuenca del río Suquiapa la contaminación se concentra en una superficie de 88 km² que representa el 21% del área de la subcuenca.

La Figura 1. 12 representa la clasificación de las industrias que descargan a la cuenca, sin incluir aquellas que se conectan al alcantarillado sanitario ya que éstas no han sido caracterizadas, se observa que la mayor cantidad de desperdicios es agroindustrial.

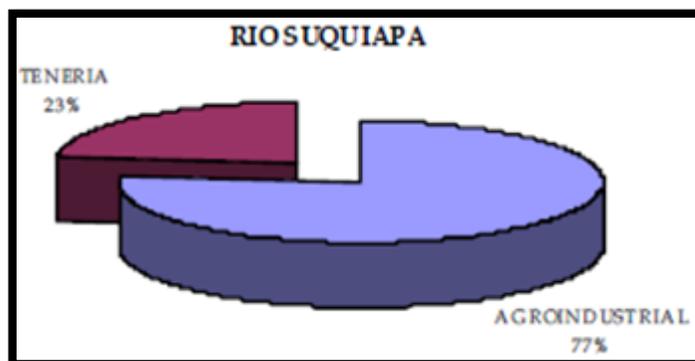


Figura 1. 12 Composición de fuentes contaminantes que descargan directamente al río Suquiapa.

Fuente: (SNET, 2007).

Como resultado del inventario realizado por la SNET se encuentran las siguientes industrias:

Tabla 1. 6 Inventario de descargas de vertidos industriales realizados en la cuenca del río Suquiapa.

IDENTIFICACION N	CÓDIGO	IDENTIFICACIÓN DEL VERTIDO	DIRECCIÓN	ACCESO	OBSERVACIONES
1 (17, 12)	46-04-001	Beneficio El Mono	Calle Monserrat Línea Férrea, Chalchuapa.	Frente a Beneficio San Sebastián, tomar calle de polvo que se encuentra a mano izquierda, al final de esa calle se encuentra el beneficio.	Poseen sistema de fosas.
2 (17,14)	46-04-002	Beneficio Monte Alegre	Carretera de Santa Ana a Chalchuapa, Calle Monserrat Línea Férrea, Chalchuapa.	Frente a Beneficio San Sebastián, tomar calle de tierra, a 1.2 km entre Col San Juan y La Reina. Cantón Santa Rosa. Después del comedor, doblar izquierda a 100 m. Está el beneficio	Poseen planta de lodos activados.
3 (18, 11)	46-04-003	Beneficio El 77	Carretera a Chalchuapa km. 77.	Calle pavimentada en ampliación.	No poseen descarga, sin embargo, tienen el problema que cuando llueve, rebalsan las fosas contaminando el río Amulunga.

IDENTIFICACION N	CÓDIGO	IDENTIFICACIÓN DEL VERTIDO	DIRECCIÓN	ACCESO	OBSERVACIONES
4 (17,14)	46-04-004	Beneficio San Sebastián (conocido como La Mica)	Carretera a Chalchuapa km. 75	Calle pavimentada en Ampliación.	No trabajo la temporada 97-98, sin embargo tiene sistema de lagunas de oxidación. Escorrentía llega al río Amulunga
5 (18,14)	46-04-005	Beneficio Venecia	Carretera a Chalchuapa km. 75	Calle pavimentada en Ampliación.	Poseen planta de tratamiento y lagunas de oxidación. Escorrentía llega al río Amulunga
6 (18,15)	46-04-006	Beneficio El Borbollón	Carretera a Chalchuapa km. 73.	Calle Pavimentada en ampliación.	No vierten desechos al río, porque cuentan con un sistema de lagunas de oxidación.
7 (4,2)	46-04-007	Beneficio Cantarrana	Colonia 10 de Octubre, carretera que conduce a Sonsonate.	Calle pavimentada, se busca la carretera que lleva a Chalchuapa y Sonsonate, tomando en el desvío la calle que conduce a Sonsonate, se pasa el punto de buses de la ruta 50, y buscar el rótulo CANO S.A	Poseen clarificador de flujo horizontal, sin embargo tienen el problema que la canaleta de aguas negras pasa a través del terreno del beneficio, el agua escurrida de los patios, llega a dar a esta, que desemboca en la

IDENTIFICACION N	CÓDIGO	IDENTIFICACIÓN DEL VERTIDO	DIRECCIÓN	ACCESO	OBSERVACIONES
				de C.V y cruzar a mano izquierda que es una calle de tierra, a 10m se encuentra el beneficio.	quebrada La Barranca, que más abajo se une con la quebrada Sta. Lucía. Es inaccesible por construcción en ese lugar.
8 (4,7)	46-04-008	Beneficio El Molino	km 62 Antigua Carretera a San Salvador.	Tomando la carretera Panamericana que conduce a Santa Ana, al llegar a la ciudad, seguir recto en la calle conocida como By-Pass, cruzar a la derecha y a unos 15m se encontrará ANDA, virar en el primer cruce a la izquierda que es la calle que conduce al cementerio Sta. Isabel, después de los lavaderos públicos está ubicada la descarga a 200m al norte.	El Beneficio tiene cerca de 5 años de no operar, por lo que la descarga se encontraba seca, pero está descarga sobre el Río El Molino.
9 (5,7)	46-04-009	Descarga del Balneario Sihuatehuacán.	Final 1 Calle Oriente. Sta. Ana	Calle Pavimentada. Se puede observar desde el interior del Turicentro o tomando la carretera que conduce a Metapán (By-Pass), antes de Urbanización	Para ubicar la descarga se entra al turicentro, al final de las piscinas se busca el muro de contención, a 20m al Noroeste de la piscina de niños, se encuentra la descarga. Ahí mismo se

IDENTIFICACION N	CÓDIGO	IDENTIFICACIÓN DEL VERTIDO	DIRECCIÓN	ACCESO	OBSERVACIONES
				San Ernesto a mano izquierda.	observó una descarga de aguas negras. Esa parte se conoce como Río el Molino.
10 (5,8)	46-04-010	Diadema	Carrt. a San Pablo Tacachico, frente a Subestación CEL	Acceso igual que el anterior, pero la descarga se encuentra a 40m al noreste.	La descarga se encontraba seca, según vecinos, ya no descargan a la quebrada (Quebrada Seca).
11 (5,8)	46-04-011	Peletería San Miguel	Cantón Natividad, Sta. Ana.	Igual que el anterior, siguiendo calle de tierra después del cementerio Sta. Isabel, llegando a subestación de CEL, virar a la izquierda, a 75m al noreste se encuentra la descarga.	En el momento de la visita, se observaba la descarga de agua a la quebrada conocida como "Quebrada Seca", con fuerte mal olor y producción de abundante espuma.
12 (7,4)	46-04-012	Beneficio Las Tres Puertas	Barrio San Juan, Calle a Ciudad de los Niños	Calle de tierra, después del punto de microbuses ruta 59A, a 25m al noroeste a la derecha se encuentra la descarga.	No estaba descargando, porque ya terminó el período del beneficiado

IDENTIFICACION	CÓDIGO	IDENTIFICACIÓN DEL VERTIDO	DIRECCIÓN	ACCESO	OBSERVACIONES
13 (7,5)	46-04-013	Beneficio Río Zarco	Barrio San Juan. Desvío calle a la Ciudad de los Niños.	Igual que el anterior, pero después del punto de microbuses se sigue recto, hasta llegar a un cruce tomando la izquierda. Se vuelve a cruzar en el primer desvío a la izquierda.	No estaba descargando, porque ya terminó el período del beneficiado.
14 (7,6)	46-04-014	Tenería El Búfalo	Final 5 Av. Nte. Santa Ana	Calle de Polvo al norte de la ciudad de Santa Ana, siguiendo la Av. Independencia, al llegar a la 20 Calle Oriente, cruzar a la derecha y luego en el primer cruce virar a mano izquierda. Al término de la calle, pasando una nueva urbanización, se encuentra la tenería.	Se tomó foto de una posible descarga, pero se observa que de la parte trasera de la tenería sale una tubería hacia el río, la cual no se pudo identificar donde descargaba. Además tiene 11 meses de trabajar nuevamente.
15 (7,6)	46-04-015	Beneficio El Trapiche	Carretera a Metapán km 67-68	Carretera pavimentada que conduce a Metapán, al lado izquierdo de la vía.	No se pudo tomar foto de la descarga, debido a que el río pasa dentro del beneficio. Pero cuentan con 2 sedimentadores, de los cuales salen las descargas al Río Apanchacal.

IDENTIFICACION N	CÓDIGO	IDENTIFICACIÓN DEL VERTIDO	DIRECCIÓN	ACCESO	OBSERVACIONES
16 (7,7)	46-04-016	Beneficio La China	Carretera a Metapán.	Igual que el anterior, pero la descarga, se ubica buscando la parte trasera del beneficio.	En el momento de la visita no se encontraban trabajando, por haber terminado el período del beneficiado
17 (7,8)	46-04-017	Tenería Dipolsa S.A de C.V.	Carretera a Metapán.	Después del By-Pass de la carretera que conduce a Metapán, se pasa la urbanización San Ernesto, buscar a mano derecha un rótulo que dice "Lotificación Bosques de Apanteos", ahí cruzar a mano derecha, que es una calle de tierra, recto se encuentra primero el Beneficio La China, después a 50m se encuentra la tenería.	En el momento de la visita se encontraban trabajando, pero no vertiendo en el río.
18 (8,7)	46-04-018	Beneficio El Sauce.	Carretera a Metapán km 68	Carretera pavimentada que conduce a Metapán, al lado derecho de la vía, justo después de unirse la calle	Se observa residuos de solidos del despulpe del café en descomposición. El río se conoce como Apanchacal.

IDENTIFICACION	CÓDIGO	IDENTIFICACIÓN DEL VERTIDO	DIRECCIÓN	ACCESO	OBSERVACIONES
				que viene de la ciudad, con el By-Pass.	
19 (18,25)	46-04-019	Tenería Sirenita La	Carrt. San Luis, Cantón Natividad.	Entrar a la lotificación después de la tenería (a mano derecha), y ahí buscar el río, cruzarlo y a 200m al noreste se encuentra la descarga.	En el momento de visita se encontraban descargando en el río, y por medio de habitantes del lugar se descubrió una barranca de cueros, que cuando llueve llegan hasta el río, conocido como Quebrada Chigüillo.
20 (1,7)	46-04-020	Beneficio El Roble	Km. 36 1/2 Autopista a Santa Ana.	Después del Parque Industrial “American Park”, se encuentra calle de tierra a mano derecha que conduce al beneficio. (tiene un rótulo de Beneficio El Roble)	Poseen sistema de lagunas de oxidación, que se encuentran a orilla de la carretera, los vecinos se quejan del mal olor.

Fuente: (SNET, 2007).

Las fuentes contaminantes se representan en el siguiente mapa: (ver Figura 1. 13)

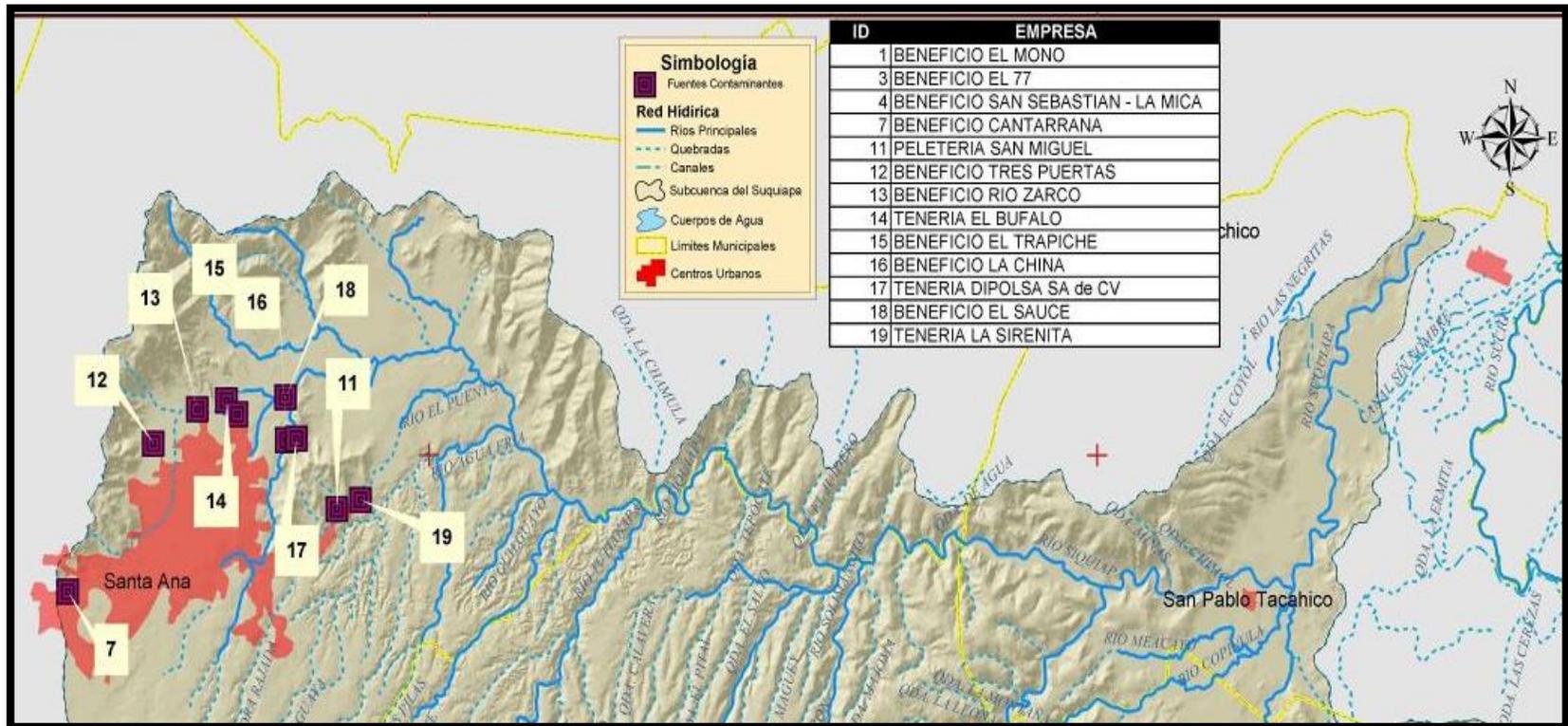


Figura 1. 13 Mapa de fuentes contaminantes en la subcuenca del río Suquia.

Fuente: (SNET, 2007).

1.3.2. ANTECEDENTES DE FUENTES CONTAMINANTES.

Desde hace mucho tiempo se están realizando investigaciones con el propósito de caracterizar las fuentes contaminantes del río Suquiapa, entre estos trabajos tenemos:

1.3.2.1. ESTRATEGIAS DE DESCONTAMINACION DE LOS RIOS ACELHUATE, SUCIO Y SUQUIAPA.

Documento elaborado por SNET (2002):

OBJETIVO:

Elaborar una propuesta de trabajo técnica y económicamente factible para descontaminar los ríos Sucio, Suquiapa y Acelhuate con una calidad del agua que responda a un uso propuesto, en base a los planes de desarrollo locales y a un balance real entre economía y sostenibilidad del recurso. Con el objetivo de disminuir el riesgo a la salud de la población y el riesgo por la disminución de la disponibilidad hídrica.

RESULTADO:

-Para descontaminar el Río Suquiapa, es necesario aplicar un tratamiento de 75% de remoción de DBO5 y 20% de remoción de Nitrógeno total Kjeldalh a los ríos Molino, Apanteos y Sucio de Santa Ana. Adicionalmente en este caso es necesario aplicar aireación al agua al salir de los sistemas de tratamiento para que el río observe los niveles requeridos de Oxígeno Disuelto.

-Al aplicar el tratamiento anteriormente recomendado el Río Suquiapa tiene la capacidad de depurar la carga orgánica del río y obtener niveles de Oxígeno Disuelto de 5 ppm, según los resultados de las proyecciones realizadas con el modelo.

-De los tres ríos estudiados (Sucio, Acelhuate y Suquiapa), el Suquiapa es el que presenta mejores condiciones, pero el problema se centra en las descargas de los beneficios con gasto de altos niveles de agua y sin sistemas de tratamiento que descargan a los tributarios y las descargas de las aguas negras.

1.3.2.2. CARACTERIZACIÓN HIDRODINAMICA Y DISPERSION DE CONTAMINANTES DE LA PARTE ALTA DEL RIO SUQUIAPA, SANTA ANA

OBJETIVO:

El objetivo de esta investigación fue la evaluación de los principales parámetros hidrodinámicos y la evaluación del coeficiente de dispersión de un tramo de aproximadamente 10 km de la parte alta del Río Suquiapa.

RESULTADOS:

Los resultados fueron obtenidos por la técnica de aforo por vadeo y utilizando un molinete hidrométrico tipo Gurley, mediante un experimento de pulso de trazadores utilizando cloruro de sodio y tomando como parámetro de campo la conductividad eléctrica con un medidor multiparamétrico de calidad de agua.

Los resultados obtenidos mediante la técnica de aforo por vadeo fueron valores de caudal, velocidad media, perímetro mojado, radio hidráulico, profundidad, área de sección transversal y coeficientes de dispersión obtenidos con la ecuación empírica de Fischer para 18 sitios aforados, que se resumen en 18 fichas.

Utilizando la técnica de Fogler y la ecuación de Singh y Beck para la evaluación del coeficiente de dispersión, se obtuvo un valor de aproximadamente $120.602 \text{ m}^2/\text{s}$ y un promedio de número de Peclet de 7.86, que indica que la dispersión mecánica prevalece en el sentido del flujo, sin embargo, los efectos transversales son significativos. Además, se concluyó que el método de Fischer o ecuación empírica para la evaluación de coeficiente de dispersión no aplica para el sistema en estudio, ya que esta ecuación proporcionó datos dispersos respecto a los obtenidos mediante las otras dos técnicas.

A pesar de las dificultades que implican la utilización del cloruro de sodio como trazador, se obtuvieron curvas típicas de un estudio de dispersión con inyección puntual. Además, se lograron identificar ríos tributarios que aportaban un caudal significativo al río y que no estaban identificados en el mapa.

1.4. MODELACION AMBIENTAL

El modelado y la simulación de procesos ambientales se constituyen en una herramienta fundamental para la toma de decisiones relacionada con el lineamiento de políticas ambientales, en la definición de objetivos y metas, y en la evaluación de planes, programas o proyectos.

1.4.1. DEFINICION DE MODELACION AMBIENTAL

“Si bien el modelado ambiental basado en la física tiene una larga tradición, modelando componentes bióticos es relativamente un nuevo reto. Todos estos modelos sólo han llegado a ser realmente útil en conexión con las aplicaciones informáticas. Los modelos matemáticos y software de simulación (incluyendo análisis numérico) son por lo tanto fuertemente dependientes entre sí. Es interesante observar que la simulación es a la vez la herramienta y el objetivo de la investigación en ingeniería ambiental” (Sydow, 2005).

La modelación ambiental consiste básicamente en la predicción a partir de datos (tomados en un período determinado de tiempo) de la tendencia ambiental a seguir por el sitio en estudio, de este modo como se menciona en la definición dada por Sydow, la modelación y la simulación están íntimamente ligados entre sí. Actualmente la modelación ambiental es de las más importantes herramientas de análisis de deterioro de sitios en riesgo utilizada en la ingeniería ambiental, según se menciona en el portal web de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés).

Como regla general los siguientes son elementos clave de un esfuerzo de una modelación con éxito:

- Comprender el problema y establecer claramente la pregunta que debe ser respondida.
- Evaluar los modelos existentes primero, no volver a inventar el mismo proceso.
- Crear un modelo conceptual que es lógico y representa el modelo conceptual en términos matemáticos consistentes.

- En el desarrollo del modelo de involucrar al usuario o pensar como un usuario.
- Simplificar el modelo conceptual, su interpretación matemática y su interfaz de usuario. Esto puede conducir a un proceso de ensayo y error. No se debe ser tímido en el proceso de la remodelación.
- Cuando se haya completado asegúrese de que el modelo cumple el objetivo y la misión del esfuerzo.
- Diseñar las simulaciones tales que proporcionan respuestas a la pregunta planteada. No esperan respuestas más allá de las preguntas planteadas.
- Recordar siempre que el propósito de modelado es el conocimiento obtenido a partir de un modelo y no los propios modelos.

De acuerdo a Schnoor (1996) las razones que indican el alcance y justificación para la construcción de modelos matemáticos de contaminantes ambientales pueden ser abarcadas en los siguientes tres puntos: a) En el primer caso se quiere saber cuál es el destino de los químicos, su duración en el ambiente y que tan rápido son degradados. Estos problemas se refieren al “transporte”, “destino” y “persistencia” de los químicos en el ambiente; b) El segundo propósito de los modelos matemáticos tiene relación con determinar las concentraciones de exposición química y corresponde a la evaluación de los efectos de los químicos contaminantes. Esto puede ser útil para la determinación de medidas de gestión en sitios específicos como estándares de calidad de aguas, lo que nos permite tener evaluaciones válidas de exposición química, ofreciendo así una representación apropiada de los posibles problemas en la calidad del agua; c) Para finalizar, el tercer propósito de los modelos es el de predecir concentraciones futuras bajo varios escenarios de descarga o alternativas de gestión. En esta categoría se encuentran los modelos de distribución de descarga de desechos y exposición para la evaluación de riesgos.

Finalmente a pesar de toda la información de monitoreo con la que se cuente, siempre será deseable poder tener una estimación de concentraciones químicas bajo distintas condiciones ambientales o de descarga de desechos en sitios donde la información de campo no existe.

1.4.2. SOFTWARES DE MODELACION

1.4.2.1. WQMCAL

Para la modelación orgánica se utilizó el software WQMCAL exclusivo de la sección delegada para el estudio de cuerpos acuáticos contaminados de la UNESCO. El proceso principal que afectan (agotan) el contenido de oxígeno del agua es el consumo de oxígeno de los microorganismos, que viven en el agua, mientras que descomponen la materia orgánica biodegradable. Esto significa que la presencia de materia orgánica biodegradable es la que afecta principalmente el destino de oxígeno en el agua. Hay fuentes internas y externas de tal materia orgánica biodegradable. Fuentes internas incluyen la materia orgánica que se derivan de la decadencia (muerte) de organismos vivos, las plantas y los animales acuáticos (también denominado "detritus", o materia orgánica muerta). Entre las fuentes antropogénicas son de gran preocupación y esto incluye las aguas residuales (alcantarillado) y las descargas inducidas por fuentes no puntuales escorrentía o cargas difusas de materia orgánica (Streeter H.W., 1925).

En los modelos se toma la materia orgánica biodegradable en cuenta por un parámetro denominado "Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO". DBO se define como la cantidad (masa) de oxígeno consumido desde una unidad de volumen de agua por microorganismos, mientras que descomponen la materia orgánica, durante un período de tiempo especificado. Por lo tanto DBO₅ es la demanda bioquímica de oxígeno de cinco días, que es la cantidad de oxígeno que se utilizó por microorganismos en una unidad de volumen de agua por cinco días "incubación" tiempo en el respectivo experimento de laboratorio. Así, la unidad de la DBO₅ es la masa por unidad de volumen (por ejemplo gO₂ / m³, lo que equivale mg O₂ / litro). (Géza Jolánkai, 2000).

Otro proceso principal en el hogar de oxígeno de corrientes es el proceso de aireación, la absorción de oxígeno a través de la superficie del agua debido al movimiento turbulento de

agua y a la difusión molecular. Este proceso reduce el "déficit de oxígeno" (D) de agua, que se define como la diferencia entre el contenido de la saturación de oxígeno y el nivel real de oxígeno disuelto. Estos dos procesos contrapuestos se consideran en el modelo tradicional DBO₅/OD (Streeter H.W., 1925) .

1.4.2.2. WASP 7.0

El software que fue utilizado para la modelación de metales pesados de este cuerpo de agua fue el WASP 7.0 debido a una serie de ventajas puntuales que este proporciona; como por ejemplo que este software se puede obtener de forma gratuita en la página web de la Agencia de Protección ambiental de la EPA, y han sido varios los cuerpos de agua que han sido modelados utilizando dicho software con una aproximación atractiva a la realidad del río, además de su accesible interfaz y practicidad en los datos que el programa requiere para realizar la modelación.

WASP 7.0 (Water Quality Analysis Simulation Program) es un sistema computacional capaz de predecir y simular el transporte de escalares en general presentes en diferentes cuerpos de agua (lagos, ríos, estuarios), entre ellos los sedimentos y metales pesados en particular. Versiones anteriores del modelo han sido utilizadas en el estudio de la calidad de aguas de diversos ambientes acuáticos. (Torres, 2012).

Este sistema permite el modelado de cuerpos de agua tanto uni, bi o tridimensionales, dependiendo principalmente del grado de precisión que requiera el estudio y el tipo de escenario que se esté tratando. Consiste básicamente en dos sub programas que pueden o no trabajar conjuntamente, uno de ellos es el modelo hidrodinámico que permite simular el movimiento del agua; el otro es el propio WASP que representa la interacción de los distintos constituyentes con la masa de agua. El sistema computacional proporciona la opción de elegir entre diferentes subrutinas, de manera de precisar la clase de constituyente que se pretende estudiar, las seis subrutinas a las que se hace referencia son Eutroficación; Tóxico simple; Tóxico no ionizante; Tóxico orgánico, Mercurio y Calor.

El sistema dispone de un preprocesador en el cual se ingresa la información básica, y un postprocesador que permite visualizar los resultados obtenidos posteriores a la simulación. Entre la información de entrada se deben definir y precisar el transporte advectivo y dispersivo; condiciones de borde; condiciones iniciales; cargas tóxicas de fuentes puntuales y no puntuales; y parámetros cinéticos, constantes y funciones temporales.

La discretización del escenario de estudio se realiza a través de diferentes segmentos interconectados, que permiten obtener la configuración geométrica del mismo (Figura 1. 14).

Existen cuatro tipos de segmentos: columna de agua superficial; columna de agua subsuperficial; lecho superior activo; y lecho inferior. (Schnoor, 1996).

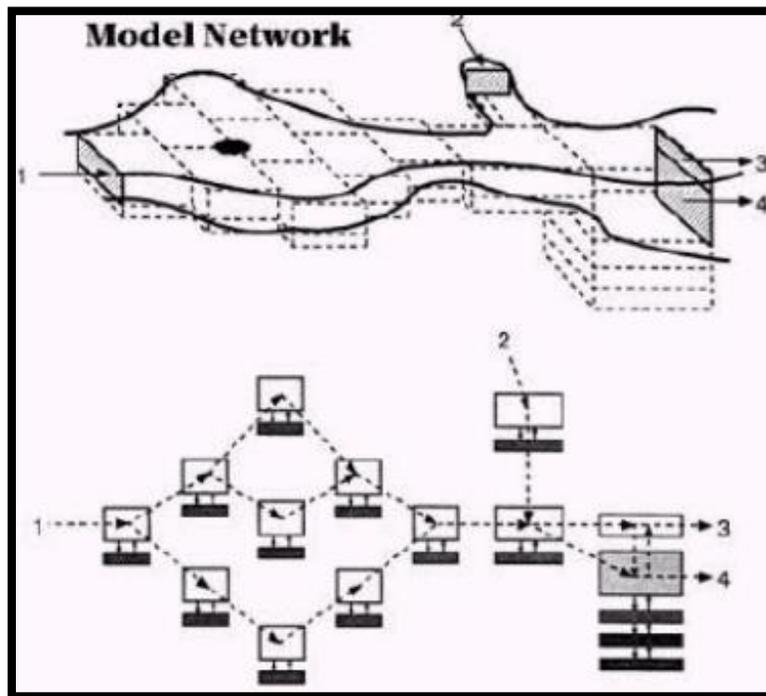


Figura 1. 14 Esquema de segmentación.

Fuente: (Schnoor, 1996).

➤ CAMPOS DE TRANSPORTE EN WASP.

En el capítulo 2 se explica el procedimiento de modelación en WASP, incluyendo con mayor detalle los campos a llenar y las opciones de flujo, por ahora mostramos una generalización.

El transporte advectivo en WASP se divide en seis tipos distintos, o "campos". El primer campo de transporte es el flujo advectivo en la columna de agua. El flujo advectivo lleva componentes de calidad del agua "aguas abajo" con el agua y da cuenta de la dilución dentro de la corriente. El segundo campo de transporte especifica el movimiento del agua de los poros en el lecho de sedimentos, los componentes de calidad del agua disueltos se realizan a través del lecho por el flujo de agua de los poros. El tercero, cuarto, quinto campo de transporte especifican el transporte de partículas contaminantes por la sedimentación, resuspensión, y el entierro de los sólidos, los componentes de calidad del agua absorbidos sobre partículas sólidas se transportan entre la columna de agua y el lecho de sedimentos. El sexto campo del transporte representa la evaporación o precipitación desde o hacia la superficie segmentos de agua. (Robert B. Ambrose, 2009).

➤ OPCIONES DE FLUJO EN WASP

Dos opciones de flujo descriptivo están disponibles en WASP: *Net Flows* (que corresponde a la opción de flujo 1 del campo de transporte 1) y *Gross Flows* (opción de flujo 2). Para estas opciones de flujo descriptivos, WASP rastrea (*tracks*) cada entrada de flujo especificada por el usuario por separado desde su punto de origen a través de la red modelo. Por cada entrada de flujo, el usuario debe proporcionar una función de continuidad y una función de tiempo. La función de tiempo describe la variación de la entrada de flujo en el tiempo. La función de continuidad describe la respuesta de la unidad de flujo a través de la red. El flujo real entre los segmentos que resulta de cada entrada es el producto de la función de tiempo y la función de continuidad. (Robert B. Ambrose, 2009).

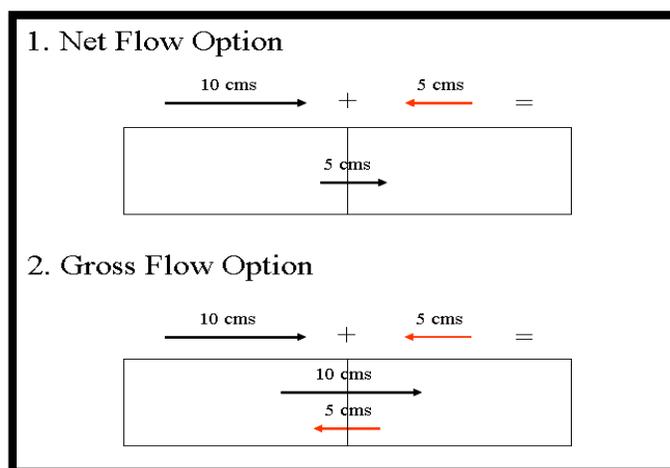


Figura 1. 15 Descripción de opciones de flujo en WASP.

Fuente: (Robert B. Ambrose, 2009).

Si varias funciones de entrada de flujo (*inflow*) se especifican, entonces el flujo total entre los segmentos es la suma de las funciones de flujo individuales. Si el flujo de entrada total en un segmento no es igual al flujo de salida total de un segmento, entonces el volumen del segmento es ajustado por WASP para mantener la continuidad. Los cambios en las entradas se propagarán al instante a través de la red del modelo. Mientras que el efecto de estado estacionario de varios tributarios puede ser descrito con estas opciones de flujo, flujos transitorios no estacionarios no son calculados.

En la opción *Net Flow*, WASP suma todos los flujos en un interfaz de segmento para determinar la dirección del flujo neto, y luego mueve la masa en esa dirección. En la opción *Gross Flow*, WASP mueve la masa con cada flujo por separado en una interfaz de segmento. Si los flujos opuestos se especifican en una interfaz, WASP moverá la masa en ambas direcciones. Nótese que si todos los flujos están dirigidos aguas abajo, entonces el transporte de masa en la opción de *Gross Flow* es equivalente a la de transporte de masa en la opción *Net Flow*.

➤ HIDROGEOMETRIA

Una buena descripción de las características hidrogeométricas de cada segmento como una función del flujo puede ser importante en el uso correcto de WASP para simular corrientes y ríos. Para las opciones de flujo interno (*Net Flow*, *Gross Flow*, *Kinematic Wave*), un conjunto de

coeficientes descarga hidráulicos especificados por el usuario define la relación entre la velocidad, profundidad y caudal de los ríos en los segmentos del curso superficial. Para las opciones de flujo descriptivos (Flujo Neto, de Flujo “Bruto”), velocidades y profundidades de los segmentos no influyen en el esquema de transporte, sino que sólo se utilizan en los cálculos de reaireación y las tasas de volatilización. Para la opción de onda de flujo cinemático, las velocidades, anchos, y profundidades de los segmentos son parte integral de los cálculos de transporte.

Los coeficientes de descarga de profundidad y velocidad desde el flujo de la corriente se basan en observaciones empíricas de la relación de flujo de la corriente con la velocidad y la profundidad.

1.4.3. METODOLOGIA UTILIZADA POR EL SOFTWARE

1.4.3.1. WQMCAL

Ecuación de dilución: Esta ecuación calcula la dilución de la concentración inicial de DBO₅ en el río aguas abajo de la descarga de aguas residuales de fuentes puntuales, con la asunción de mezcla instantánea (Géza Jolánkai, 2000).

$$L_0 = \frac{L_s q_s + L_b Q_b}{q_s + Q_b}$$

Ecuación 1

Donde:

- L₀ es la concentración inicial de DBO₅ en el río, río abajo del punto de descarga del efluente. (mg O₂/l).
- L_b es la concentración de fondo de DBO₅ del río, (mg O₂/l).
- L_s es el contenido de DBO₅ en las aguas residuales, (mg O₂/l).
- Q_b descarga (velocidad de flujo) del río aguas arriba de la desembocadura del efluente (m³/s).

- q_s la descarga del efluente, (m^3/s).

Ecuación de dilución para oxígeno disuelto: Esta ecuación calcula la dilución de la concentración inicial de oxígeno disuelto en el río aguas abajo de una descarga de aguas residuales fuente puntual, con la asunción de mezcla instantánea.

$$OD_0 = \frac{OD_s q_s + OD_b Q_b}{Q_b + q_s}$$

Ecuación 2

Donde:

- OD_0 es la concentración inicial de oxígeno disuelto río abajo del punto de descarga del efluente ($mg O_2/l$).

- OD_b es la concentración de oxígeno disuelto en el fondo del río, ($mg O_2/l$).

- OD_s es la concentración de oxígeno disuelto en las aguas residuales, ($mg O_2/l$).

- Q_b descarga (velocidad de flujo) del río aguas arriba de la desembocadura del efluente, (m^3/s).

- q_s la descarga del efluente, (m^3/s).

Estas dos ecuaciones son la base de la modelación orgánica, posteriormente se calculan otros parámetros que son de utilidad poder dar conclusiones acerca del elemento estudiado, esto se presentara más adelante en el capítulo tres de la modelación orgánica.

➤ MODELO DE STREETER & PHELPS.

El ambiente acuático es inherente y críticamente sensitivo respecto a las necesidades de oxígeno de los organismos que lo pueblan, ya que la cantidad de oxígeno en el agua es solo el 0.8% en volumen (a $10^\circ C$) en comparación al 21% de la atmosfera (Streeter H.W., 1925).

Los cuerpos acuáticos al recibir materia orgánica llevan a cabo un proceso de degradación de oxígeno disuelto más allá de la requerida por los organismos acuáticos.

Un modelo matemático que relaciona el abastecimiento de oxígeno disuelto en una corriente de agua, cuando esta recibe descarga de materia orgánica lo constituye el modelo de Streeter & Phelps.

La aplicación de este modelo de calidad de aguas se la realizó en el estudio de: “La polución y purificación natural del río Ohio” en el año de 1925.

Este presenta la primera modelación de OD y DBO para un río, este modelo puede considerarse la “base” de todos los modelos que posterior y actualmente se siguen elaborando.

Para la aplicación del modelo matemático se requiere de algunos datos como: datos hidrológicos del cauce analizado (aforos) y resultados de laboratorio de las concentraciones de OD y DBO tomas en el río en el cual se está realizando la investigación y de las descargas de aguas residuales de las poblaciones que se encuentran junto a este.

1.4.3.2. WASP 7.0

Las ecuaciones de gobierno se basan en el principio de conservación de masa, por lo cual el modelo matemático presenta una ecuación de balance, para cada constituyente, con una ecuación diferencial en derivadas parciales genérica de la siguiente forma según lo dice la guía de usuario del software (Robert B. Ambrose, 2009).

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}(uc) - \frac{\partial}{\partial y}(vc) - \frac{\partial}{\partial z}(wc) + \frac{\partial}{\partial x}\left(E_x \frac{\partial c}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(E_y \frac{\partial c}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(E_z \frac{\partial c}{\partial z}\right) + S_L + S_B + S_K$$

Ecuación 3

Donde:

- c es la concentración puntual del constituyente (mg/l).
- t es el tiempo (días).
- u, v, w son las componentes de la velocidad longitudinal, lateral y vertical respectivamente (m/s).

$-E_x, E_y, E_z$ son los coeficientes de difusión turbulenta longitudinal, lateral y vertical respectivamente (m^2/s).

$-S_L$ es la tasa de carga directa y difusa ($g/(m^3 \text{ día})$).

$-S_B$ es la tasa de carga de contorno ($g/(m^3 \text{ día})$).

$-S_K$ es la tasa de transformaciones cinéticas totales, positiva si es una fuente y negativa si es un sumidero ($g/(m^3 \text{ día})$).

En cursos de agua para los cuales la escala espacial en el sentido principal del escurrimiento es sustancialmente mayor a las escalas espaciales del ancho y la profundidad, es posible suponer condiciones de homogeneidad vertical y lateral de las concentraciones del constituyente estudiado. Esta situación es típica en el escenario del río en aguas bajas y medias, donde el transporte de escalares puede suponerse unidireccional. De tal modo, mediante una integración respecto a las coordenadas respectivas (z e y) de la ecuación (1), se obtiene la siguiente ecuación unidimensional:

$$\frac{\partial}{\partial t}(AC) = \frac{\partial}{\partial x} \left(-U_x AC + E_L A \frac{\partial C}{\partial x} \right) + A(S_L + S_B) + A(S_K)$$

Ecuación 4

Donde:

$-C$ es la concentración del constituyente medido en la sección (mg/l).

$-U_x$ es la velocidad media en la sección (m/s); A es el área de la sección transversal al flujo (m^2).

$-E_L$ es el coeficiente de dispersión longitudinal (m^2 /s).

En el segundo miembro, en el primer paréntesis se representa el campo advectivo y en el segundo el dispersivo, luego las tasas de cargas y por último los distintos tipos de transformaciones. La información hidrodinámica para el cálculo del proceso de advección puede ser proporcionada de manera externa como ya se ha mencionado, o alternativamente

WASP recalcula internamente volúmenes y velocidades con ecuaciones basadas en la geometría hidráulica, es decir en función del caudal. Para ello requiere datos de rugosidad; pendiente de energía; ancho; y longitud del tramo estudiado. Una segunda opción permite el empleo de la onda cinemática. Particularmente para metales pesados y sedimentos, el mecanismo de advección del agua de los poros del lecho se representa en la ecuación 5, sólo para agua y metal pesado disuelto.

$$\frac{\partial M_{ik}}{\partial t} = \frac{Q_{ji} f_{Dj} C_{jk}}{n_j}$$

Ecuación 5

Donde:

- M_{ik} es la masa del metal pesado k en el segmento i (g).
- C_{jk} es la concentración total de metal pesado k en el segmento j (mg/l).
- n_j es la porosidad del segmento (lw/l).
- f_{Dj} es la fracción disuelta de metal pesado en el segmento j.
- Q_{ji} es el flujo de agua de los poros desde j hacia i (m^3 /día).

$$\frac{\partial M_{ik}}{\partial t} = \frac{E_{ij}(t) A_{ij} n_{ij}}{\frac{L_{cij}}{n_{ij}}} \left(\frac{f_{Djk} C_{jk}}{n_j} - \frac{f_{Dik} C_{ik}}{n_i} \right)$$

Ecuación 6

Donde:

- M_{ik} es la masa de constituyente k en el segmento i (g).
- C_{ik} y C_{jk} son las concentraciones del constituyente k en segmentos i y j (mg/l).
- $E_{ij}(t)$ es el coeficiente de dispersión temporal entre ij (m^2 /día).
- A_{ij} es la sección de interface entre los segmentos i y j (m^2).

- L_{cij} es la longitud de mezcla característica entre segmentos i y j (m).

El intercambio difusivo de metal pesado en el agua de los poros, entre segmentos del lecho está dado por:

$$\frac{\partial M_{ik}}{\partial t} = \frac{E_{ij}(t)A_{ij}n_{ij}}{\frac{L_{cij}}{n_{ij}}} \left(\frac{f_{Djk}C_{jk}}{n_j} - \frac{f_{Dik}C_{ik}}{n_i} \right)$$

Ecuación 7

Donde:

- f_{Dik} y f_{Djk} son las fracciones disueltas del metal k en segmentos i y j.

- n_{ij} es la porosidad promedio en la interface ij (lw/l).

- $E_{ij}(t)$ es el coeficiente de difusión temporal en el intercambio ij (m^2/s).

- A_{ij} es la sección de interface entre los segmentos i y j (m^2);

- L_{cij} es la longitud de mezcla característica entre segmentos i y j (m).

El transporte de sedimentos gruesos y finos se encuentra esquematizado en la Figura 1. 16. En la misma se representan los mecanismos de velocidad de caída, depositación, resuspensión, sedimentación, advección y dispersión. A continuación se presentan las ecuaciones utilizadas por el modelo para describir dichas situaciones.

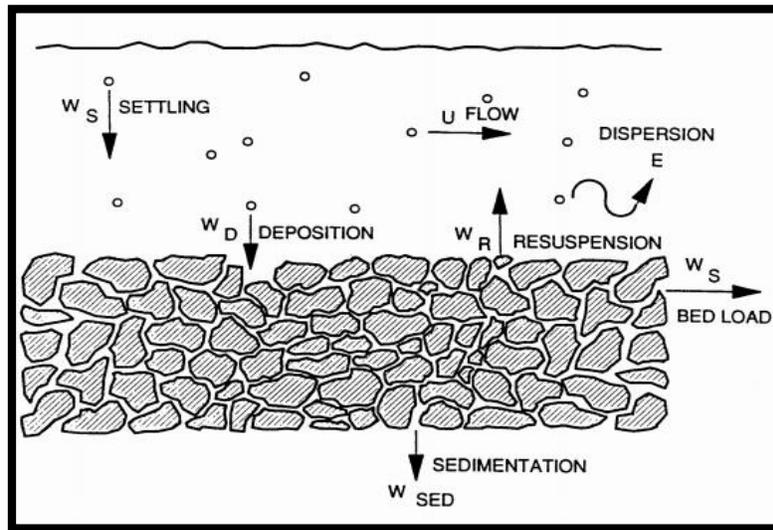


Figura 1. 16 Modelo conceptual del transporte de sedimentos.

Fuente: (EPA, 2005).

En referencia a los sedimentos suspendidos, el intercambio entre la superficie béntica y la columna de agua viene dado por:

$$W_{Bs} = A_{ij}(w_R S_i - w_D S_j)$$

Ecuación 8

Donde:

- W_{Bs} es el flujo neto de sedimentos (g/día).
- S es la concentración de sedimentos (g/m^3).
- w_D es la velocidad de depositación (m/día).
- w_R es la velocidad de erosión o re suspensión (m/día).
- A_{ij} es el área de la superficie del lecho en planta (m^2).
- i es el segmento béntico.
- j es el segmento de agua.

En cuanto a los sedimentos del lecho, si se asume una profundidad constante del mismo, y se desprecia el flujo dispersivo, el balance de sedimentos en un lecho superior estacionario está dado por:

$$d_i \frac{\partial S_i}{\partial t} = w_D S_j - (w_R + w_S) S_i$$

Ecuación 9

Donde:

$-w_S$ es la velocidad de sedimentación del lecho superior (m/día).

$-S_i$ es la concentración de sedimentos en el lecho superior (g/m^3).

$-S_j$ es la concentración de sedimentos en el agua (g/m^3).

$-d_i$ es la profundidad del lecho superior (m).

Y para la capa inferior del lecho:

$$d_k \frac{\partial S_k}{\partial t} = w_S S_i - w_{sk} S_k$$

Ecuación 10

Donde:

$-S_k$ es la concentración de sedimentos en el lecho inferior (g/m^3).

$-w_{sk}$ es la velocidad de sedimentación del lecho inferior (m/día).

$-d_k$ es la profundidad del lecho inferior (m).

Existe una relación directa entre los sedimentos finos y metales pesados, conocida con el nombre desorción. Consiste en los mecanismos de adsorción y desorción del metal pesado sobre el sedimento fino. Esto se debe a las fuerzas electroquímicas y gran superficie relativa de la partícula de sedimento fino. En general, las reacciones de adsorción y desorción entre sedimentos y metales son mucho más rápidas que otros procesos ambientales e

hidrodinámicos, por lo que puede asumirse el principio de equilibrio desorción (Schnoor, 1996). Por lo tanto:

$$C_{sij} = f_s C_{ij}$$

Ecuación 11

$$C_{wij} = f_D C_{ij}$$

Ecuación 12

Donde:

- C_{sij} es la concentración sorbida del metal i sobre el sólido s en el segmento j (mg/l).

- C_{wij} es la concentración disuelta del metal i en el segmento j (mg/l).

- C_{ij} es la concentración total del metal i en el segmento j (mg/l).

Siendo:

$$f_D = \frac{n}{n + \sum_s K_{ps} M_s}$$

Ecuación 13

$$f_s = \frac{K_{ps} M_s}{n + \sum_s K_{ps} M_s}$$

Ecuación 14

Donde:

- M_s es la concentración del sedimento de tipo s (kg/L).

- K_{ps} es el coeficiente de partición del metal en el sedimento s (lw/kg).

1.4.4. ANTECEDENTES DE MODELACION AMBIENTAL.

Una gran cantidad de modelos de calidad de aguas ha sido desarrollada para cuencas, análisis para proyectos específicos, y otros propósitos especializados. En muchos casos, se desarrollan modelos para un proyecto en particular y son usados una sola vez. En otros casos, los modelos sólo están disponibles en forma de software comercial.

La Tabla 1.7 muestra los modelos de calidad de aguas, los cuales fueron seleccionados por el Banco Mundial porque han sido aplicados en una variedad de análisis de gestión y porque están disponibles en versiones de dominio público, en su mayoría. Estos deben ser vistos como una muestra representativa de modelos que pueden ser aplicados a problemas particulares de gestión. Estos modelos van desde modelos analíticos simples apropiados para la aproximación de los efectos de una sola planta industrial en la calidad del agua (ej. WQAM) a modelos complejos que incluyen una gran variedad de contaminantes y fuentes de contaminación (ej. WASP).

De los cinco modelos presentados en el análisis llevado a cabo por el Banco Mundial, el modelo WASP es el único que es potencialmente capaz de manejar todos los tipos de cuerpos de agua y parámetros de calidad de agua. Los otros modelos podrían ser aptos para un problema donde la complejidad de WASP no es necesaria. Es extremadamente importante volver a señalar que estos modelos sólo proveen la estructura o marco para el análisis, ya que para hacer un modelo operacional es necesario tener datos específicos tales como las características de la cuenca, fuentes de contaminación, y escenarios de gestión (GROUP, 1998).

Tabla 1. 7 Descripción de modelos

MODELO	COMENTARIOS
WQAM	Set de metodologías o herramientas matemáticas usadas para análisis preliminares de cambios en la calidad del agua debido a cambios en las descargas. A diferencia de otros ejemplos, WQAM no es un modelo computacional per se sino una colección de metodologías y procedimientos simples.
QUAL2E	Modelo en estado estacionario para la simulación de ríos (<i>well mixed</i>). Comúnmente usado para la evaluación del impacto en la calidad del agua debido a cambios en descargas puntuales. Adecuado especialmente para el análisis de los efectos de los nutrientes sobre la concentración de algas y el oxígeno disuelto. Aplicado ampliamente en Estados Unidos.

MODELO	COMENTARIOS
WASP	Estructura de modelación compartimental y simple para el análisis de una amplia variedad de contaminantes en casi cualquier tipo de cuerpo de agua. Es el modelo más poderoso y complejo de la lista, también requiere de una mayor cantidad de datos y experiencia para una correcta aplicación.
CE-QUAL-RIV1	Destinado principalmente para la simulación de flujos de corrientes altamente no estacionarias, tales como los ocurridos durante inundaciones. Consiste en un módulo para la cantidad de agua enlazado a un módulo para la calidad del agua. Aunque el módulo de cantidad ha visto numerosas aplicaciones, el módulo de calidad es aplicado en menor medida que WQAM, QUAL2E o WASP.
WQMCAL	Software que no es de versión libre, este software se caracteriza por su simplicidad para la modelación orgánica por el método de Streeter y Phelps, es un software diseñado por la UNESCO.

Fuente: (GROUP, 1998)

2. METODOLOGÍA DE CAMPO

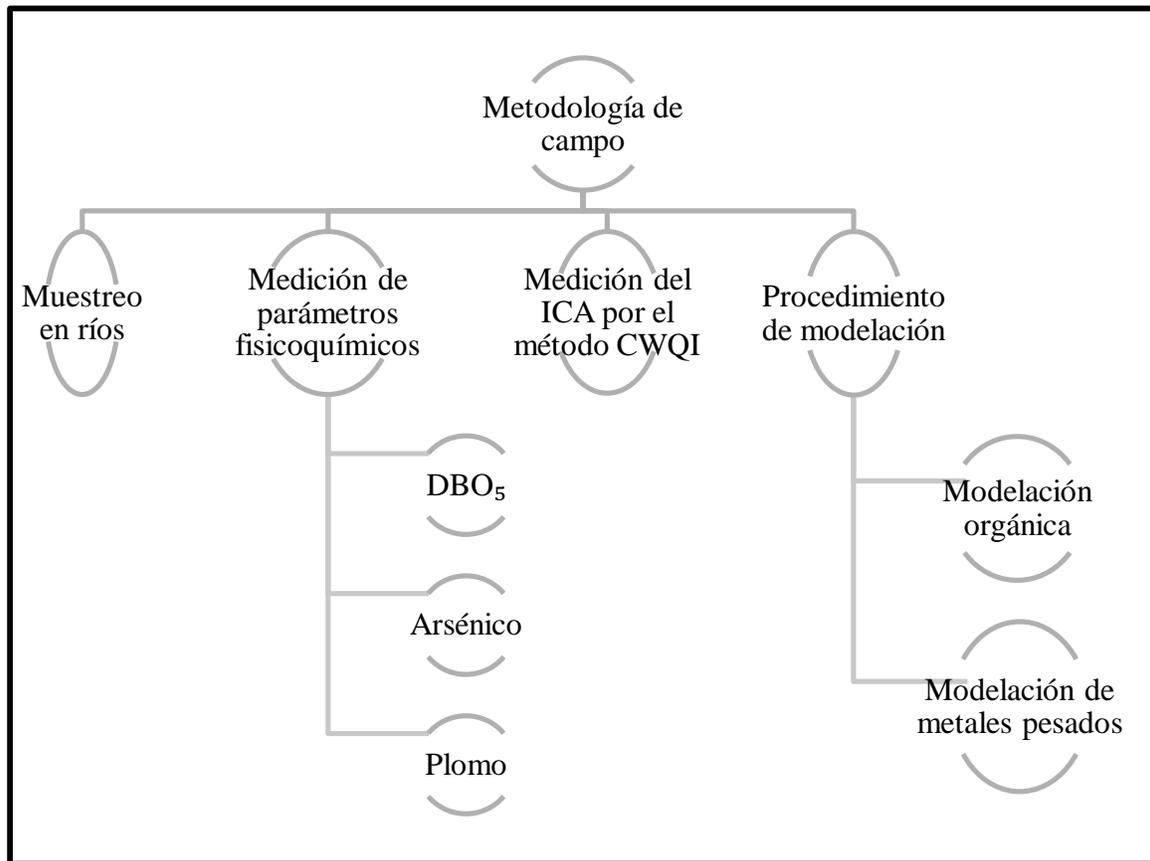


Figura 2. 1 Esquema del capítulo 2.

Fuente: Elaboración propia.

2.1. TÉCNICA DE MUESTREO EN RÍOS

Según Espinoza Rivas, Vinicio Merino & Zavaleta Lemus (2013) los puntos de muestreo deben ser establecidos en las operaciones previas del ensayo, lo que hace necesario un análisis del área de estudio. Así, la selección de estos puntos será determinada en base a las características hidrogeológicas de la región que se está investigando, se estudiará la bibliografía y cartografía geológica existente y las eventuales experiencias previas al ensayo. Además, se debe analizar con interés la información que las personas que viven en el área puedan proporcionar en dicho trabajo de graduación, se establecieron los puntos de muestreo en los cuales el trazador puede aparecer al ser coincidentes con el sentido de la circulación

subterránea; si éste es desconocido, es necesario estimar una red de circulación hipotética y elegir las sugerencias con probable conexión con el sumidero de inyección; si esta elección fuera dudosa habrá que muestrear todos los exutorios o zonas de descarga del acuífero.

También es aconsejable realizar un análisis previo de la accesibilidad del área de estudio mediante la consulta de los correspondientes planos topográficos y fotografías aéreas. Así, se planteó la posibilidad de acceder mediante vehículos a los puntos muestreos los cuales se presentan en la Tabla 2. 1, estos lugares específicos fueron seleccionados y corresponden al río principal y a sus tributarios. (Ver Anexo A. 3)

Tabla 2. 1 Ubicación geográfica de puntos de muestreo

SITIO	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS	DISTANCIA DESDE A01SUQUI (METROS)	ALTURA (M)
A01SUQUI	Punto de partida, cercano al Beneficio El Sauce.	N14 00.801 W89 32.575	0	591
A02VERTI	Aproximadamente a 30 metros de A01SUQUI. Tributario conocido por los lugareños como Vertiente.	N14 00.791 W89 32.585	17.77	620
A03SUQUI	Punto antes de la unión del río Suquiapa con el río Apanteos. A 25 metros aguas arriba de la unión de los ríos.	N14 00.744 W89 32.484	208.95	577

SITIO	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS	DISTANCIA DESDE A01SUQUI (METROS)	ALTURA (M)
A04APANT	Río Apanteos, dentro del Beneficio El Sauce.	N14 00.734 W89 32.480	228.91	567
A05SUQUI	Aproximadamente a 30m aguas debajo de la unión con el río Apanteos.	N14 00.736 W89 32.460	254.96	564
A06SAUCE	A 75 metros del punto anterior.	N14 00.745 W89 32.410	334.26	578
A07CARCA	Tributario cercano a A06 SAUCE.	N14 00.711 W89 32.387	387.27	576
A08SUQUI	A aproximadamente 210 metros de A07CARCAG.	N14 00.778 W89 32.302	587.62	579
A09MOLIN	A 50m del enganche con la corriente principal. El enganche se encuentra aproximadamente a 135m de A08SUQUI.	N14 00.814 W89 32.223	721.25	510
A10SUQUI	A 2710 m de la unión con el río molino.	N14 01.108 W89 31.181	3,502.85	536

SITIO	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS	DISTANCIA DESDE A01SUQUI (METROS)	ALTURA (M)
A11ZARCO	Conocido por los lugareños como Poza “El Cajón”. A unos 30m del enganche con el río principal.	N14 01.133 W89 31.178	3,5028.57	517
A12SUQUI	A 1650 m de la unión con el río Zarco.	N14 01.305 W89 30.294	5,234.63	519
A13VERTI	Corriente utilizada para recreación y para bombear agua a comunidades aledañas (aproximadamente 200 familias).	N14 01.447 W89 30.251	5,263.54	545
A14SUQUI	A 175 m de unión con A13VERTI.	N14 00.434 W89 29.553	8,095.20	480
A15PUENT	A 2500 m de A14SUQUI.	N14 00.429 W89 29.582	8,159.21	473
A16SUQUI	A 800 m de enganche con Río Puente.	N14 00.142 W89 29.264	8,984.12	506

SITIO	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS	DISTANCIA DESDE A01SUQUI (METROS)	ALTURA (M)
A17GUILG	A 810 m de sitio A16SUQUI.	N13 59.731 W89 29.118	9,890.50	506
A18SUQUI	A 300 m de unión con río Guilguayo.	N13 59.784 W89 29.020	10,036.98	499

Fuente: (Espinoza Rivas, Vinicio Merino, & Zavaleta Lemus, 2013)

Realizando ocho visitas para la toma de muestra de los dieciocho puntos en los cuales se realizaron los pasos siguientes:

-Planeación de muestreo en cronograma, el cual muestra los días en los cuales se realizaron los muestreos esto dependiendo de la disposición de recepción de muestras por parte del Laboratorio de Calidad de Agua de la Administración Nacional De Acueductos y Alcantarillados (ANDA) (ver Anexo A. 2).

-Realización de Carta de Custodia de Muestra la cual posee al inicio las generalidades como nombre y detalle de la institución, dirección de la institución, alumnos (en este caso), localización general de los puntos de muestreo y nombre del trabajo de graduación siguiendo con los campos para anotación de sitio de aforo, fecha de toma de parámetros de campo y muestras, fecha de análisis DBO₅, fecha de análisis Pb, fecha de análisis As, época, conductividad eléctrica, total de sólidos disueltos, turbidez, potencial de hidrógeno, temperatura ambiente y de la muestra, oxígeno disuelto, hierro, cloro libre, yodo, bromo, DBO₅, código de identificación en ANDA y muestreador finalizando con el nombre del docente asesor (ver Anexo A. 1).

-Calibración del equipo a utilizar (realizar después de cuatro muestras analizadas) el cual se compone de medidor de pH/EC/TDS y temperatura HI98129, LabQuest Vernier, Turbidímetro y Medidor de Ión Específico Multiparámetro HI C102 (Aguirre Chavarría, González Guidos, & Guerrero Granadeño, 2015).

-Lavado y rotulado de frascos para muestra con una cantidad de tres frascos plásticos de 700 ml para cada punto a muestrear uno sin preservar en medio ácido para análisis inmediato, otro preservado con HNO₃ para análisis inmediato y un último preservado con HNO₃ para almacenamiento y próximo análisis de metales pesados además del frasco proporcionado por el laboratorio de ANDA.

-Preparación del ácido nítrico (HNO₃) para las muestras de metales arsénico, plomo, hierro y yodo (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2006).

-Acondicionamiento de los equipos, frascos, ácido y herramientas de muestreo (guantes, GPS, hielera, vara y traje de Vadeo) en el transporte proporcionado.

-Reconocimiento del sitio de muestreo, el cual asegura el sitio exacto para la toma de muestra el cual debe ser el tributario y un punto antes de la unión de este con el río principal según la distancia presentada en la Tabla 2.1 además de la observación el sitio para elegir si se puede tomar la muestra con la vara de vadeo o se debe hacer uso de los trajes de vadeo (ver Anexo A. 4).

-Realización de la toma de muestra en el lugar que se observa una mayor representatividad (donde el flujo sea constante y no se estanque dependiendo de cada punto).

-Preservación de los frascos a almacenar (ver Anexo A. 5) y analizar, y toma de parámetros de campo (ver Anexo A. 6).

-Almacenamiento de los frascos con hielo a una temperatura menor a 4°C.

-Finalización de los análisis de las muestras en el laboratorio de La Escuela de Ingeniería Química (ver Anexo A. 7).

Todo el procedimiento anterior puede verse representado en la Figura 2. 2.

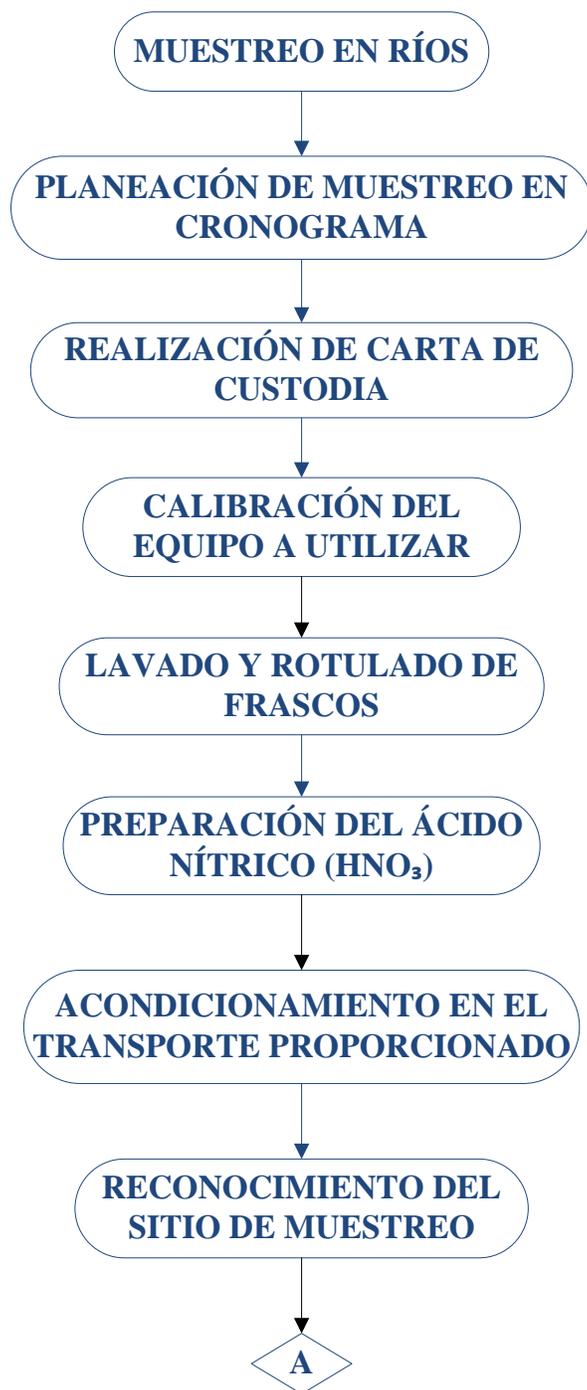




Figura 2. 2 Técnicas de muestreo en ríos.

Fuente: Elaboración propia.

2.2. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

A continuación se enlistan los diferentes procedimientos para análisis de parámetros fisicoquímicos de forma detallada y puede que algunos sean similares y solo se diferencien de reactivos a utilizar, dichos procedimientos son los que se utilizaron para generar los datos a contemplar en la calidad del agua y su modelación fisicoquímica.

Con respecto a los parámetros fisicoquímicos que no son utilizados directamente en la modelación, estos pueden ser observados en el Anexo B.

2.2.1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO.

Preparar y estandarizar una solución de Tiosulfato de Sodio a 0.025 M



Figura 2. 3 Solución de Tiosulfato de Sodio.

Fuente: Elaboración propia.

Medir el valor de oxígeno disuelto inicial del agua destilada cual debe de estar a $20 \pm 3^\circ\text{C}$.

Hacer diluciones de las muestras a medida que la diferencia del nuevo valor de oxígeno disuelto con el valor inicial sea lo más cercano a 1 para asegurar la precisión del cálculo.

El almacenamiento de las muestras se da por cinco días más menos seis horas en recipientes adecuados para el análisis, son tres frascos para blancos estándar y tres frascos para cada muestra.



Figura 2. 4 Muestras para análisis después de 5 días.

Fuente: Elaboración propia.

Eliminar el exceso de agua que poseen los frascos y se le agrega sulfato manganoso y solución álcali-yoduro-nitruro.



Figura 2. 5 Muestras después de adición de reactivos sulfato manganoso y álcali-yoduro-nitruro.

Fuente: Elaboración propia.

Añadir ácido sulfúrico para romper el flóculo formado por la presencia de oxígeno y agitar fuertemente.



Figura 2. 6 Muestras después de adición de ácido sulfúrico y agitación.

Fuente: Elaboración propia.

Adicionar a un Erlenmeyer 200ml de la solución para titular con el tiosulfato de sodio agregando el indicador de almidón para obtener una mejor percepción del viraje, tener en cuenta que cada ml de titulante representa 1 mg/l de oxígeno disuelto.



Figura 2. 7 Titulación de las muestras.

Fuente: Elaboración propia.

De las diluciones se obtiene el DBO_5 por medio del cociente de la diferencia de oxígeno disuelto entre el volumen de la alícuota de la muestra multiplicada por cien.

$$DBO_5 = \frac{DO_{inicial} - DO_5}{V_{alicuota\ de\ muestra}} * 100$$

Ecuación 15

2.2.2. ARSÉNICO

Tomar 100ml de muestra y realizar digestión con 2ml de ácido sulfúrico (1+1) y 2ml de ácido nítrico calentando hasta generar humo blanco debido al ácido sulfúrico y dejar enfriar y filtrar con papel filtro Whatman 42.

Luego añadir 1ml de ácido clorhídrico (1+1) a las muestras y 4 ml a los estándares, también 2ml de solución de yoduro de potasio a muestras y estándares, calentar a 80°C por 30 minutos para acelerar la reacción de reducción de As^{+5} a As^{+3} .



Figura 2. 8 Reducción de As^{+5} a As^{+3} .

Fuente: Elaboración propia.

Posicionar los tubos con las muestras y estándares (0.5, 1, 2, 5 ppb) en el equipo muestreador automático, el equipo utiliza Deuterio como corrección de fondo.



Figura 2. 9 Posicionamiento de los tubos con estándares y muestras.

Fuente: Elaboración propia.

Posicionar el accesorio para medición de absorción atómica por llama.

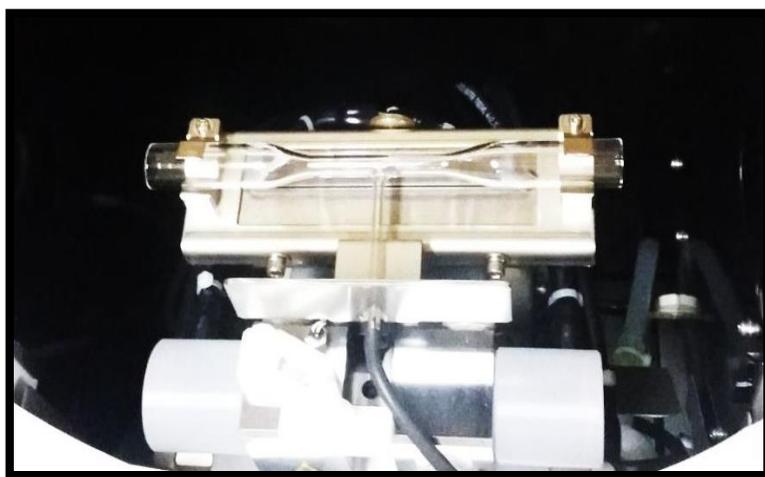


Figura 2. 10 Accesorio para adsorción atómica por llama.

Fuente: Elaboración propia.

Abrir el software en la computadora y encender el equipo, luego encender la llama del equipo haciendo previamente una purga de gas para generar el flujo continuo del mismo.

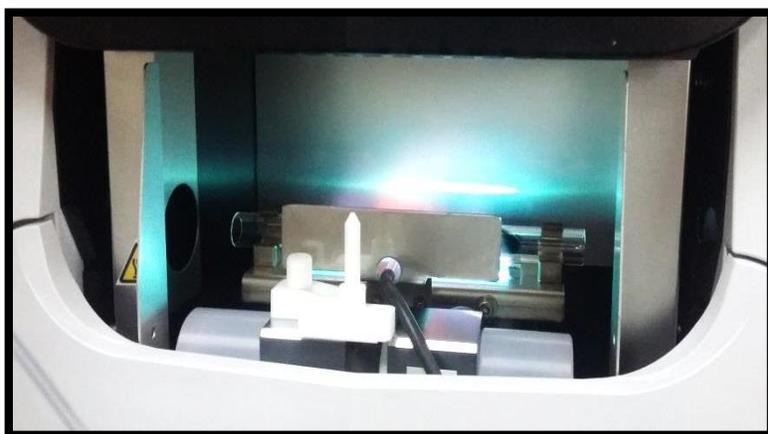


Figura 2. 11 Inicio de software y encendido del equipo.

Fuente: Elaboración propia.

Conectar el equipo de generador de hidruros al espectrofotómetro de absorción atómica y reajustar el flujo por la bomba peristáltica.



Figura 2. 12 Bomba peristáltica.
Fuente: Elaboración propia.

Ejecutar la curva de calibración

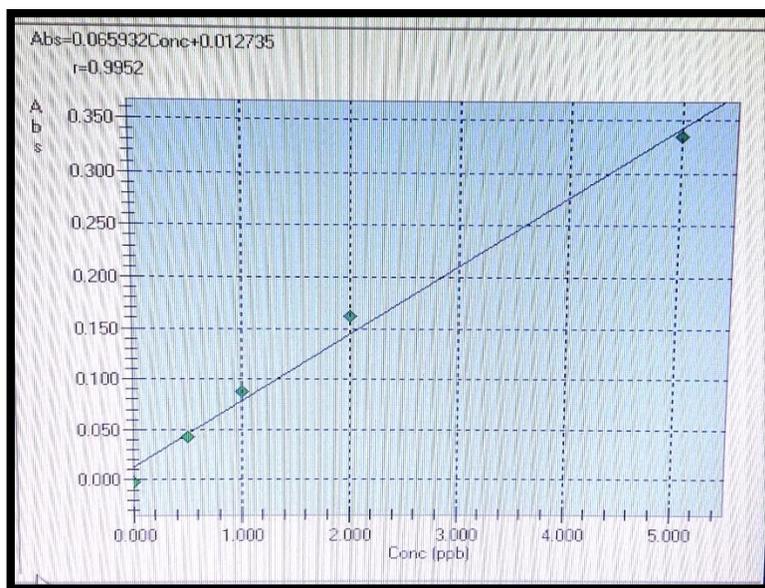


Figura 2. 13 Curva de calibración para arsénico.
Fuente: Elaboración propia.

Realizar la medición de las muestras (Shimadzu Corporation, 2000).



Figura 2. 14 Equipo completo (absorción atómica por llama con sistema generador de hidruros).

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3. PLOMO.

Tomar 100 ml de muestra y realizar digestión con 2 ml de ácido sulfúrico (1+1) y 2 ml de ácido nítrico calentando hasta generar humo blanco debido al ácido sulfúrico y dejar enfriar y filtrar con papel filtro Whatman 42.

Introducir los tubos con las muestras y estándares (0, 2, 5, 10 ppb) en el equipo muestreador automático y posicionarlo en el lugar para análisis con horno de grafito, el equipo utiliza nitrato de paladio y ácido nítrico como modificadores de matriz.



Figura 2. 15 Posición para análisis con horno de grafito.

Fuente: Elaboración propia.

Abrir el software en la computadora y encender el equipo.

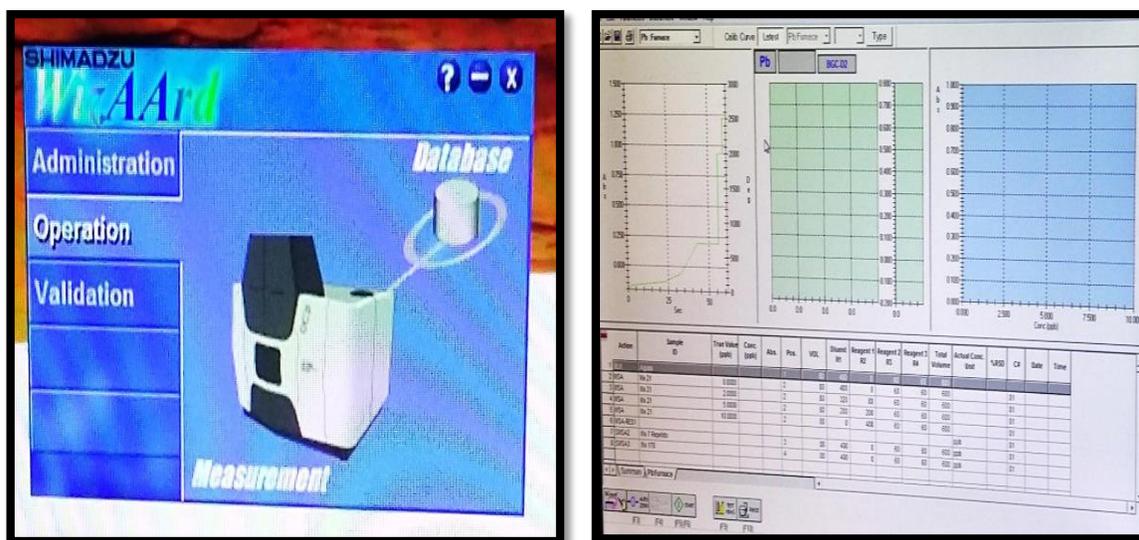


Figura 2. 16 Software y su ventana de inicio.

Fuente: Elaboración propia.

Ejecutar la curva de calibración.

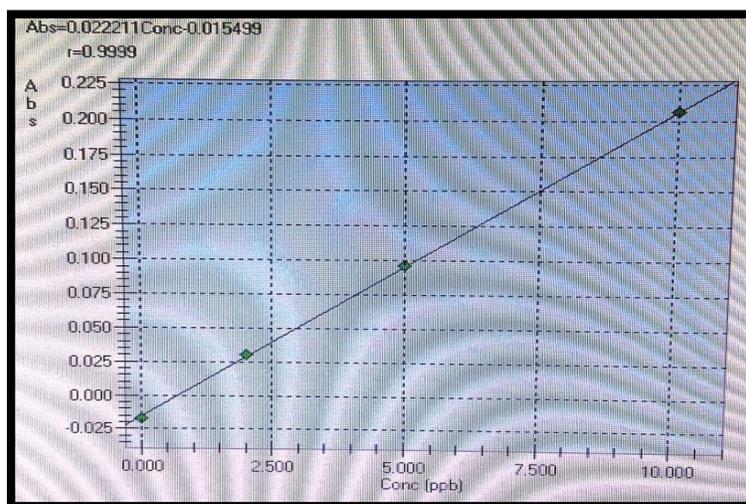


Figura 2. 17 Curva de calibración para plomo.

Fuente: Elaboración propia.

Realizar la medición de las muestras (Shimadzu Corporation, 2000).



Figura 2. 18 Medición de muestras.

Fuente: Elaboración propia.

2.3. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA POR EL MÉTODO CCME WQL.

Para la medición del índice de calidad del agua se utilizó una hoja de cálculo de Microsoft Office Excel habilitada con macros (Government of Newfoundland and Labrador, 2014) el cual automáticamente genera los resultados de las ecuaciones planteadas por el método que corresponden a tres factores:

-F1 (Alcance), representa el porcentaje de parámetros que no cumplen con lo normado (“parámetros fallidos”), al menos una vez en el período que se analiza, con respecto al número total de parámetros que se escogieron:

$$F1 = \left(\frac{\text{parametros fallidos}}{\text{total de parametros}} \right) \times 100\%$$

Ecuación 16

-F2 (Frecuencia), representa el porcentaje de ensayos individuales que dieron resultados diferentes a lo normado (ensayos fallidos) del total de ensayos que se realizaron. Con ensayos se refiere a análisis de laboratorio que se realizan para cada parámetro.

$$F2 = \left(\frac{\textit{ensayos fallidos}}{\textit{total de parametros}} \right) \times 100\%$$

Ecuación 17

-F3 (Amplitud), representa cuán diferente dio el resultado del ensayo con respecto al valor establecido. Este factor se calcula en tres etapas:

-El número de veces por el cual cada valor fallido es mayor (o menor, en el caso de que lo normado sea un valor mínimo) que el valor establecido, se denomina “excursión”. En el caso de que el valor calculado no deba exceder lo normado se calcula de la siguiente forma:

$$\textit{excursión} = \left(\frac{\textit{valor fallido}}{\textit{valor normado}} \right) - 1$$

Ecuación 18

-En el caso de que el valor calculado no deba ser menor que lo normado se calcula de la siguiente forma:

$$\textit{excursión}_i = \left(\frac{\textit{valor normado}_i}{\textit{valor fallido}_i} \right) - 1$$

Ecuación 19

-A continuación se calcula la suma normalizada de las excursiones (nse, siglas en inglés), dividiendo la sumatoria de las excursiones entre el total de ensayos realizados (tanto los que dieron valores que no cumplen con lo normado como aquellos que si cumplen):

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^n \textit{excursión}_i}{\textit{total de ensayos}}$$

Ecuación 20

-Finalmente el factor F3 se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$F3 = \left(\frac{nse}{0.01nse + 0.01} \right)$$

Ecuación 21

Una vez que se tienen los tres factores, el índice puede calcularse, sumándose los tres valores como si fueran vectores. La suma de los cuadrados de cada factor es igual al cuadrado del índice. Esta aproximación trata al índice como un espacio tridimensional donde los factores se colocan a lo largo de cada eje (x, y, z). Con este modelo, el índice cambia de manera directamente proporcional con los cambios que se producen en los valores de los factores.

$$CCMWQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1.732} \right)$$

Ecuación 22

El valor de 1.732 normaliza el resultado a un valor entre 0 y 100, donde 0 representa la “peor” calidad y 100 la “mejor” calidad de agua.

Existen seis categorías dependiendo del valor obtenido:

Tabla 2. 2 Categorías de calidad de agua

Clasificación	Valor-WQI	Descripción
Excelente	95-100	Agua está protegido con una virtual ausencia de amenaza; condiciones muy cercanas a los niveles naturales; estos valores de índice se pueden obtener si todas las mediciones están dentro de los objetivos prácticamente todo el tiempo.
Muy Buena	89-94	La calidad del agua está protegida con una ligera presencia de amenaza; condiciones próximas a niveles naturales.
Buena	80-88	Agua está protegida con pequeño grado de amenaza; las condiciones a veces se apartan de los niveles naturales o deseables.
Regular	65-79	Agua está protegida, pero en presencia de amenaza o afectación; las condiciones a menudo se apartan de los niveles naturales o deseables.

Clasificación	Valor-WQI	Descripción
Marginal	45-64	Agua frecuentemente amenazada; condiciones casi siempre se apartan de niveles deseables o naturales.
Mala	0-44	Agua amenazada; condiciones se apartan de niveles deseables o naturales.

Fuente: (Ali Khan, Paterson, & Khan, 2004).

El procedimiento a seguir en la Hoja de Cálculo de Microsoft Excel habilitada con Macros:

-Al abrir la hoja de cálculo aparece en la página de inicio en el cual se muestra el software y la versión del mismo y las generalidades.

-Presionar el botón DATA y se prosigue a eliminar la tabla que posee por defecto presionando CLEAR OLD DATA y luego presionar OPEN NEW DATA SHEET.

-Los datos deben ser presentados como la Tabla 2. 3 siendo solo un sitio para medir el dato puntual, y completa con todos los sitios si se desea el índice para todo el cuerpo de agua:

Tabla 2. 3 Tabla para uso de software de calidad de agua.

FECHA	SITIO	Parámetro 1	Parámetro 2	Parámetro ...
Fecha 1	Sitio 1	Dato1:1	Dato 1:2	Dato 1:...
Fecha 2	Sitio 2	Dato 2:1	Dato 2:2	Dato 2:...
...

Fuente: Elaboración propia.

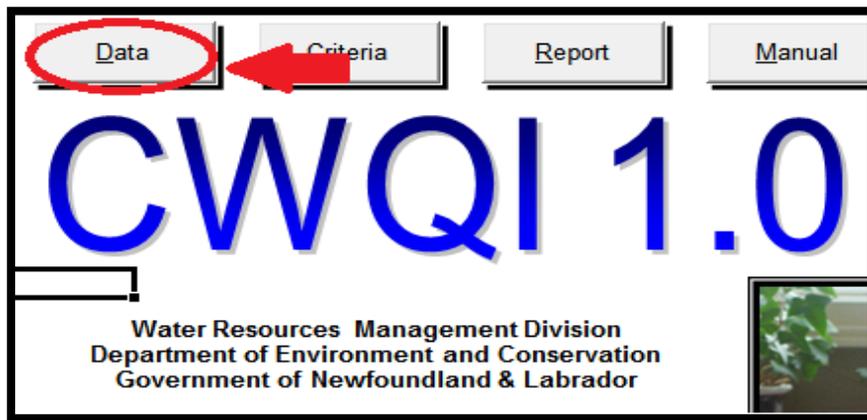


Figura 2. 19 Ilustración de botón DATA.

Fuente: Elaboración propia.

	DATE	SITIO	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (ppm)	Turbidez (NTU)	pH	T ($^{\circ}\text{C}$)
1	29/04/2015	A01SUQUI	590	294	42.2	7.63	27.5
2	29/04/2015	A02VERTI	340	171	1.3	7.05	26.1
3	30/04/2015	A03SUQUI	368	185	75.8	7.6	27.2
4	30/04/2015	A04APANT	382	189	3.5	7.87	27.2
5	05/04/2015	A05SUQUI	412	206	6.5	7.62	25.3
6	05/11/2015	A06SAUCE	346	173	0	7.25	25.3
7	05/04/2015	A07CARCA	383	192	1.2	7.38	25.3
8	05/06/2015	A08SUQUI	426	213	4	7.56	26.1
9	05/06/2015	A09MOLIN	376	187	3	7.88	26.4

Figura 2. 20 Ilustración de botones CLEAR DATA y OPEN DATA

Fuente: Elaboración propia.

-Presionar el botón CRITERIA y en la celda desplegable donde aparece WQMA Data Format elegir User Defined Data Format y donde dice Variables elegir los parámetros según orden en el que están en la Tabla seleccionada anteriormente y ajustar el rango de validez de la normativa a comparar.

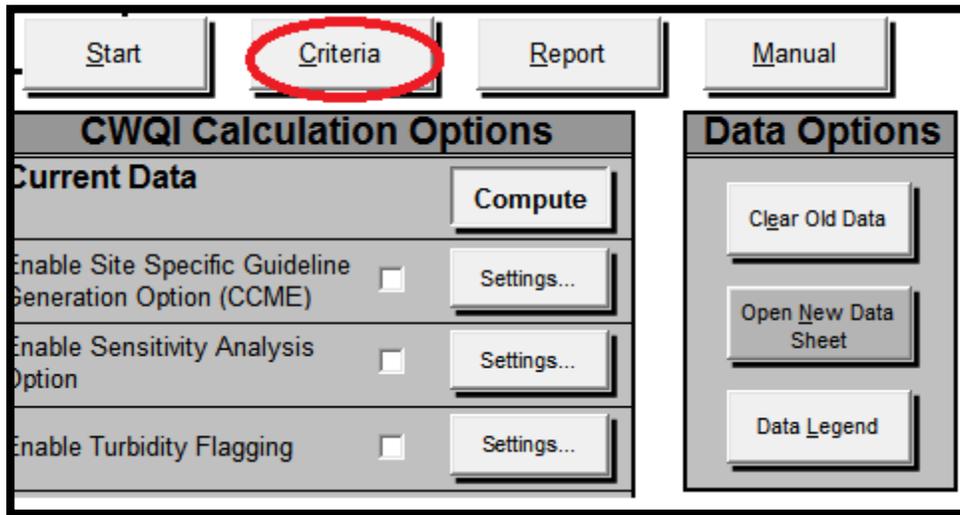


Figura 2. 21 Ilustración de botón CRITERIA.

Fuente: Elaboración propia.

Water Quality Objectives		Judgement based on knowledge of the data and site specific c			
User Defined Data Format		Overall			
User Defined Data Format		Symbol	Units	Lower	Upper
1	Drinking Water Data Format	Condl	uS/cm	150	500
2	WQMA Data Format	TDS	mg/L		
3	Total Dissolved Solids	Turb	NTU		250
4	Turbidity	pH		6.5	9.2
5	pH	Temp	oC		
6	Temperature	DO	mg/L	4	6.5
7	Dissolved Oxygen	Fe	mg/L		
8	Iron	Cl-	mg/L		
9	Chloride	Br-	mg/L		
	Bromide				

Figura 2. 22 Ilustración de pasos a seguir en CRITERIA.

Fuente: Elaboración propia.

-Presionar el botón DATA y seleccionar el botón COMPUTE y el programa le presentará una ventana en donde pide que corrobore si los parámetros en orden coinciden con los de criterio y finalizar.

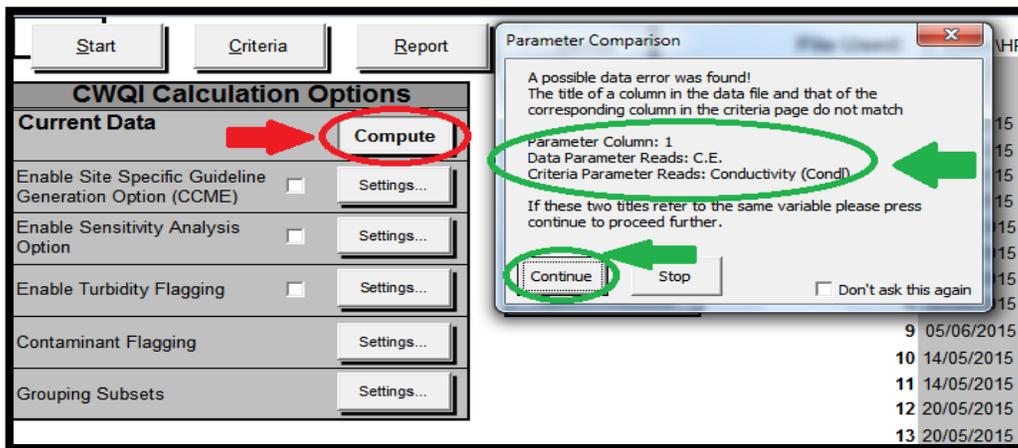


Figura 2. 23 Pasos finales a seguir.

Fuente: Elaboración propia.

-Se presenta una tabla con el valor del Índice de Calidad del Agua, su categorización, el valor de las ecuaciones planteadas por el método (F1, F2, F3) y una gráfica de representación con los límites de las categorizaciones.

Canadian Water Quality Index 1.0	
Data Summary	Overall
CWQI	55
Categorization	Marginal
F1 (Scope)	60
F2 (Frequency)	33
F3 (Amplitude)	36
Minimal Dataset Requirement of 4 Variables	Met
Contaminant Analysis of Last Sample	Not Tested

Figura 2. 24 Resultado de análisis de índice de calidad.

Fuente: Elaboración propia.

Finalizando de esta manera el análisis del Índice de Calidad de Agua según el modelo Canadiense CCME-WQI.

2.4. PROCEDIMIENTO DE MODELACION

2.4.1. MODELACIÓN ORGANICA CON WQMCAL.

El procedimiento para la elaboración de un modelo de OD-DBO₅ es bastante simple, ya que únicamente requiere los datos de oxígeno disuelto (OD) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) para diferentes puntos a lo largo del segmento acuífero en estudio y algunos datos básicos como temperatura, caudal y velocidad media, la modelación con el software WQMCAL se simplifica más ya que solamente sigue una serie de ecuaciones que han sido programadas para evitar el realizar los cálculos a mano además el software provee gráficos que son sumamente útiles en cuanto al análisis de resultados.

Inicialmente el software provee una interfaz donde cada función que el programa realiza está definida por 3 aspectos: la fórmula para generar el dato, la explicación de la misma y la práctica (ver figura 2.25), es esta última función en la cual el usuario ingresa los datos para comenzar con el proceso de modelación. WQMCAL está diseñado para realizar modelaciones de distintos tipos como lo son: Modelos para ríos de DBO₅-OD, modelos de dispersión para ríos, y modelos para lagos.

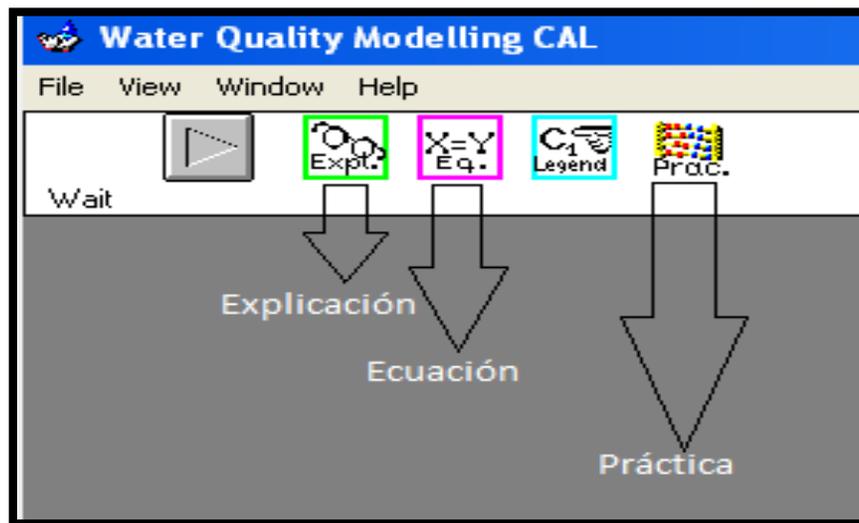


Figura 2. 25 Interfaz inicial de WQMCAL.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Para la modelación orgánica el modelo utilizado es el modelo de DBO₅-OD para ríos al seleccionar este tipo de modelo en el software se desplegarán una serie de opciones como se muestra en la figura 2.26, cada una de las opciones mostradas son un paso en la modelación orgánica, y se irán utilizando en forma ordenada esto se debe a que algunas funciones son consecuentes; es decir se necesita saber una para poder determinar la siguiente. Además este modelo se subdivide en dos modelos más los cuales se conocen como “modelos expandidos”, sin embargo estas funciones no son del interés de nuestra modelación. El proceso de introducción de datos de cada una de estas funciones se mostrara con más detalle en el capítulo 3 de la modelación orgánica.

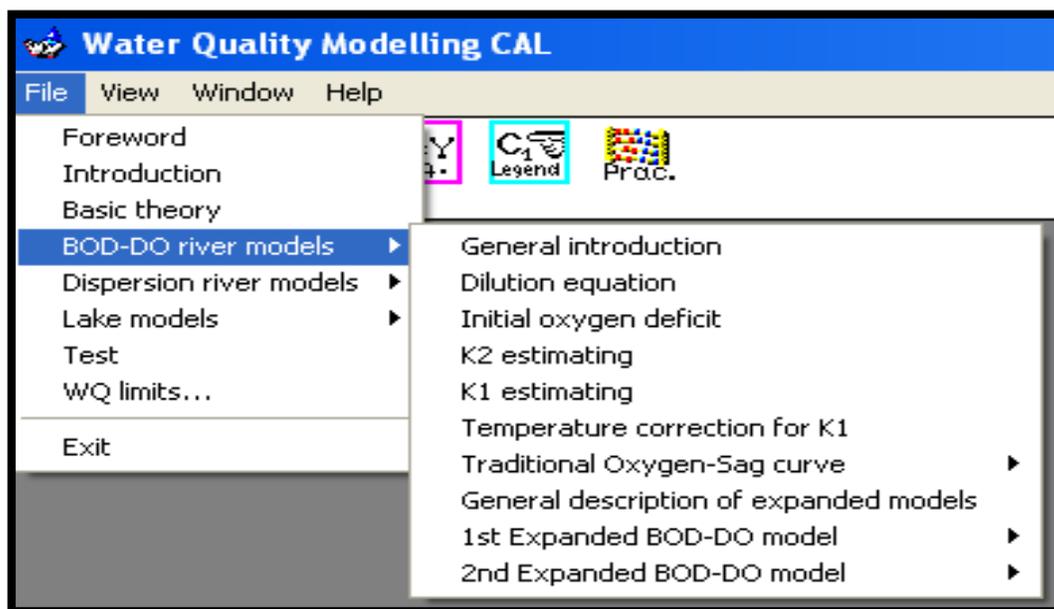


Figura 2. 26 Opciones de modelos de WQMCAL.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

- Introducción general.

Antes de iniciar con la introducción de datos el software nos provee de una descripción general de lo que es el modelo, especificando cuales son los objetivos y las variables de salida, esta descripción además abarca todas las ecuaciones que utiliza el software y su respectiva descripción.

- Ecuación de dilución.

Esta es una de las más importantes herramientas de la modelación de calidad de aguas, una simple ecuación de balance de masa la cual es usada cuando la contaminación del cuerpo de agua es considerada como una condición inicial.

- Déficit inicial de oxígeno.

Este conjunto de ecuaciones se utiliza para calcular el déficit de oxígeno inicial del agua aguas abajo de una descarga de aguas residuales fuente de punto en comparación con la concentración de saturación de oxígeno disuelto, que este último depende de la temperatura.

- Estimación de K_2 .

Esta ecuación se utiliza para la estimación del valor del coeficiente de tasa de aireación K_2 en función de la velocidad de flujo y la profundidad de flujo. De este modo para el cálculo de k_2 para cada uno de nuestros puntos a lo largo del río, necesitamos el valor del en cada uno de ellos de la profundidad (h) y de la velocidad media (v) (Géza Jolánkai, 2000).

- Estimación de K_1 .

Para la estimación de K_1 (“coeficiente de descomposición bioquímica de la materia orgánica”) existe un coeficiente de autodepuración (f), el cual es el cociente entre k_2/k_1 la cual está en función de las condiciones hidráulicas del flujo del río observadas, en forma verbal la tabla donde se encontró estos valores está dividida en: reservorio pequeño o lago, corriente muy lenta o lago grande, río largo de corriente lenta, río largo de flujo de velocidad mediano, ríos de flujo rápido y flujo muy rápido o cascadas. Para utilizar esta tabla se proporcionan los límites de velocidad y a partir de esos límites se interpolan para un valor de velocidad determinado (Géza Jolánkai, 2000).

- Corrección de temperatura para k_1 .

Esta función está programada con una ecuación para corregir el valor de K_1 con respecto a la temperatura del agua, ya que por defecto la relación (f) entre los valores de k_2/k_1 está diseñada para una temperatura de 20 °C.

- Curva tradicional de agotamiento de oxígeno.

El modelo tradicional curva de agotamiento de oxígeno describe el destino, el "agotamiento", del oxígeno disuelto en el río como influenciado por la descomposición de la materia orgánica biodegradable y el proceso de aireación (a través de la superficie del agua). Esta función también sirve para generar otros gráficos muy interesantes para la modelación.

Cada una de estas funciones fue aplicada a los 18 puntos de muestreo del río Suquiapa, para de esta forma generar una modelación completa del segmento en estudio, al tener posteriormente una imagen general del modelo, se puede empezar a ajustar parámetros y a diseñar un plan de mejora del río por ejemplo estableciendo plantas de tratamiento de aguas en zonas estratégicas del río. Como ya se mencionó antes, esta parte será extendida en el capítulo tres donde se podrá visualizar paso a paso el procedimiento de la modelación.

2.4.2. MODELACIÓN DE METALES PESADOS EN WASP

WASP es un modelo dinámico que puede ser usado para analizar una variedad de problemas de calidad en diversos cuerpos de agua tales como corrientes, lagos, ríos, estuarios y aguas costeras.

Las ecuaciones de transporte consideradas en WASP están basadas en el principio de la conservación de masa. Este principio requiere que la masa de cada constituyente de calidad de agua que se está investigando debe tenerse en cuenta de una manera u otra. WASP rastrea cada constituyente desde el punto de entrada espacial y temporal a su punto final de salida, conservando la masa en el espacio y el tiempo. Para llevar a cabo estos cálculos de balance de masa, el usuario debe suministrar a WASP datos de entrada definiendo siete características importantes:

- Control de la simulación y salida.
- Segmentación del modelo.
- Transporte advectivo y dispersivo.

- Concentraciones de borde.
- Cargas tóxicas de fuentes puntuales y difusas.
- Parámetros cinéticos, constantes, y funciones temporales.
- Concentraciones iniciales.

Estos datos de entrada, en conjunto con las ecuaciones de balance de masa general de WASP y las ecuaciones específicas químicas cinéticas, definen un set especial de ecuaciones de calidad de agua. Estas son integradas numéricamente por WASP a medida que avanza la simulación.

2.4.2.1. SEGMENTACIÓN DEL RÍO.

La segmentación consiste en separar en tramos el segmento total del río donde cada tramo posee condiciones homogéneas de comportamiento hidráulico y calidad ambiental. Cada uno de estos segmentos posee características biológicas y fisicoquímicas similares, en este caso el río Suquiapa fue segmentado en 18 tramos como se puede ver en la figura 2.27.

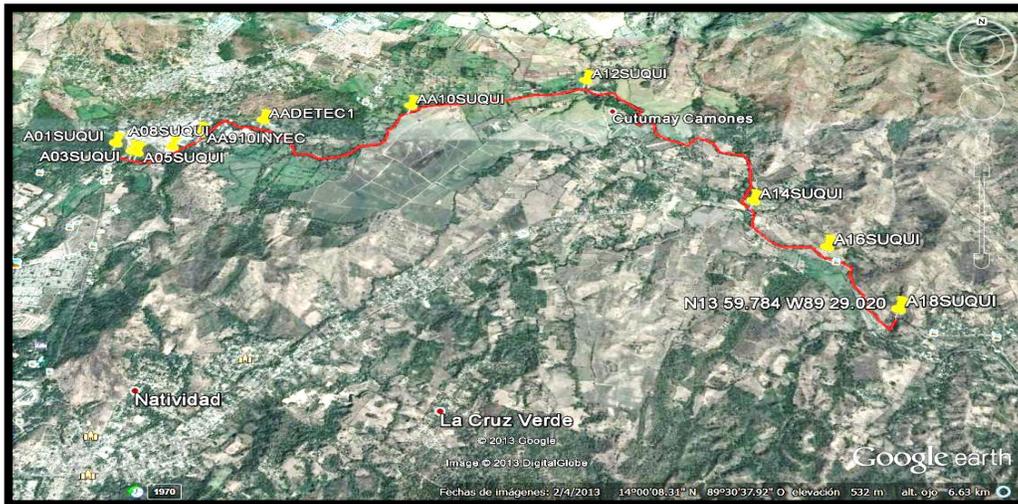


Figura 2. 27 Imagen satelital de los 18 tramos de división del río Suquiapa.

Fuente: (Espinoza Rivas, Vinicio Merino, & Zavaleta Lemus, 2013).

Se debe tener presente que el modelo se usó en la modalidad Net Flows, para hacer una simulación en estado estacionario, por lo que el largo de los segmentos no influye en el resultado de la simulación, debido a que en Net Flows los segmentos son solo “volúmenes en el espacio” para el modelo. En cambio en el modo transiente, kinematic wave se usa el largo del segmento para calcular el tiempo que le toma al agua cruzar el segmento. De todas formas los cálculos de la dispersión requieren que se realice la segmentación de los ríos, ya que se requiere de la profundidad y el ancho para calcular el coeficiente de dispersión y de la distancia entre segmentos y del área transversal de los segmentos para que el modelo calcule la dispersión.

En la pantalla de segmentos (Figura 2.28),  se debe ingresar una fila de información por cada segmento del modelo (presionando “Insert” , presionando ↓ desde la última fila o copiando y pegando  desde una hoja de cálculo. Para cada segmento, el usuario debe ingresar una cantidad de información mínima, que depende de la opción de flujo seleccionada. Para las opciones Net Flows y Gross Flows, se deben ingresar “Depth Multiplier” (Profundidad), “Segment Type” (Tipo de segmento), “Bottom Segment” (Segmento inferior) y “Volume” (Volumen) o “Length” (Largo) y “Width” (Ancho). Si el volumen de un segmento es 0, WASP calculará un volumen con el producto de la profundidad, el largo y el ancho. Para la opción 1-D Kinematic Wave, se deben ingresar “Depth”, “Segment Type”, “Bottom Segment”, “Length”, “Width”, “Slope” (Pendiente), y “Bottom Roughness” (Coeficiente de rugosidad de Manning) (Ríos, 2013).

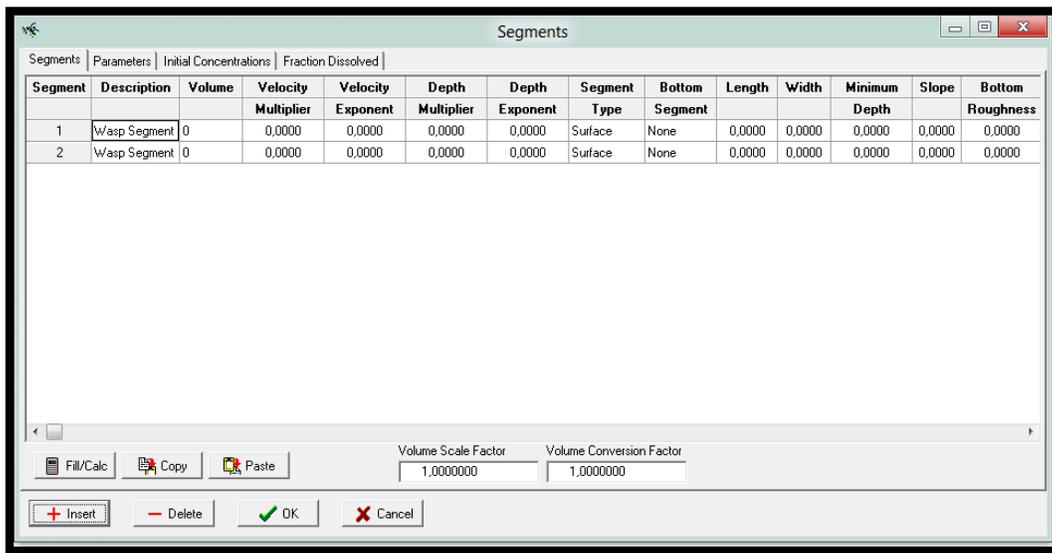


Figura 2. 28 Pantalla de segmentos del programa WASP.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

2.4.2.2. CALIBRACIÓN DEL SOFTWARE.

La calibración es una operación que, bajo condiciones específicas, establece una relación entre los valores de una magnitud con sus respectivas incertidumbres, y las indicaciones correspondientes con las incertidumbres de medición asociadas. En este caso, se calibraron parámetros del modelo hidrodinámico a partir de la comparación de la concentración de los elementos conservativos generada por el modelo con mediciones realizadas en campo.

Los elementos conservativos son sustancias no reactivas transportadas pasivamente a través de un cuerpo de agua. Su presencia es expresada a través de una concentración, por ejemplo la salinidad, o de un indicador, como, la conductividad eléctrica. Ésta es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transportar la corriente eléctrica. Depende de la presencia de iones en solución, de su concentración total, movilidad y balance y de la temperatura.

Las soluciones de compuestos inorgánicos son relativamente buenas conductoras, mientras que los compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas, conducen muy poco la corriente eléctrica. La conductividad eléctrica es utilizada como un indicador de la

contaminación salina en distintos trabajos de calibración de modelos hidrodinámicos, siendo muy fácil su determinación, por lo que fue elegida como el indicador conservativo para efectuar la calibración de los parámetros hidrodinámicos.

De esta forma se cargaron para los puntos tributarios es decir excluyendo los puntos de paso principal del río (A-SUQUI) con su respectiva conductividad eléctrica como se muestra en la figura 2.29, posteriormente se genera una gráfica y comienza el ensayo con los parámetros de ajuste hasta lograr homogeneidad en los gráficos, que será la comprobación de que el modelo esta calibrado.

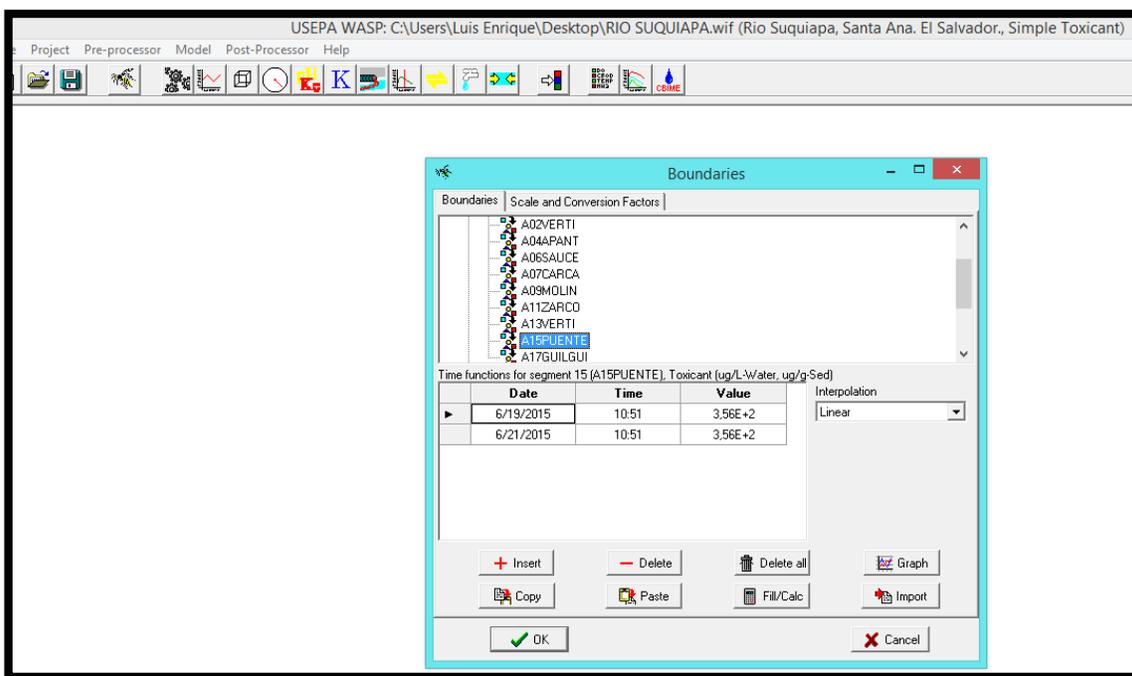


Figura 2. 29 Introducción de valores de conductividad eléctrica para calibración.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

2.4.2.3. MODELACIÓN WASP 7.3.

Para la modelación usando WASP, el usuario debe especificar información en las pantallas de datos (data set screen), segmentos (segments screen) y flujos (flows screen), a las cuales

se ingresa seleccionando los iconos de: ,  y  respectivamente, desde la barra de herramientas principal de WASP como se muestra a continuación:

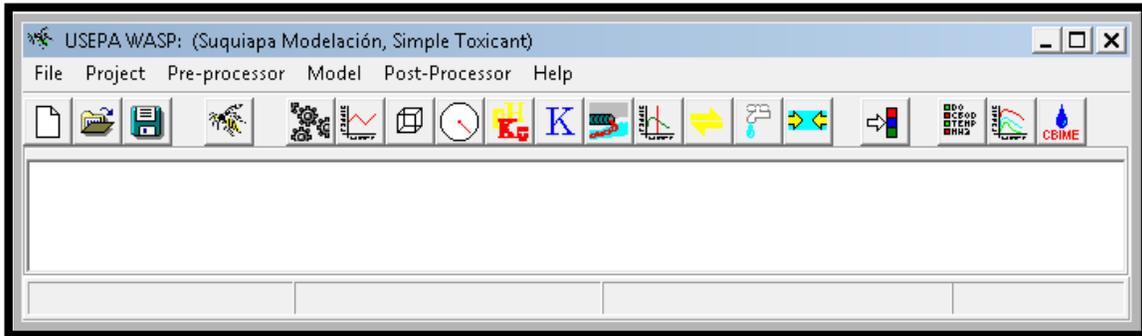


Figura 2. 30 Barra de herramientas de la pantalla principal de WASP.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

➤ PANTALLA DE DATOS (DATA SET SCREEN)

En la pantalla de datos, el usuario debe elegir el tipo de modelo (model type). En la sección de “rango de tiempo” (time range), se debe especificar la fecha y hora de partida y término de la simulación. En la sección “hidrodinámica” (hydrodynamics) se debe seleccionar la opción de flujo. Finalmente se debe especificar la información de “paso de tiempo” (time step). Cuando se crea un nuevo set de datos de entrada el formulario de entrada de la pantalla de datos (Figura 2. 31) es el primero que necesita ser completado. Este formulario provee información básica que es necesitada por el programa para parametrizar los otros formularios de entrada que le siguen. Esta pantalla informa al programa que tipo de archivo WASP se va a crear (Ríos, 2013).

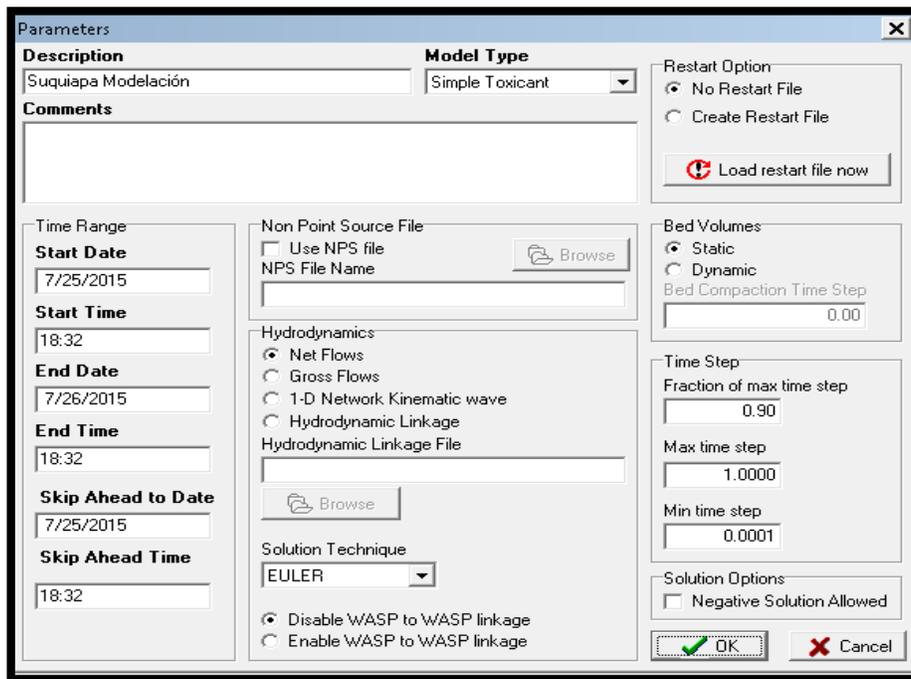


Figura 2. 31 Pantalla de datos (data set screen).

Fuente: Elaboración propia, WASP.

- Fecha y tiempo:

WASP requiere que todas las funciones de tiempo sean representadas en estilo gregoriano (mm/dd/aa hh:mm:ss).

Fecha y hora de partida (start date, start time):

La casilla de tiempo de partida es usada para definir la fecha y tiempo para el comienzo de la simulación. Esta fecha y tiempo corresponden al “tiempo cero” en el modelo.

Fecha y hora de término (end date, end time):

La casilla de tiempo de partida es usada para definir la fecha y tiempo para el final de la simulación.

- Hidrodinámica:

Existen cuatro opciones de flujo superficial en WASP, éstas son:

-Net Flows: WASP calculará el transporte neto a través de la interfaz de un segmento. WASP sumará todos los flujos para determinar la dirección del flujo neto y la masa. Si los flujos opuestos son iguales no hay movimiento de masa.

-Gross Flows: WASP mueve la masa con cada flujo por separado en una interfaz de segmento. Si flujos opuestos se especifican en una interfaz, WASP moverá la masa en ambas direcciones.

-Kinematic Wave: Para corrientes o ríos ramificados unidimensionales, es una opción simple pero realista para llevar un transporte advectivo. La ecuación de onda cinemática calcula la propagación de la onda de flujo y las variaciones resultantes en los flujos, volúmenes, profundidades y velocidades a través de la red de la corriente.

-Hydrodynamic Linkag: Se pueden lograr simulaciones realistas de transporte transiente en ríos y estuarios enlazando a WASP con una simulación hidrodinámica compatible. Este enlace se logra a través de un archivo externo en formato “.hyd”.

- Técnica de Solución (Solution Technique):

El usuario tiene la habilidad de seleccionar la técnica de solución del modelo a ser usada por el módulo de calidad de agua durante la simulación. Actualmente hay tres técnicas que pueden ser seleccionadas: 1) Euler: que es la técnica de solución tradicional que ha usado WASP desde su creación; 2) COSMIC Flux Limiting: que es la técnica de solución típicamente usada cuando WASP es enlazado a modelos hidrodinámicos multidimensionales; y 3) Runga Kutta 4 step: que es usada para simulaciones diurnas.

- Definición del Intervalo de Tiempo (Time Step):

WASP resuelve las ecuaciones de balance de masa usando métodos numéricos, así que para cada sección WASP está calculando dC/dt . Para encontrar cuánto la concentración cambió en un segmento, WASP utiliza el time step, Δt , el cual multiplica por dC/dt obteniendo dC . Luego WASP actualiza C (concentración del contaminante o elemento a modelar) en todas partes y avanza hacia adelante en el tiempo por ese Δt .

En la Figura 2.4. Se puede observar cómo se llenó una pantalla de datos para modelar el Río Suquiapa. Se eligió el “tipo de modelo” (model type) Tóxico Simple (Simple Toxicant). En la sección de “rango de tiempo” (time range), se especificó una fecha y hora de partida y término de la simulación. En la sección “hidrodinámica” (hydrodynamics) se seleccionó la opción de flujo Net Flows. En la sección “técnica de solución” (Solution Technique) se dejó en Euler. La información de time step no se modificó.

➤ PANTALLA DE SEGMENTOS (SEGMENTS)

En la pantalla de segmentos (Figura 2. 32), se debe ingresar una fila de información por cada segmento del modelo (presionando “Insert”, presionando ↓ desde la última fila o copiando y pegando desde una hoja de cálculo). Para cada segmento, el usuario debe ingresar una cantidad de información mínima, que depende de la opción de flujo seleccionada. Para las opciones Net Flows y Gross Flows, se deben ingresar “Depth Multiplier” (Profundidad), “Segment Type” (Tipo de segmento), “Bottom Segment” (Segmento inferior) y “Volume” (Volumen) o “Length” (Largo) y “Width” (Ancho). Si el volumen de un segmento es 0, WASP calculará un volumen con el producto de la profundidad, el largo y el ancho. Para la opción 1-D Kinematic Wave, se deben ingresar “Depth”, “Segment Type”, “Bottom Segment”, “Length”, “Width”, “Slope” (Pendiente), y “Bottom Roughness” (Coeficiente de rugosidad de Manning) (Ríos, 2013).

Segment	Velocity Multiplier	Velocity Exponent	Depth Multiplier	Depth Exponent	Segment Type	Bottom Segment	Length	Width	Minimum Depth	Slope	Bottom Roughness
1	0.2480	0.0000	0.2490	0.0000	Surface Water	19: A01SUQUI-S	1.0000	10.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.2140	0.0000	0.1820	0.0000	Surface Water	20: A02VERTI-S	17.7000	1.5000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.2130	0.0000	0.3250	0.0000	Surface Water	21: A03SUQUI-S	191.1800	9.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.2980	0.0000	0.2380	0.0000	Surface Water	22: A04PANT-S	19.6000	4.1000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.2640	0.0000	0.3470	0.0000	Surface Water	23: A05SUQUI-S	26.0500	10.5000	0.0000	0.0000	0.0000
6	0.2490	0.0000	0.5880	0.0000	Surface Water	24: A06SAUCE-S	79.3000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	0.2280	0.0000	0.2310	0.0000	Surface Water	25: A07CARCA-S	53.1000	1.5000	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.2320	0.0000	0.3450	0.0000	Surface Water	26: A08SUQUI-S	200.3500	13.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	0.2410	0.0000	0.2200	0.0000	Surface Water	27: A09MOLIN-S	133.6300	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.3540	0.0000	0.3510	0.0000	Surface Water	28: A10SUQUI-S	2791.6000	13.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	0.1800	0.0000	0.2330	0.0000	Surface Water	29: A11ZARCO-S	25.7200	6.5000	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.2980	0.0000	0.5710	0.0000	Surface Water	30: A12SUQUI-S	1706.0000	17.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	0.0690	0.0000	0.3290	0.0000	Surface Water	31: A13VERTI-S	29.9100	2.0000	0.0000	0.0000	0.0000
14	0.2330	0.0000	0.6580	0.0000	Surface Water	32: A14SUQUI-S	2831.6500	16.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	0.4160	0.0000	0.2510	0.0000	Surface Water	33: A15PUENTE-S	64.0100	6.0000	0.0000	0.0000	0.0000
16	0.5760	0.0000	0.3850	0.0000	Surface Water	34: A16SUQUI-S	824.9100	12.0000	0.0000	0.0000	0.0000
17	0.2200	0.0000	0.1930	0.0000	Surface Water	35: A17GUILGU-S	906.3800	2.5000	0.0000	0.0000	0.0000
18	0.8930	0.0000	0.2840	0.0000	Surface Water	36: A18SUQUI-S	146.4800	7.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 2. 32 Pantalla de segmentos.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

- Volumen:

Los volúmenes de los segmentos (m^3) deben ser especificados cuando se usan las opciones de flujo Gross Flows o Net Flows. Si un volumen no es ingresado o si es igual a 0 WASP lo calculará desde el ancho, largo y profundidad especificados.

- Profundidad (Multiplicador y exponente):

Los multiplicadores (m) y exponentes de profundidad (m) deben ser especificados cuando se usan las opciones Net Flows, Gross Flows, o Kinematic Wave. Para los segmentos bentónicos, los multiplicadores de profundidad son interpretados como las profundidades del segmento (m).

Para las opciones Net Flows y Gross Flows, los multiplicadores y exponentes de profundidad se utilizan junto con los flujos iniciales del segmento para calcular las profundidades iniciales. Si un multiplicador de profundidad es dejado como 0, es reseteado internamente a 1.0 y se emite un mensaje a la pantalla. Si un exponente de profundidad es 0, entonces el multiplicador de profundidad es igual a la profundidad inicial del segmento.

- Velocidad (Multiplicador y exponente):

Los multiplicadores y exponentes de velocidad (m/s) deben ser especificados sólo cuando se está usando la opción Net Flows o Gross Flows.

- Tipo de segmento (Segment type):

Para elegir tipo de segmento tenemos cuatro opciones: “Surface” (agua superficial), “Subsurface” (agua subsuperficial), “Surface Benthic” (bentos superficial), y “Subsurface Benthic” (bentos subsuperficial). El tipo de segmento por defecto es “Surface” que representa el segmento de la columna de agua superior en contacto con el aire. “Subsurface” representa el segmento de la columna de agua subyacente. “Surface Benthic” representa el segmento de sedimento en contacto con la columna de agua mientras que finalmente “Subsurface Benthic” representa el segmento de sedimento subyacente.

- Segmento inferior (Bottom Segment):

El segmento inferior es el segmento inmediatamente debajo del segmento seleccionado. El segmento inferior es seleccionado usando un menú desplegable. Si no hay segmentos debajo del segmento seleccionado, entonces el segmento inferior es designado como “none” (ninguno).

- Longitud (Length)

La longitud (m) del segmento es la longitud a lo largo del centro de la línea de flujo desde aguas arriba al final aguas abajo del segmento.

- Ancho (Width)

El ancho (m) del segmento es el ancho promedio a lo largo de la longitud del segmento.

- Profundidad mínima (Minimum depth):

La profundidad (m) mínima es la profundidad promedio del segmento bajo condiciones de no-flujo, usada sólo en la opción 1D Kinematic Wave.

- Pendiente (Slope):

La pendiente (adimensional) es la caída de la elevación dividida por el largo del segmento. Esto es usualmente calculado como la elevación aguas arriba menos la elevación aguas abajo dividido por la longitud del segmento, se usa sólo en la opción 1D Kinematic Wave.

- Coeficiente de rugosidad de Manning (Bottom Roughness):

Se usa sólo en la opción 1D Kinematic Wave

Para llenar la pantalla de segmentos primero se tienen que definir los segmentos. En la Figura 2. 32 se puede apreciar la configuración de segmentos usada para modelar el Río Suquiapa la cual consiste de 36 segmentos (18 segmentos “Surface Water” y 18 segmentos “Surface Benthic”), donde la cabecera del Río entra por el segmento A01SUQUI.

➤ PANTALLA DE FLUJOS (FLOWS SCREEN)

La pantalla de flujos es usada para definir el transporte advectivo, incluyendo flujos de agua superficial y de poro (sedimentos de fondo), así como sedimentación y resuspensión, precipitación y evaporación.

La pantalla de flujos es una pantalla compleja que consta de cuatro tablas (Figura 2. 33). El cuadrante superior izquierdo es usado para seleccionar el tipo de transporte, por ejemplo en el caso de esta memoria, “Surface Water” (Agua Superficial). El cuadrante superior derecho es usado para definir un set de funciones de transporte, incluyendo flujos río arriba y de tributarios. Por cada función de transporte, los dos cuadrantes de abajo son usados para definir el recorrido y la función de tiempo del flujo (Ríos, 2013).

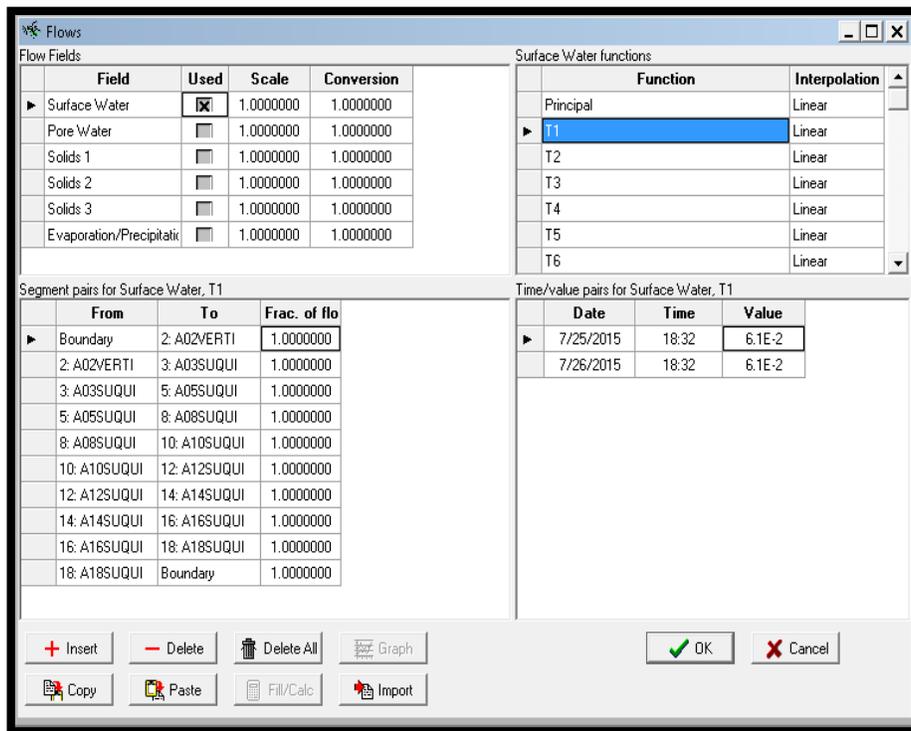


Figura 2. 33 Pantalla de flujos.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

- Tipo de flujo (Flow field):

El tipo de transporte debe ser seleccionado. Seis tipos de transporte están disponibles en WASP: “Surface water” (Agua superficial), “Pore water” (Agua de poro) “Solids1, 2 & 3” (solidos 1, 2 y 3) “Evaporation/Precipitation” (Evaporacion/Precipitacion). En el presente trabajo se utilizó sólo la opción “Surface Water”, la cual es usada para describir el flujo de agua superficial. Este flujo puede transportar tanto fracciones disueltas como partículas de un constituyente.

- Factor de escala (Scale factor):

El factor de escala para un tipo de transporte multiplica todos los flujos asociados por el valor ingresado. Es generalmente usado para escalar flujos en test de sensibilidad. Su valor por defecto es 1.0.

- Factor de conversión:

El factor de conversión para un tipo de transporte multiplica todos los flujos asociados por el valor ingresado. Es generalmente usado para ajustar los flujos ingresados a m^3/s . Si los flujos están especificados en ft^3/s , el factor de conversión es 0.02832. Su valor por defecto es 1.0.

- Función de flujo:

El usuario puede definir varias funciones de flujo para el campo de transporte elegido. Cada función de flujo debe tener su propia función de recorrido (cuadrante inferior izquierdo) y una función de flujo en el tiempo (cuadrante inferior derecho).

Para ingresar una función de flujo, primero se debe marcar el campo de transporte haciendo clic en él (marcando la casilla Used) en el cuadrante superior izquierdo, luego hacer clic en el cuadrante superior derecho y hacer clic en el botón “insert”.

Para ingresar funciones de flujo adicionales, se puede hacer clic de nuevo en “insert” o hacer click en la última función de flujo y presionar ↓ en el teclado. Para borrar una función de flujo, se debe seleccionar la función haciendo click en ella y luego hacer click en el botón

“delete”. Al borrar una función de flujo se eliminarán las correspondientes funciones de recorrido de flujo y de flujo en el tiempo.

- Nombre de la función (Function name):

Cuando una función de flujo es ingresada, viene con el nombre “Flow Function” por defecto. Este nombre puede ser editado por el usuario.

- Opción de interpolación (Interpolation option):

La opción de interpolación por defecto asociada a la función de flujo es la opción “linear”. Esta puede ser cambiada a la opción “Step”.

Una vez que la función de flujo está seleccionada y nombrada, el usuario debe definir la función de recorrido del flujo y la función de flujo en el tiempo asociadas. Se debe estar seguro de que el tipo de flujo y función de flujo correctos están seleccionados antes de entrar a estas pantallas.

- Función de recorrido del flujo (Flow path function):

La función de recorrido de flujo traza el flujo desde el punto de entrada dentro de la red del modelo hasta su punto de salida fuera de la red del modelo o un camino alternativo asociado a otra función de flujo. El recorrido del flujo consiste en un conjunto de filas, que corresponden a las interfaces de los segmentos. Cada fila tendrá un par de segmentos y un multiplicador de fracción de flujo.

- Pares de segmentos (Segments pairs)

Esto consiste en un segmento “de entrada” y un segmento “de salida”, y define también la dirección del flujo a través de la interface entre segmentos. Tanto el segmento “de entrada” como el segmento “de salida” pueden ser definidos como “borde” (boundary). Normalmente la primera fila definirá el flujo de entrada desde “borde” al segmento río arriba y la última fila definirá el flujo de salida desde el segmento río abajo a “borde”. En la Figura 2. 34 se puede ver un ejemplo de un esquema de un río segmentado con su cabecera (principal) y los

tributarios. En la Figura 2. 35, Figura 2. 36 y Figura 2. 37 se puede observar cómo se traza la función de recorrido y se establecen los pares de segmentos.

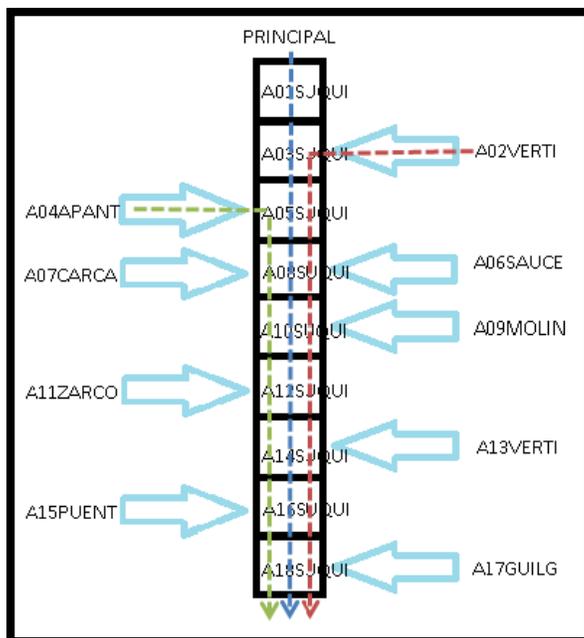


Figura 2. 34 Ejemplo esquema segmentación río.

Fuente Elaboración propia.

Flows

Field	Used	Scale	Conversion
Surface Water	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0000000	1.0000000
Pore Water	<input type="checkbox"/>	1.0000000	1.0000000
Solids 1	<input type="checkbox"/>	1.0000000	1.0000000
Solids 2	<input type="checkbox"/>	1.0000000	1.0000000
Solids 3	<input type="checkbox"/>	1.0000000	1.0000000
Evaporation/Precipitation	<input type="checkbox"/>	1.0000000	1.0000000

Surface Water functions

Function	Interpolation
Principal	Linear
T1	Linear
T2	Linear
T3	Linear
T4	Linear
T5	Linear
T6	Linear

Segment pairs for Surface Water, Principal

From	To	Frac. of flo
Boundary	1: A01SUQUI	1.0000000
1: A01SUQUI	3: A03SUQUI	1.0000000
3: A03SUQUI	5: A05SUQUI	1.0000000
5: A05SUQUI	8: A08SUQUI	1.0000000
8: A08SUQUI	10: A10SUQUI	1.0000000
10: A10SUQUI	12: A12SUQUI	1.0000000
12: A12SUQUI	14: A14SUQUI	1.0000000
14: A14SUQUI	16: A16SUQUI	1.0000000
16: A16SUQUI	18: A18SUQUI	1.0000000
18: A18SUQUI	Boundary	1.0000000

Time/value pairs for Surface Water, Principal

Date	Time	Value
7/25/2015	18:32	6.09E-1
7/26/2015	18:32	6.09E-1

Buttons: + Insert, - Delete, Delete All, Graph, Copy, Paste, Fill/Calc, Import, OK, Cancel

Figura 2. 35 Ejemplo pares de segmentos para función de agua superficial principal.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

Nota: En la figura 2.35 el cuadro abajo a la izquierda representa el recorrido que se establece en los pares de segmentos para A01SUQUI.

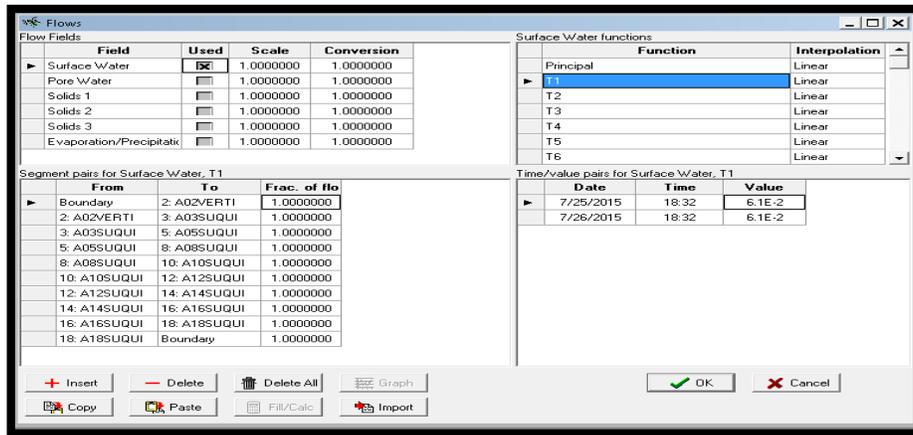


Figura 2. 36 Ejemplo pares de segmentos para función de agua superficial T1 (tributario A02VERTI).

Fuente: Elaboración propia, WASP.

Nota: En la figura 2.36, el cuadro abajo a la izquierda representa el recorrido que se establece en los pares de segmentos para A02VERTI.

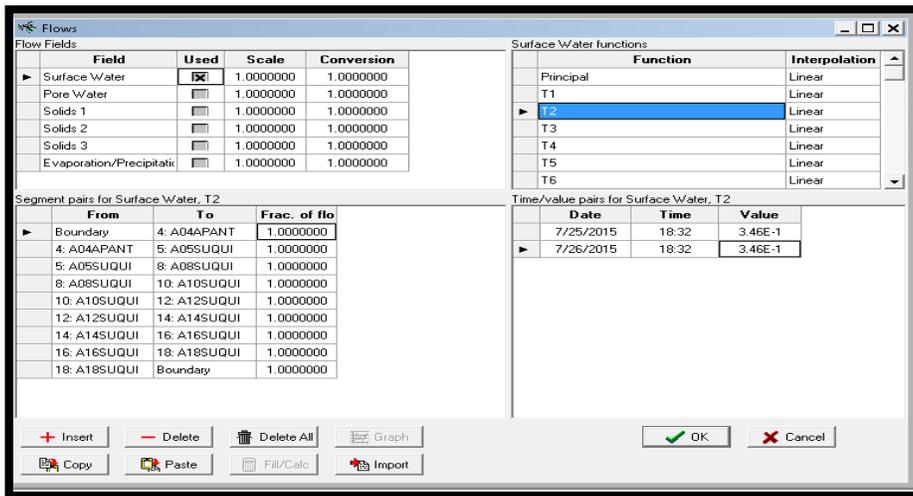


Figura 2. 37 Ejemplo pares de segmentos para función de agua superficial T2 (tributario A04APANT).

Fuente: Elaboración propia, WASP.

Nota: En la figura 2.37 el cuadro abajo a la izquierda representa el recorrido que se establece en los pares de segmentos para A04APANT.

- Función de flujo en el tiempo (Flow time function):

La función de flujo en el tiempo es una tabla que consiste en fechas, tiempos, y valores de flujos o caudales (m^3/s). Cada fila representa un punto en el tiempo. Durante una simulación, los caudales son interpolados entre estos puntos en base a la opción de interpolación seleccionada en la función de flujo. Al menos dos filas deben ser ingresadas en la función de flujo en el tiempo para permitir una interpolación.

- Pantalla de intercambios (Exchanges screen):

La pantalla de intercambios  es usada para definir el transporte dispersivo, incluyendo movimiento de agua superficial y de poro.

La pantalla de intercambios es una pantalla compleja que consta de cuatro tablas (Figura 2.38). El cuadrante superior izquierdo es usado para seleccionar el tipo de intercambio, por ejemplo en el caso de esta memoria, “Surface Water” (Agua Superficial). El cuadrante superior derecho es usado para definir un set de funciones de intercambio, incluyendo funciones de dispersión lateral y longitudinal. Por cada función de intercambio, los dos cuadrantes de abajo son usados para definir el recorrido y la función de tiempo del intercambio.

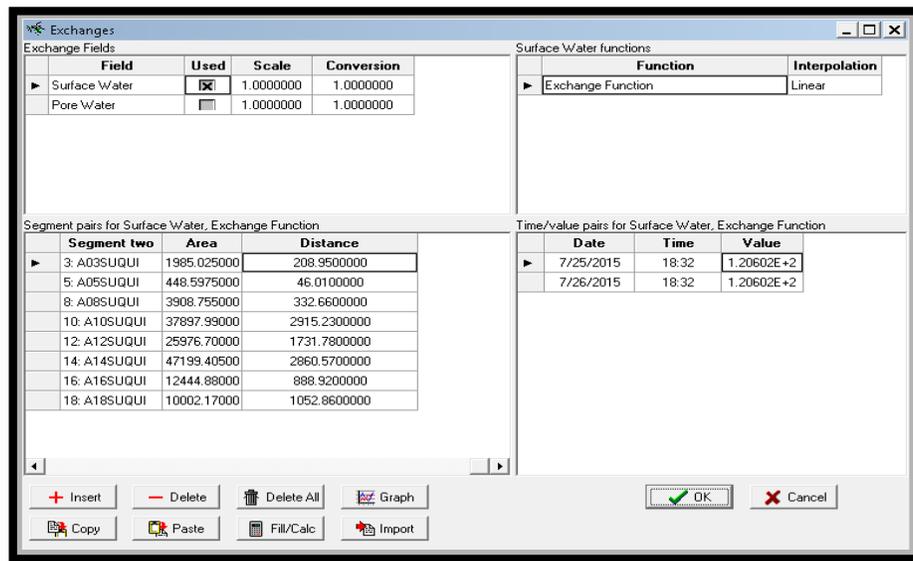


Figura 2. 38 Pantalla de intercambios.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

- Tipo de intercambio (Exchange field):

El tipo de intercambio debe ser seleccionado. Dos tipos de transporte están disponibles en WASP: “Surface water” (Agua superficial), “Pore water” (Agua de poro). En el presente trabajo se utilizó sólo la opción “Surface Water”, la cual es usada para describir la mezcla de agua superficial. La opción “Pore water”, que es usada para describir la mezcla en el agua de poro, no se utilizó, ya que el efecto de este tipo de mezcla es insignificante en ríos donde la advección domina el sistema.

- Factor de escala (Scale factor):

El factor de escala para un tipo de transporte multiplica todos los intercambios asociados por el valor ingresado. Es generalmente usado para escalar intercambios en test de sensibilidad. Su valor por defecto es 1.0.

- Factor de conversión

El factor de conversión para un tipo de transporte multiplica todos los flujos de intercambio (coeficiente de dispersión) por el valor ingresado (En este caso el manual de WASP se refiere

al coeficiente de dispersión con flujo de intercambio o intercambio). Es generalmente usado para ajustar los flujos (coeficientes de dispersión) ingresados a m^2/s . Por ejemplo los flujos están especificados en cm^2/s , el factor de conversión es 0.0001. Su valor por defecto es 1.0.

- Función de intercambio:

El usuario puede definir varias funciones de intercambio para el campo de transporte elegido. Cada función de flujo debe tener su propia función de recorrido (cuadrante inferior izquierdo) y una función de dispersión en el tiempo (cuadrante inferior derecho). Normalmente, una función de intercambio define un tipo de intercambio, como dispersión longitudinal o lateral.

Para ingresar una función de intercambio, primero se debe marcar el campo de transporte haciendo clic en él (marcando la casilla Used) en el cuadrante superior izquierdo, luego hacer clic en el cuadrante superior derecho y luego hacer clic en el botón “insert”. Para ingresar funciones de intercambio adicionales, se puede hacer clic de nuevo en “insert” o hacer clic en la última función de intercambio y presionar ↓ en el teclado. Para borrar una función de intercambio, se debe seleccionar la función haciendo clic en ella y luego hacer clic en el botón “delete”. Al borrar una función de intercambio se eliminarán las correspondientes funciones de recorrido de intercambio y de intercambio en el tiempo.

- Nombre de la función (Function name):

Cuando una función de intercambio es ingresada, viene con el nombre “Exchange Function” por defecto, pero este nombre puede ser editado por el usuario.

- Opción de interpolación (Interpolation option):

La opción de interpolación por defecto asociada a la función de intercambio es la opción “Linear”. Esta puede ser cambiada a la opción “Step”.

Una vez que la función de intercambio está seleccionada y nombrada, el usuario debe definir la función de recorrido del intercambio y la función de intercambio en el tiempo asociadas. Se debe estar seguro de que el tipo de intercambio y función de intercambio correctos están seleccionados antes de entrar a estas pantallas.

- Función de recorrido del intercambio (Exchange path function)

La función de recorrido del intercambio especifica un conjunto de flujos de intercambio dispersivo. Cada función consiste en un set de filas, que corresponden a las interfaces entre segmentos. Cada fila tendrá un conjunto de pares de segmentos, el área transversal de la interface y la longitud de mezcla.

- Pares de segmentos (Segment pairs):

El recorrido en el cual sucede el intercambio es definido por el conjunto de dos segmentos entre los cuales el intercambio ocurre. Cualquiera de estos dos segmentos puede ser definido como “borde” (boundary). Ni el preprocesador ni el modelo pueden asegurar que los segmentos están conectados apropiadamente. La conectividad es responsabilidad del usuario.

- Área transversal (Cross-sectional area), m^2 :

El área transversal (m^2) es especificada para cada coeficiente de dispersión, reflejando el área a través de la cual la mezcla ocurre. Estas no son modificadas durante la simulación para reflejar cambios de flujo.

- Longitud de mezcla (Mixing Length), m:

La longitud o distancia de mezcla es especificada para cada coeficiente de dispersión, reflejando la longitud característica sobre la cual la mezcla ocurre. Esta es típicamente la distancia entre los puntos centrales de segmentos adyacentes.

- Función de flujo en el tiempo (Flow time function):

La función de intercambio en el tiempo es una tabla que consiste en fechas, tiempos, y valores de coeficientes de dispersión (m^2/s). Cada fila representa un punto en el tiempo. Durante una simulación, los coeficientes de dispersión son interpolados entre estos puntos en base a la opción de interpolación seleccionada en la función de intercambio. Al menos dos filas deben ser ingresadas en la función de intercambio en el tiempo para permitir una interpolación.

- Recomendación para llenar la Pantalla de Intercambio:

Es recomendable obtener previamente los valores para longitud de mezcla, área transversal y coeficiente de dispersión. Para esta memoria el coeficiente de dispersión fue calculado anteriormente en Espinoza et al. (2012) y la longitud de mezcla es la distancia entre los puntos medios entre segmentos.

- Condiciones de borde (Boundaries):

En la pantalla de condiciones de borde  se presenta una lista de condiciones de borde para diversos parámetros (Figura 2. 39). En el caso de esta memoria el que nos interesa es “toxicant” (tóxico), éste nos lleva a otra lista en la cual están los segmentos a los cuales se les asignaron bordes en las pantallas de flujo y de intercambio. Al hacer click en cada uno de estos segmentos nos lleva a una tabla que consiste en fechas, tiempos, y valores de concentraciones (ug/L). Cada fila representa un instante en el tiempo. Durante una simulación, las concentraciones son interpoladas entre estos puntos en base a la opción de interpolación seleccionada en la pantalla de bordes. Al menos dos filas deben ser ingresadas en la pantalla de bordes para permitir una interpolación. Si se dejan sólo dos concentraciones iguales en el tiempo de partida y en el de término de la simulación, la concentración se mantendrá constante en el tiempo.

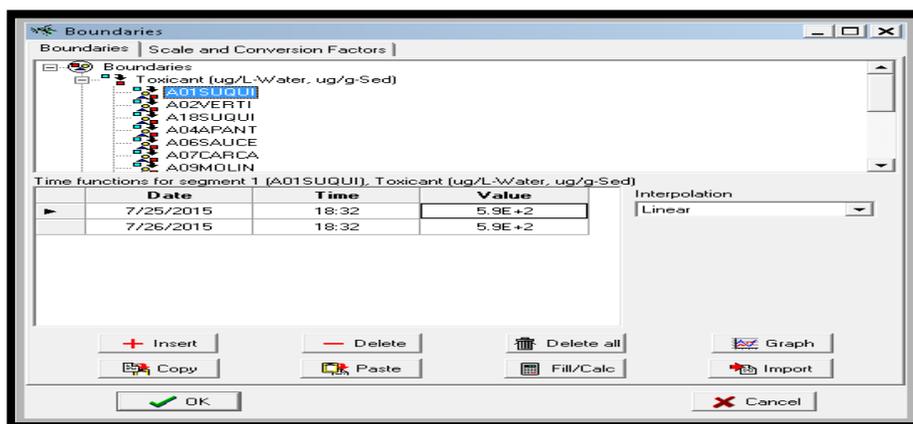


Figura 2. 39 Pantalla de condiciones de borde.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

➤ EJECUCIÓN DEL MODELO.

Para ejecutar el modelo, se debe presionar el icono . Una vez que el modelo se ejecuta, WASP proporciona al usuario información de vuelta del estado de la simulación. El primer conjunto de información es el estado de la recuperación de datos del preprocesador (Figura 2. 40). Una vez que los datos han sido recuperados comenzará la simulación.

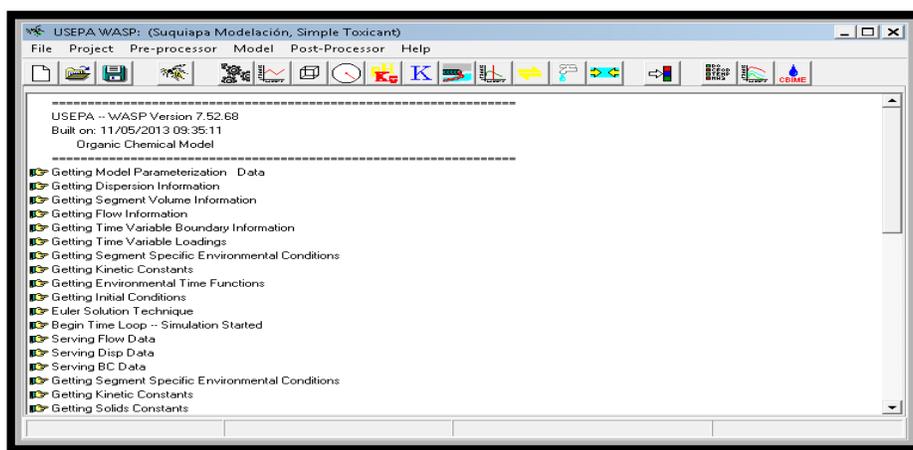


Figura 2. 40 Recuperación de datos al ejecutar el modelo WASP.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

➤ POST PROCESADOR (POST-PROCESSOR).

El post procesador fue desarrollado como un medio eficiente para procesar los datos producidos por la ejecución del modelo WASP. El post procesador lee los archivos de salida creados por el modelo y muestra los resultados generando gráficos de ejes x e y.

Este se ejecuta desde WASP, presionando el icono  o siguiendo la ruta Post-Processor/Execute.

Para abrir un archivo de resultado de modelo (*.BDM), que es el archivo de salida que entrega

WASP luego de la modelación, se debe presionar el icono  o seguir la ruta File/Open...

Al abrir y cargar el archivo se activara el icono , el cual permite crear gráficos de eje x e y.

➤ CREACIÓN DEL GRÁFICO.

Al presionar el icono, aparece el menú para configurar el gráfico (Figura 2. 41 A), en este se debe ir a la pestaña Domain donde se elegirá cual será la magnitud física del dominio del gráfico, tiempo o distancia (segmentos), o cual será la magnitud física del eje x. se elige la opción Time (Figura 2. 41 B) debido a que nos interesa graficar la concentración de cada segmento con respecto al tiempo y se presiona “OK” (Ríos, 2013).

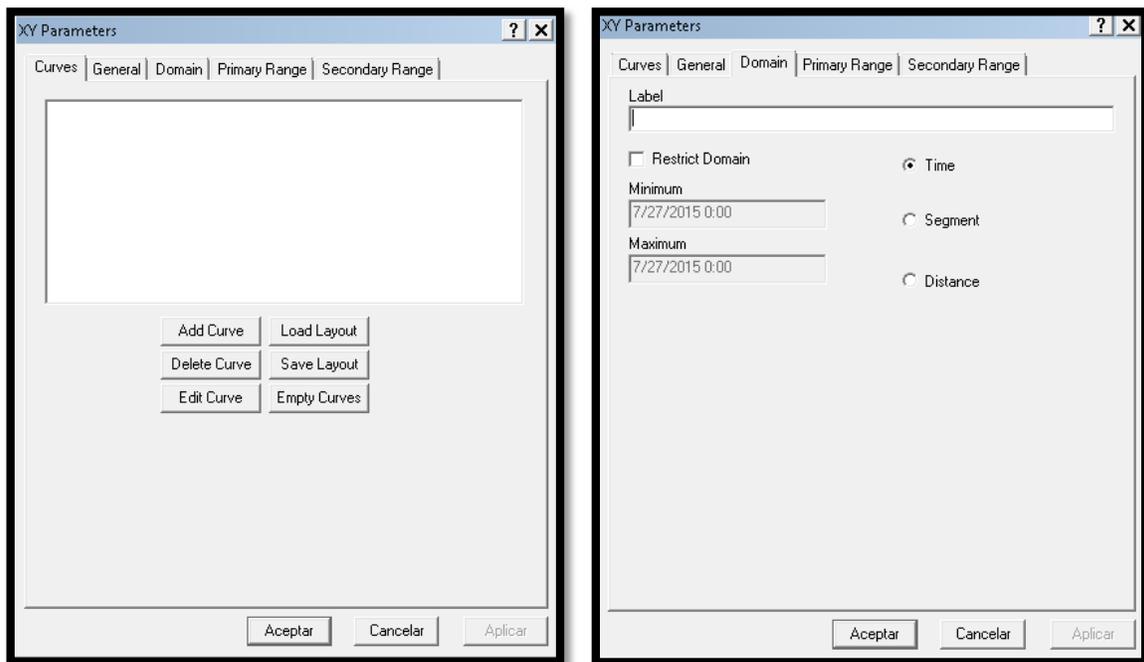


Figura 2. 41 A: Menú para configurar el gráfico, B: Elección del dominio del gráfico (time).

Fuente: Elaboración propia, WASP.

Ya en la pantalla del gráfico (Figura 2. 42) se presiona el icono  para volver a la configuración de gráfico (Figura 2. 41) donde se presiona Add curve para elegir el parámetro y el segmento en el que se quiere el gráfico (Figura 2. 43). Esto quiere decir si elijo como dominio el tiempo t, el grafico será del parámetro (concentración) de los segmentos en

3. RESULTADOS

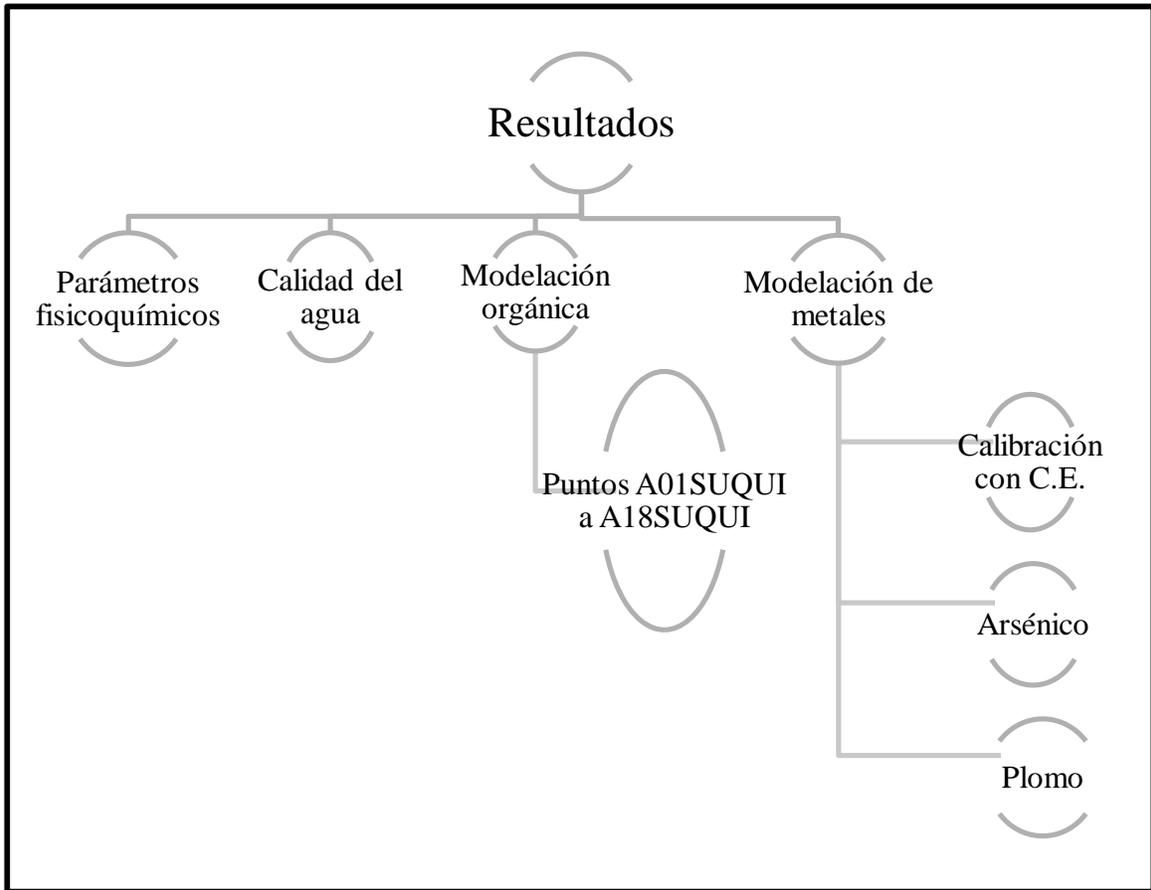


Figura 3. 1 Esquema del capítulo 3.

Fuente: Elaboración propia.

3.1. RESULTADOS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Los resultados fisicoquímicos son generados por medio de los procedimientos mostrados en el capítulo 2 del presente trabajo de graduación, los cuales se representan en las figuras cuyos límites están determinados por una línea roja.

3.1.1. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

En la Tabla 3. 1 se presenta un resumen de los valores obtenidos de conductividad los cuales fueron medidos en campo en cada uno de los sitios mencionados anteriormente.

Tabla 3. 1 Resultados de conductividad eléctrica.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA			
SITIO DE AFORO	($\mu\text{S/cm}$)	SITIO DE AFORO	($\mu\text{S/cm}$)
A01SUQUI	590	A10SUQUI	418
A02VERTI	340	A11ZARCO	348
A03SUQUI	368	A12SUQUI	420
A04APANT	382	A13VERTI	299
A05SUQUI	412	A14SUQUI	412
A06SAUCE	346	A15PUENTE	356
A07CARCA	383	A16SUQUI	393
A08SUQUI	426	A17GUILGU	275
A09MOLIN	376	A18SUQUI	391

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3. 2 se puede observar la gráfica de los valores obtenidos de conductividad eléctrica respecto a los sitios de medición junto con el límite máximo permitido para aguas superficiales.

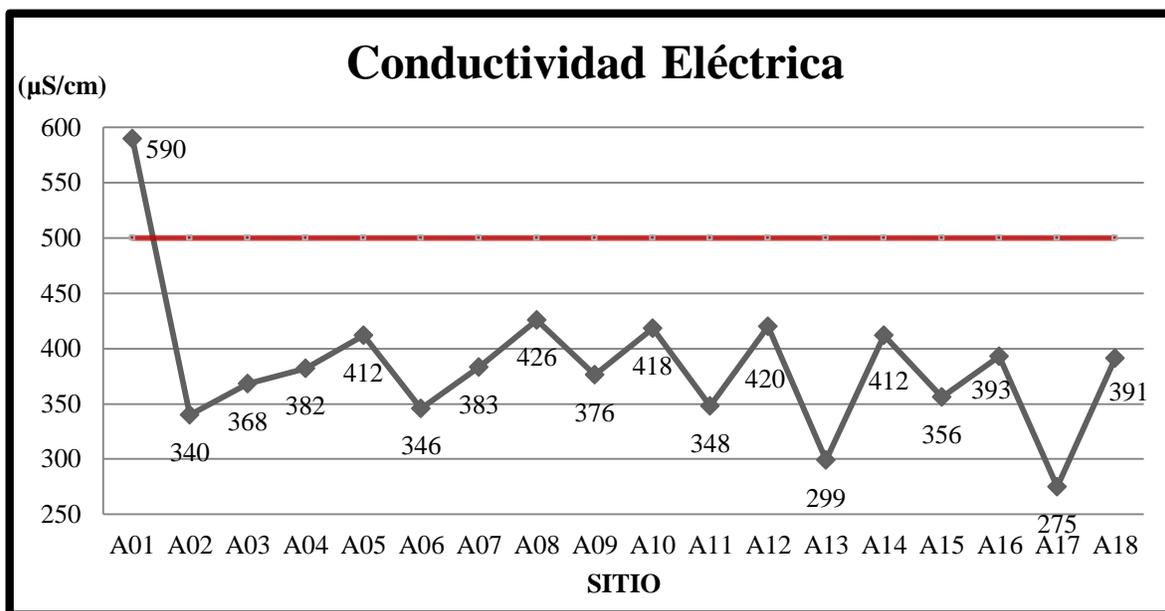


Figura 3. 2 Gráfico de resultados conductividad eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS

Los valores de sólidos totales disueltos obtenidos en campo en cada uno de los sitios de medición se presentan en la Tabla 3. 2.

Tabla 3. 2 Resultados de Total de Sólidos Disueltos.

TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS			
SITIO DE AFORO	(ppm)	SITIO DE AFORO	(ppm)
A01SUQUI	294	A10SUQUI	207
A02VERTI	171	A11ZARCO	174
A03SUQUI	185	A12SUQUI	209
A04APANT	189	A13VERTI	149
A05SUQUI	206	A14SUQUI	206

TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS			
SITIO DE AFORO	(ppm)	SITIO DE AFORO	(ppm)
A06SAUCE	173	A15PUENTE	178
A07CARCA	192	A16SUQUI	196
A08SUQUI	213	A17GUILGU	137
A09MOLIN	187	A18SUQUI	194

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3. 3 se puede observar la gráfica de los valores obtenidos de total de sólidos disueltos, respecto a los sitios de medición junto con el límite máximo permitido para aguas superficiales.

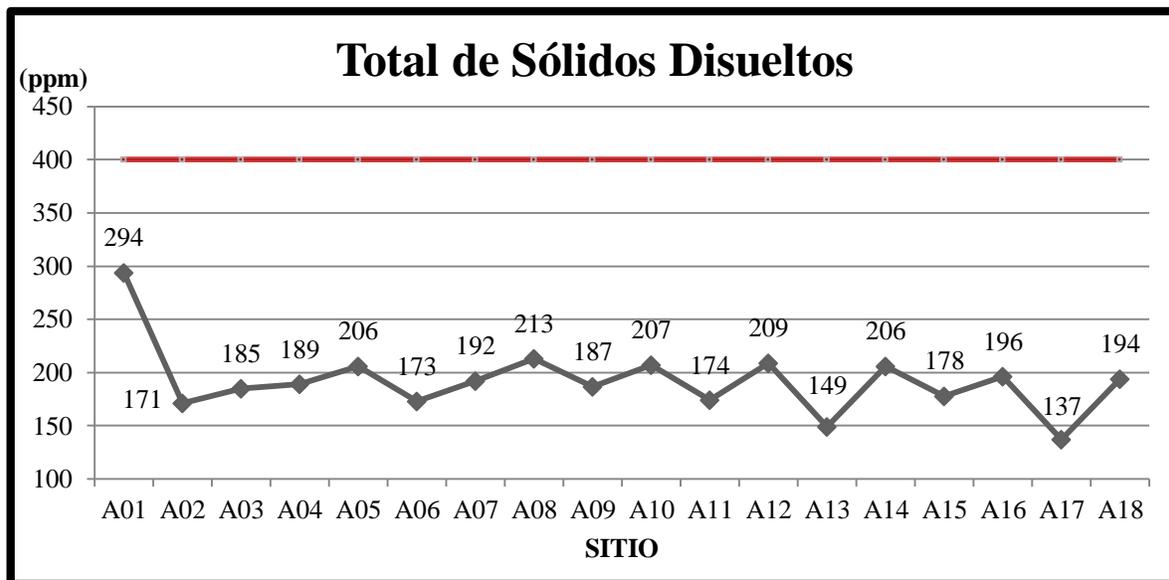


Figura 3. 3 Gráfico de resultados de Total de Sólidos Disueltos.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. TURBIDEZ

En la Tabla 3. 3 se presenta el resumen de los valores obtenidos de turbidez los cuales fueron medidos en campo en cada uno de los sitios mencionados anteriormente.

Tabla 3. 3 Resultados de turbidez.

TURBIDEZ			
SITIO DE AFORO	(NTU)	SITIO DE AFORO	(NTU)
A01SUQUI	42.20	A10SUQUI	1.80
A02VERTI	1.30	A11ZARCO	0.00
A03SUQUI	75.80	A12SUQUI	5.80
A04APANT	3.50	A13VERTI	40.70
A05SUQUI	6.50	A14SUQUI	0.50
A06SAUCE	0.00	A15PUENTE	6.80
A07CARCA	1.20	A16SUQUI	2.50
A08SUQUI	4.00	A17GUILGU	2.20
A09MOLIN	3.00	A18SUQUI	7.80

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3. 4 se puede observar la gráfica de los valores obtenidos de turbidez respecto a los sitios de medición, debido a que el límite máximo permisible en aguas superficiales es mucho mayor a los datos obtenidos (250 NTU), este no aparece en la gráfica de resultados.

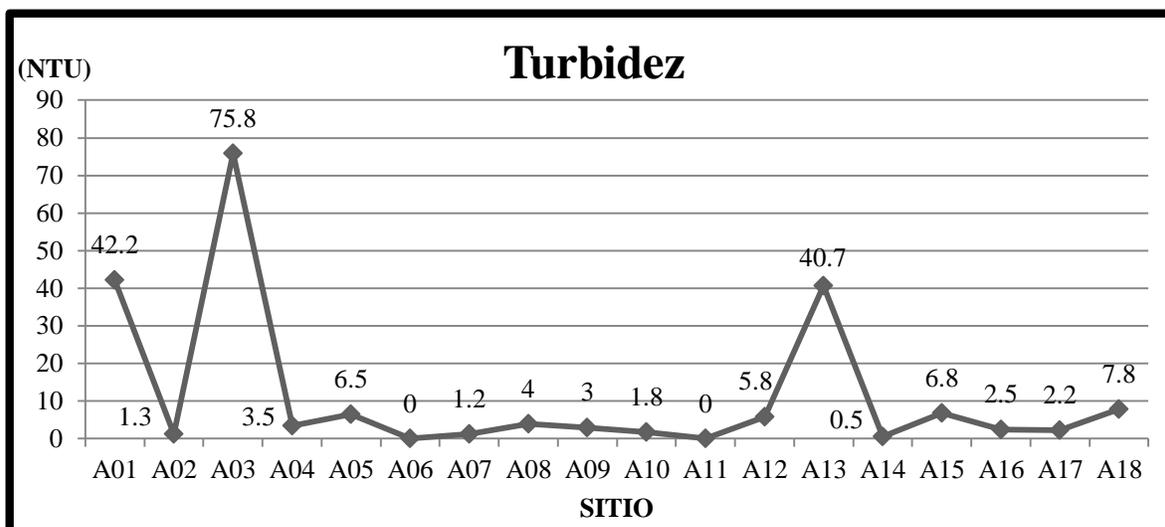


Figura 3. 4 Gráfico de resultados de turbidez.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4. POTENCIAL DE HIDRÓGENO.

Los valores de potencial de hidrógeno obtenidos en campo en cada uno de los sitios de medición se presentan en la Tabla 3. 4.

Tabla 3. 4 Resultados de pH.

POTENCIAL DE HIDROGENO			
SITIO DE AFORO	(pH)	SITIO DE AFORO	(pH)
A01SUQUI	7.63	A10SUQUI	7.82
A02VERTI	7.05	A11ZARCO	7.85
A03SUQUI	7.60	A12SUQUI	7.80
A04APANT	7.87	A13VERTI	6.76
A05SUQUI	7.62	A14SUQUI	7.75
A06SAUCE	7.25	A15PUENTE	7.60

POTENCIAL DE HIDROGENO			
SITIO DE AFORO	(pH)	SITIO DE AFORO	(pH)
A07CARCA	7.38	A16SUQUI	7.84
A08SUQUI	7.56	A17GUILGU	7.98
A09MOLIN	7.88	A18SUQUI	7.91

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3. 5 se puede observar la gráfica de los valores obtenidos de pH respecto a los sitios de medición junto con el límite máximo y mínimo permitido para aguas superficiales.

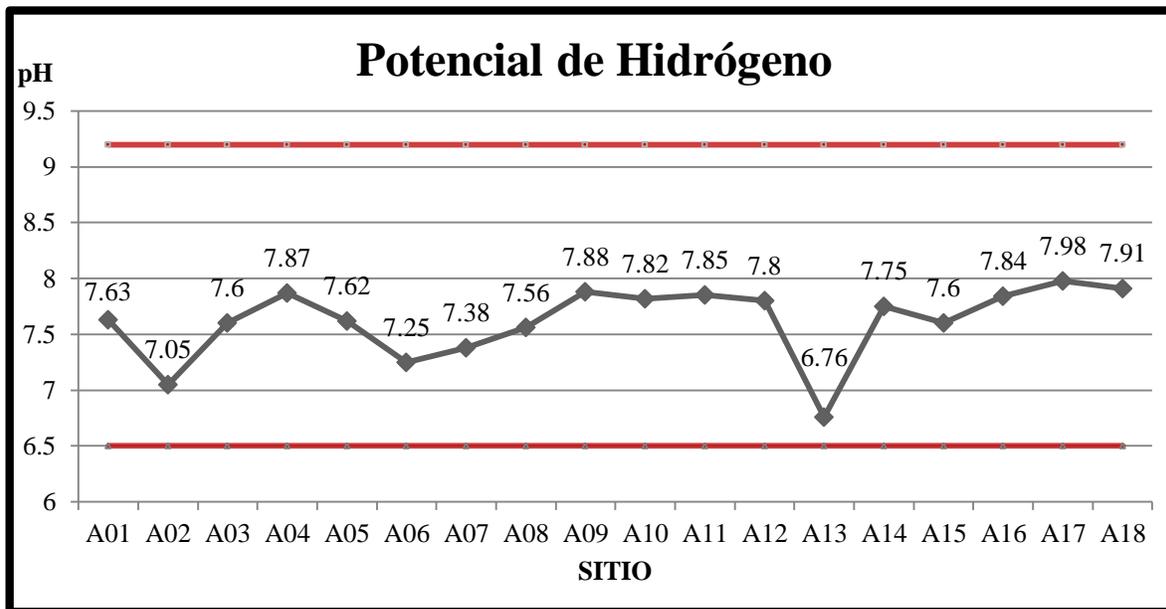


Figura 3. 5 Gráfico de resultados de pH.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.5. OXÍGENO DISUELTO.

En la Tabla 3. 5 se presenta el resumen de los valores obtenidos de oxígeno disuelto los cuales fueron medidos en campo en cada uno de los sitios mencionados anteriormente.

Tabla 3. 5 Resultados de OD.

OXIGENO DISUELTO			
SITIO DE AFORO	(ppm)	SITIO DE AFORO	(ppm)
A01SUQUI	3.50	A10SUQUI	3.40
A02VERTI	5.70	A11ZARCO	3.10
A03SUQUI	3.70	A12SUQUI	3.50
A04APANT	3.60	A13VERTI	2.60
A05SUQUI	3.20	A14SUQUI	3.40
A06SAUCE	5.90	A15PUENTE	3.80
A07CARCA	3.90	A16SUQUI	2.50
A08SUQUI	3.10	A17GUILGU	3.00
A09MOLIN	3.20	A18SUQUI	4.20

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3. 6 se puede observar la gráfica de los valores obtenidos de oxígeno disuelto, respecto a los sitios de medición junto con el límite mínimo permitido para aguas superficiales en el cual se observan los puntos que se encuentran fuera de norma para aguas superficiales los cuales se utilizan para el análisis de calidad de agua (ver Figura 3.6).

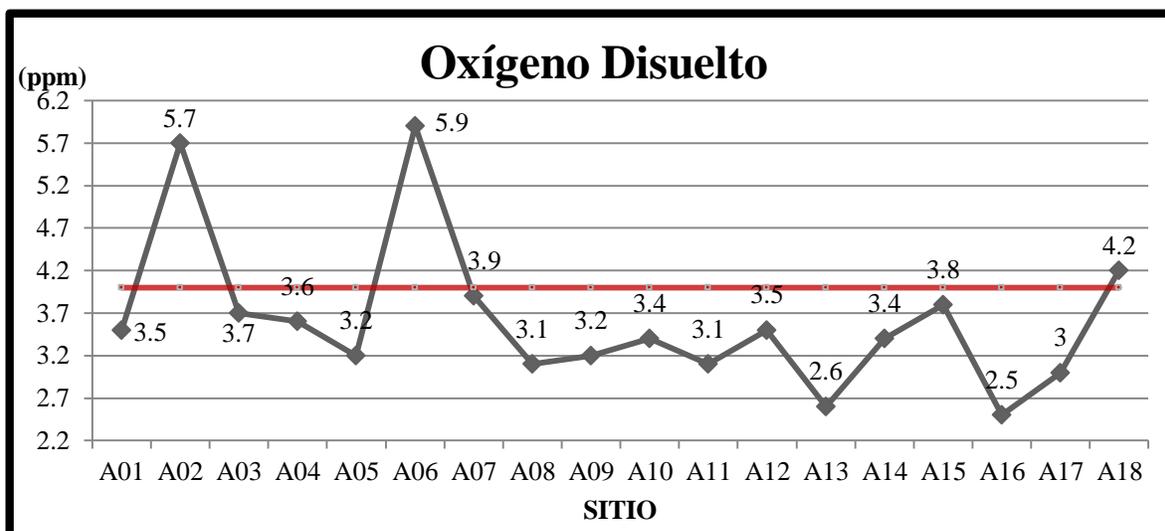


Figura 3. 6 Gráfico de resultados de OD.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.6. HIERRO

Los valores de hierro obtenidos en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos de cada uno de los sitios de medición se presentan en la Tabla 3. 6.

Tabla 3. 6 Resultados de Hierro.

HIERRO			
SITIO DE AFORO	(ppm)	SITIO DE AFORO	(ppm)
A01SUQUI	0.11	A10SUQUI	0.00
A02VERTI	0.00	A11ZARCO	0.00
A03SUQUI	0.30	A12SUQUI	0.00
A04APANT	0.00	A13VERTI	0.05
A05SUQUI	0.04	A14SUQUI	0.00
A06SAUCE	0.00	A15PUENTE	0.00

HIERRO			
SITIO DE AFORO	(ppm)	SITIO DE AFORO	(ppm)
A07CARCA	0.00	A16SUQUI	0.00
A08SUQUI	0.00	A17GUILGU	0.00
A09MOLIN	0.00	A18SUQUI	0.00

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3. 7 se puede observar la gráfica de los valores obtenidos de hierro respecto a los sitios de medición junto con el límite máximo permitido para aguas superficiales.

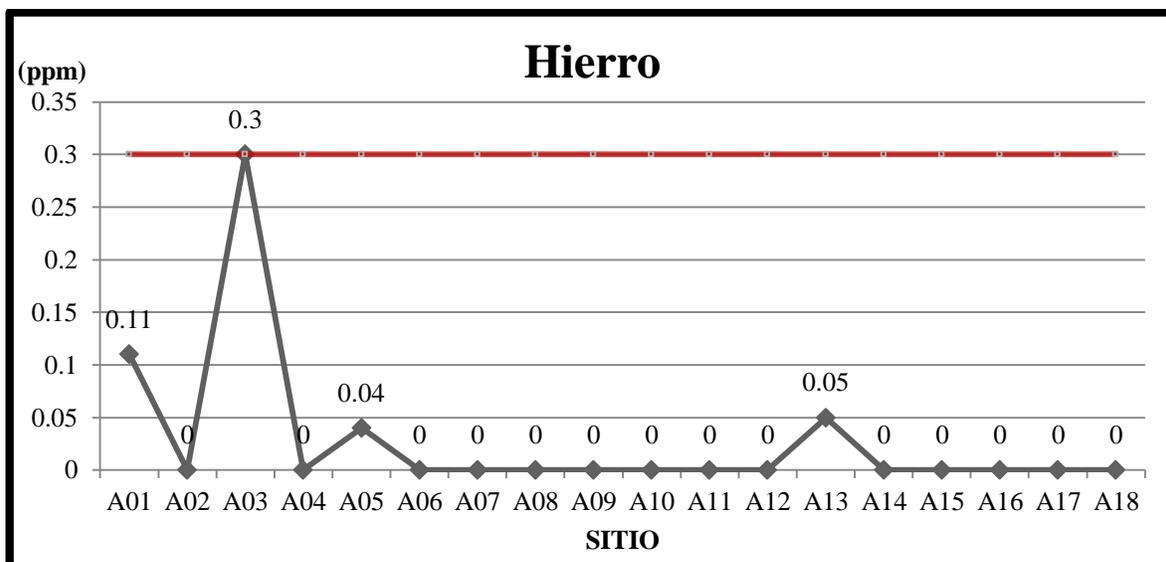


Figura 3. 7 Gráfico de resultados de Hierro.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.7. CLORO LIBRE

En la Tabla 3. 7 se presenta el resumen de los valores obtenidos de cloro libre los cuales fueron medidos en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos.

Tabla 3. 7 Resultados de Cloro libre.

COLORO LIBRE			
SITIO DE AFORO	(ppm)	SITIO DE AFORO	(ppm)
A01SUQUI	0.00	A10SUQUI	0.01
A02VERTI	0.00	A11ZARCO	0.00
A03SUQUI	0.35	A12SUQUI	0.09
A04APANT	0.05	A13VERTI	0.15
A05SUQUI	0.03	A14SUQUI	0.01
A06SAUCE	0.04	A15PUENTE	0.10
A07CARCA	0.04	A16SUQUI	0.14
A08SUQUI	0.00	A17GUILGU	0.05
A09MOLIN	0.00	A18SUQUI	0.05

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3. 8 se puede observar la gráfica de los valores obtenidos de cloro libre respecto a los sitios de medición en el cual no presenta límite máximo por ser este mucho mayor a los datos obtenidos.

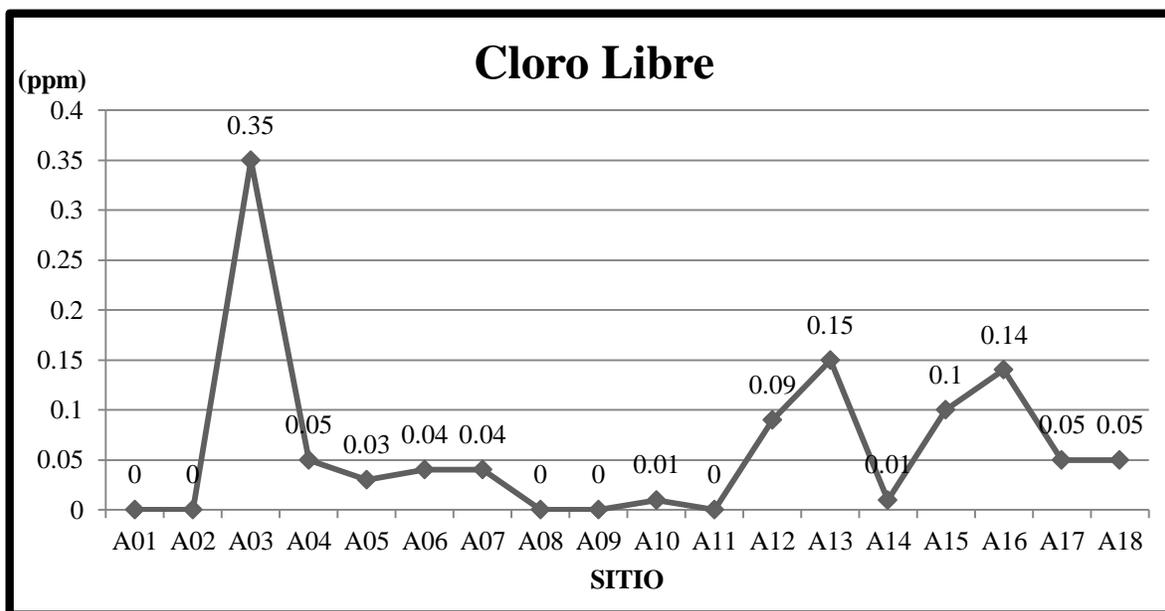


Figura 3. 8 Gráfico de resultado de Cloro libre.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.8. YODO

Los valores de yodo obtenidos en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos de cada uno de los sitios de medición se presentan en la Tabla 3. 8.

Tabla 3. 8 Resultados de Yodo.

YODO			
SITIO DE AFORO	(ppm)	SITIO DE AFORO	(ppm)
A01SUQUI	0.97	A10SUQUI	0.82
A02VERTI	0.00	A11ZARCO	0.01
A03SUQUI	1.33	A12SUQUI	0.34
A04APANT	0.34	A13VERTI	0.30
A05SUQUI	1.54	A14SUQUI	0.86

YODO			
SITIO DE AFORO	(ppm)	SITIO DE AFORO	(ppm)
A06SAUCE	2.15	A15PUENTE	0.01
A07CARCA	0.57	A16SUQUI	0.01
A08SUQUI	0.01	A17GUILGU	0.01
A09MOLIN	1.92	A18SUQUI	0.73

Fuete: Elaboración propia.

En la Figura 3. 9 se puede observar la gráfica de los valores obtenidos de yodo respecto a los sitios de medición, en este caso no se posee límite máximo permisible debido a que no se toma en cuenta en las diferentes normativas para agua superficial y aguas potables.

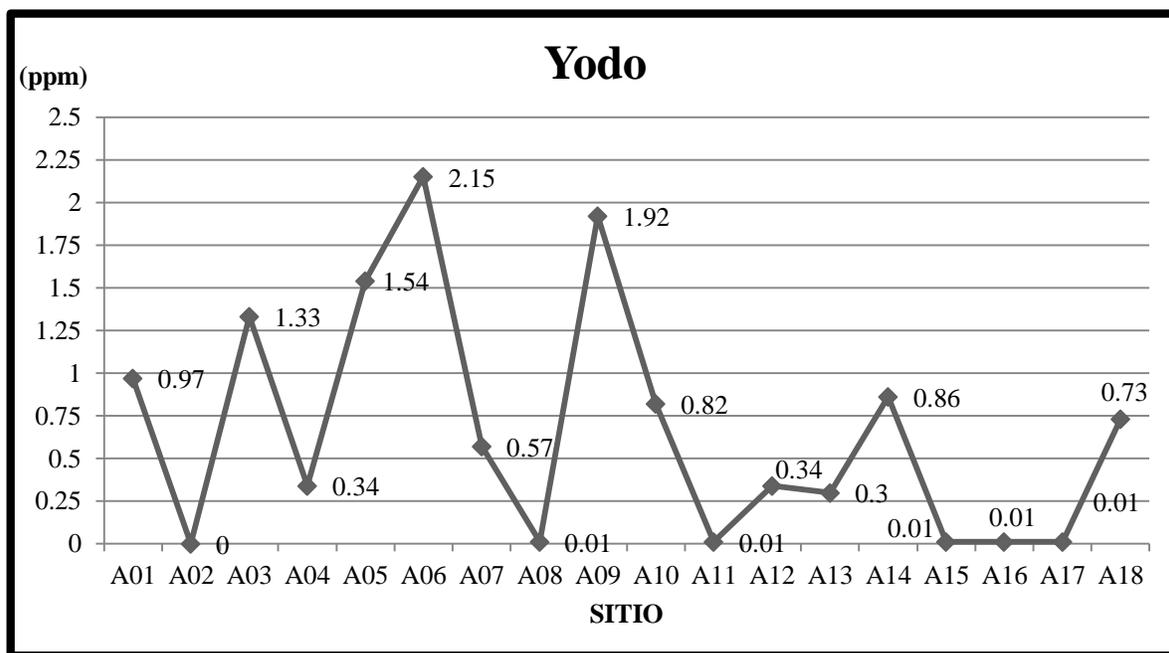


Figura 3. 9 Gráfico de resultados de Yodo.

Fuete: Elaboración propia.

3.1.9. BROMO

En la Tabla 3. 9 se presenta el resumen de los valores obtenidos de bromo los cuales fueron medidos en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos.

Tabla 3. 9 Resultados de Bromo.

BROMO			
SITIO DE AFORO	(ppm)	SITIO DE AFORO	(ppm)
A01SUQUI	0.40	A10SUQUI	0.11
A02VERTI	0.01	A11ZARCO	0.03
A03SUQUI	0.64	A12SUQUI	0.14
A04APANT	0.16	A13VERTI	0.31
A05SUQUI	0.02	A14SUQUI	0.07
A06SAUCE	0.01	A15PUENTE	0.02
A07CARCA	0.01	A16SUQUI	0.03
A08SUQUI	0.03	A17GUILGU	0.05
A09MOLIN	0.11	A18SUQUI	0.17

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3. 10 se puede observar la gráfica de los valores obtenidos de bromo respecto a los sitios de medición junto con el límite máximo permitido para aguas superficiales.

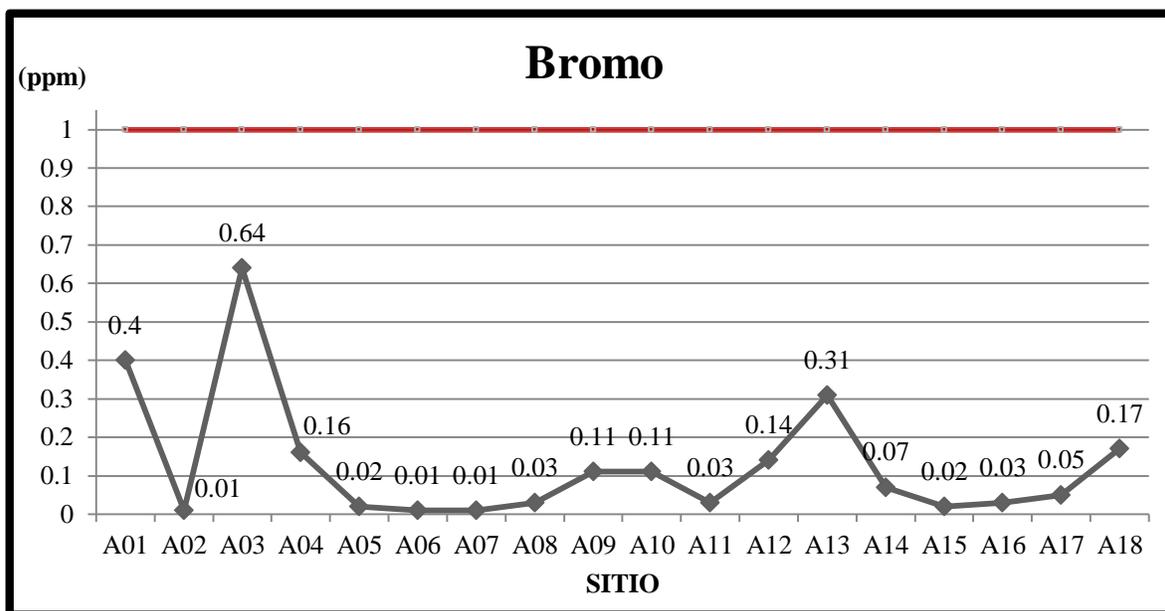


Figura 3. 10 Gráfico de resultados de Bromo.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.10. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Los valores de la demanda bioquímica de oxígeno obtenidos en el laboratorio de Calidad de Agua de la Administración de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), muestreados de cada uno de los sitios de medición se presentan en la Tabla 3. 10

Tabla 3. 10 Resultados de DBO₅

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO			
SITIO DE AFORO	(ppm O ₂)	SITIO DE AFORO	(ppm O ₂)
A01SUQUI	126.25	A10SUQUI	8.35
A02VERTI	5.25	A11ZARCO	2.15
A03SUQUI	26.20	A12SUQUI	10.00
A04APANT	5.20	A13VERTI	6.00

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO			
SITIO DE AFORO	(ppm O ₂)	SITIO DE AFORO	(ppm O ₂)
A05SUQUI	15.60	A14SUQUI	8.00
A06SAUCE	2.17	A15PUENTE	1.67
A07CARCA	1.41	A16SUQUI	7.73
A08SUQUI	8.90	A17GUILGU	6.67
A09MOLIN	7.60	A18SUQUI	5.50

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3. 11 se puede observar la gráfica de los valores obtenidos de DBO₅ respecto a los sitios de medición junto con el límite máximo permitido para aguas superficiales

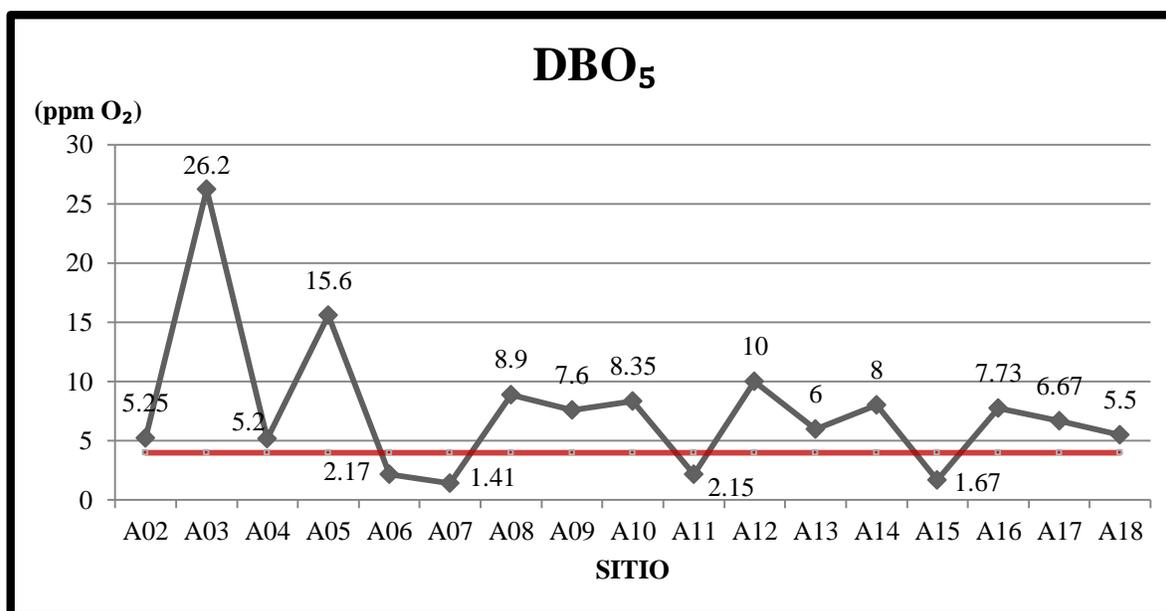


Figura 3. 11 Gráfico de resultados de DBO₅

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Para una mejor apreciación del gráfico en la Figura 3. 11 el valor del punto A01SUQUI (126.25 ppm O₂) no aparece debido a que este es extremadamente alto con respecto al límite máximo permisible y los demás valores obtenidos

3.1.11. ARSÉNICO

En la Tabla 3. 11 se presenta el resumen de los valores obtenidos de arsénico los cuales fueron medidos en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Agronomía de la Universidad de El Salvador.

Tabla 3. 11 Resultados de Arsénico.

ARSENICO			
SITIO DE AFORO	(ppm)	SITIO DE AFORO	(ppm)
A01SUQUI	0.003	A10SUQUI	0.003
A02VERTI	0.004	A11ZARCO	0.003
A03SUQUI	0.003	A12SUQUI	0.003
A04APANT	0.003	A13VERTI	0.001
A05SUQUI	0.003	A14SUQUI	0.003
A06SAUCE	0.004	A15PUENTE	0.005
A07CARCA	0.004	A16SUQUI	0.004
A08SUQUI	0.003	A17GUILGU	0.004
A09MOLIN	0.003	A18SUQUI	0.004

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3. 12 se puede observar la gráfica de los valores obtenidos de arsénico respecto a los sitios de medición junto con el límite máximo permitido para aguas superficiales

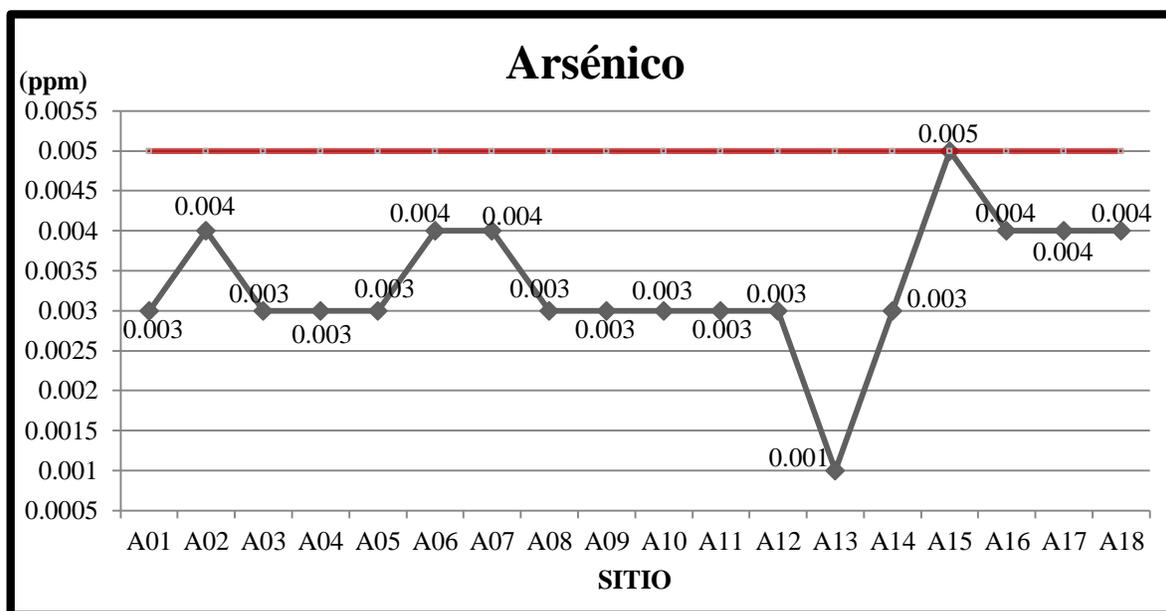


Figura 3. 12 Gráfico de resultados de Arsénico.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.12. PLOMO

Los valores de plomo obtenidos en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Agronomía de la Universidad de El Salvador, muestreados de cada uno de los sitios de medición se presentan en la Tabla 3. 12

Tabla 3. 12 Resultados de Plomo.

PLOMO			
SITIO DE AFORO	(ppm)	SITIO DE AFORO	(ppm)
A01SUQUI	0.000	A10SUQUI	0.157
A02VERTI	0.001	A11ZARCO	0.007

PLOMO			
SITIO DE AFORO	(ppm)	SITIO DE AFORO	(ppm)
A03SUQUI	0.002	A12SUQUI	0.011
A04APANT	0.000	A13VERTI	0.010
A05SUQUI	0.003	A14SUQUI	0.002
A06SAUCE	0.000	A15PUENTE	0.005
A07CARCA	0.000	A16SUQUI	0.018
A08SUQUI	0.000	A17GUILGU	0.006
A09MOLIN	0.000	A18SUQUI	0.004

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3. 13 se puede observar la gráfica de los valores obtenidos de plomo respecto a los sitios de medición junto con el límite máximo permitido para aguas superficiales.

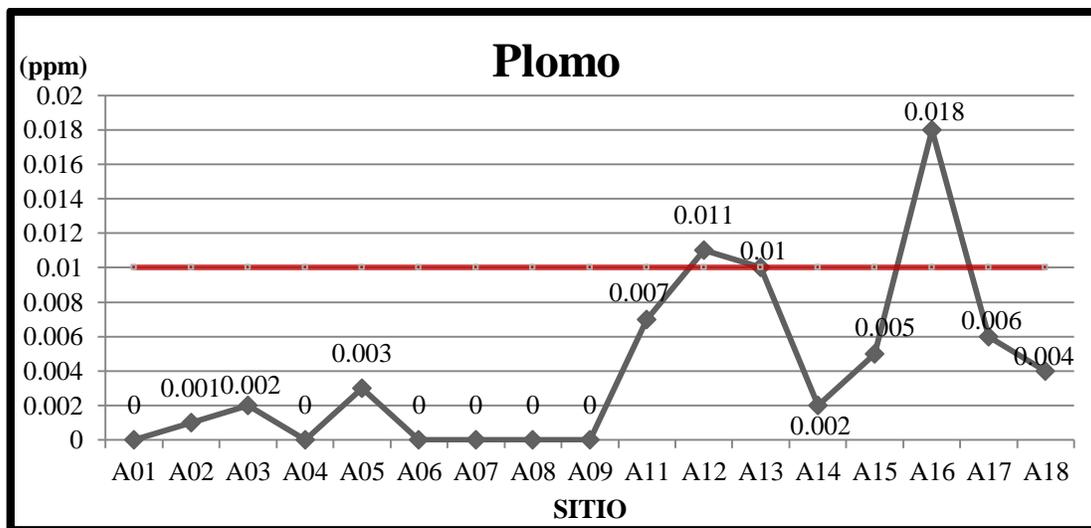


Figura 3. 13 Gráfico de resultados de Plomo.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Para una mejor apreciación del grafico en la Figura 3. 13, el valor del punto A10SUQUI (0.157 ppm) no aparece debido a que este es muy alto con respecto al límite máximo permisible y los demás valores obtenidos.

3.2. RESULTADOS DE CALIDAD DE AGUA

Los datos obtenidos de calidad de agua generados por la hoja de cálculo presentada por el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (por sus siglas en ingles CCME) en los cuales se obtiene los valores de alcance, frecuencia y amplitud y a partir de ellos se obtiene el valor total del Índice de Calidad de Agua Canadiense (por sus siglas en ingles CWQI) y la categorización de la calidad de agua de cada uno de los sitios analizados correspondientes al área de estudio (ver Tabla 3. 13).

Tabla 3. 13 Resultados del Índice de Calidad de Agua Canadiense.

SITIO DE AFORO	ALCANCE F1	FRECUENCIA F2	AMPLITUD F3	CWQI	CATEGORIZACION
A01SUQUI	27	27	74	52	Marginal
A02VERTI	9	9	3	92	Muy Buena
A03SUQUI	18	18	34	75	Regular
A04APANT	18	18	4	85	Buena
A05SUQUI	18	18	22	80	Buena
A06SAUCE	0	0	0	100	Excelente
A07CARCA	9	9	0	93	Muy Buena
A08SUQUI	18	18	12	84	Buena
A09MOLIN	18	18	9	84	Buena
A10SUQUI	27	27	59	59	Marginal

SITIO DE AFORO	ALCANCE F1	FRECUENCIA F2	AMPLITUD F3	CWQI	CATEGORIZACION
A11ZARCO	9	9	3	92	Muy Buena
A12SUQUI	27	27	14	76	Regular
A13VERTI	18	18	9	84	Buena
A14SUQUI	18	18	10	84	Buena
A15PUENT	9	9	0	93	Muy Buena
A16SUQUI	27	27	17	76	Regular
A17GUILG	18	18	8	84	Buena
A18SUQUI	9	9	3	92	Muy Buena

Fuente: Elaboración propia.

La calidad de agua se muestra en la Figura 3. 14 graficada con respecto a los sitios de análisis del río principal y en la Figura 3. 15 se presenta la gráfica de la calidad de agua para los sitios de análisis de los ríos tributarios.

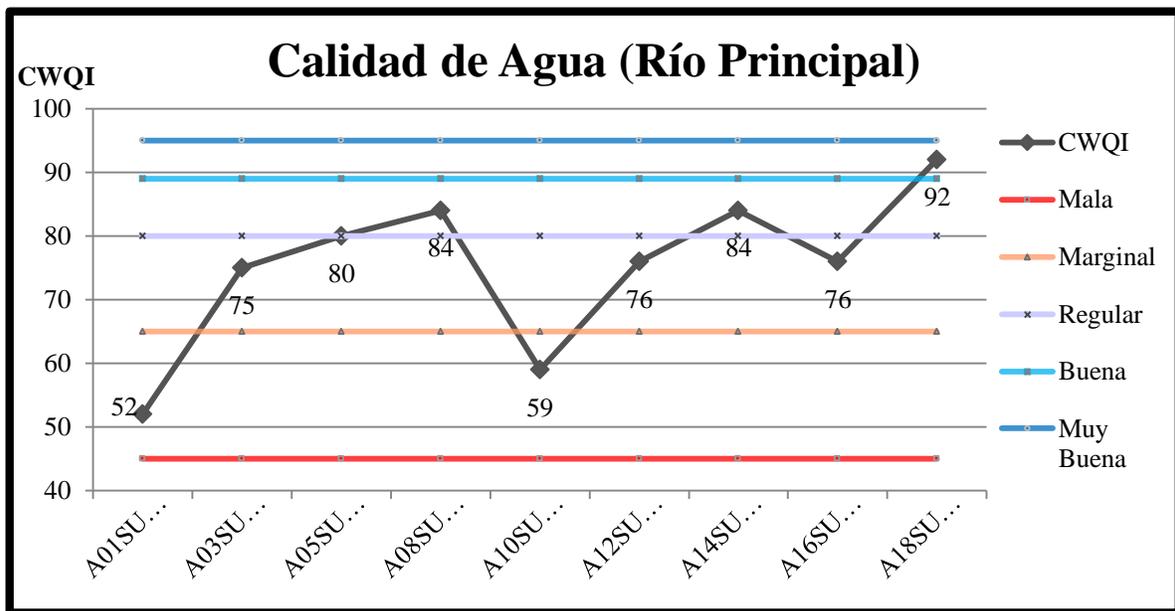


Figura 3. 14 Gráfico de resultados del Índice de Calidad de Agua Canadiense, río principal.

Fuente: Elaboración propia.

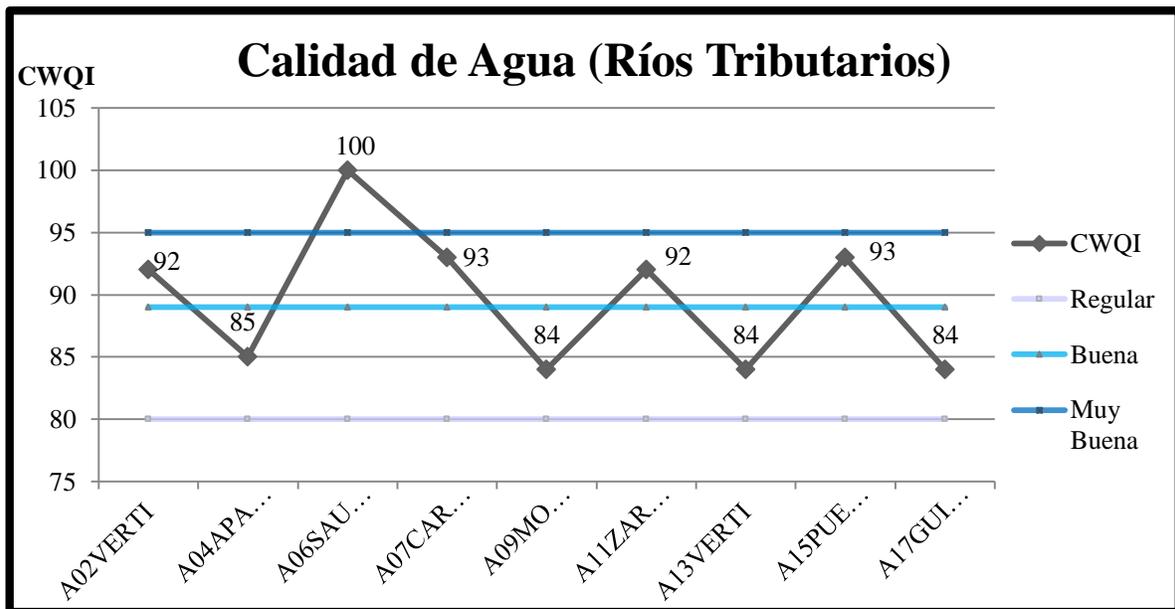


Figura 3. 15 Gráfico de resultados del Índice de Calidad de Agua Canadiense, ríos tributarios.

Fuente: Elaboración propia.

Obteniendo el Índice de Calidad de Agua Canadiense para toda la parte alta de la Subcuenca del río Suquiapa haciendo uso de los datos resultado para todos los puntos de análisis el cual se generó en la hoja de cálculo de igual manera que para cada punto (ver Tabla 3. 14).

Tabla 3. 14 Resultado del Índice de Calidad de Agua Canadiense para la parte alta de la subcuenca del río Suquiapa.

SITIO DE AFORO	ALCANCE F1	FRECUENCIA F2	AMPLITUD F3	CWQI	CATEGORIZACIÓN
Parte alta de la subcuenca del río Suquiapa	36	17	25	73	Regular

Fuente Elaboración propia.

3.3. RESULTADO DE LA MODELACIÓN ORGÁNICA UTILIZANDO EL SOFTWARE WQMCAL.

El software WQMCAL tiene la opción “BOD-DO river models”, que permite modelar la concentración de oxígeno de un río. Como ha sido mencionado anteriormente, un parámetro para el cálculo de la descomposición de la materia orgánica es la “Demanda Bioquímica de Oxígeno” (DBO₅), definido como la cantidad de oxígeno consumido desde una unidad de volumen de agua por microorganismos, mientras que descomponen la materia orgánica, durante un período de tiempo especificado, en este caso, es la demanda bioquímica de oxígeno de cinco días.

Para ello, utilizamos datos de caudal, profundidad y velocidad obtenidos a partir de (Espinoza Rivas, Vinicio Merino, & Zavaleta Lemus, 2013), además de las mediciones de DBO₅, OD y temperatura representados en la Tabla 3. 15.

Tabla 3. 15 Parámetros a utilizar en el software WQMCAL.

SITIO DE AFORO	CAUDAL (m³/s)	PROFUNDIDAD (m)	VELOCIDAD (m/s)	DBO₅ (mg O₂/l H₂O)	OD (ppm)	TEMP. (°C)
A01SUQUI	0.609	0.249	0.248	126.25	3.50	27.50
A02VERTI	0.061	0.182	0.214	5.25	5.70	26.10
A03SUQUI	0.677	0.325	0.213	26.20	3.70	27.00
A04APAN	0.346	0.238	0.298	5.20	3.60	27.20
A05SUQUI	1.091	0.347	0.264	15.60	3.20	25.30
A06SAUC	0.16	0.588	0.249	2.17	5.90	25.30
A07CARC	0.095	0.231	0.228	1.41	3.90	25.00
A08SUQUI	1.203	0.345	0.232	8.90	3.10	26.10
A09MOLI	0.151	0.22	0.241	7.60	3.20	26.40
A10SUQUI	1.812	0.351	0.354	8.35	3.40	28.80
A11ZARC	0.422	0.333	0.18	2.15	3.10	28.50
A12SUQUI	2.299	0.571	0.298	10.00	3.50	27.20
A13VERTI	0.053	0.335	0.069	6.00	2.60	29.50
A14SUQUI	2.66	0.658	0.233	8.00	3.40	25.90
A15PUEN	0.719	0.251	0.416	1.67	3.80	26.30
A16SUQUI	2.9	0.365	0.576	7.73	2.50	26.40
A17GUILG	0.127	0.193	0.22	6.67	3.00	27.40
A18SUQUI	3.027	0.284	0.893	5.50	4.20	26.50

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1. RESULTADO PARA LOS PUNTOS A01SUQUI Y A02VERTI.

Consideraciones previas:

-Al comparar los puntos A01SUQUI y A02VERTI se observó que A01SUQUI tiene mayor degradación de materia orgánica ($DBO_5=126\text{mg O}_2/\text{l H}_2\text{O}$), por lo tanto al ocurrir la mezcla de los cauces se considerará como la fuente contaminante, a la que corresponde el subíndice “s”, A02VERTI quedará identificada con el subíndice “b”.

-Los valores de profundidad y velocidad son los valores que pertenecen al cauce principal A01SUQUI y serán utilizados para que el programa realice el cálculo del coeficiente de reaireación, K_2 .

-La temperatura que se tomará en consideración para el cálculo del déficit de oxígeno disuelto (D) será el del cauce principal, ya que contiene mayor caudal y las variaciones de temperatura son mínimas.

3.3.1.1.1. PROCEDIMIENTO.

- Ecuación de Dilución:

La ecuación de dilución para DBO_5 calcula la dilución de la concentración inicial de DBO_5 en el río aguas abajo de la descarga de aguas residuales de fuentes puntuales, con la asunción de mezcla instantánea.

$$L_0 = \frac{L_s q_s + L_b Q_b}{q_s + Q_b}$$

Ecuación 23

Donde:

L_0 DBO_5 inicial en el río, en el punto de descarga del efluente. ($\text{mg O}_2/\text{l H}_2\text{O}$).

L_b DBO_5 en el fondo del río. ($\text{mg O}_2/\text{l H}_2\text{O}$).

L_s DBO_5 en las aguas residuales. ($\text{mg O}_2/\text{l H}_2\text{O}$).

Q_b Caudal (velocidad de flujo) del río aguas arriba de la desembocadura del efluente ($m^3 s^{-1}$).

q_s La descarga del efluente, ($m^3 s^{-1}$).

La ecuación de dilución de oxígeno disuelto (OD) calcula la dilución de la concentración inicial de oxígeno disuelto en el río aguas abajo de una descarga de aguas residuales de una fuente puntual, con asunción de mezcla instantánea.

$$OD_0 = \frac{OD_s q_s + OD_b Q_b}{Q_b + q_s}$$

Ecuación 24

Donde:

OD_0 Oxígeno disuelto inicial en el río, en el punto de descarga del efluente (mg/l).

OD_b Oxígeno disuelto en el fondo del río, (mg/l).

OD_s Oxígeno disuelto en las aguas residuales, (mg/l).

Q_b Caudal (velocidad de flujo) del río aguas arriba de la desembocadura del efluente ($m^3 s^{-1}$).

q_s La descarga del efluente, ($m^3 s^{-1}$).

Para un modelo tradicional de DBO-OD, al calcular las ecuaciones de dilución y utilizando los datos de la Tabla 3. 15 obtenemos los datos iniciales de $L_0=108.96$ y $OD_0=3.81$, como se observa en la Figura 3. 16.

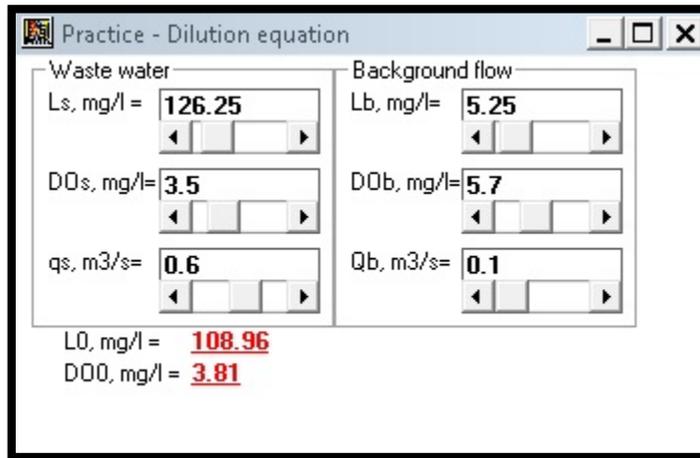


Figura 3. 16 Resultado de las ecuaciones de dilución.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

- Déficit de oxígeno:

El déficit de oxígeno (D) se calcula a partir de la temperatura del río, para calcularlo se resta el valor del oxígeno disuelto en el río al valor de saturación de oxígeno disuelto.

Para encontrar OD_{sat} (oxígeno disuelto saturado), el programa utiliza la Ecuación 25, donde T es la temperatura del agua en °C, además se proporciona un gráfico en donde se muestra la interpolación realizada por el programa (ver Figura 3. 17).

El déficit inicial de oxígeno es 4.2 mg/l.

$$OD_{sat} = 14.61996 - 0.4042 T + 0.00842 T^2 - 0.00009 T^3$$

Ecuación 25

$$D_0 = OD_{sat} - OD_0$$

Ecuación 26

Donde:

D_0 Déficit inicial de oxígeno en el río, en el punto de descarga del efluente (mg/l).

OD_0 Oxígeno disuelto inicial en el río, en el punto de descarga del efluente (mg/l).

OD_{sat} Concentración saturada de oxígeno en el río (mg/l).

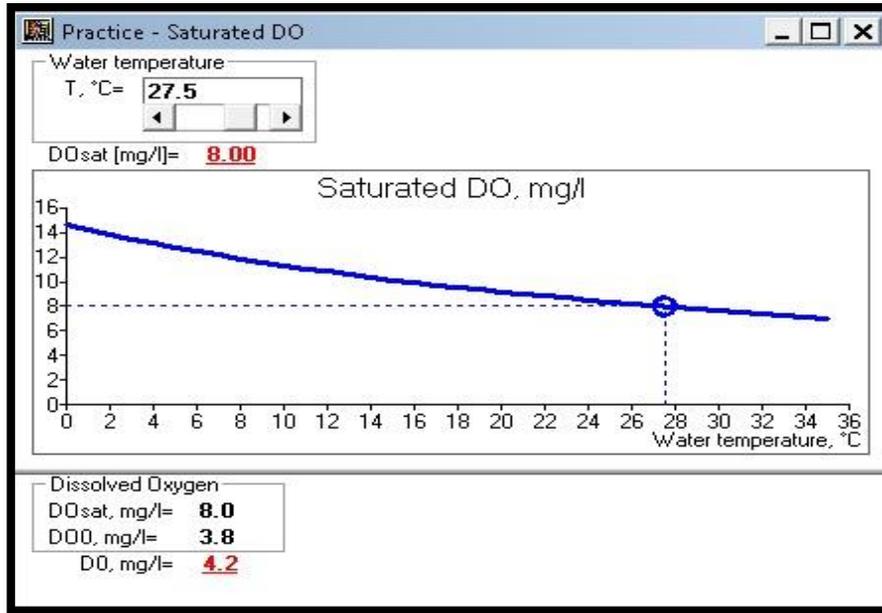


Figura 3. 17 Curva de oxígeno disuelto saturado.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

- Estimación del coeficiente de reaireación (K_2):

La Ecuación 27 se utiliza para la estimación del coeficiente de reaireación K_2 , que es función de la velocidad de flujo (v) y la profundidad del río (H). Se debe tomar en cuenta que esta ecuación es la utilizada por el programa WQMCAL y en consecuencia, difiere de muchas otras fórmulas que ofrece la literatura relacionada.

El valor de K_2 es 3.78/día (Alto), como se observa en la Figura 3. 18.

$$K_2 = 2.148v^{0.878}H^{-1.48}$$

Ecuación 27

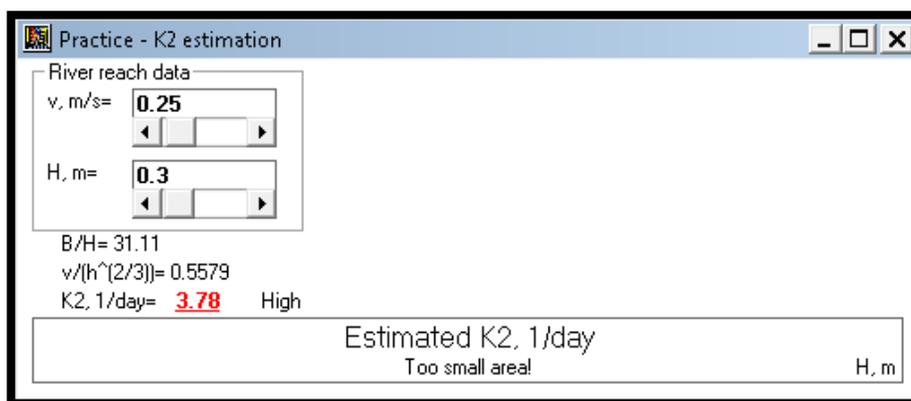


Figura 3. 18 Estimación del coeficiente de reaeración.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

- Estimación del coeficiente de descomposición bioquímica de la materia orgánica (K1):
Para el cálculo del coeficiente de descomposición bioquímica de la materia orgánica, K1, es necesario calcular el coeficiente de autodepuración f, que es la relación de k_2/k_1 , el cual viene dado a partir de la tabla obtenida en Saravia (2010) que se presenta a continuación (Tabla 3. 16), la velocidad del río es de 0.25 m/s (25 cm/s), describiéndolo en el límite entre flujo de velocidad media y corrientes con velocidad alta.

Tabla 3. 16 Cálculo de f a partir de la descripción del cuerpo de agua.

DESCRIPCIÓN DEL CUERPO DE AGUA.	RANGO DE $f=K_2/K_1$
Lagos pequeños y estanques.	0.5 - 1.0
Lagos grandes y corrientes muy lentas.	1.0 - 2.0
Grandes ríos lentos, menos de 20 cm/s.	1.5 - 2.0
Grandes ríos y velocidad media de la corriente, menos de 25 cm/s.	2.0 - 3.0
Corrientes con velocidad alta 25 a 45 cm/s.	3.0 - 5.0
Rápidos y con múltiples caídas.	5.0 – o más.

Fuente: (Saravia, 2010).

El valor de K1 es 1.26/día, como se muestra en la Figura 3. 19.

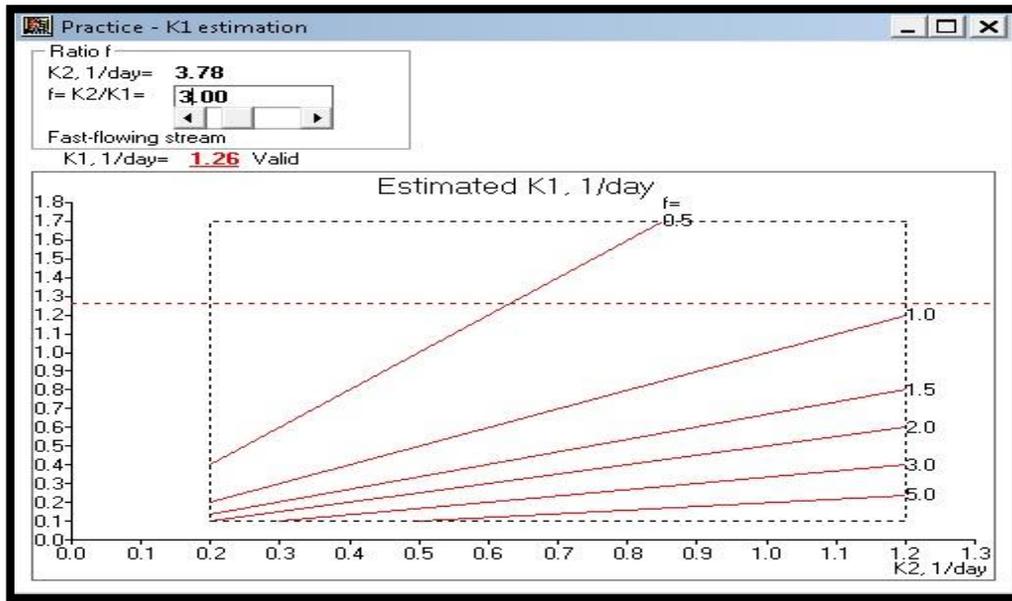


Figura 3. 19 Estimación de K1.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

La Ecuación 28 se utiliza para la corrección del valor del coeficiente de descomposición bioquímica de la materia orgánica (K1) debido a la temperatura del agua, esta fórmula puede variar según el software que se esté ocupando. También se debe tener en cuenta que en el programa se construye un algoritmo para calcular el valor de K1 a 20°C a partir del tipo y tamaño del cuerpo de agua, además del ya calculado K2, por lo que es necesario hacer esta corrección. El valor de K1 se muestra en la Figura 3. 20.

El valor de K1=1.78/día.

$$K1_T = K1_{(20^\circ C)} 1.047^{(T-20)}$$

Ecuación 28

Donde:

$K1_{(T)}$ Coeficiente de descomposición bioquímica de la materia orgánica K1 en la temperatura T °C del agua.

K_1 (20°C) Coeficiente de descomposición bioquímica de la materia orgánica K_1 a la $T=20$ °C del agua.

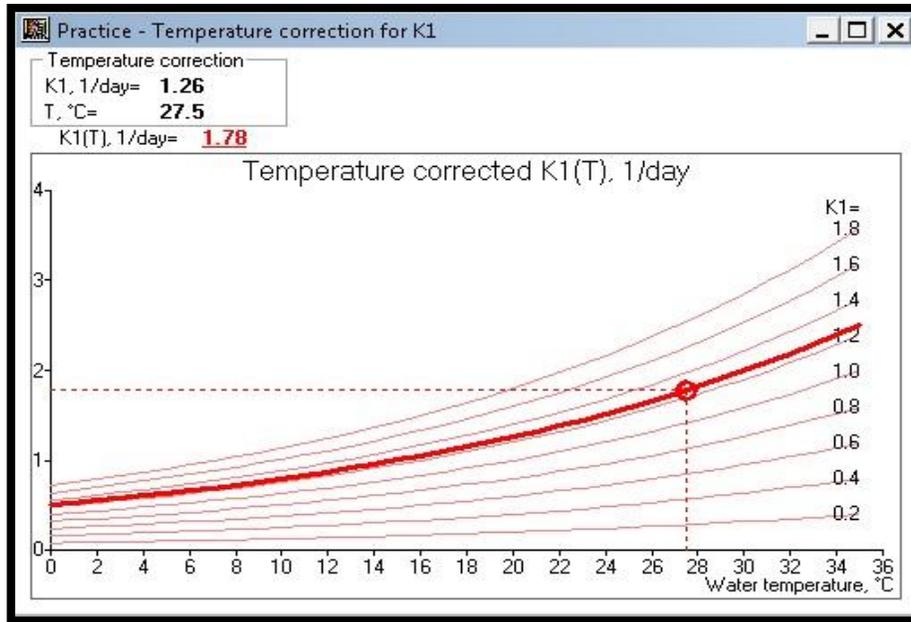


Figura 3. 20 Corrección debido a la temperatura del coeficiente K_1 .

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

- Curva de decaimiento de DBO_5 .

La curva de caída de la materia orgánica, describe la descomposición de la materia orgánica biodegradable (término conocido en el programa WQMCAL como "L") en función del tiempo (el cual es el tiempo recorrido a lo largo de la corriente $t = x / v$).

En la Ecuación 30, las condiciones iniciales, L_0 en $x = 0$ ($t = t_0$) se calculan a partir de la ecuación de dilución de carga orgánica, mostrada anteriormente.

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 * L$$

Ecuación 29

$$L = L_0 e^{-K_1 * t}$$

Ecuación 30

Donde:

- L DBO₅ en el agua (mg O₂/l H₂O).
- L₀ DBO₅ inicial en el río, en el punto de descarga del efluente. (mg O₂/l H₂O).
- K1 Coeficiente de descomposición bioquímica de la materia orgánica (día⁻¹).
- t Es el tiempo recorrido a lo largo de la corriente, interpretado como $t = x / v$, donde x es la distancia aguas abajo desde el vertido de efluentes (generalmente en días).

La curva de decaimiento de DBO₅ es la siguiente:

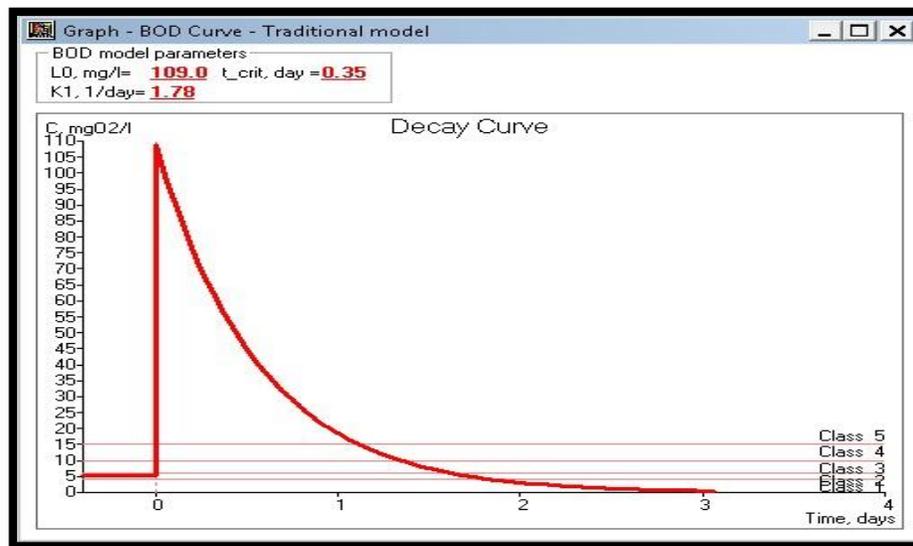


Figura 3. 21 Curva de decaimiento de carga orgánica A01SUQUI-A02VERTI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

- Curva de agotamiento de oxígeno.

El modelo tradicional de agotamiento de oxígeno describe donde ocurre un "hundimiento" en la curva de oxígeno disuelto en el río debido a la descomposición de la materia orgánica biodegradable y el proceso de aireación (a través de la superficie del agua).

$$\frac{dD}{dt} = K1 * L - K2 * D$$

Ecuación 31

Donde:

D Déficit de oxígeno en el agua (mg/l).

L DBO en el agua (mg O₂/l H₂O).

K1 Coeficiente de degradación bioquímica de la materia orgánica (por lo general día⁻¹).

K2 Coeficiente de reaireación (día⁻¹).

t Es el tiempo recorrido a lo largo de la corriente, (generalmente en días).

Para nuestro conjunto de datos el modelo de agotamiento de oxígeno disuelto es:

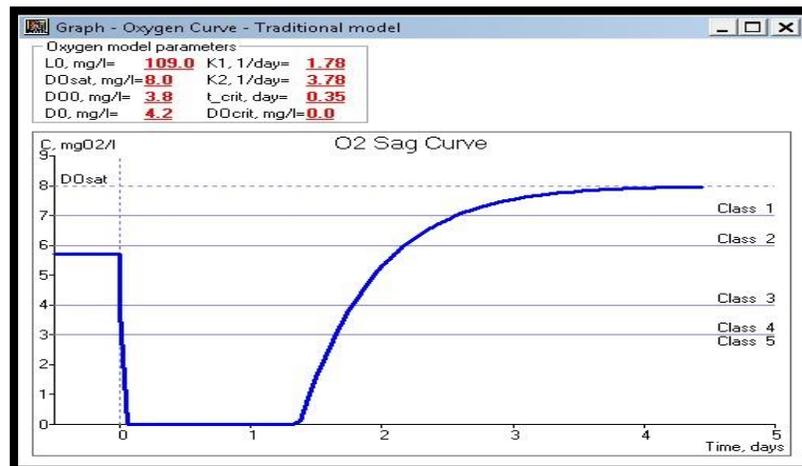


Figura 3. 22 Curva de caída de oxígeno A01SUQUI- A02VERTI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

3.3.2. RESULTADO PARA LOS PUNTOS A03SUQUI Y A04APANT.

Aplicando el mismo procedimiento que los dos puntos anteriores, calculamos los valores iniciales a partir de los valores de la Tabla 3. 15 y la ecuación de dilución, dando como resultado los presentados en la Figura 3. 23.

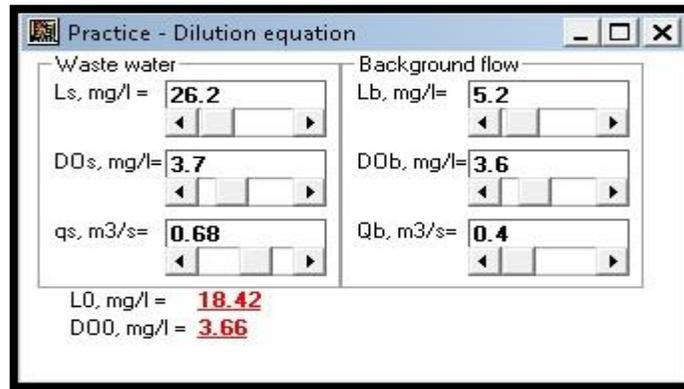


Figura 3. 23 Resultado ecuación de dilución A03SUQUI-A04APANT.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Luego se calcula el déficit de oxígeno por medio de la saturación de oxígeno disuelto y el oxígeno disuelto inicial.

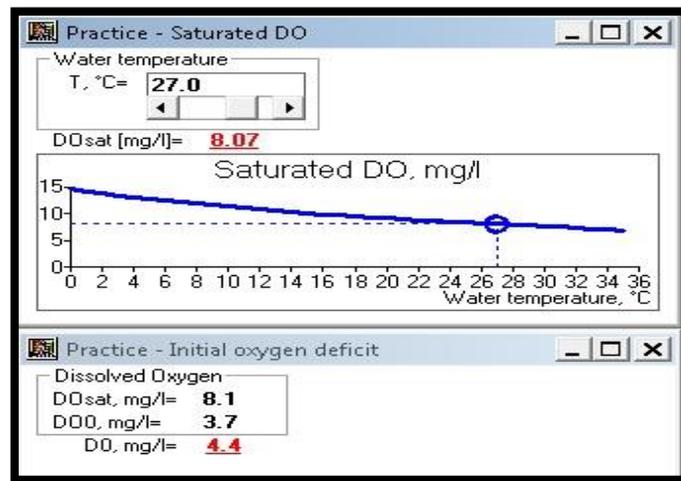


Figura 3. 24 Déficit inicial de oxígeno A03SUQUI-A04APANT.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Luego se calcula el valor del coeficiente de reaireación (K2) a partir de la velocidad y profundidad de A03SUQUI.

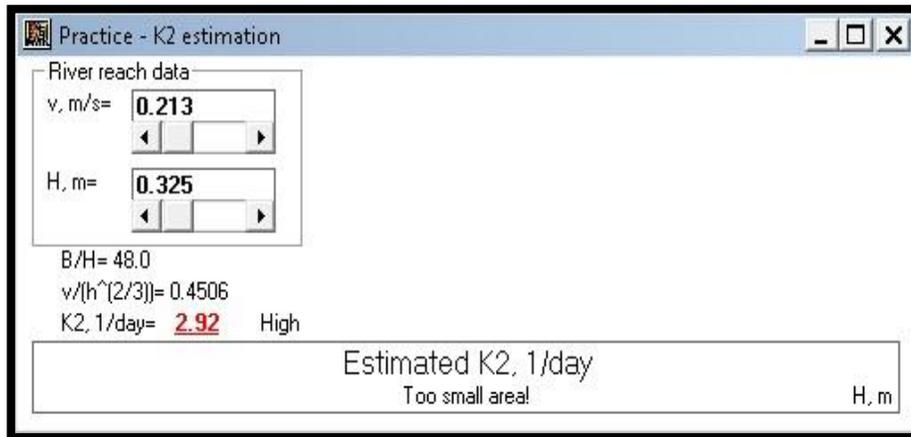


Figura 3. 25 Coeficiente de reaireación A03SUQUI-A04APANT.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Luego, la estimación del coeficiente de descomposición bioquímica de la materia orgánica (K1) ya corregido:

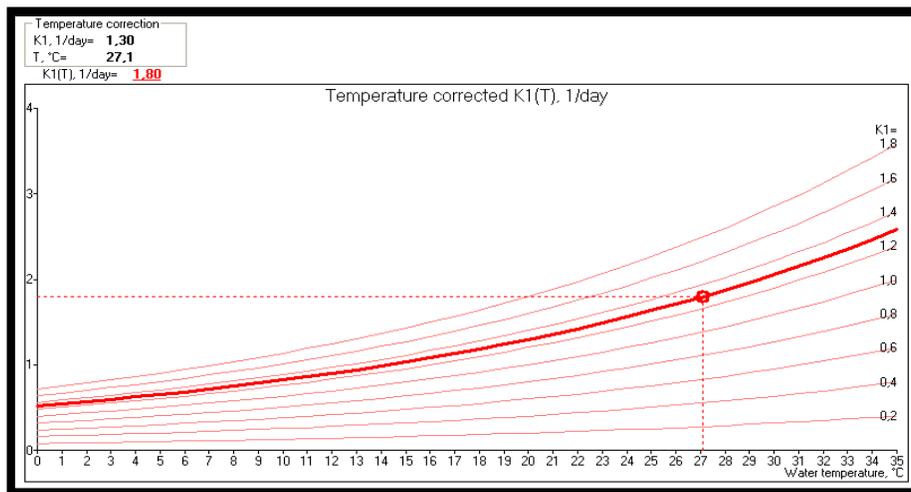


Figura 3. 26 Corrección de K1 debido a la temperatura A03SUQUI-A04APANT.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Y finalmente, la curva de decaimiento de DBO_5 .

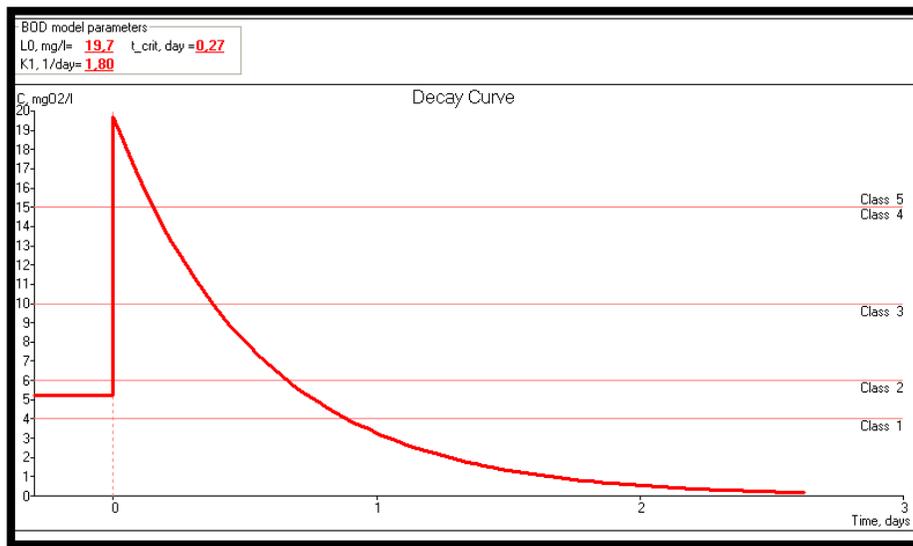


Figura 3. 27 Curva de decaimiento de DBO₅ A03SUQUI-A04APANT.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL

Curva de agotamiento de oxígeno:

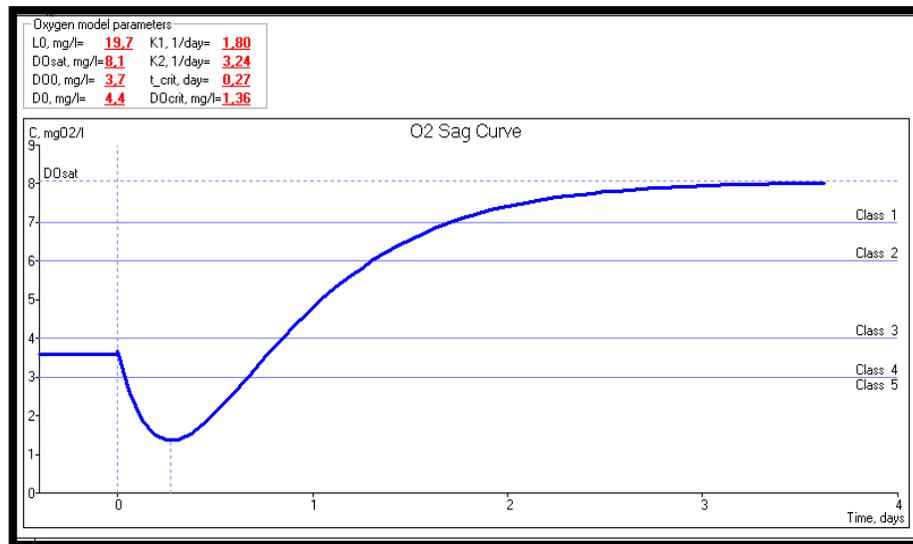


Figura 3. 28 Curva de caída de OD A03SUQUI-A04APANT.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

3.3.3. RESULTADO PARA LOS PUNTOS A05SUQUI Y A06SAUCE.

Calculando los valores iniciales a partir de la ecuación de dilución:

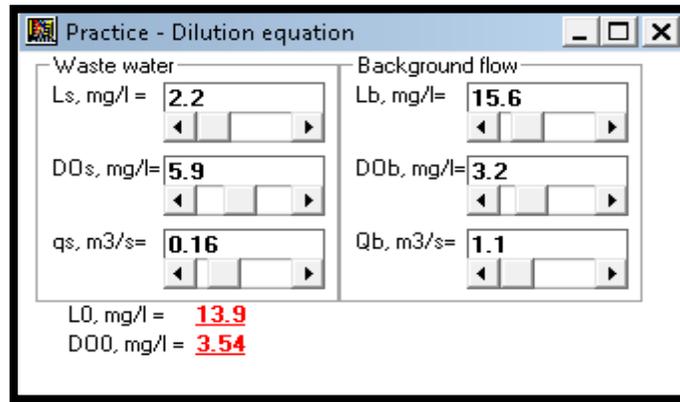


Figura 3. 29 Resultado ecuación de dilución A05SUQUI-A06SAUCE.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Déficit inicial de oxígeno, a partir del oxígeno saturado y el OD inicial.

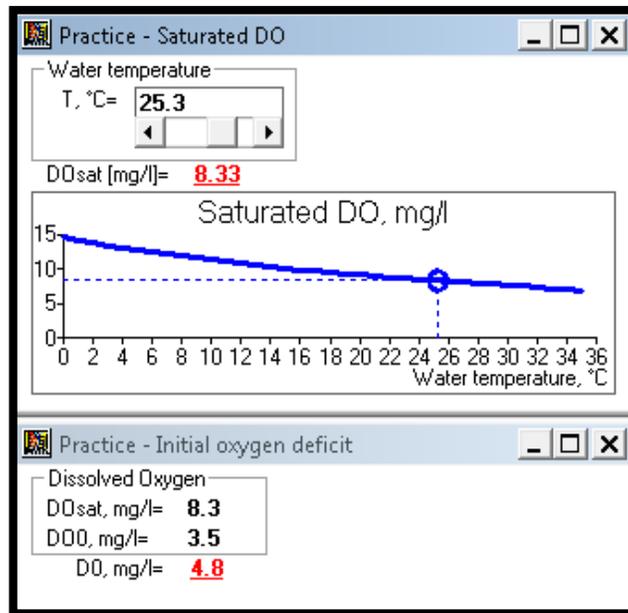


Figura 3. 30 Déficit inicial de oxígeno A05SUQUI-A06SAUCE.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Calculo del coeficiente de reaireación (K2), usando los valores de caudal y profundidad de A05SUQUI:

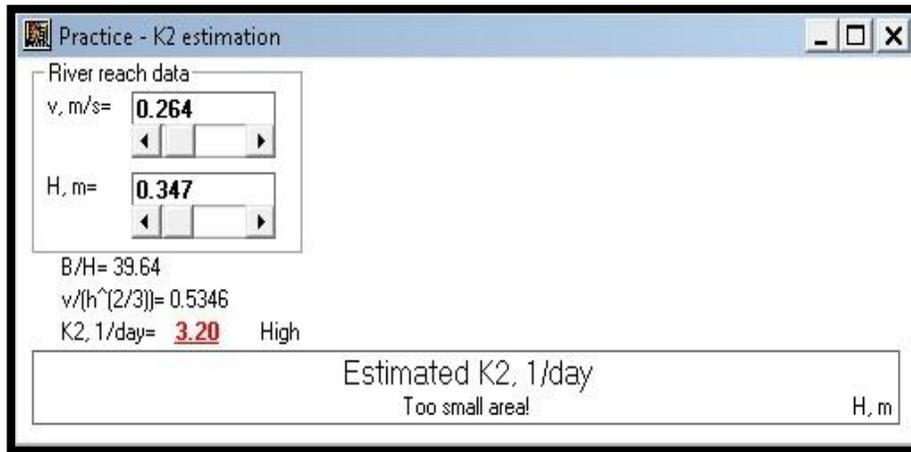


Figura 3. 31 Coeficiente de reaireación A05SUQUI-A06SAUCE.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

La estimación coeficiente de descomposición bioquímica de la materia orgánica (K1), ya corregido:

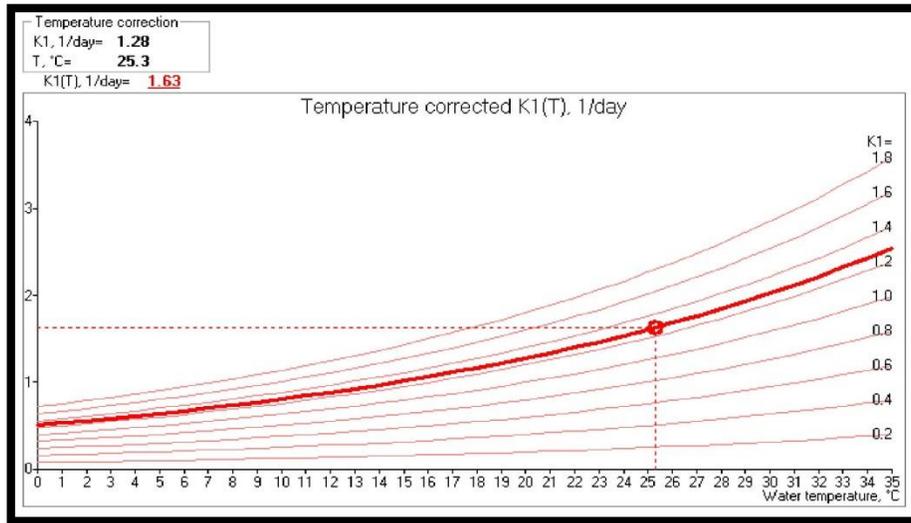


Figura 3. 32 Corrección de K1 debido a la temperatura A05SUQUI-A06SAUCE

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Luego de introducir los datos anteriores se obtiene la curva de decaimiento de materia orgánica.

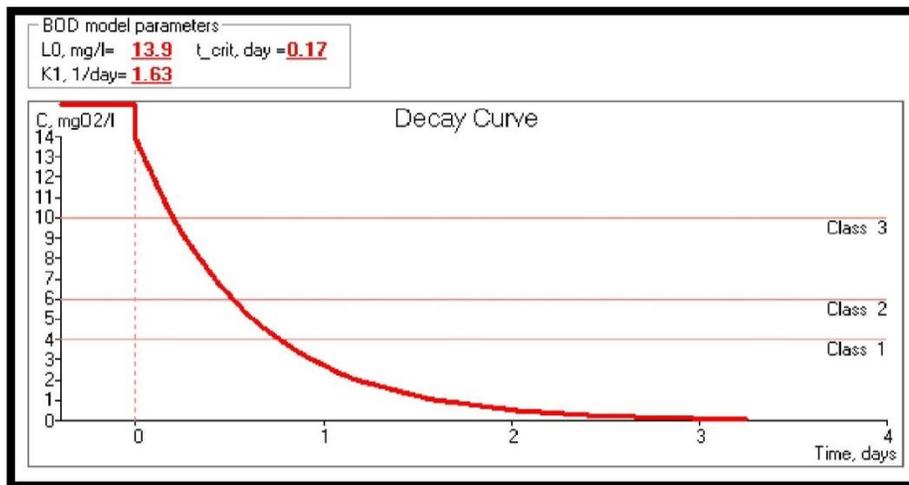


Figura 3. 33 Curva de decaimiento de DBO₅ A05SUQUI-A06SAUCE.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Curva de agotamiento de oxígeno disuelto:

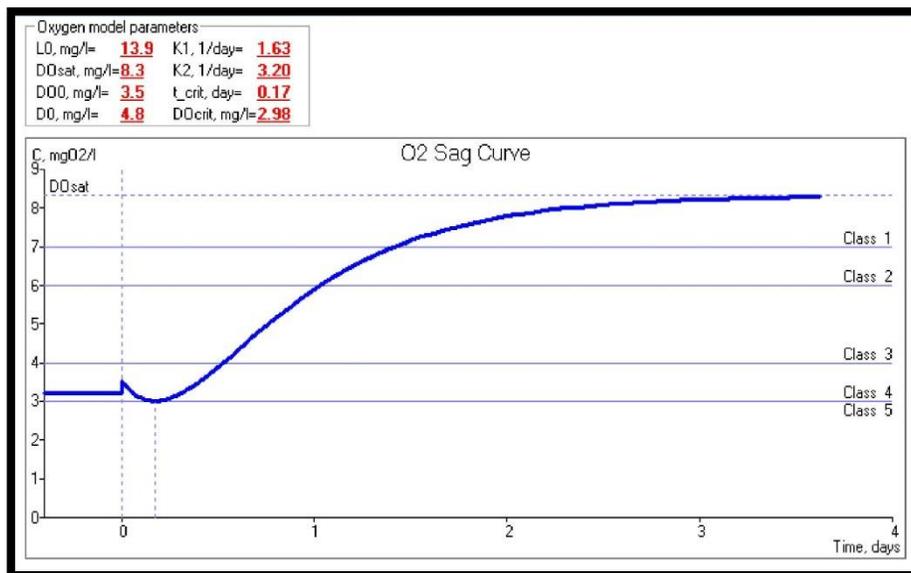


Figura 3. 34 Curva de caída de OD A05SUQUI-A06SAUCE.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

3.3.4. RESULTADO PARA LOS PUNTOS A07CARCA Y A08SUQUI.

Calculando los valores iniciales a partir de la Tabla 3. 15 y de ecuación de dilución:

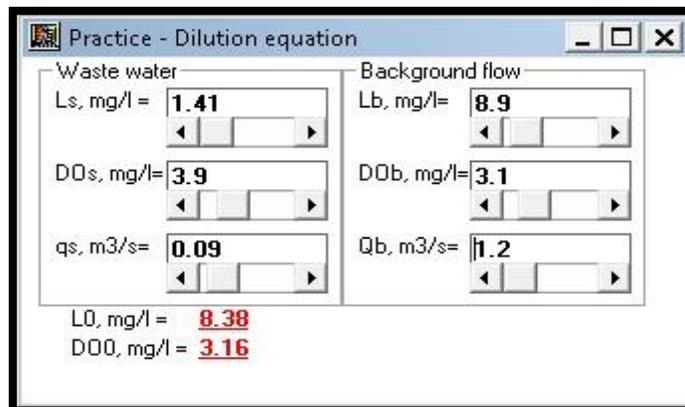


Figura 3. 35 Resultado ecuación de dilución A07CARCA-A08SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Déficit inicial de oxígeno, a partir del oxígeno saturado y el OD inicial.

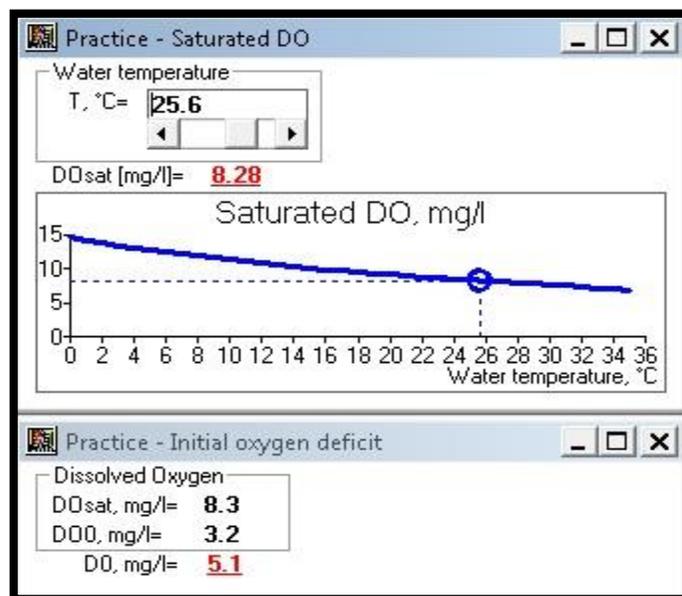


Figura 3. 36 Déficit inicial de oxígeno A07CARCA-A08SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Calculo del coeficiente de reaireación (K2), usando los valores de caudal y profundidad de A08SUQUI:



Figura 3. 37 Coeficiente de reaireación A07CARCA-A08SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

La estimación del coeficiente de descomposición bioquímica de la materia orgánica (K1), ya corregido:

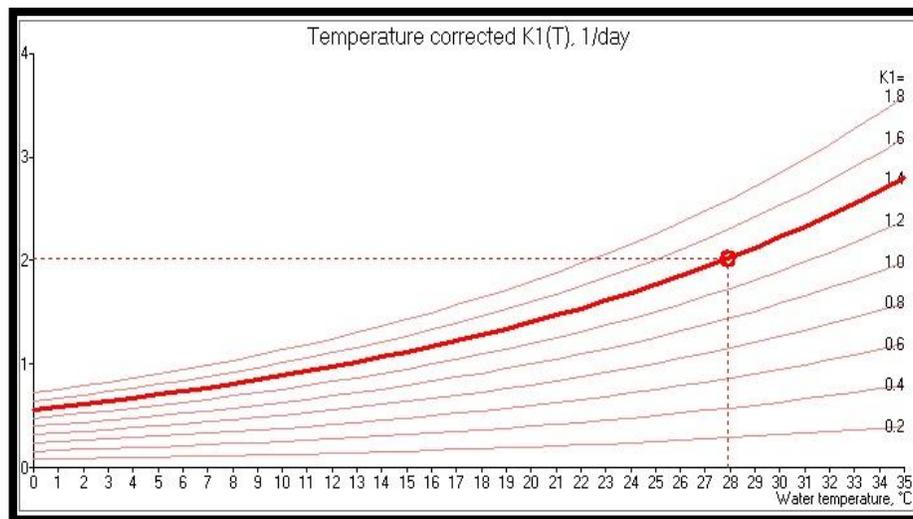


Figura 3. 38 Corrección de K1 debido a la temperatura A07CARCA-A08SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Luego de introducir los datos anteriores se obtiene la curva de decaimiento de materia orgánica.

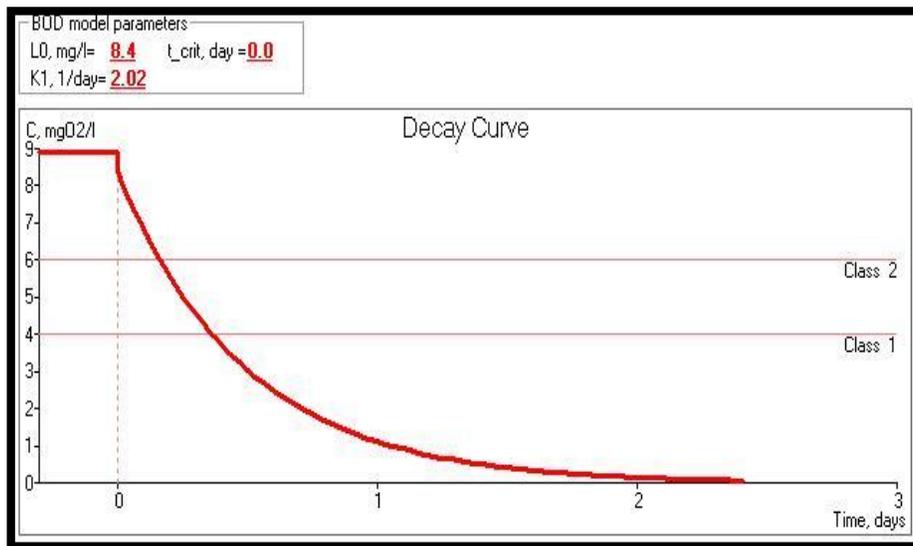


Figura 3. 39 Curva de decaimiento de DBO₅ A07CARCA-A08SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Curva de agotamiento de oxígeno:

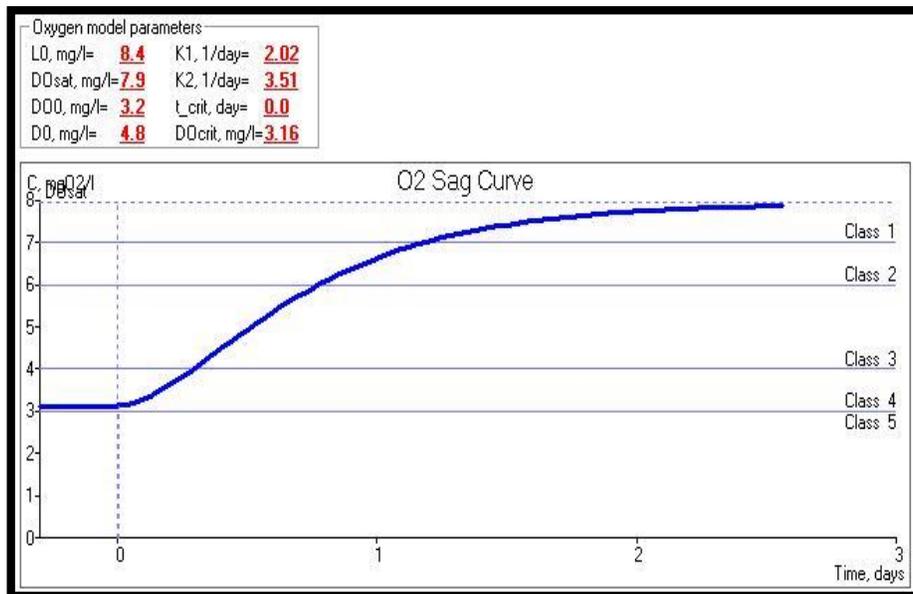


Figura 3. 40 Curva de caída de OD A07CARCA-A08SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

3.3.5. RESULTADO PARA LOS PUNTOS A09MOLIN Y A10SUQUI.

Calculando los valores iniciales a partir de la ecuación de dilución:

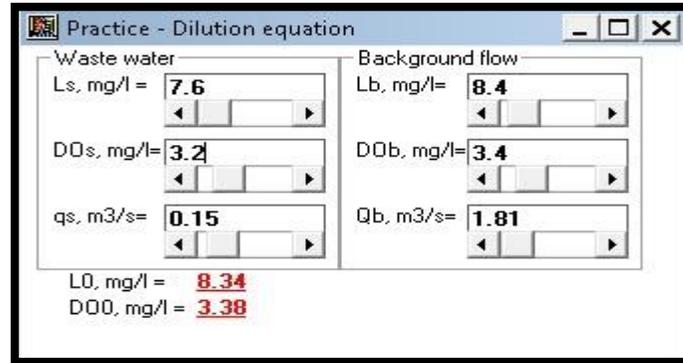


Figura 3. 41 Resultado ecuación de dilución A09MOLIN-A10SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Déficit inicial de oxígeno, a partir del oxígeno saturado y el OD inicial.

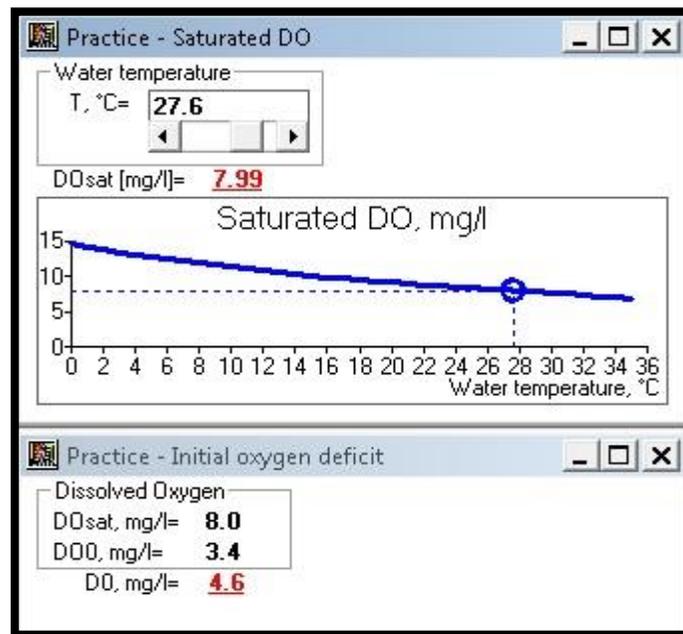


Figura 3. 42 Déficit inicial de oxígeno A09MOLIN- A10SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Calculo del coeficiente de reaireación (K2), usando los valores de caudal y profundidad de A10SUQUI:

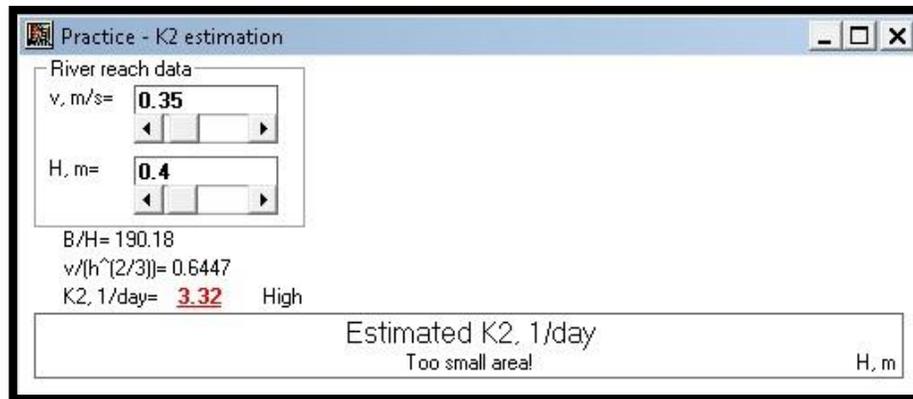


Figura 3. 43 Coeficiente de reaireación A09MOLIN- A10SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

La estimación del coeficiente de descomposición bioquímica de la materia orgánica (K1), ya corregido:

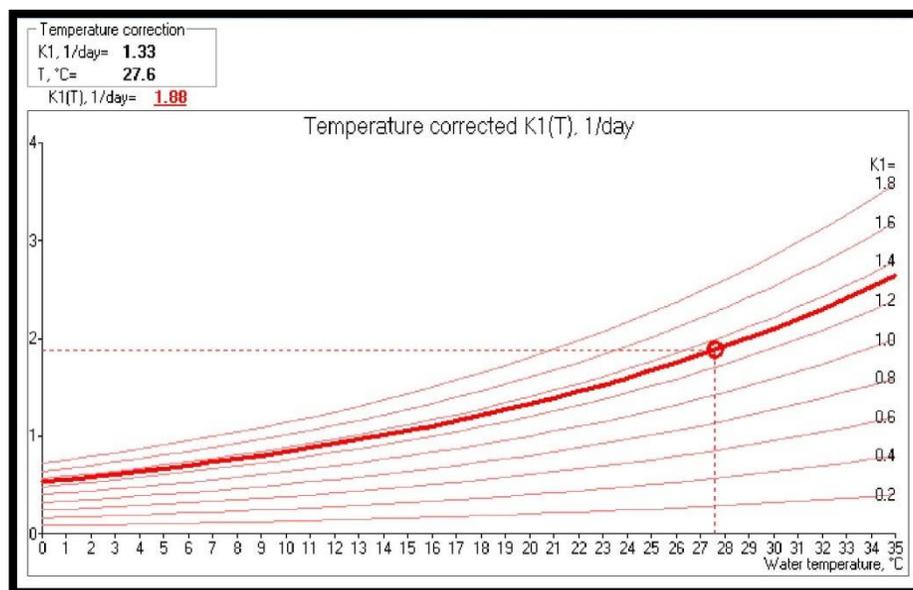


Figura 3. 44 Corrección de K1 debido a la temperatura A09MOLIN-A10SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Luego se obtiene la curva de decaimiento de materia orgánica.

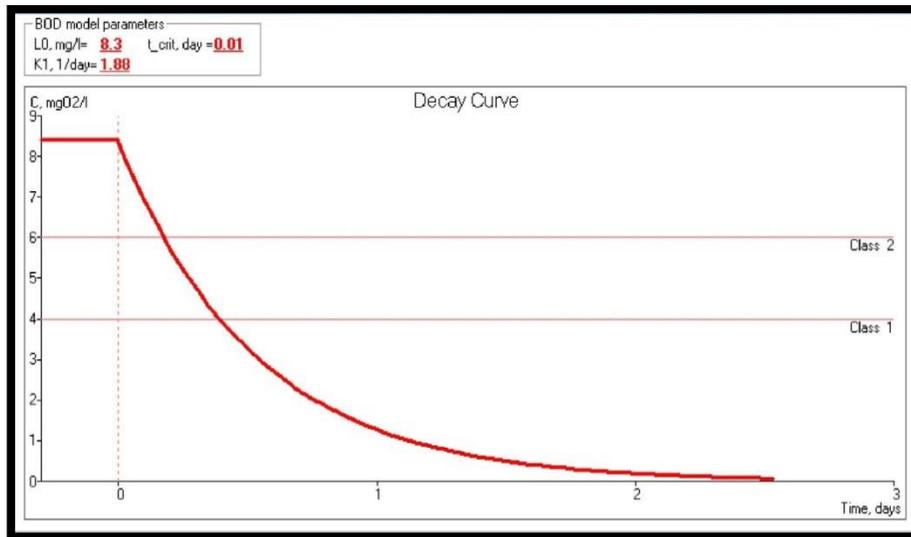


Figura 3. 45 Curva de decaimiento de DBO_5 A09MOLIN-A10SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Curva de agotamiento de oxígeno:

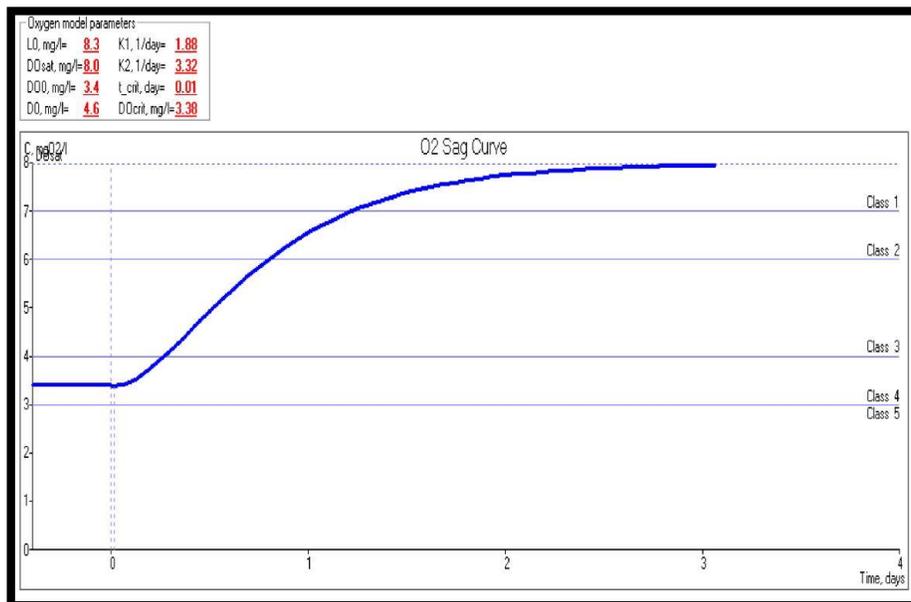


Figura 3. 46 Curva de caída de OD A09MOLIN-A10SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

3.3.6. RESULTADO DE LOS PUNTOS A11ZARCO Y A12SUQUI.

Calculando los valores iniciales a partir de la Tabla 3. 15 y de ecuación de dilución:

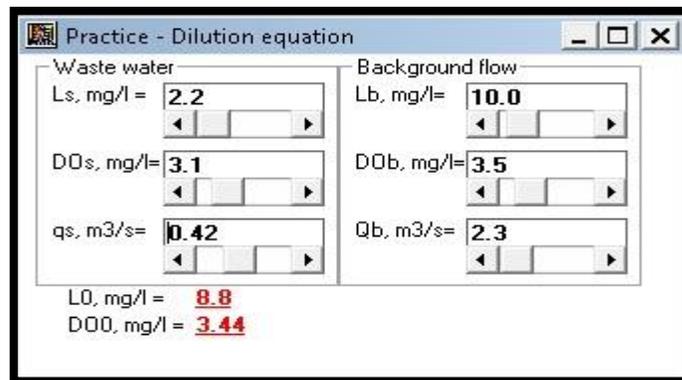


Figura 3. 47 Resultado ecuación de dilución A11ZARCO-A12SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Déficit inicial de oxígeno, a partir del oxígeno saturado y el OD inicial.

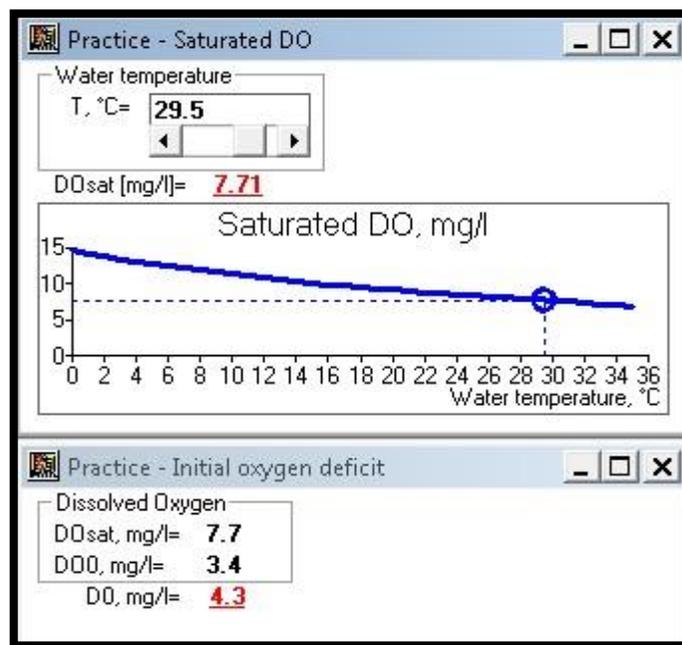


Figura 3. 48 Déficit inicial de oxígeno A11ZARCO-A12SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Calculo del coeficiente de reaireación (K2), usando los valores de caudal y profundidad de A12SUQUI:

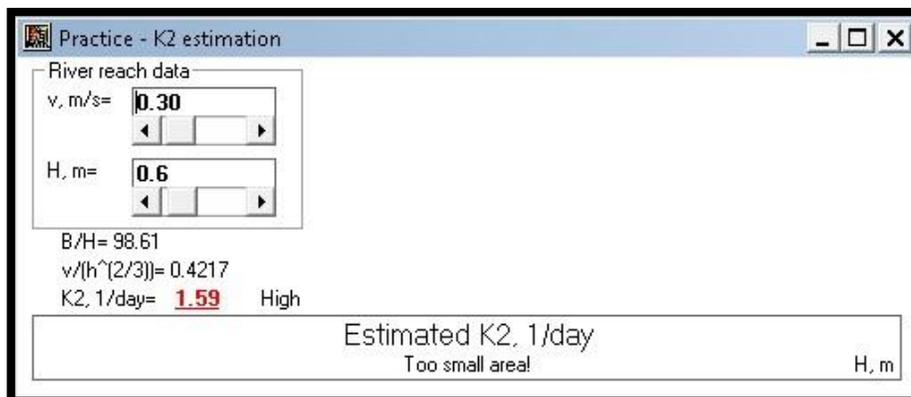


Figura 3. 49 Coeficiente de reaireación A11ZARCO-A12SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

La estimación del coeficiente de descomposición bioquímica de la materia orgánica (K1), ya corregido:

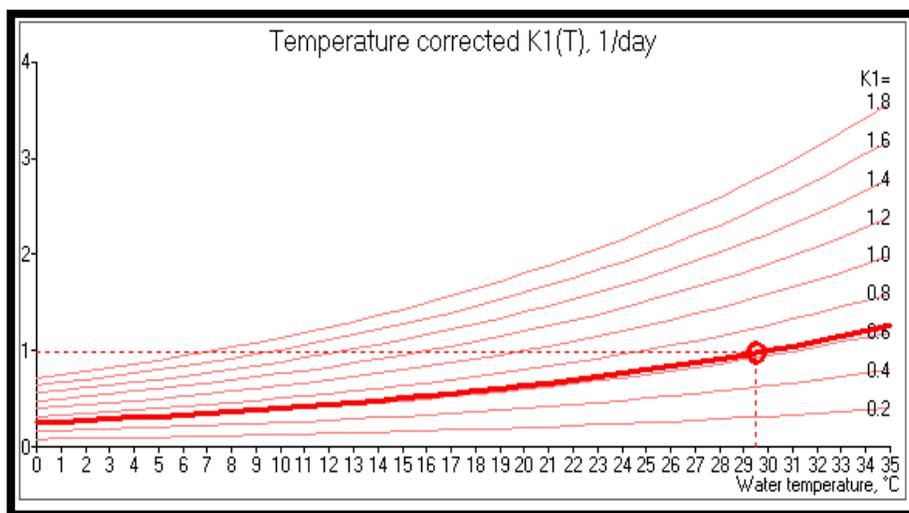


Figura 3. 50 Corrección de K1 debido a la temperatura A11ZARCO-A12SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Luego de introducir los datos anteriores se obtiene la curva de decaimiento de materia orgánica.

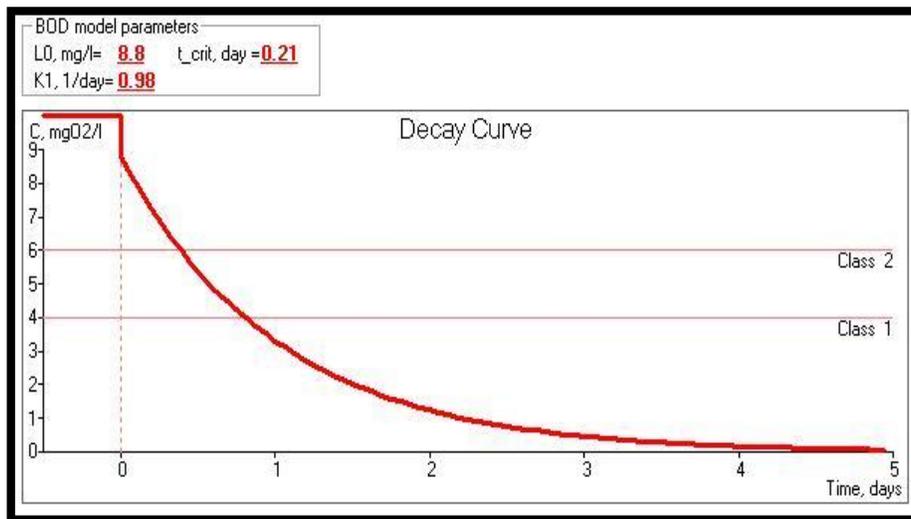


Figura 3. 51 Curva de decaimiento de DBO₅ A11ZARCO-A12SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Curva de agotamiento de oxígeno:

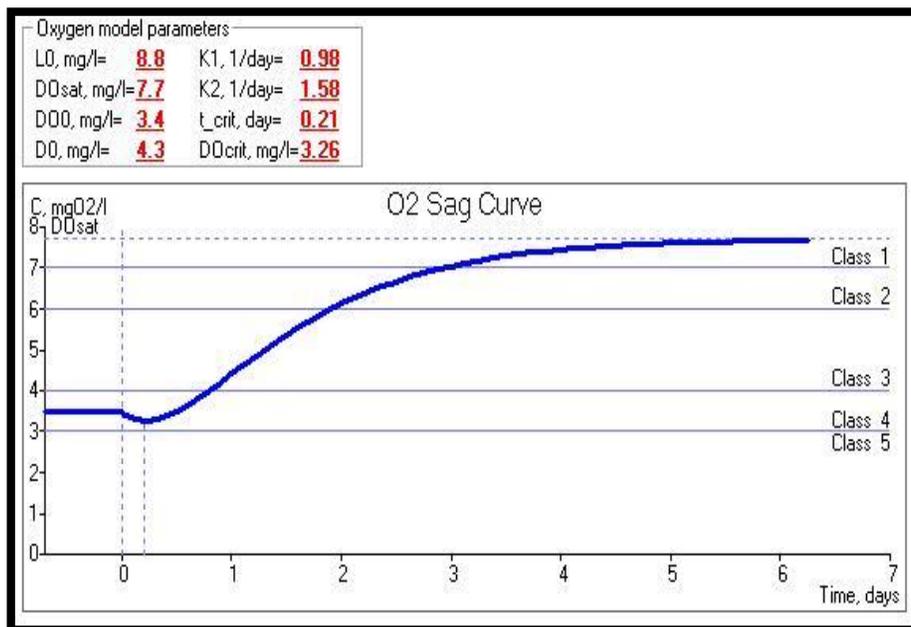


Figura 3. 52 Curva de caída de OD A11ZARCO-A12SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

3.3.7. RESULTADO DE LOS PUNTOS A13VERTI Y A14SUQUI.

Calculando los valores iniciales L_0 y DO_0 a partir de la ecuación de dilución:

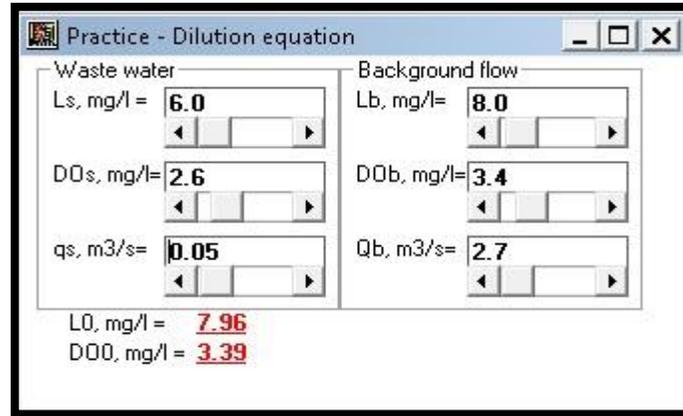


Figura 3. 53 Resultado ecuación de dilución A13VERTI-A14SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Déficit inicial de oxígeno, a partir del oxígeno saturado y el OD inicial.

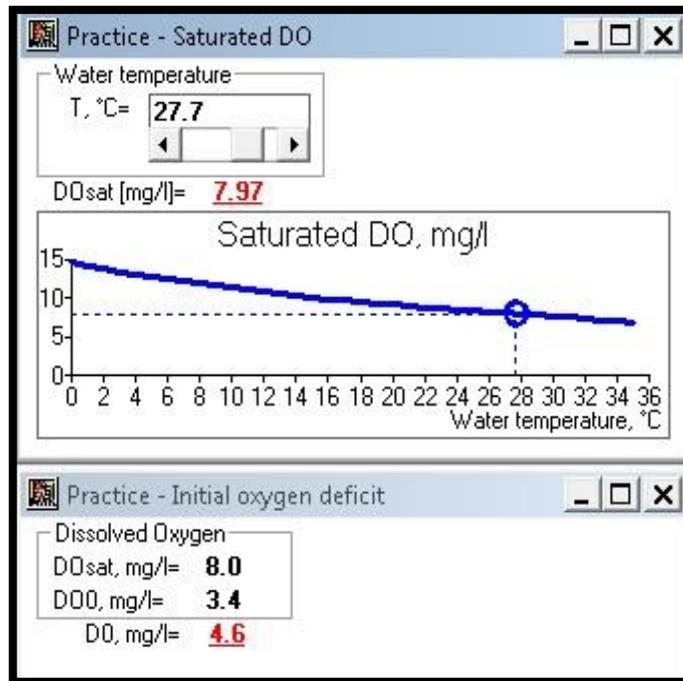


Figura 3. 54 Déficit inicial de oxígeno A13VERTI-A14SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Calculo del coeficiente de reaireación (K2), usando el caudal y profundidad de A14SUQUI:

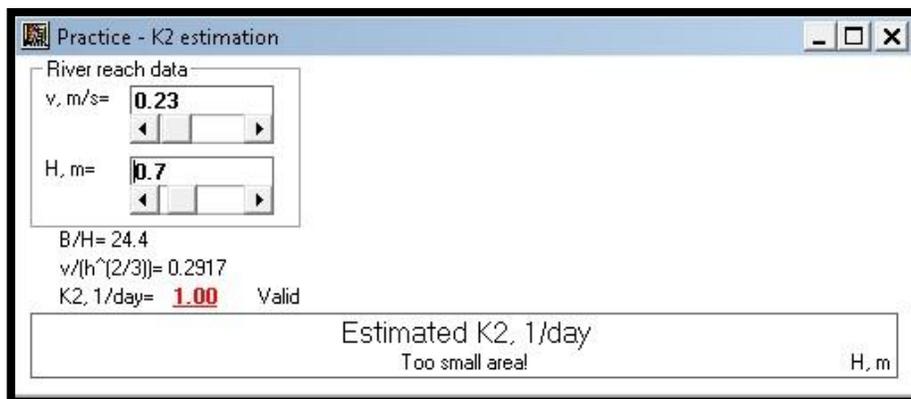


Figura 3. 55 Coeficiente de reaireación A13VERTI-A14SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

La estimación del coeficiente de descomposición bioquímica de la materia orgánica (K1) ya corregido:

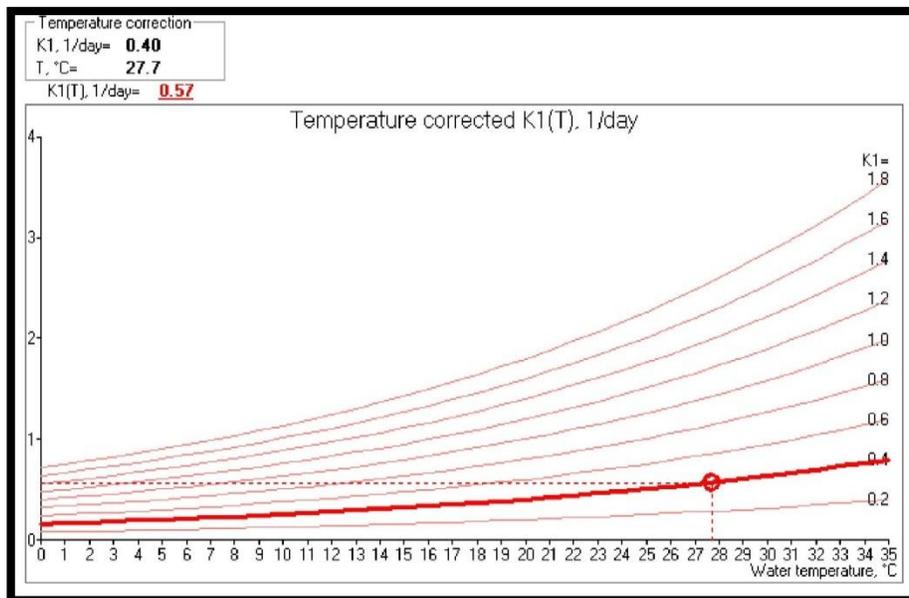


Figura 3. 56 Corrección de K1 debido a la temperatura A13VERTI-A14SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Luego, se obtiene la curva de decaimiento de materia orgánica.

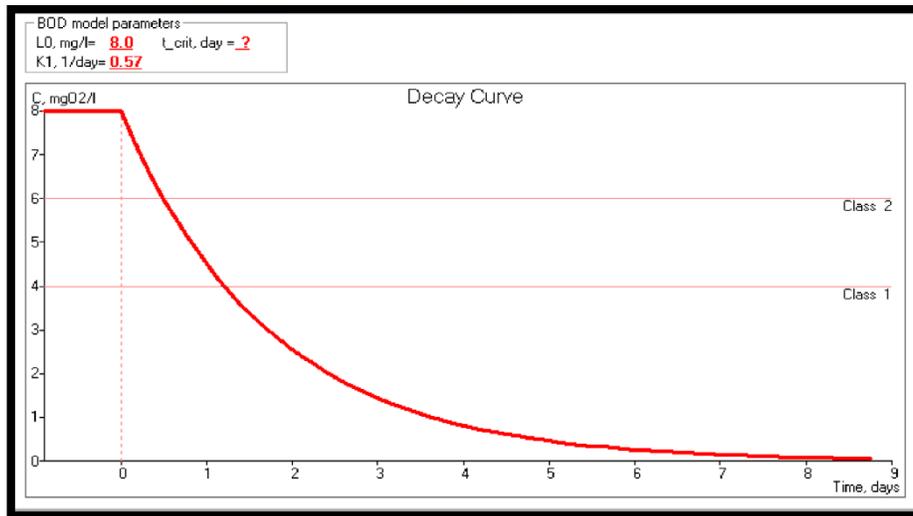


Figura 3. 57 Curva de decaimiento de DBO₅ A13VERTI-A14SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Curva de caída de oxígeno:

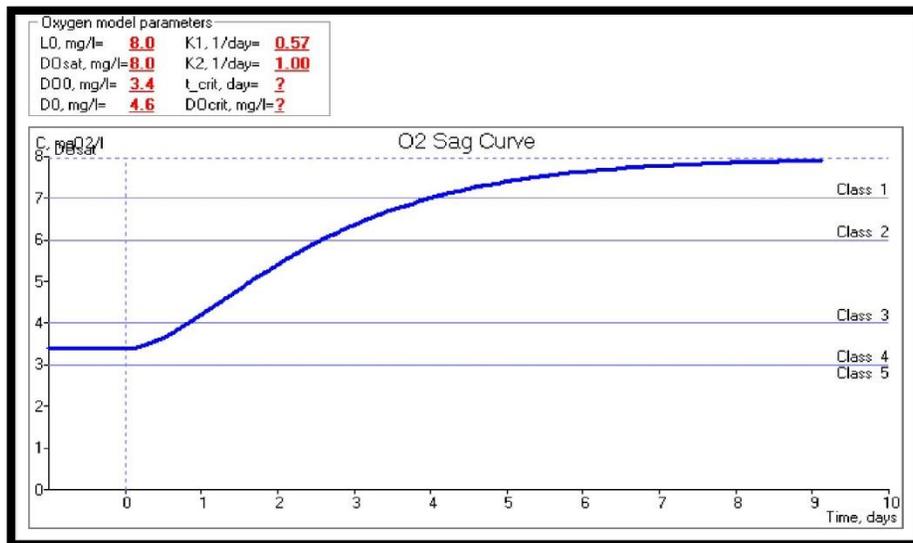


Figura 3. 58 Curva de caída de OD A13VERTI-A14SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

3.3.8. RESULTADO DE LOS PUNTOS A15PUENTE Y A16SUQUI.

Calculando los valores iniciales a partir de la Tabla 3. 15 y de la ecuación de dilución:

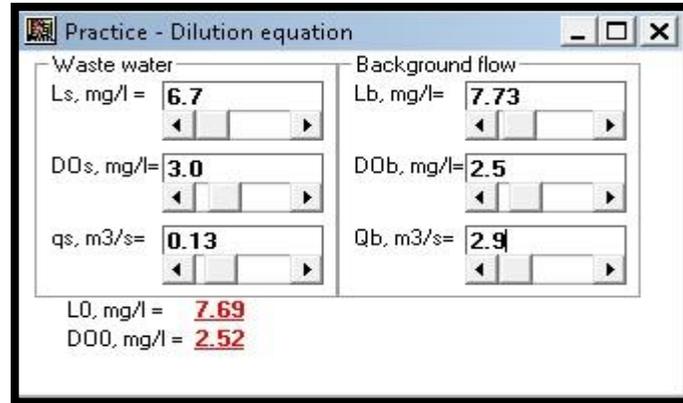


Figura 3. 59 Resultado ecuación de dilución A15PUENTE-A16SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Déficit inicial de oxígeno, a partir del oxígeno saturado y el OD inicial.

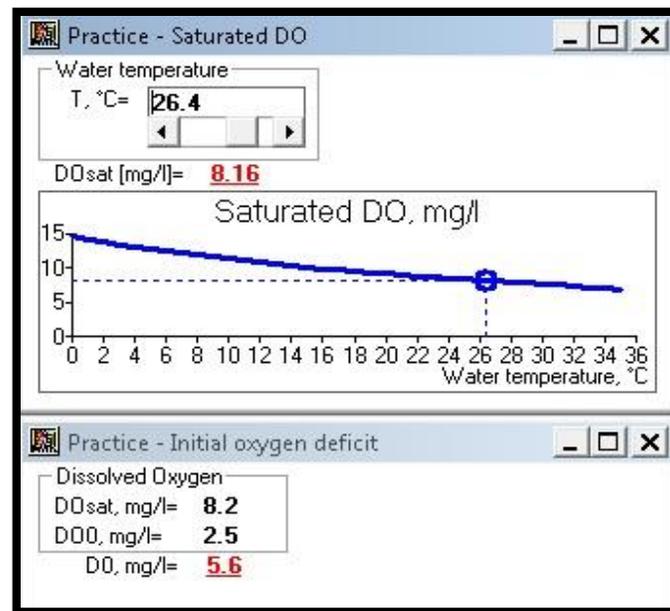


Figura 3. 60 Déficit inicial de oxígeno A15PUENTE-A16SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Calculo del coeficiente de reaireación (K2), usando los valores de caudal y profundidad de A16SUQUI:

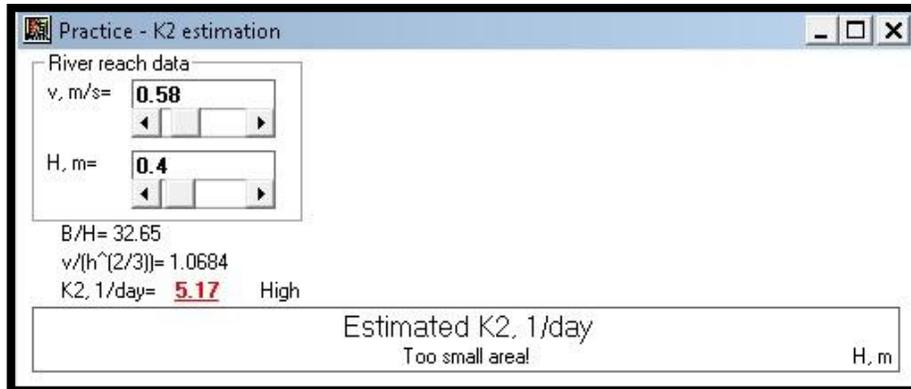


Figura 3. 61 Coeficiente de reaireación A15PUENTE-A16SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

La estimación del coeficiente de descomposición bioquímica de la materia orgánica (K1), ya corregido:

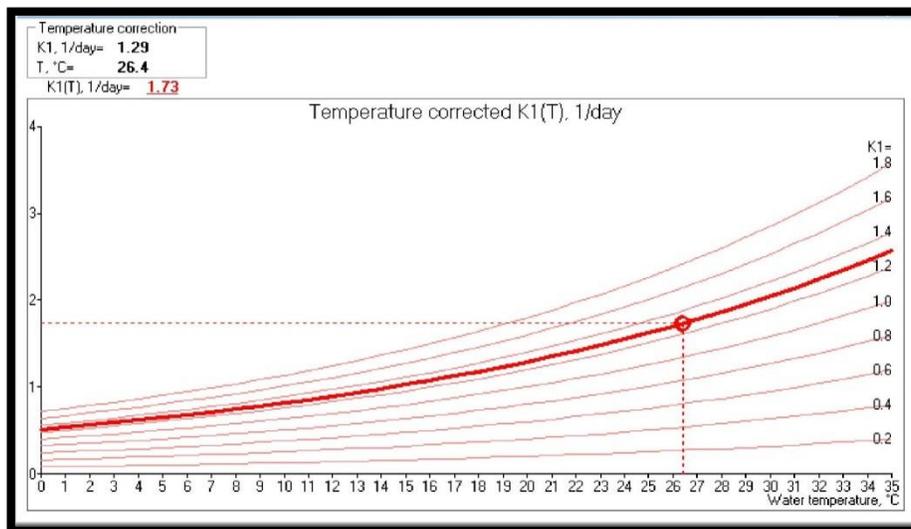


Figura 3. 62 Corrección de K1 debido a la temperatura A15PUENTE-A16SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Luego de introducir los datos anteriores se obtiene la curva de decaimiento de materia orgánica:

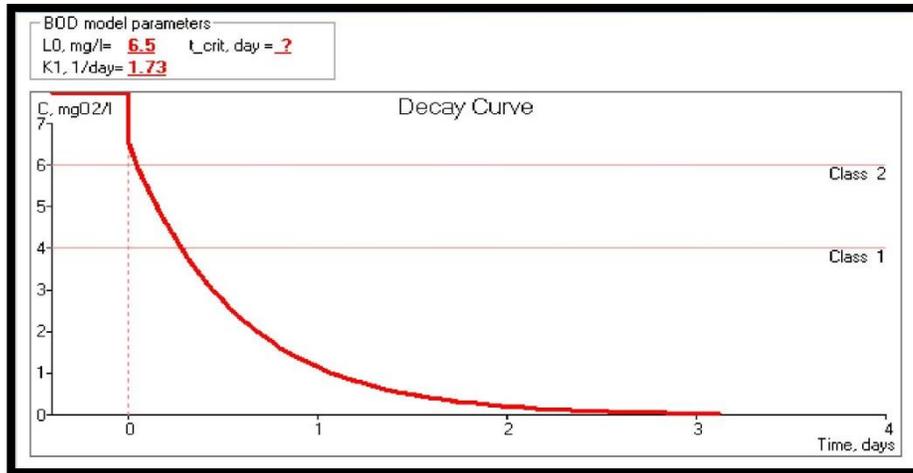


Figura 3. 63 Curva de decaimiento de DBO₅ A15PUENTE-A16SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Curva de caída de oxígeno:

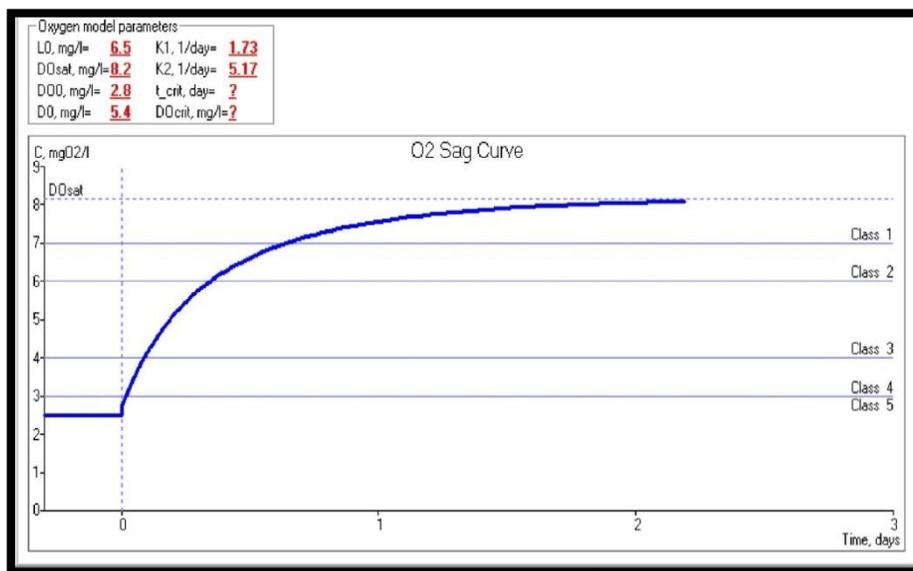


Figura 3. 64 Curva de caída de OD A15PUENTE-A16SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

3.3.9. RESULTADO DE LOS PUNTOS A17GUILGU Y A18SUQUI.

Calculando los valores iniciales a partir de la ecuación de dilución:

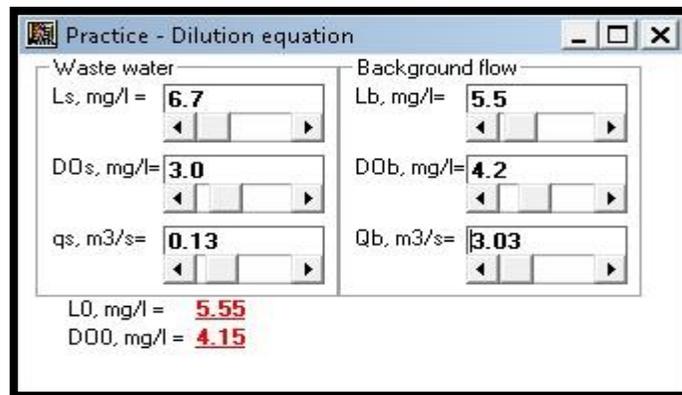


Figura 3. 65 Resultado ecuación de dilución A17GUILGU-A18SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Déficit inicial de oxígeno, a partir del oxígeno saturado y el OD inicial.

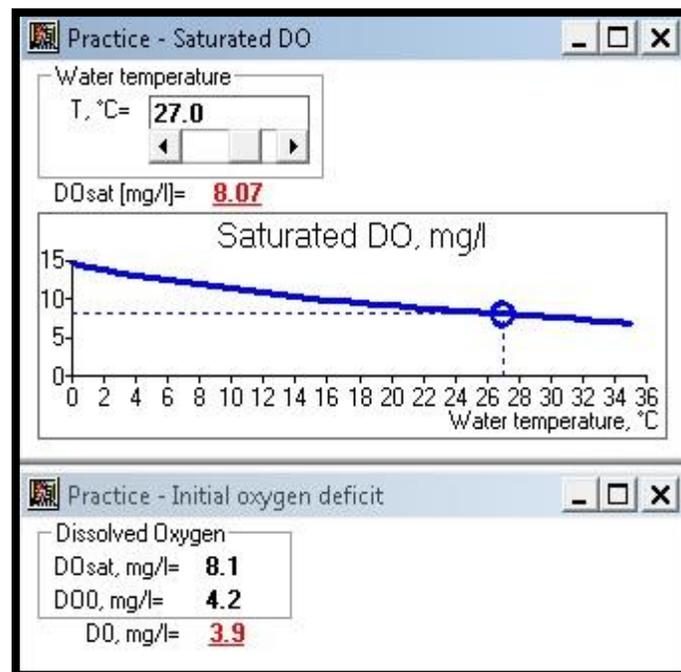


Figura 3. 66 Déficit inicial de oxígeno A17GUILGU-A18SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Calculo del coeficiente de reaireación (K2), usando caudal y profundidad de A18SUQUI:

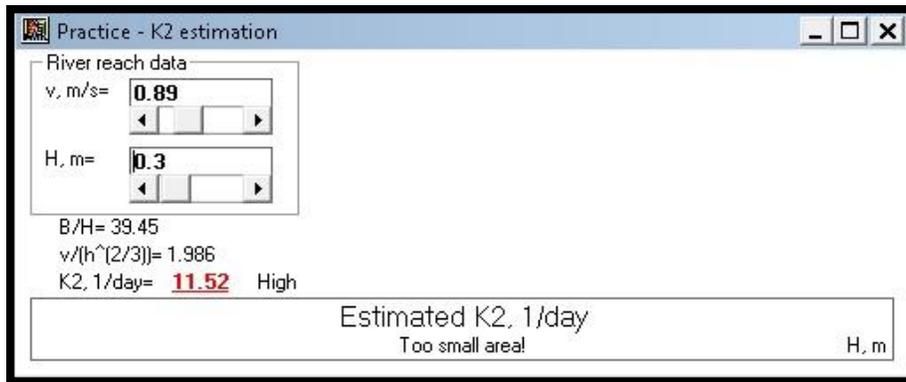


Figura 3. 67 Coeficiente de reaireación A17GUILGU-A18SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

La estimación del coeficiente de descomposición bioquímica de la materia orgánica (K1), ya corregido:

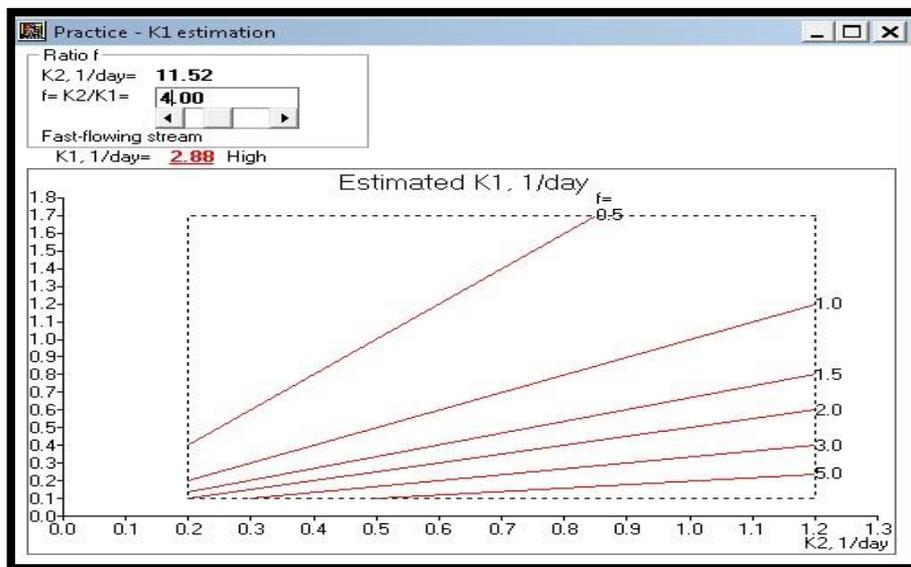


Figura 3. 68 Corrección de K1 debido a la temperatura A17GUILGU-A18SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Luego de introducir los datos anteriores se obtiene la curva de decaimiento de materia orgánica.

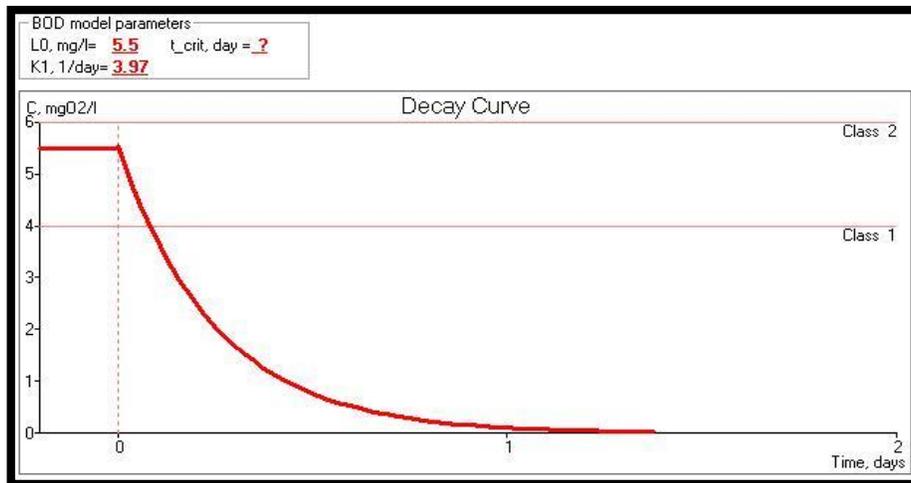


Figura 3. 69 Curva de decaimiento de DBO₅ A17GUILGU-A18SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

Curva de agotamiento de oxígeno:

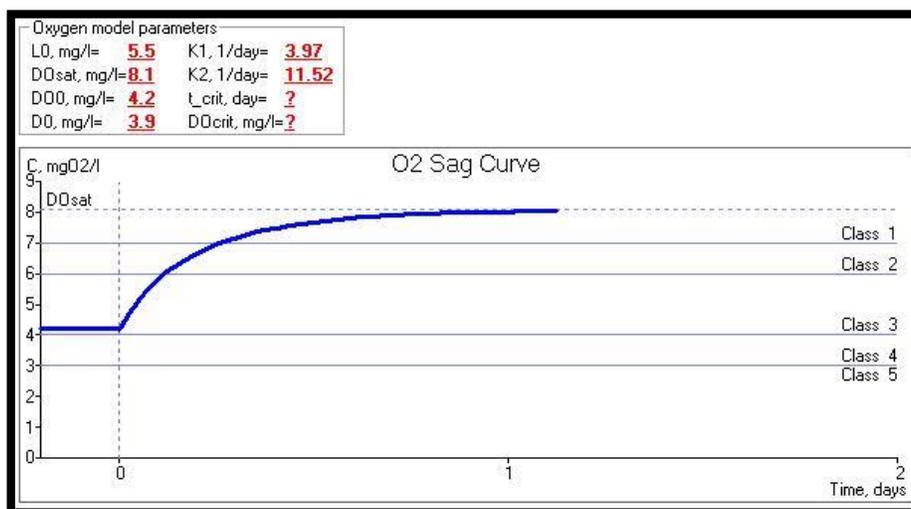


Figura 3. 70 Curva de caída de OD A17GUILGU-A18SUQUI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

3.4. RESULTADOS DE LA MODELACIÓN DE METALES PESADOS CON WASP

La confiabilidad de los datos presentados por la modelación de los metales pesados dependerá en gran medida de los resultados en la calibración previa del software, si el calibrado predice en gran forma los datos de conductividad eléctrica en los puntos del segmento principal del río, la predicción para metales pesados estará correcta subsecuentemente.

3.4.1. CALIBRACIÓN CON CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

El proceso de calibración es un proceso idéntico al de la simulación, la única variante es que en este caso se utilizan datos de conductividad eléctrica en lugar de los datos de concentración de los metales pesados, de esta modo, se ingresa la conductividad de los puntos tributarios y del inicio y final del segmento en estudio, el objetivo de esto es que haya coherencia entre los datos que se puedan visualizar en los gráficos del WASP y los datos experimentales tomados en los puntos del segmento principal.

Para este proceso se requieren indispensablemente los datos de conductividad eléctrica de todos los puntos del río, para la calibración principalmente los de los tributarios, y para su análisis los principales.

Tabla 3. 17 Conductividades de los puntos en análisis.

PUNTOS PRINCIPALES	CONDUCTIVIDAD	PUNTOS TRIBUTARIOS	CONDUCTIVIDAD
A01SUQUI	590	A02VERTI	340
A03SUQUI	368	A04APANT	382
A05SUQUI	412	A06SAUCE	346
A08SUQUI	426	A07CARCA	383
A10SUQUI	418	A09MOLIN	376

PUNTOS PRINCIPALES	CONDUCTIVIDAD	PUNTOS TRIBUTARIOS	CONDUCTIVIDAD
A12SUQUI	420	A11ZARCO	348
A14SUQUI	412	A13VERTI	299
A16SUQUI	393	A15PUENTE	356
A18SUQUI	391	A17GUILGU	275

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente de cargar estos datos en el programa (solo datos de los tributarios) procedemos a realizar la simulación siguiendo los pasos que se muestran en el capítulo 2. Cuando ya se ha hecho la corrida del programa se hizo uso de la herramienta de análisis denominada post procesador; con esta herramienta visualizaremos un primer gráfico de los datos simulados.

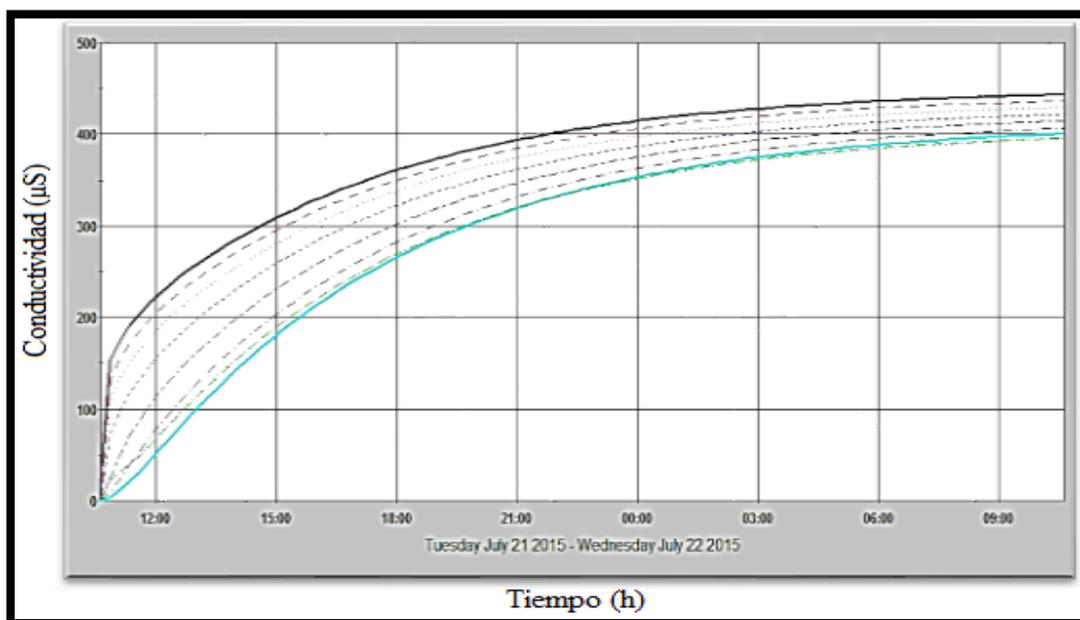


Figura 3. 71 Gráfico de conductividad por tiempo en WASP.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

En la Figura 3. 71 se presenta el gráfico de conductividad vs. tiempo, el cual presenta la tendencia de los puntos principales en cuanto a su conductividad según el tiempo, en este sentido el gráfico representa cada uno de los 9 puntos conocidos como “SUQUI”.

El análisis de esta gráfica se realiza con un análisis comparativo con otra serie de gráficos producidos con datos obtenidos experimentalmente, sin embargo un gráfico de la evolución de la conductividad con respecto al tiempo no es muy útil para realizar una comparación con datos experimentales si no se han tomado datos de conductividad en intervalos de tiempo en un tiempo determinado de estudio, si lo que se tiene es un solo dato de conductividad es preferible realizar el análisis con un gráfico de conductividad vs. Segmento, es decir capturar la conductividad de un segmento en un tiempo específico.

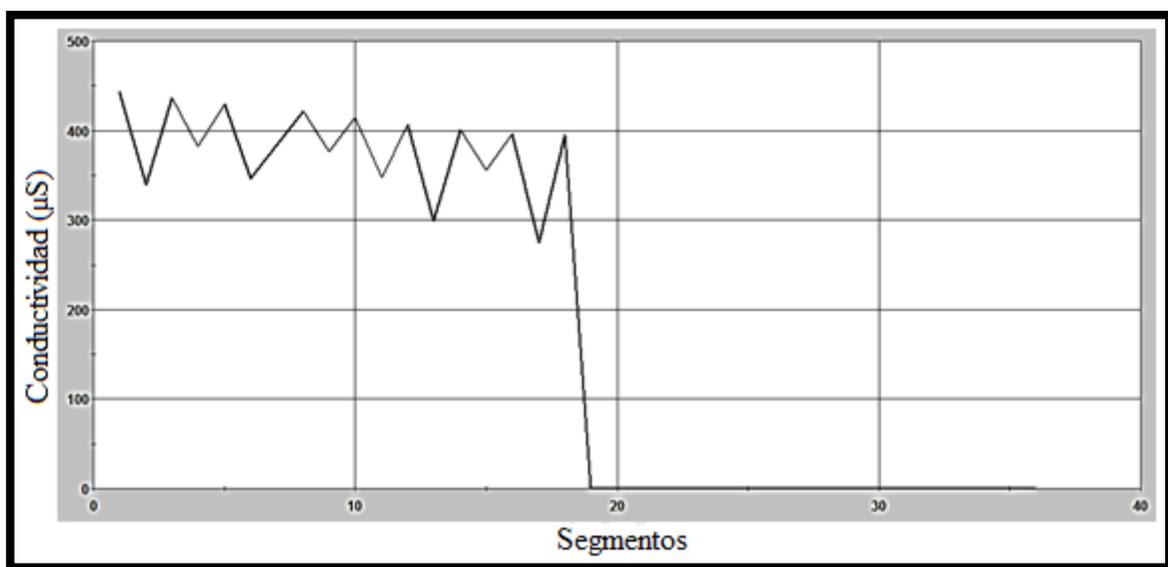


Figura 3. 72 Gráfico de conductividad por segmento en WASP.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

Este gráfico es más apropiado para el análisis comparativo, este gráfico representa los 18 puntos de estudio del río, la captura muestra el valor estimado de conductividad a través del río en un tiempo de 24 horas después de comenzada la simulación.

Cuando el análisis comparativo es preciso, decimos que el software esta calibrado; esto se mostrara en el capítulo 4.

3.4.2. MODELACIÓN CON ARSÉNICO.

El arsénico presenta valores más constantes a lo largo del río como se puede visualizar en la Tabla 3. 11 esto se puede visualizar en los dos gráficos que se presentan a continuación, el primero de ellos es el gráfico de la evolución en el tiempo para la concentración de arsénico

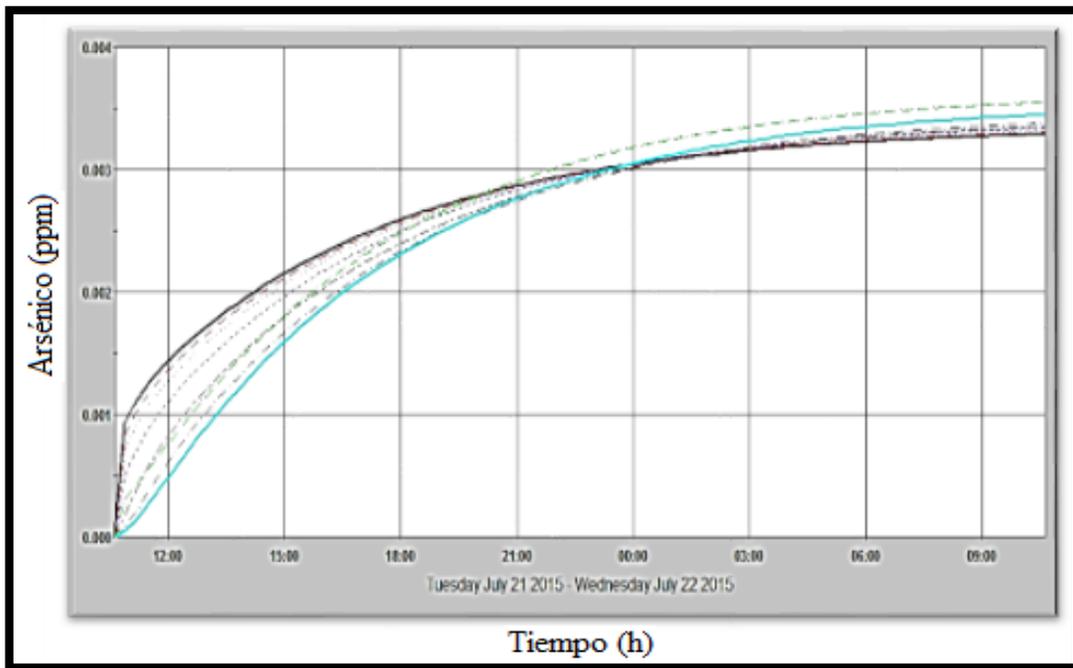


Figura 3. 73 Gráfico de la evolución de la concentración de arsénico con respecto al tiempo.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

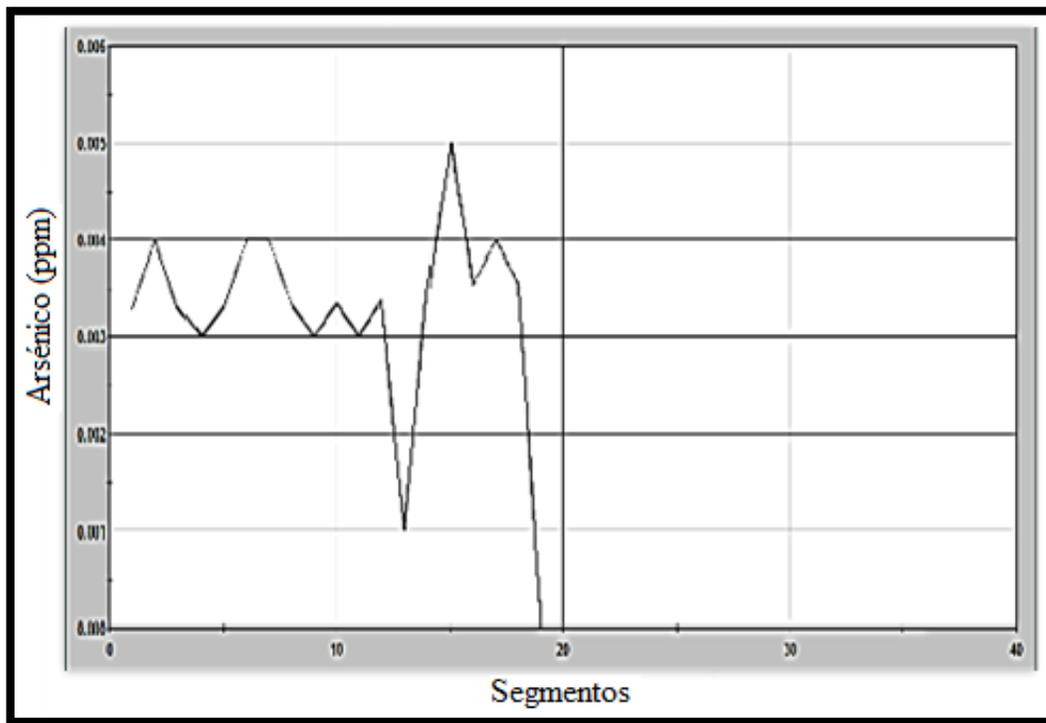


Figura 3. 74 Gráfico de la concentración de arsénico por segmento en WASP

Fuente: Elaboración propia, WASP.

Cabe resaltar que desde este punto ya se tienen algunas señales de la constancia en la concentración del río. Esta queda totalmente clara cuando vemos el gráfico por segmentos.

3.4.3. MODELACIÓN CON PLOMO.

En la Tabla 3. 12 se presentan los valores de plomo contenido en los sedimentos del río para los puntos en análisis. A partir de ello, y partiendo de que el software esta calibrado, simplemente se sustituyen los datos de conductividad insertados en el software para los tributarios y se procede a correr el software.

El primer gráfico en mostrarse es el gráfico que representa la evolución de la cantidad de plomo en el río con respecto al tiempo.

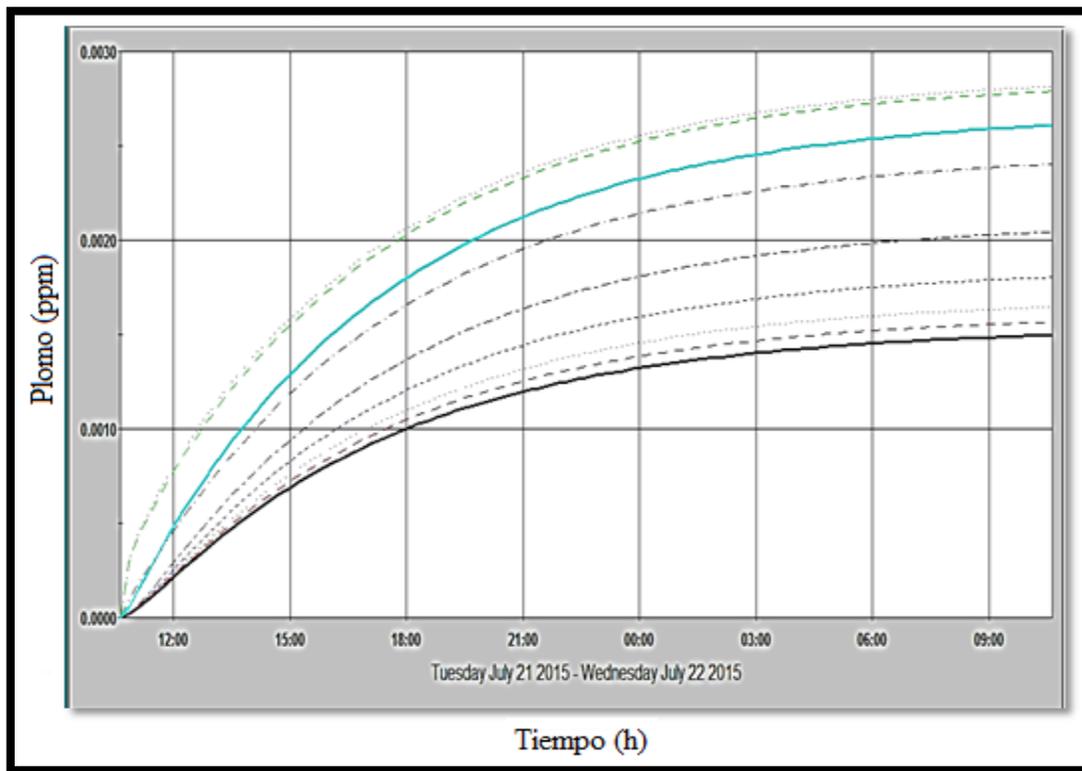


Figura 3. 75 Gráfico de la evolución de la concentración de plomo respecto al tiempo.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

De igual forma que en la anterior este gráfico sirve exclusivamente como una aproximación para ver el crecimiento de la concentración de plomo en el río en un tiempo determinado y para posteriormente realizar algunas predicciones.

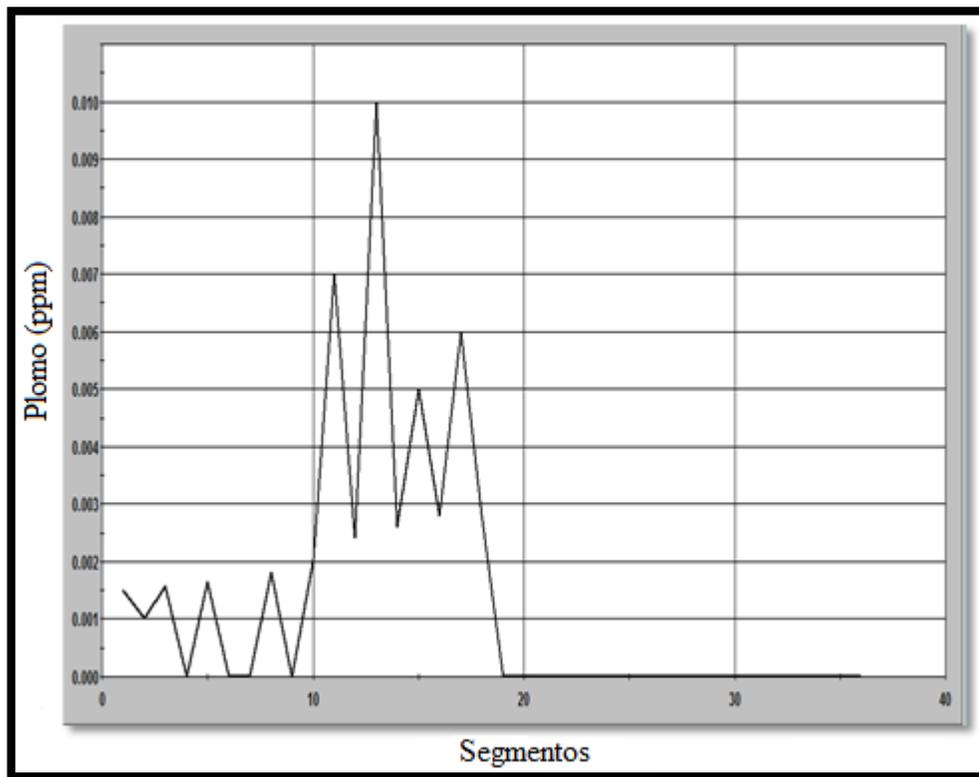


Figura 3. 76 Gráfico de la evolución de la concentración de plomo por segmento en WASP.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

En efecto de comparar con los datos que se tienen es preciso realizar otro tipo de gráfico como el que se muestra a continuación.

Este gráfico es apropiado para el análisis comparativo, que se desarrolla en el capítulo 4.

4. ANALISIS DE RESULTADOS

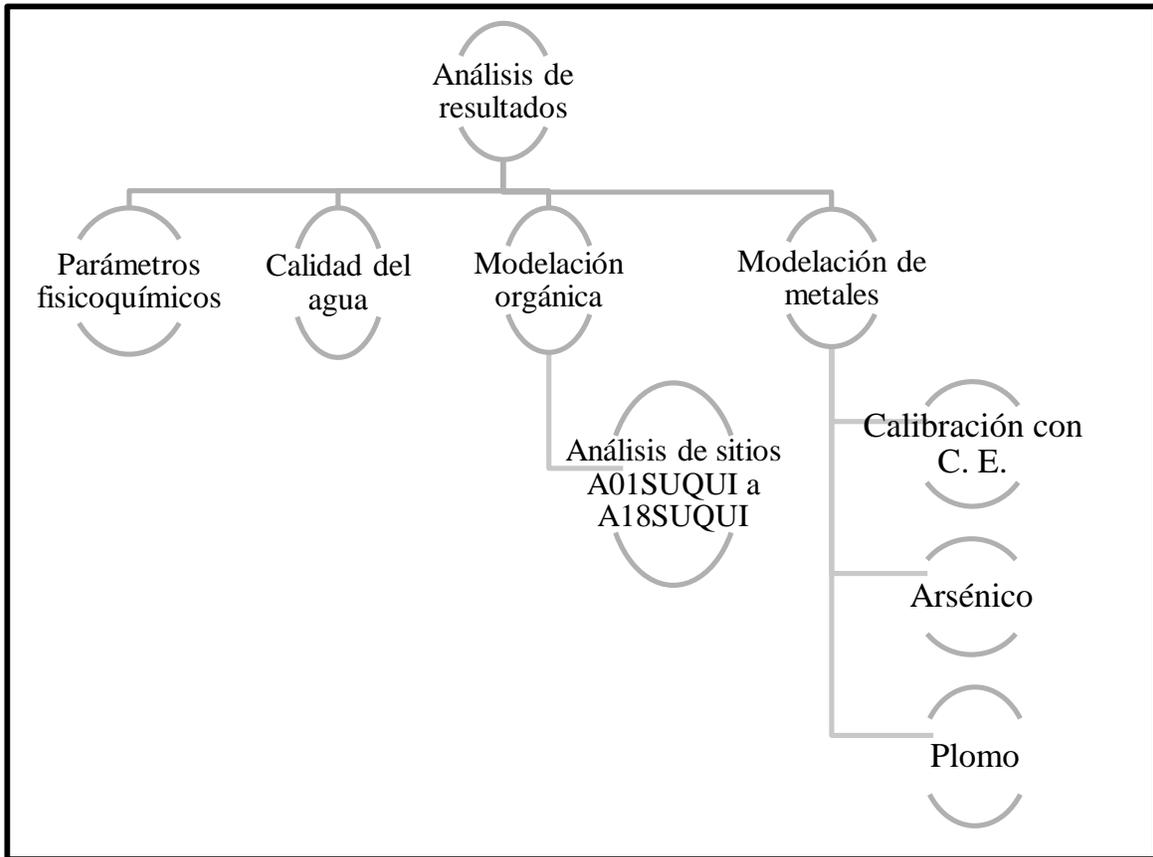


Figura 4. 1 Esquema del capítulo 4.

Fuente: Elaboración propia.

4.1. RESULTADOS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Los resultados fisicoquímicos son de gran utilidad ya que con ellos se obtienen valores de parámetros muy importantes con respecto a la medición de la calidad del cuerpo de agua en estudio.

4.1.1. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.

Este parámetro nos ayuda a conocer en forma rápida la variación del contenido de sales disueltas en aguas superficiales de uso doméstico e industrial y la presencia de posibles ácidos y bases que resultan ser buenos conductores eléctricos.

Se puede observar en la Figura 4. 2 que el punto A01SUQUI con $590 \frac{\mu S}{cm}$ es el que posee un valor muy elevado de conductividad sobrepasando lo que acontece la normativa (Norma Nacional Decreto No. 51, 1987) con respecto al límite máximo permisible para aguas superficiales que es de $500 \frac{\mu S}{cm}$ lo cual nos ayuda a analizar acerca de que hay mucha presencia de sales inorgánicas en el punto inicial de la investigación y alguna posible descarga de residuos ácidos o básicos provenientes de industrias del centro de la ciudad de Santa Ana.

Por consiguiente los valores obtenidos para los diecisiete puntos restantes no hay porque preocuparse ya que estos cumplen con la normativa establecida y quedan sujetos a análisis de otros parámetros fisicoquímicos para su completa evaluación.

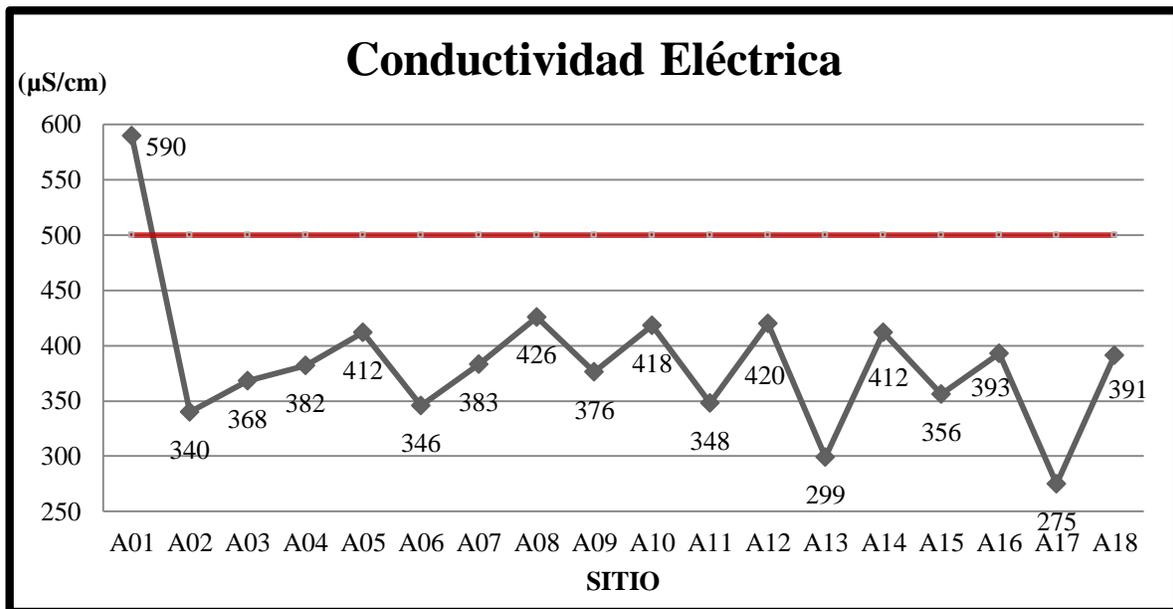


Figura 4. 2 Gráfico de resultados Conductividad Eléctrica

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS.

Este parámetro nos ayuda a conocer la cantidad de sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en forma molecular (coloides en el caso de las sustancias orgánicas), son sustancias con un tamaño igual o menor a 2 micrómetros invisibles al ojo humano los cuales pueden ser muy contaminantes para la salud humana y la biodiversidad del cuerpo de agua.

Como se observa en la Figura 4. 3 La gráfica de los valores obtenidos de total de sólidos disueltos, el punto que más presencia posee de estas sustancias es el A01SUQUI con 294 ppm pero analizándolos con respecto a la normativa aplicada no hay un punto que sobrepase el límite máximo permisible para las aguas superficiales de 400 ppm teniendo en cuenta que esto es un punto a favor para la calidad de agua de los sitios de estudio.

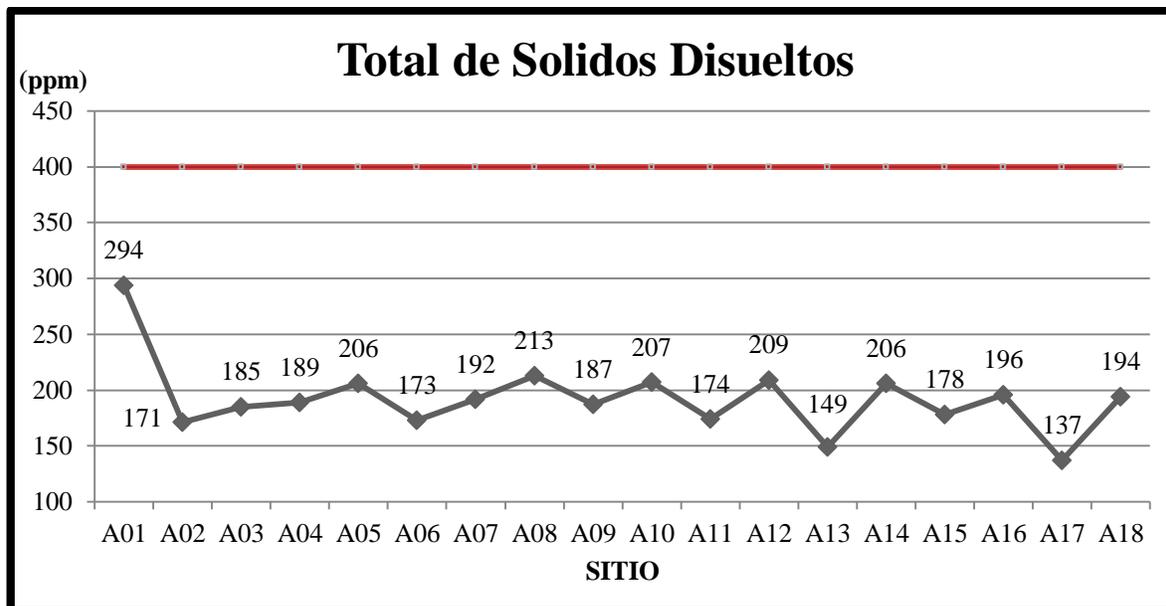


Figura 4. 3 Gráfico de resultados de Total de Sólidos Disueltos.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. TURBIDEZ

Este parámetro mide la falta de transparencia del agua debido a la presencia de partículas en suspensión las cuales absorben calor de la luz del sol haciendo que las aguas se tornen con temperatura más elevada contribuyendo a la baja concentración de oxígeno disuelto en el agua.

Viendo la Figura 4. 4 la se puede observar la gráfica de los valores obtenidos de turbidez respecto a los sitios de medición, en el cual el valor más elevado se presenta en el punto A03SUQUI con 75.8 NTU pero no se toma mucho en cuenta debido a que el límite máximo permisible para este parámetro es de 250 NTU la cual sobrepasa por mucho al máximo valor

encontrado en los datos recolectados y por ende de los dieciocho puntos analizados no hay un valor de turbidez que no sea aceptable.

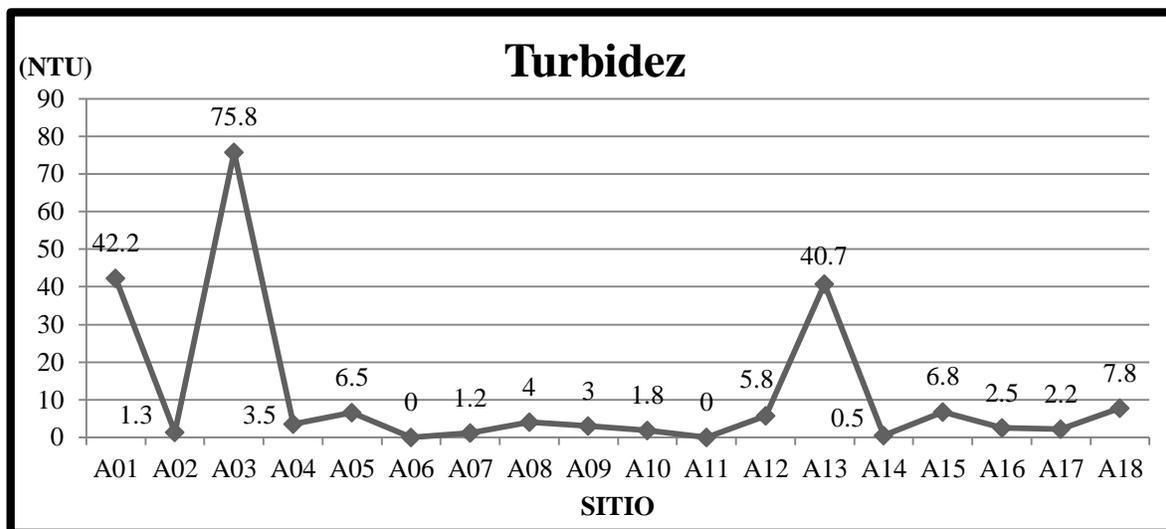


Figura 4. 4 Gráfico de resultados de Turbidez.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. POTENCIAL DE HIDRÓGENO.

El pH nos ayuda a conocer la acidez o alcalinidad de las aguas, en este caso para obtener una calidad de agua beneficiosa desde el punto de vista de este parámetro el valor del pH debe de oscilar entre 6.5 – 9 siendo de esta manera un valor relativamente neutro para tomar en cuenta en aguas superficiales.

Se puede observar en la Figura 4. 5 la gráfica de los valores obtenidos de potencial de hidrógeno, respecto a los sitios de medición en el cual se observa que del total de los puntos analizados no hay un solo valor que se salga de los rangos proporcionados por la normativa, por lo que respecta desde el punto de vista del análisis del pH es favorable para el posterior análisis de la calidad de agua.

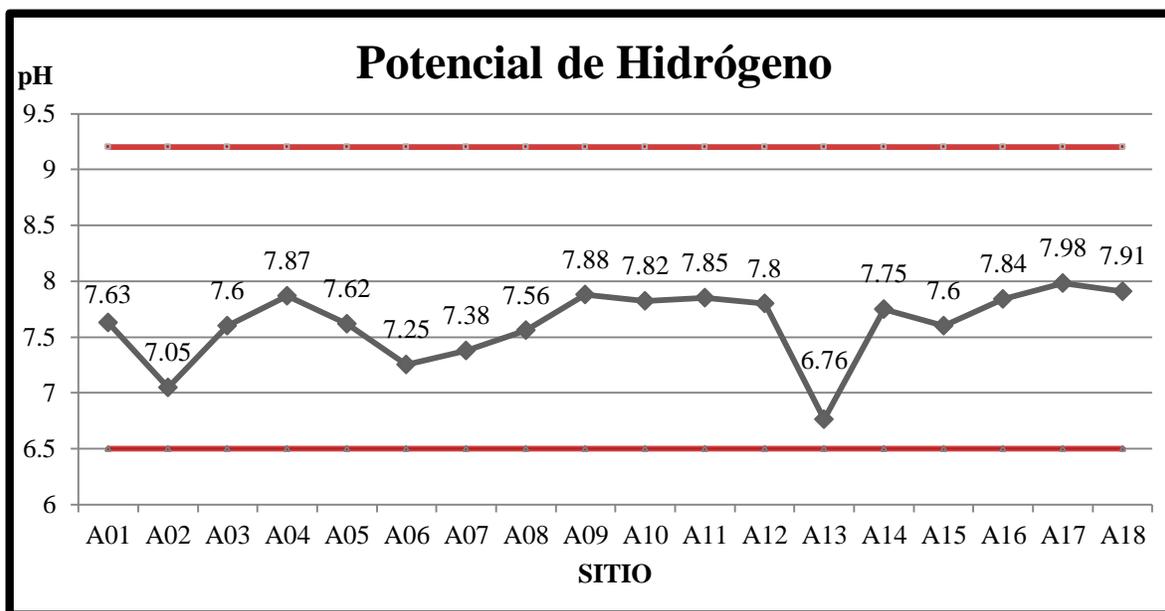


Figura 4. 5 Gráfico de resultados de pH.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. OXÍGENO DISUELTO

Este parámetro es de gran importancia ya que la baja concentración del mismo influye en la falta de vida acuática en los cuerpos de agua valga la redundancia y es fundamental en el análisis tanto de calidad de agua y modelación orgánica.

Se puede observar en la Figura 4. 6 la gráfica de los valores obtenidos de oxígeno disuelto, respecto a los sitios de medición, en los cuales la mayoría de los puntos están por debajo del límite mínimo permisible para aguas superficiales que es de 4 ppm siendo uno de los mayores problemas en el río y causa de su poca biodiversidad siendo este uno de los parámetros a tomar en cuenta en la propuesta de descontaminación del río principal.

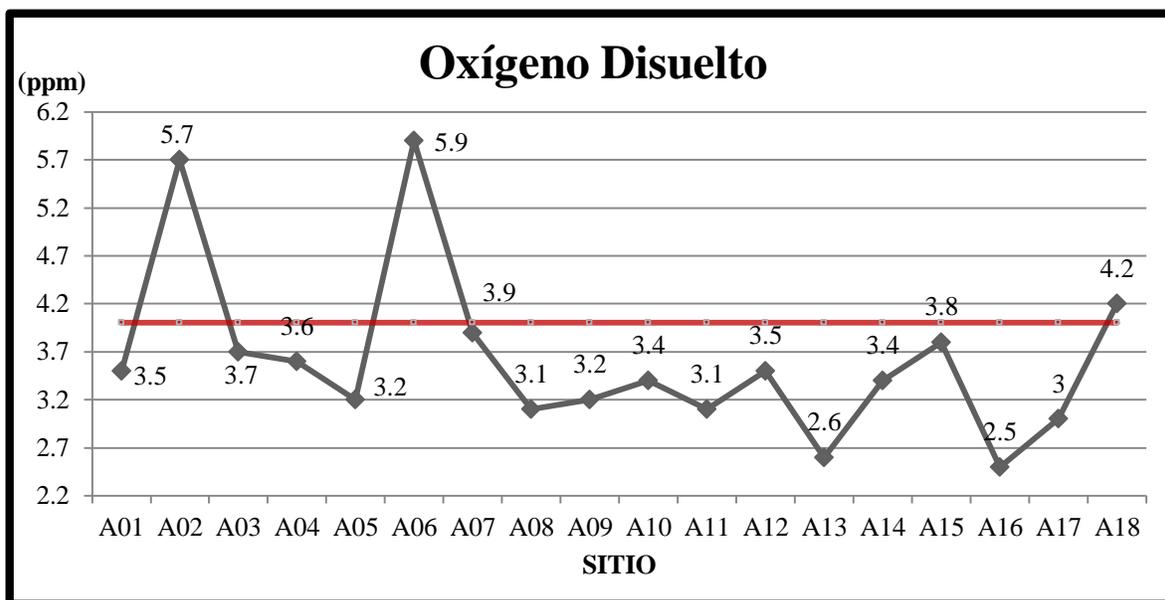


Figura 4. 6 Gráfico de resultados de Oxígeno Disuelto.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.6. HIERRO

El hierro no representa un daño a la salud, más bien este es un contaminante secundario ya que el exceso de este podría dar un sabor metálico y un color desagradable a la vista el valor para cuerpos de aguas superficiales por lo general es insignificante para considerarlo en un análisis de calidad de agua pero de igual manera se analiza.

En la Figura 4. 7 se puede observar la gráfica de los valores obtenidos de hierro respecto a los sitios de medición en el cual se observa que todos los valores analizados se encuentran bajo el límite máximo permisible de la norma que es de 0.3 ppm a excepción del punto A03SUQUI que posee el valor límite permisible lo cual se puede deber a la proximidad de ese punto una granja piscícola en donde el concentrado utilizado para alimentar a las tilapias contiene entre sus ingredientes hierro y parte de este concentrado puede ser conducido al cauce principal del río.

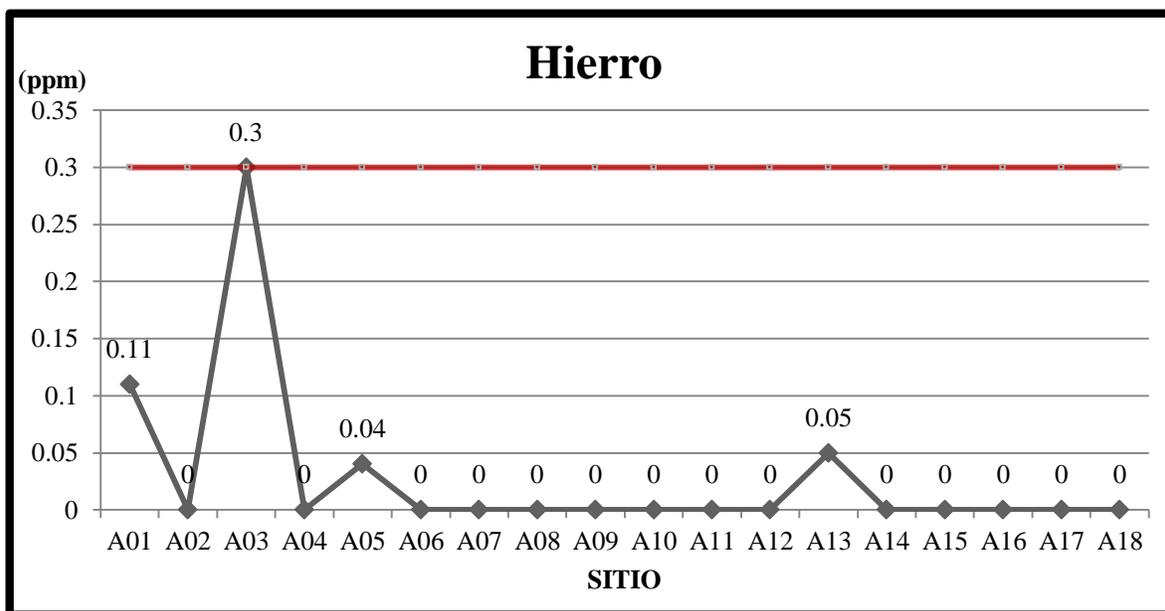


Figura 4. 7 Gráfico de resultados de Hierro.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.7. CLORO LIBRE

El cloro libre es el que mayor poder desinfectante y oxidante posee este puede estar como ácido hipocloroso o anión hipoclorito que puede reaccionar rápidamente con amoníaco y algunos compuestos nitrogenados para formar cloro combinado el límite máximo permisible para aguas superficiales es de 1.1 ppm.

Como se observa en la Figura 4. 8 la gráfica de los valores obtenidos de cloro libre respecto a los sitios de medición el valor más alto lo posee el punto A03SUQUI con 0.35 ppm pero al igual que los demás valores de los puntos restantes está muy por debajo del límite máximo permisible por lo que es un parámetro que se encuentra en buenas condiciones en el cuerpo de agua analizado.

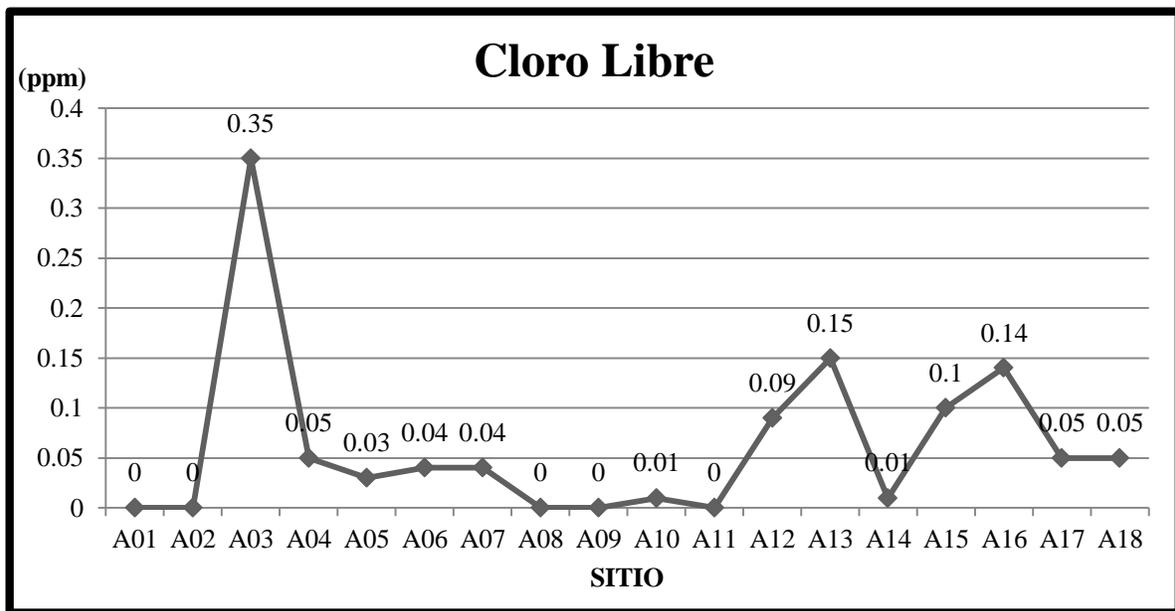


Figura 4. 8 Gráfico de resultados de Cloro libre.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.8. YODO

Este parámetro no presenta un peligro a la contaminación del cuerpo de agua por lo cual no se posee algún límite permisible para comparar por lo que el mismo solo fue analizado para incluirlo en la ficha técnica de cada sitio analizado, sabiendo también que la poca presencia de yodo en la alimentación puede causar daños a la salud como hinchamiento de la glándula tiroidea caso contrario con una gran presencia de yodo en la alimentación este puede hacer que la glándula tiroidea trabaje demasiado y provoque taquicardias y pérdida de peso.

En la Figura 4. 9 se puede observar la gráfica de los valores obtenidos de yodo respecto a los sitios de medición denotando la carencia de límites permisibles pero observando un leve incremento de concentración de yodo en algunos puntos siendo el de mayor concentración el sitio A06SAUCE con 2.15ppm lo cual a criterio de grupo no sería una concentración excesiva de yodo en el cuerpo de agua.

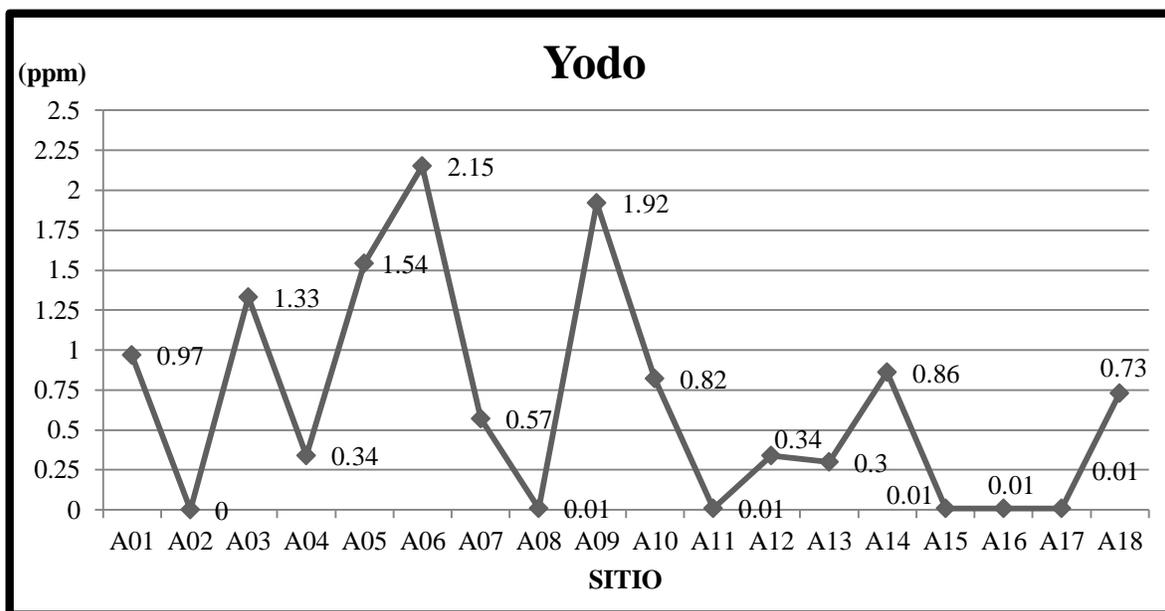


Figura 4. 9 Gráfico resultado de Yodo.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.9. BROMO

Los bromuros orgánicos son a menudo utilizados como desinfectantes y protectores por sus efectos hacia los microorganismos los cuales pueden ser agregados a campos de cultivos y ser arrastrados fácilmente a aguas superficiales generando así problemas a la salud de los peces y algas. Algunos efectos importantes sobre los animales son daños nerviosos y aumenta las probabilidades de desarrollar cáncer por lo que muchos animales pueden ser sacrificados.

En la Figura 4. 10 se observa la gráfica de los valores obtenidos de bromo respecto a los sitios de medición teniendo un valor de límite máximo permisible de 1 ppm se tiene que el valor más alto corresponde al sitio A03SUQUI con 0.64 ppm lo cual está debajo del límite permisible por lo cual los demás valores no afectan en localidad de agua de cada uno de los sitios analizados.

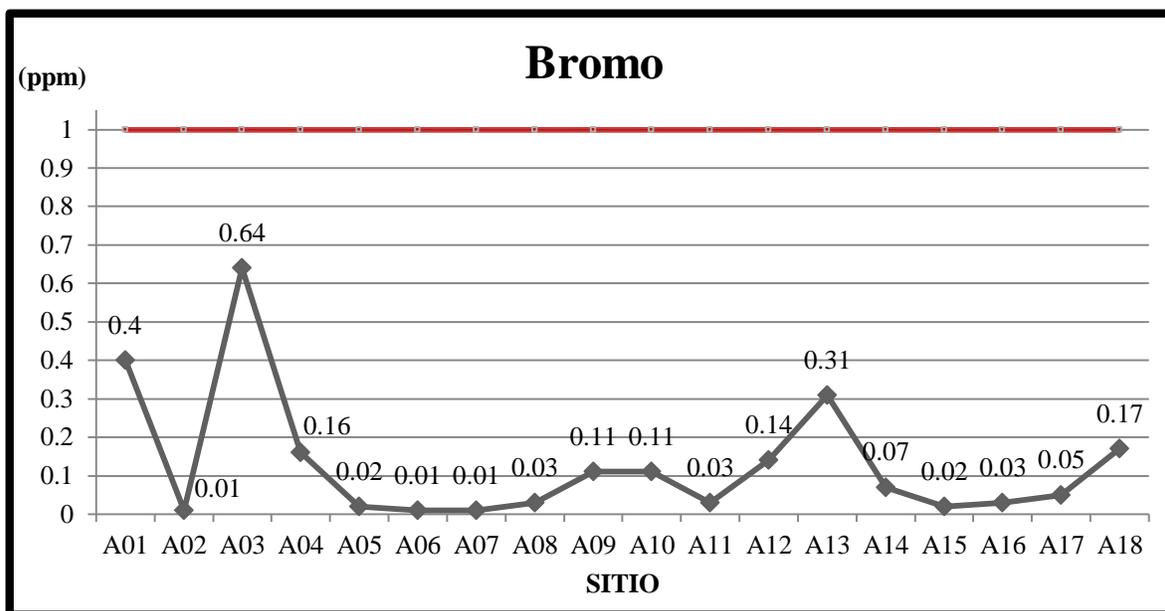


Figura 4. 10 Gráfico de resultados de Bromo.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.10. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Este parámetro da a conocer cuanta es la cantidad de oxígeno que requiere los microorganismos presentes en el cuerpo de agua para la oxidación anaerobia de la materia orgánica biodegradable presente, en otras palabras es la cantidad de oxígeno necesario para la depuración de las aguas.

Viendo la Figura 4. 11 en donde se observa la gráfica de los valores obtenidos de DBO_5 respecto a los sitios de medición, en el cual el valor máximo encontrado es para el punto A01SUQUI con 126.25 $ppmO_2$ el cual es exageradamente alto al límite máximo permisible que es de 4 $ppmO_2$ de igual manera muchos de los puntos analizados sobrepasan el límite máximo y esto confirma un problema de contaminación por materia orgánica para, sobre todo, el río principal.

Observando a su vez algunos ríos tributarios que si cumplen con la normativa y otros como es el caso del A02VERTI este pasa levemente el límite máximo debido a la transferencia de contaminación que le genera el primer punto (A01SUQUI) en donde en campo se observaba la interface entre el agua vertiendo y el agua contaminada del cauce del río principal.

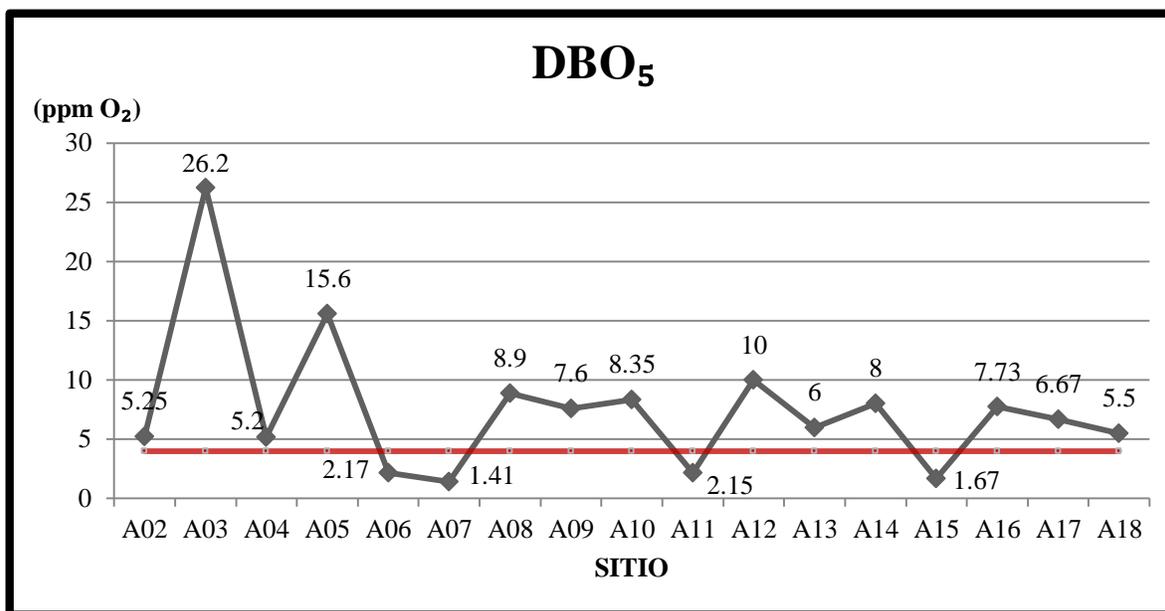


Figura 4. 11 Gráfico de resultados de DBO₅.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.11. ARSÉNICO

El arsénico puede ser encontrado de forma natural, este puede ser absorbido por las personas en mayor cantidad por el consumo de peces y mariscos que vivan en aguas con concentraciones elevadas de arsénico aunque este puede ser el compuesto de forma orgánica que causa menos daño, pero puede contener significantes cantidades de compuesto de forma inorgánica que son un peligro potencial para la salud

En la Figura 4. 12Figura 3. 12 se puede observar la gráfica de los valores obtenidos de arsénico respecto a los sitios de medición, en los cuales se analiza una constancia en los valores de arsénico siendo el único que se eleva el punto A15PUENTE el cual iguala al límite máximo permisible de 0.005 ppm propuesto por el Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente en la hoja de cálculo para el análisis del índice de calidad de agua canadiense.

Por lo que se concluye que la presencia de arsénico en el cuerpo de agua de la parte alta de la subcuenca del río Suquiapa se debe a que se encuentra de forma natural.

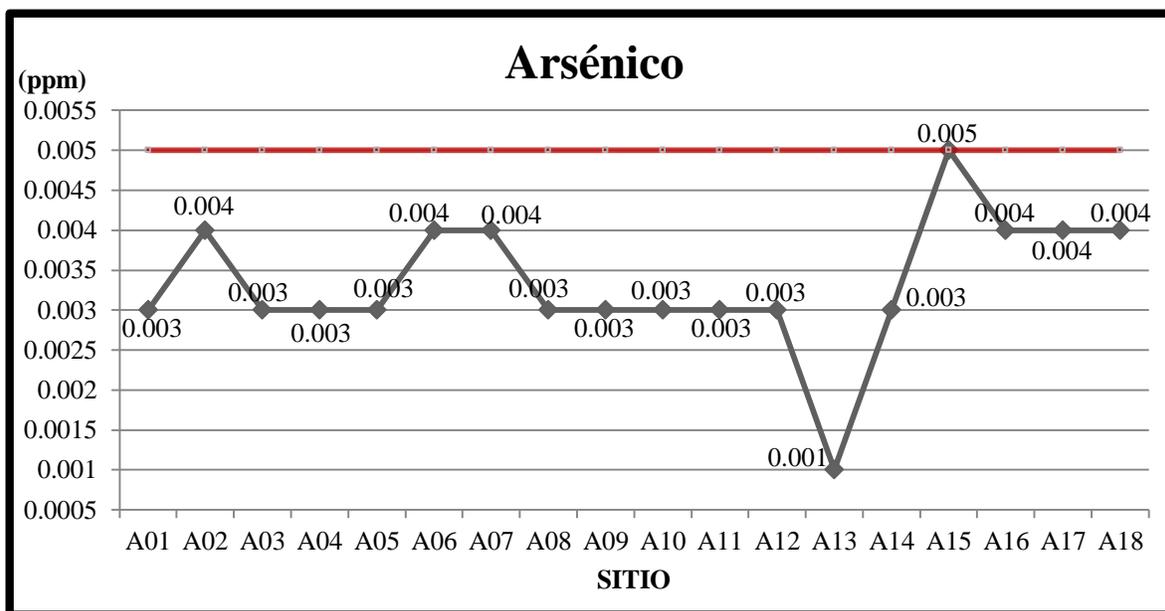


Figura 4. 12 Gráfico de resultados de Arsénico.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.12. PLOMO

El plomo puede ser ingerido en un 65% a través de la comida siendo estas frutas, vegetales, carnes, granos, mariscos, refrescos y vinos pueden contener trazas de este metal en nuestro país se debe a la contaminación de algunos cuerpos de agua con este metal y las cuales se utilizan para regar los cultivos y como alimento para los animales.

Entre los daños que este puede causar se encuentran: el aumento de presión sanguínea, daño a los riñones, abortos, perturbación del sistema nervioso, daños al cerebro entre otros.

Se puede observar en la Figura 4. 13 la gráfica de los valores obtenidos de plomo respecto a los sitios de medición en el cual se pueden observar varios puntos que sobrepasan el límite máximo permisible que es de 0.01 ppm siendo el punto con mayor valor el A10SUQUI con 0.157 ppm el cual no aparece en la gráfica mencionada por ser extremadamente alto con respecto al límite máximo permisible.

Surgiendo el aumento de la concentración de plomo desde este punto y los demás río abajo se responde que este aumento se debe a cargas difusas que pueden ser provenientes de los

terrenos de cultivo de caña los cuales empiezan en ese mismo sitio geográfico los cuales utilizan pesticidas y fertilizantes que pueden contener trazas de plomo y sean descargados al río principal y tributarios por medio de las aguas pluviales.

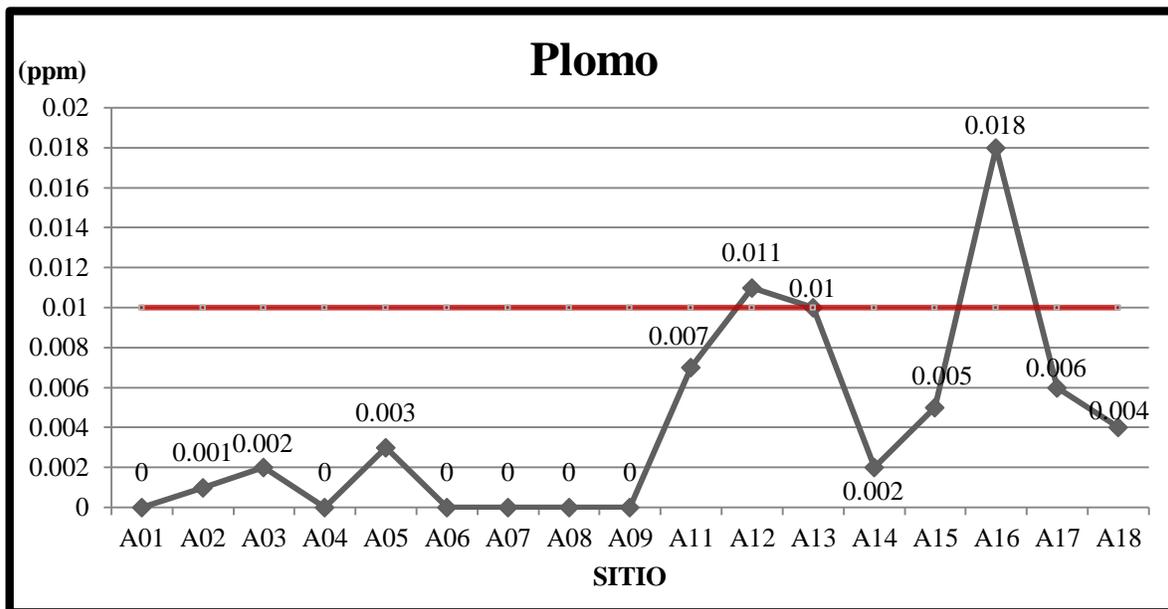


Figura 4. 13 Gráfico de resultados de Plomo.

Fuente: Elaboración propia.

4.2. RESULTADOS DE CALIDAD DE AGUA

La calidad de agua mostrada en la Figura 4. 14 da a analizar que la mayoría de los puntos situados en el río principal poseen una calidad de agua de categoría Regular lo cual indica que el agua está protegida, pero en presencia de amenaza o afectación y las condiciones a menudo se apartan de los niveles naturales o deseables. Con excepción a los puntos A01SUQUI y A10SUQUI siendo el primero el que posee el menor índice de calidad de agua con un valor de 52, estos caen en la categoría Marginal (ver Tabla 3. 13).

Si observamos la Figura 4. 15 podemos analizar que la calidad de agua de los principales ríos tributarios es aceptable las cuales se encuentran en el rango de buenas hasta excelente siendo de esta categoría el sitio A06SAUCE el cual no sobrepasó ningún límite permisible por lo que no generó amplitud, frecuencia ni alcance teniendo un valor de índice de calidad de agua de 100. La cual es una excelente agua superficial.

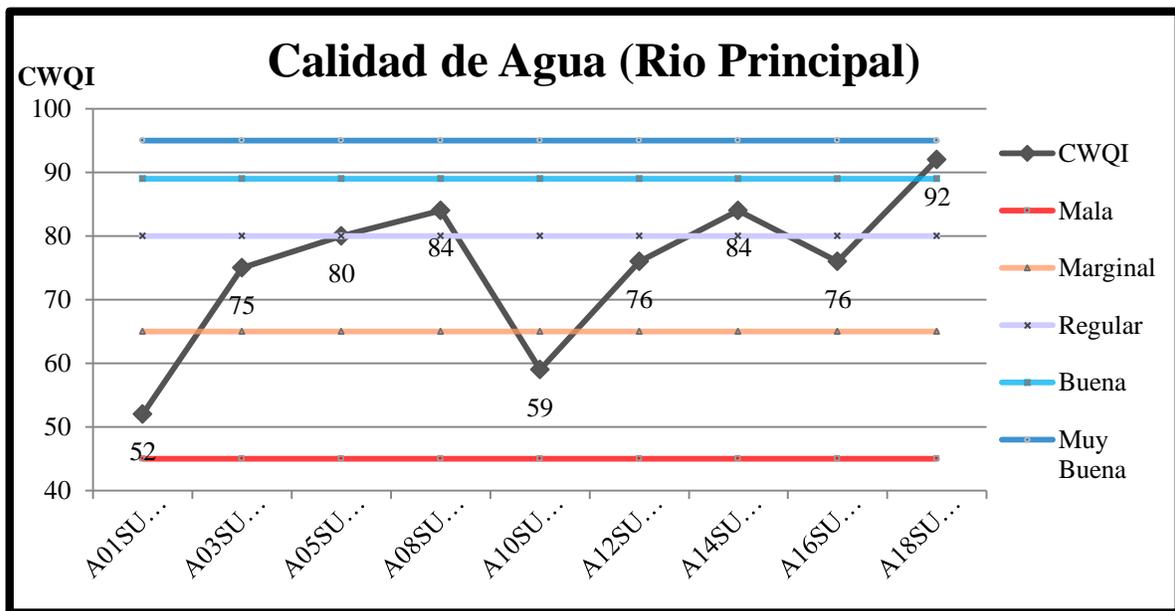


Figura 4. 14 Gráfico resultado del Índice de Calidad de Agua Canadiense, río principal.

Fuente: Elaboración propia.

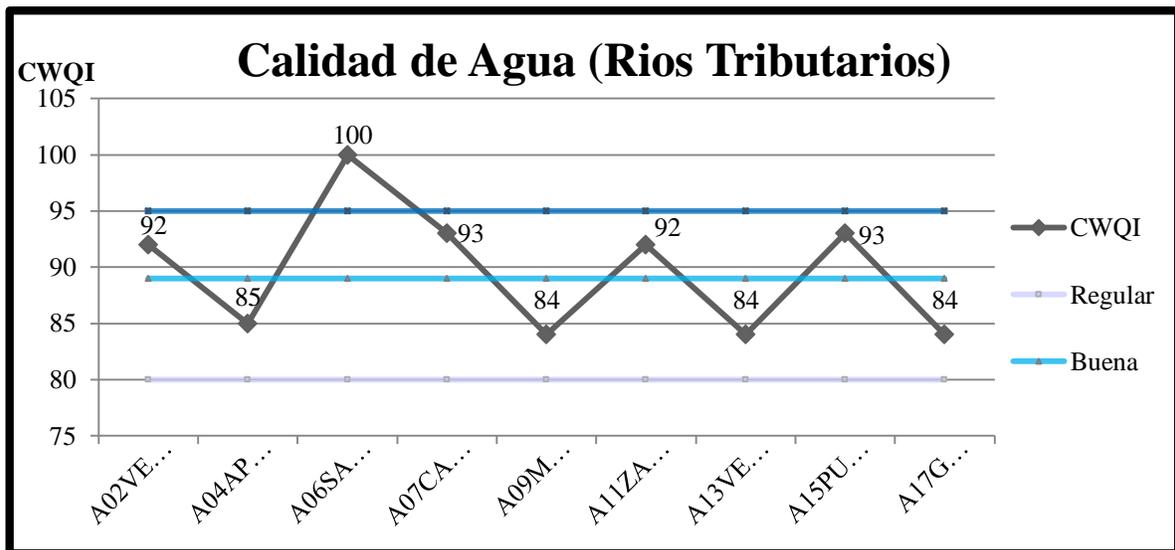


Figura 4. 15 Grafico resultado del Índice de Calidad de Agua Canadiense, ríos tributarios.

Fuente: Elaboración propia.

Analizando la Tabla 3. 14 se observa que la calidad de agua del conjunto de todos los sitios muestreados que corresponden a la parte alta de la subcuenca del río Suquiapa posee un valor de 73 cuya caracterización es Regular y su descripción puede verse en la Tabla 3. 14 a lo que

corresponde a un tipo de agua de la que no se debe de preocupar aclarando que falta el procedimiento de modelación de la carga orgánica y los metales pesados.

4.3. ANÁLISIS DE LA MODELACIÓN ORGÁNICA UTILIZANDO EL SOFTWARE WQMCAL

En el modelo de ríos DBO₅-OD la descomposición de la materia orgánica biodegradable es expresada por un proceso de decaimiento de lo DBO₅ (L), de primer orden, en función del tiempo, donde el tiempo t es igual a la distancia aguas debajo de la descarga, dividido por la velocidad de la corriente. La Tabla 4. 1, nos presenta un resumen de los datos críticos que serán de utilidad en este capítulo.

Tabla 4. 1 Tabla resumen de modelación orgánica.

PUNTO DE ANÁLISIS.	D₀ (mg/l)	K1 (1/día)	K2 (1/día)	T_{crit} (día)	DO_{crit} (mg/l)
A01SUQUI- A02VERTI	4.2	1.78	3.78	0.35	0.00
A03SUQUI- A04APANT	4.4	1.80	3.24	0.27	1.36
A05SUQUI- A06SAUCE	4.8	1.63	3.30	0.17	2.98
A07CARCA- A08SUQUI	4.8	2.02	3.51	0.00	3.16
A09MOLIN- A10SUQUI	4.6	1.88	3.32	0.01	3.38

PUNTO DE ANÁLISIS.	D₀ (mg/l)	K₁ (1/día)	K₂ (1/día)	T_{crit} (día)	DO_{crit} (mg/l)
A11ZARCO- A12SUQUI	4.3	0.98	1.58	0.21	3.26
A13VERTI- A14SUQUI	4.6	0.57	1.00	¿?	¿?
A15PUENTE- A16SUQUI	5.4	1.73	5.17	¿?	¿?
A17GUILGU- A18SUQUI	3.9	3.97	11.52	¿?	¿?

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a Saravia (2010), la curva de agotamiento de oxígeno puede dividirse en cuatro zonas que pueden observarse dependiendo del comportamiento del río aguas abajo, zona de degradación, de descomposición activa, de recuperación y agua limpia.

-Zona de degradación (z1), se produce inmediatamente al descargar las aguas residuales en la corriente, apareciendo sólidos flotantes, turbiedad y reducción del oxígeno, en esta zona desaparecen los peces y algas verdes, aparecen algas verdes y azules en las piedras mojadas y gusanos parecidos a las lombrices de tierra en los lodos de sedimento. También existen hongos y protozoos ciliados.

-Zona de descomposición activa (z2), con características de agua de color gris oscuro, en esta zona el oxígeno se reduce a su nivel más bajo, incluso puede llegar a cero, para iniciar la recuperación y lentamente sube su concentración. La reducción de oxígeno puede dar lugar a condiciones sépticas y malos olores, no existen peces y los organismos de descomposición

de la materia orgánica trabajan arduamente, desprendiendo gases que originan malos olores. A medida que disminuye la descomposición aumenta el oxígeno.

-Zona de recuperación (z3), con la recuperación del oxígeno, el agua es más clara y aparecen la vida en el cauce, como protozoos, rotíferos y crustáceos. Se presentan plantas superiores, caracoles, insectos y ciertas especies de mariscos y hasta peces resistentes como carpas.

-Zona de agua limpia (z4), el oxígeno disuelto alcanza su nivel más alto, muy cercano a niveles de saturación, existen peces y la corriente se ha restaurado a las condiciones naturales.

Las respectivas zonas se pueden identificar en la Figura 4. 16.

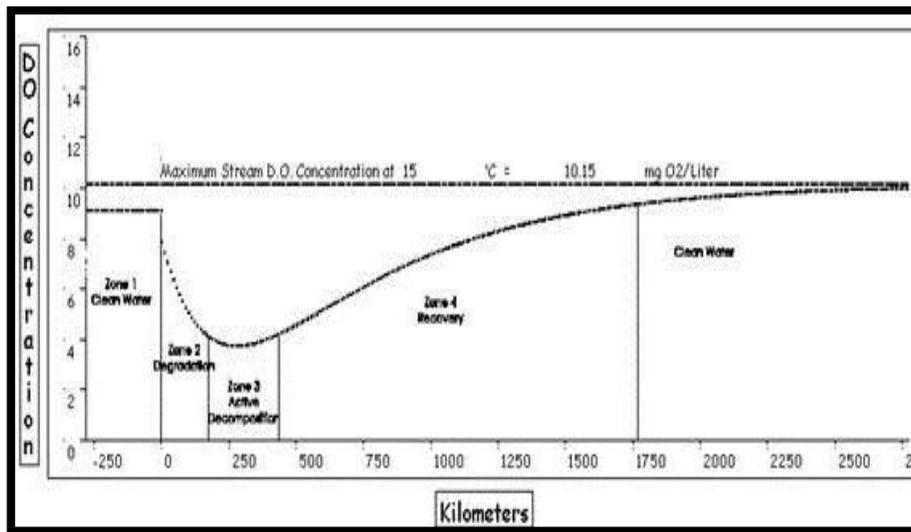


Figura 4. 16 Zonas de recuperación del río.

Fuente: (Saravia, 2010).

Para realizar el análisis de puntos también es importante la clasificación realizada por el software WQMCAL, que categoriza los valores de DBO₅ y OD como excelente, bueno, tolerable, contaminado y muy contaminado.

WQ limits	BOD, mg/l biological oxygen demand less than	O2, mg/l dissolved oxygen greater than
I. Excellent	4.0	7.0
II. Good	6.0	6.0
III. Tolerable	10.0	4.0
IV. Polluted	15.0	3.0
V. Heavily polluted		
Alarm level for longitudinal wave model, mg/l	15.0	
Critical level to transversal mixing model, mg/l	15.0	

OK

Figura 4. 17 Clasificación de la calidad de agua WQMCAL

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

4.3.1. ANÁLISIS DE LOS PUNTOS A01SUQUI Y A02VERTI.

- Ubicación.

El sitio A01SUQUI es el punto de partida de nuestra modelación, cercano al Beneficio El Sauce. Aproximadamente a 30 metros de A01SUQUI, se encuentra el tributario conocido por los lugareños como Vertiente, A02VERTI. Ver Figura 4. 18.



Figura 4. 18 Localización de los puntos A01SUQUI y A02VERTI.

Fuente: Elaboración propia.

- Modelo de DBO₅/OD para A01SUQUI y A02VERTI.

A continuación se presentan los gráficos de decaimiento de DBO₅ y la curva de agotamiento de oxígeno. A partir de los datos de temperatura, distancia y oxígeno disuelto críticos producidos por el software WQMCAL de la forma descrita en el capítulo 3 (ver figuras 3.21 y 3.22.), podemos realizar el siguiente análisis en dichos puntos.

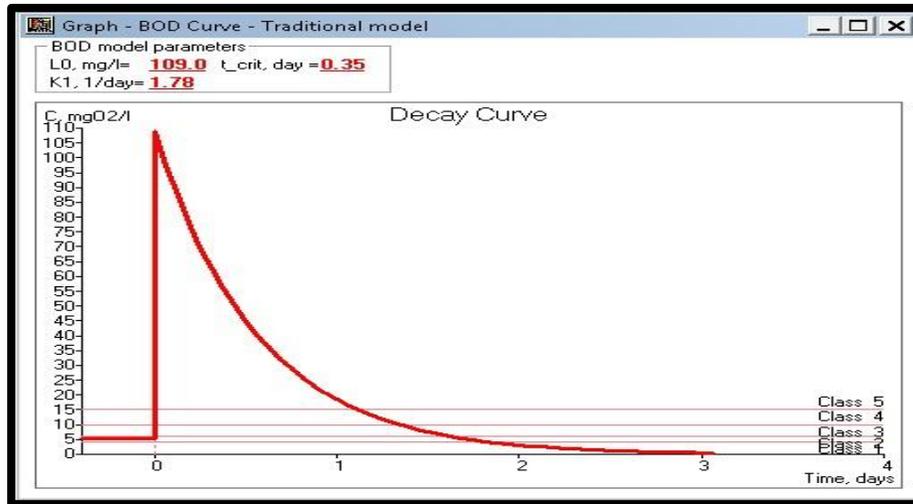


Figura 4. 19 Curva de decaimiento de carga orgánica A01SUQUI y A02VERTI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

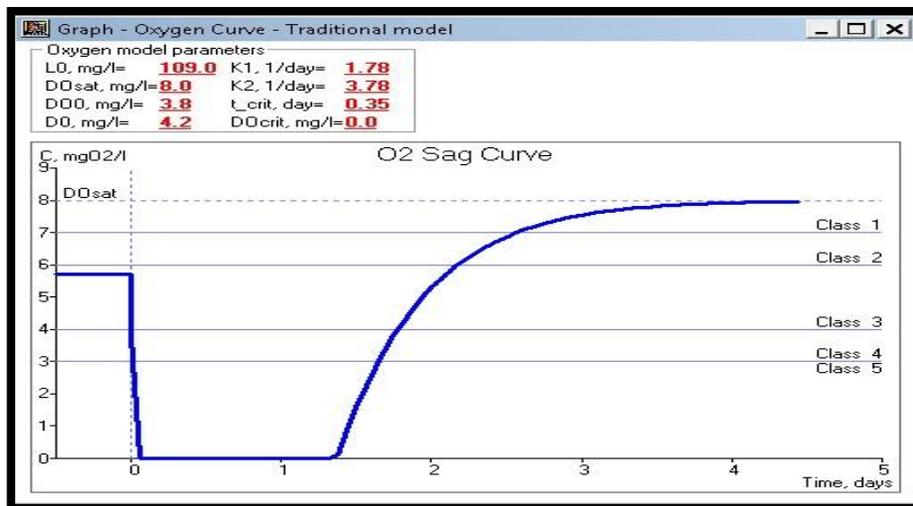


Figura 4. 20 Curva de caída de oxígeno A01SUQUI y A02VERTI.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

- Discusión de resultados.

-En la curva de agotamiento de oxígeno se observa una zona de degradación que comienza en $t=0$, hasta un tiempo crítico de 0.35 días (8.4 horas), esto significa que teóricamente el OD_0 disminuirá su valor inicial de 3.8 mg/l hasta 0 mg/l cuando haya recorrido una distancia de 7.56 km ($x_{crit} = v * t_{crit}$) en 8.4 horas.

-La zona de descomposición, corresponde a un valor crítico de OD_{crit} de 0.00 mg/l, en esta zona, a una distancia de 7.56 km de la “descarga” o unión de A01SUQUI y A02VERTI, se presenta un valor muy alto de déficit de oxígeno, por lo que es en este punto donde las actividades agrícolas no son posibles y la vida de las especies acuáticas corren peligro.

-A partir de estos puntos críticos se produce la zona de recuperación, aproximadamente después de 7.56 km, río debajo de la unión de la vertiente y el río principal y que teóricamente llegaría a su valor ideal (concentración igual al de oxígeno saturado, 8.0 mg/l) aproximadamente a partir del tercer día, de hecho, esa recuperación total nunca ocurre, debido a que río abajo se une otro tributario, el A04APANT.

-La calidad del agua del río llega tener concentraciones muy bajas de oxígeno disuelto y considerando los tipos considerados por el software WQMCAL (Ver Figura 4. 20) se clasifica como MUY CONTAMINADA.

-Posteriormente, se establecerá un tratamiento de remediación para remover el exceso de carga orgánica del río en este punto, debido a que una disminución del DBO_5 en la corriente A01SUQUI, afectaría positivamente a los demás puntos de la corriente principal.

4.3.2. ANÁLISIS DE LOS PUNTOS A03SUQUI Y A04APANT.

- Ubicación.

A03SUQUI se encuentra situado antes de la unión del río Suquiapa con el río Apanteos, a 25 metros aguas arriba de la unión de los ríos. A04APANT (río Apanteos) se encuentra dentro del Beneficio El Sauce.



Figura 4. 21 Ubicación de los puntos A03SUQUI y A04APANT.

Fuente: Elaboración propia.

- Modelo de DBO₅/OD para A03SUQUI y A04APANT.

Los resultados de la curva de decaimiento de DBO₅ y de agotamiento de oxígeno realizados en el programa WQMCAL para los puntos de muestreo A03SUQUI Y A04APANT son los siguientes:

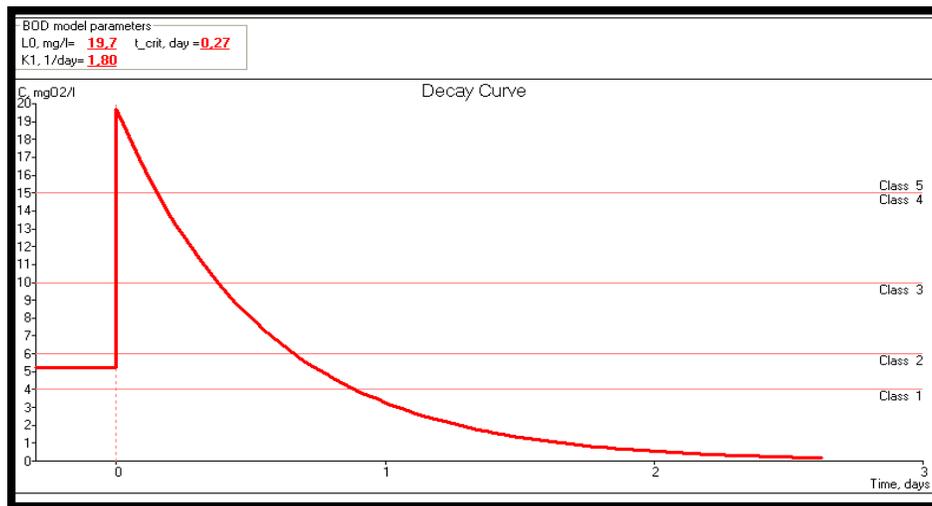


Figura 4. 22 Curva de decaimiento de DBO₅ A03SUQUI-A04APANT.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

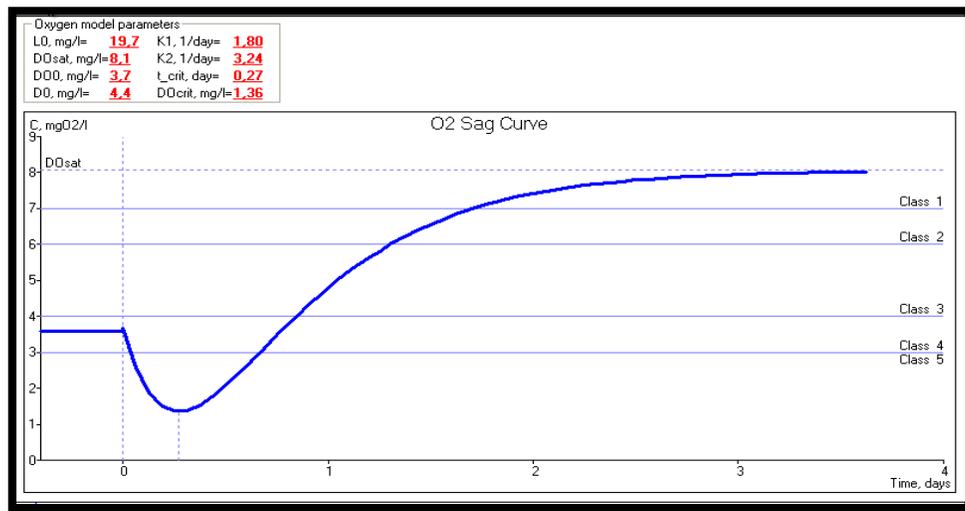


Figura 4. 23 Curva de caída de OD A03SUQUI-A04APANT.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

- Discusión de resultados.

-En las curvas de decaimiento de DBO_5 y de agotamiento de oxígeno se observa una zona de degradación que comienza en $t=0$ hasta $t_{crit}=0.27$ días (6.48 horas), la cantidad de oxígeno disuelto crítico, DO_{crit} , es de 1.36 mg/l, esto significa que debido a la pobre cantidad de oxígeno disuelto no puede haber organismos acuáticos en el río y su calidad no es apta para consumo ni para potabilización.

-La zona de descomposición, corresponde a un valor crítico de OD_{crit} de 1.36 mg/l, en esta zona, aproximadamente a 6.48 horas y a una distancia de 4.97 km de la “descarga” o unión de A03SUQUI y A04APANT, esta pobremente concentrado de oxígeno por lo que es en este punto donde no es seguro ocupar el agua para riego y mucho menos para consumo.

-A partir de estos puntos críticos se produce la zona de recuperación, aproximadamente después de 4.97 km, río debajo de la unión de la vertiente y el río principal, y que teóricamente llegaría a su valor ideal (concentración igual al de oxígeno saturado, 8.1 mg/l) aproximadamente a partir del tercer día.

-La calidad del agua del río presenta concentraciones muy bajas de oxígeno disuelto y considerando la clasificación realizada por el software WQMCAL, este punto pertenece a la clase 5, MUY CONTAMINADA.

4.3.3. ANÁLISIS DE LOS PUNTOS A05SUQUI Y A06SAUCE.

- Ubicación:

El punto de muestreo de la corriente principal del río, A05SUQUI, se encuentra a 254.96 metros desde la entrada del Beneficio El Sauce, aproximadamente a 30m aguas abajo de la unión con el río Apanteos. A 75 metros de A05SUQUI, se localiza el siguiente punto de muestreo del tributario más cercano, A06SAUCE.



Figura 4. 24 Localización de los puntos A05SUQUI y A06SAUCE.

Fuente: Elaboración propia.

- Modelo de DBO_5/OD para A05SUQUI y A06SAUCE.

WQMCAL proporciona el modelo de ríos DBO_5 -DO con el objetivo de identificar los procesos que causan una disminución del oxígeno disponible necesario para el consumo de organismos acuáticos como peces. En el capítulo 3 se generaron los siguientes gráficos, el de decaimiento de DBO_5 y la curva de agotamiento de oxígeno.

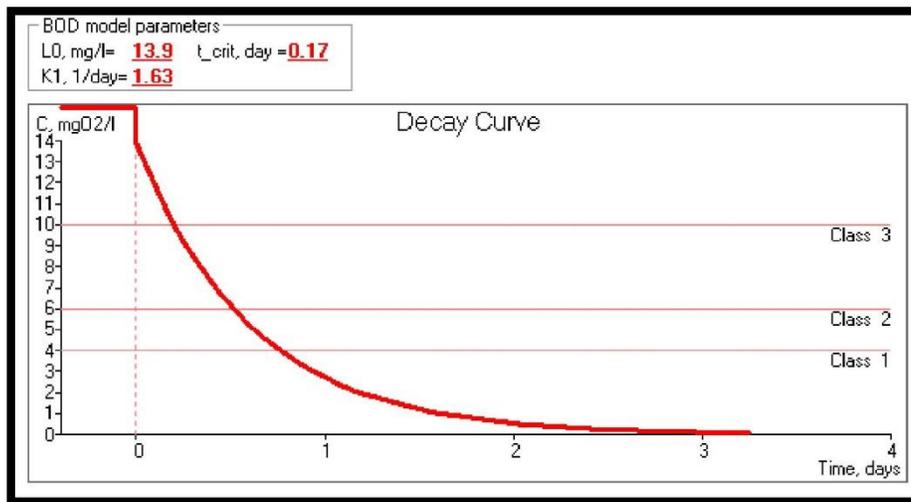


Figura 4. 25 Curva de decaimiento de DBO₅ A05SUQUI-A06SAUCE.

Fuente: Elaboración propia. WQMCAL.

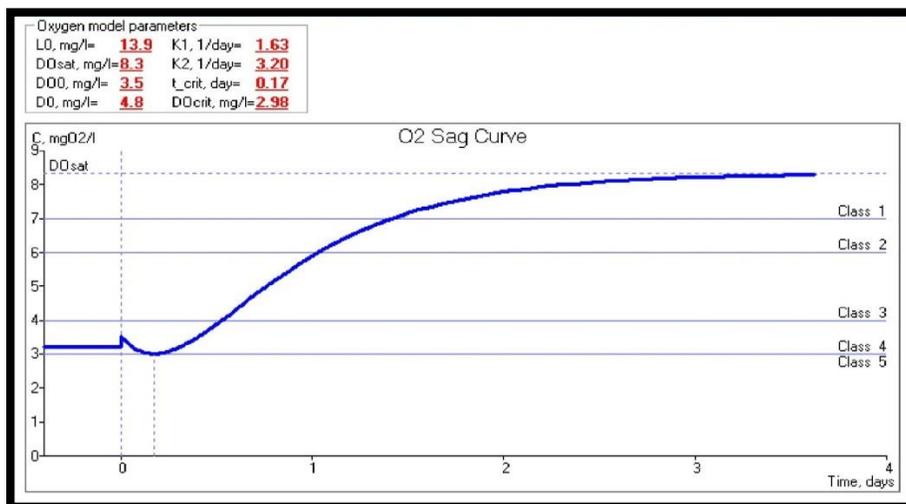


Figura 4. 26 Curva de caída de OD A05SUQUI-A06SAUCE.

Fuente: Elaboración propia. WQMCAL.

- Discusión de resultados.

-En la curva de decaimiento de DBO₅ y de agotamiento de oxígeno, se observa una zona de degradación que comienza en t=0 hasta t_{crit}=0.17 días (4.08 horas), es decir, inmediatamente después de la unión de los dos cauces hasta un recorrido de 3.9 km (x_{crit}).

-Luego, aparece la zona de descomposición, que corresponde a un valor de OD_{crit} de 2.98 mg/l, en esta zona, aproximadamente a 4 horas de la “descarga” o unión de A05SUQUI y A06SAUCE, se presenta un valor muy alto de déficit de oxígeno, por lo que es en este punto donde las actividades agrícolas no son posibles y de vida de las especies acuáticas corren peligro.

-A partir de estos puntos críticos se produce la zona de recuperación, aproximadamente después de 3.9 km, río debajo de la unión de la vertiente y el río principal y que teóricamente llegaría a su valor ideal (concentración igual al de oxígeno saturado, 8.3 mg/l) a partir del tercer día.

-La calidad del agua del río llega a tener concentraciones muy bajas de oxígeno disuelto y considerando las clases presentadas por el software WQMCAL, se clasifica como CONTAMINADA.

4.3.4. ANÁLISIS DE LOS PUNTOS A07CARCA Y A08SUQUI.

- Ubicación.

Estos puntos de muestreo están en la primera entrada al beneficio El Sauce, A07CARCA es el río Carcagua, que es un tributario situado a 280 metros de la entrada del beneficio, A08SUQUI es el punto de muestreo del río principal el cual está situado a aproximadamente 210 metros de A07CARCA (Ver Figura 4. 24).



Figura 4. 27 Localización de los puntos A07CARCA Y A08SUQUI.

Fuente: Elaboración propia.

- Modelo de DBO₅/OD A07CARCA Y A08SUQUI.

Las curvas de decaimiento de DBO₅ y de agotamiento de oxígeno, son las siguientes:

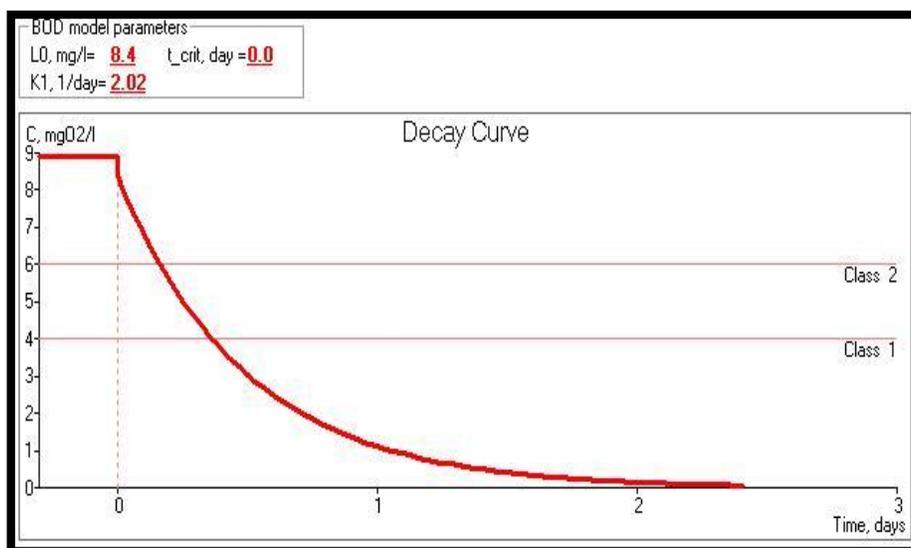


Figura 4. 28 Curva de decaimiento de DBO₅ A07CARCA-A08SUQUI.

Fuente: Elaboración propia. WQMCAL.

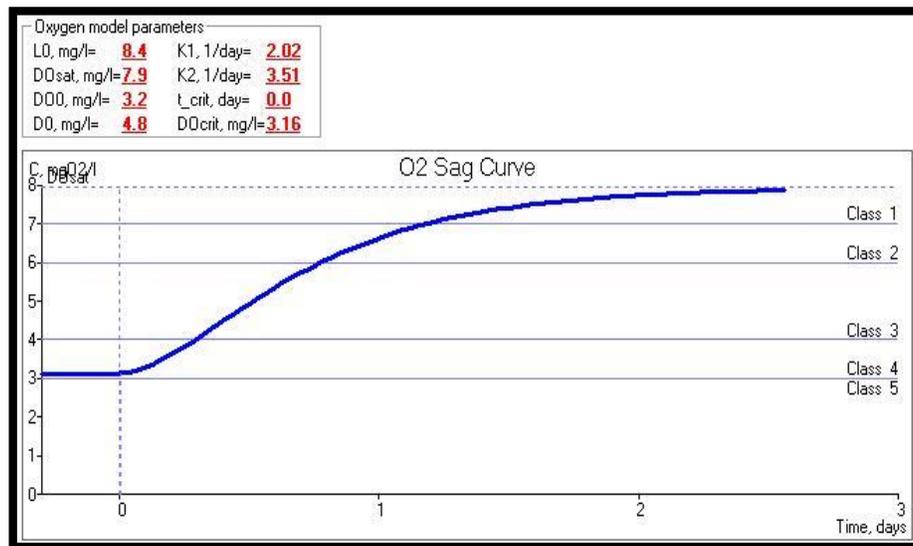


Figura 4. 29 Curva de caída de OD A07CARCA-A08SUQUI.

Fuente: Elaboración propia. WQMCAL.

- Discusión de resultados.

-Las curvas de decaimiento de DBO_5 y de agotamiento de oxígeno, presentan como característica la ausencia de una zona de degradación, esto significa que inmediatamente se unen el tributario A07CARCA con el río principal A08SUQUI se produce la menor concentración de oxígeno.

-La zona de descomposición se observa inmediatamente se unen los afluentes A07CARCA y A08SUQUI, donde la concentración de OD_{crit} es de 3.16 mg/l y que corresponde al lugar en donde el deterioro de la calidad de vida de los organismos acuáticos es más evidente y el uso del agua para consumo humano y animal resulta ser peligroso.

-A partir de la unión de los dos cauces comienza la recuperación del oxígeno faltante debido a procesos como la reaireación y la turbulencia, teóricamente, el río fluiría hasta llegar a su concentración de oxígeno saturado, 7.9 mg/l.

-Para identificar en que categoría se encuentra el punto de análisis vemos que el espacio más bajo de la curva de decaimiento de DBO_5 se encuentra en la zona de clase 3, TOLERABLE

y la de agotamiento de oxígeno en la Clase 4, según la Figura 4. 29 del software WQMCAL se clasifica como CONTAMINADA.

4.3.5. ANÁLISIS DE LOS PUNTOS A09MOLIN Y A10SUQUI.

- Ubicación.

A 50 metros del enganche con la corriente principal del río Suquiapa, se encuentra el punto de muestreo A09MOLIN, a una distancia de 135 metros se encuentra el sitio A10SUQUI a 2710 metros de la unión con el río El Molino.



Figura 4. 30 Localización de los puntos A09MOLIN y A010SUQUI.

Fuente: Elaboración propia.

- Modelo de DBO5/OD A09MOLIN y A10SUQUI.

Las curvas de decaimiento de DBO₅ y de agotamiento de oxígeno, son las siguientes:

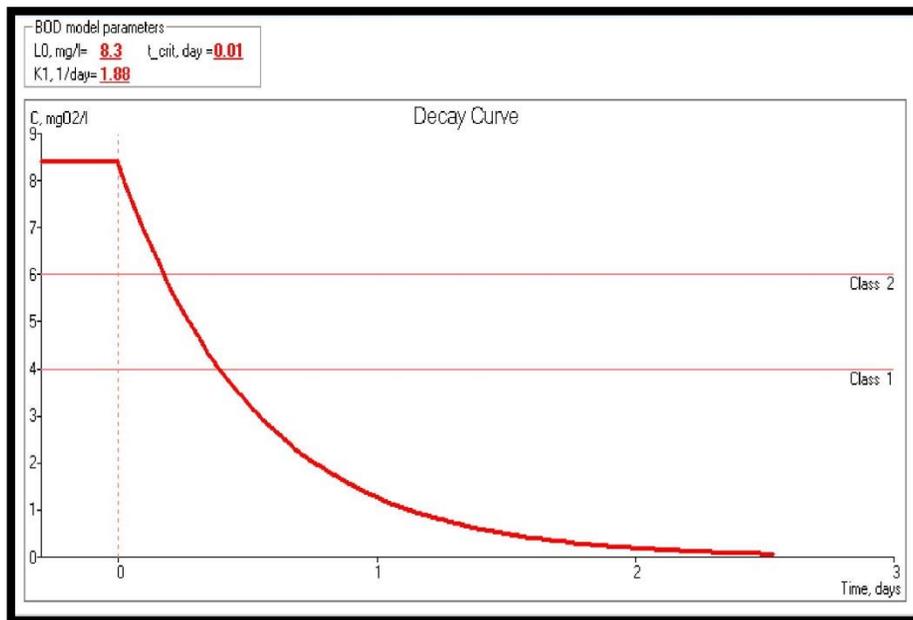


Figura 4. 31 Curva de decaimiento de DBO₅ A09MOLIN Y A10SUQUI.

Fuente: Elaboración propia. WQMCAL.

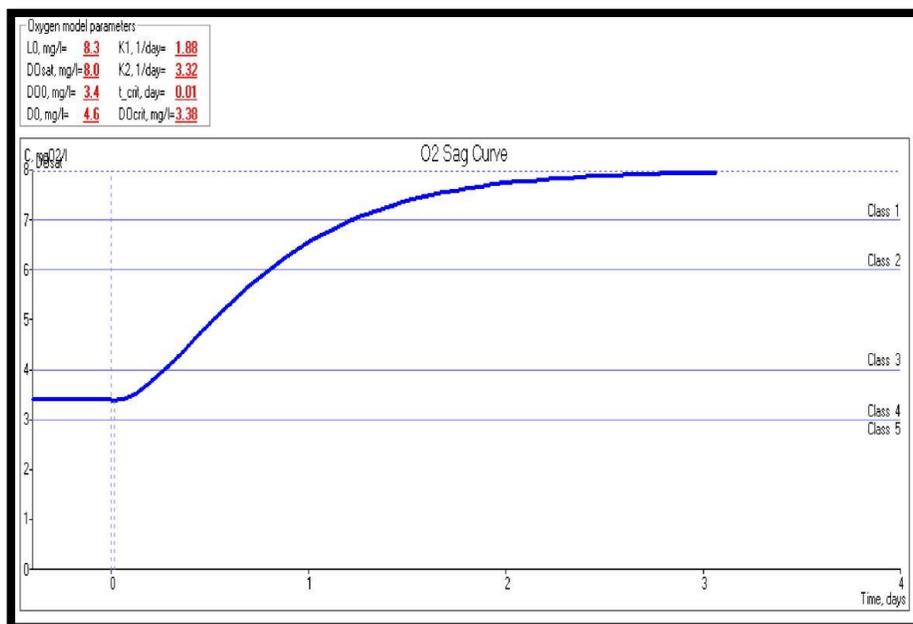


Figura 4. 32 Curva de caída de OD A09MOLIN Y A10SUQUI.

Fuente: Elaboración propia. WQMCAL.

- Discusión de resultados.

-Las curvas de agotamiento de oxígeno y de decaimiento de DBO para los puntos A09MOLIN y A10SUQUI presentan una zona de degradación muy breve, a 0.3 km (x_{crit}) del punto de enganche, donde disminuye la cantidad de oxígeno hasta llegar al punto crítico de 3.38 mg/l en aproximadamente 14 minutos de trayecto del río.

-La zona de descomposición tiene una concentración de oxígeno disuelto crítico de 3.38 mg/l, al revisar los datos de DO_{crit} de todos los puntos, este es el sitio que mayor cantidad de oxígeno disuelto presenta en su punto crítico, lo que atribuimos a la presencia de una cascada que provoca que incremente la reaireación en este punto, a pesar de ello sigue siendo una zona de peligro para la vida acuática, en ausencia de aptitudes para consumo animal y humano.

-Luego, la zona de recuperación comienza y aproximadamente al tercer día se recupera teóricamente hasta el valor de saturación de oxígeno en el agua, 8 mg/l.

-Para identificar en que categoría se encuentra el punto de análisis vemos que el espacio más bajo de la curva de decaimiento de DBO_5 se encuentra en la zona de clase 3, TOLERABLE y la de agotamiento de oxígeno en la Clase 4, según la Figura 4. 32 del software WQMCAL se clasifica como CONTAMINADA.

4.3.6. ANÁLISIS DE LOS PUNTOS A11ZARCO Y A12SUQUI.

- Ubicación.

Estos puntos de muestreo están cerca de la hacienda San Francisco, A11ZARCO es un río tributario del Suquiapa situado a 320 metros del balneario Las Cascadas, A12SUQUI es el punto de muestreo del río principal el cual está situado en la colonia Masacúa a 1.8 km de A11ZARCO.



Figura 4. 33 Localización de los puntos A11ZARCO y A12SUQUI.

Fuente: Elaboración propia.

- Modelo de DBO₅/OD A11ZARCO y A12SUQUI.

Las curvas de decaimiento de DBO₅ y de agotamiento de oxígeno, son las siguientes:

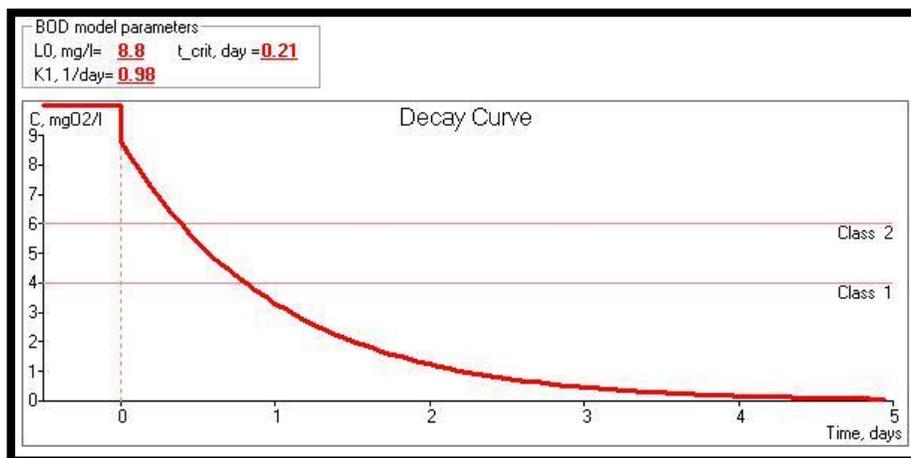


Figura 4. 34 Curva de decaimiento de DBO₅ A11ZARCO Y A12SUQUI.

Fuente: Elaboración propia. WQMCAL.

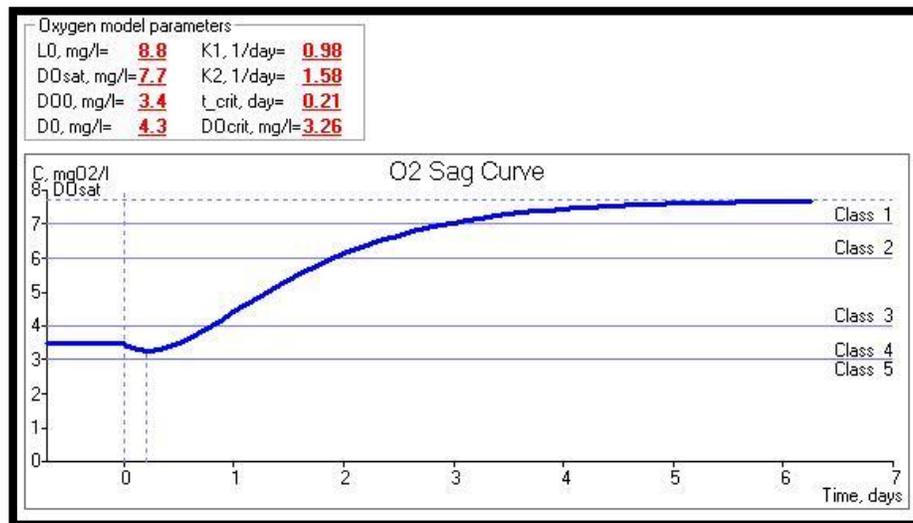


Figura 4. 35 Curva de caída de OD A11ZARCO Y A12SUQUI.

Fuente: Elaboración propia. WQMCAL.

- Discusión de resultados.

-Los gráficos de decaimiento de DBO₅ y de agotamiento de oxígeno muestran una zona de degradación que comienza en t=0 hasta t_{crit}=0.21 días (5.04 horas), es decir, inmediatamente después de la unión de los dos cauces hasta que el río realice un recorrido de 5.4 km (x_{crit}).

-Luego, aparece la zona de descomposición, que corresponde a un valor de OD_{crit} de 3.26 mg/l, en esta zona, aproximadamente a 5 horas de la “descarga” o unión de A11ZARCO y A12SUQUI, se presenta un valor muy alto de déficit de oxígeno.

-A partir de estos puntos críticos se produce la zona de recuperación, aproximadamente después de 5.4 km, río debajo de la unión de la vertiente y el río principal y que teóricamente llegaría a su valor ideal (concentración igual al de oxígeno saturado, 7.7 mg/l) a partir del quinto día.

-La curva de decaimiento de DBO₅ se encuentra en la zona de clase 3, TOLERABLE y la de agotamiento de oxígeno en la Clase 4, según la Figura 4. 35 del software WQMCAL se clasifica como CONTAMINADA.

4.3.7. ANÁLISIS DE LOS PUNTOS A13VERTI Y A14SUQUI.

- Ubicación.

El sitio A13VERTI es una corriente utilizada para recreación y para bombear agua a comunidades aledañas (aproximadamente a unas 200 familias), y se encuentra localizado a 330 metros del enganche con la corriente principal, A14SUQUI, su distancia es 175 m de unión con A13VERTI.



Figura 4. 36 Localización de los puntos A013VERTI y A14SUQUI.

Fuente: Elaboración propia.

- Modelo de DBO_5/OD en los puntos A13VERTI y A14SUQUI.

Las curvas de decaimiento de DBO_5 y de agotamiento de oxígeno, son las siguientes:

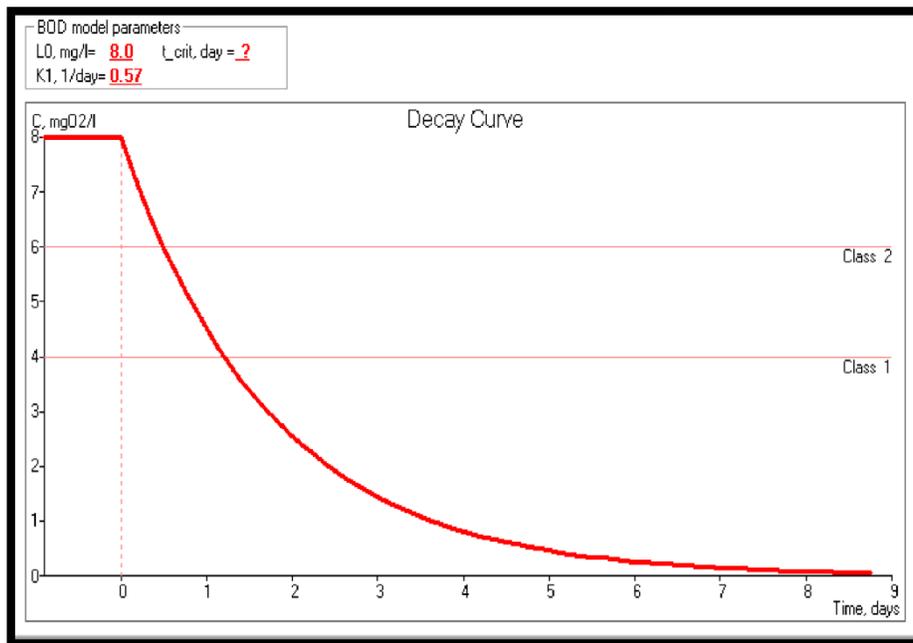


Figura 4. 37 Curva de decaimiento de DBO₅ A13VERTI y A14SUQUI.

Fuente: Elaboración propia. WQMCAL.

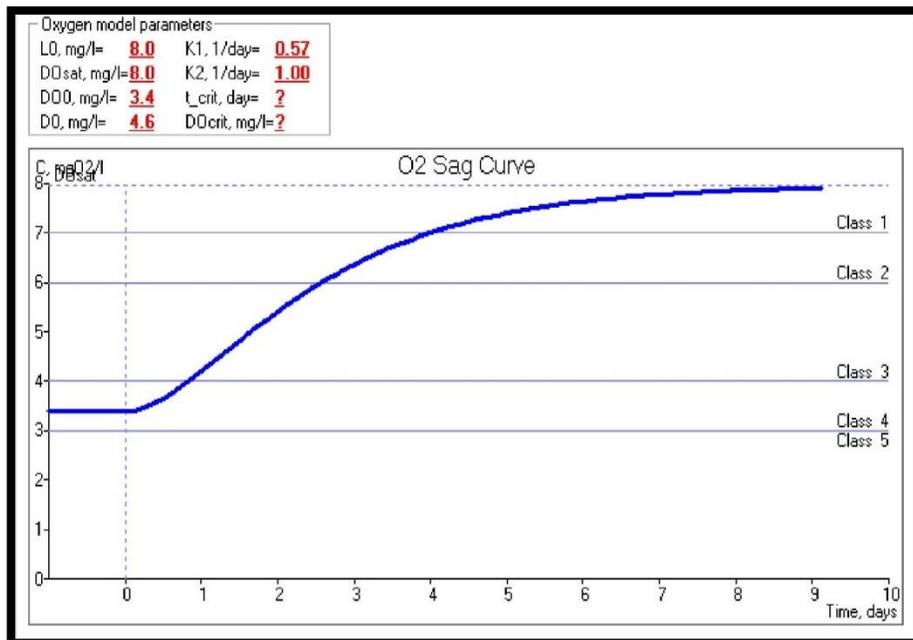


Figura 4. 38 Curva de caída de OD A13VERTI y A14SUQUI

Fuente: Elaboración propia. WQMCAL.

- Discusión de resultados.

-A partir de este punto de análisis, las curvas de decaimiento de DBO_5 y de agotamiento de oxígeno, no muestran la zona de degradación, por definición, el tiempo y la distancia críticas son cero, inmediatamente en el punto de unión del tributario A13VERTI y la corriente principal.

-La zona de descomposición se sitúa en el enganche y presenta un oxígeno disuelto crítico de 3.4 mg/l.

-A medida el río sigue su cauce, recupera el oxígeno disponible por medio de procesos como la turbulencia y la reaireación, de manera que el software calcula que el valor de oxígeno disuelto en esa corriente llega al valor de saturación en el noveno día.

-La curva de decaimiento de DBO_5 se encuentra en la zona de clase 3, TOLERABLE y la de agotamiento de oxígeno en la Clase 4, según la Figura 4. 38 del software WQMCAL se clasifica como CONTAMINADA.

4.3.8. ANÁLISIS DE LOS PUNTOS A15PUENTE Y A16SUQUI.

- Ubicación.

A 2500 m de A14SUQUI se encuentra el siguiente punto de muestreo a analizar, A15PUENT, a 800 metros del enganche con el río Puente, A16SUQUI.



Figura 4. 39 Localización de los puntos A15PUENTE y A16SUQUI.

Fuente: Elaboración propia.

- Modelo de DBO₅/OD en los puntos A15PUENTE y A16SUQUI.

Las curvas de decaimiento de DBO₅ y de agotamiento de oxígeno, son las siguientes:

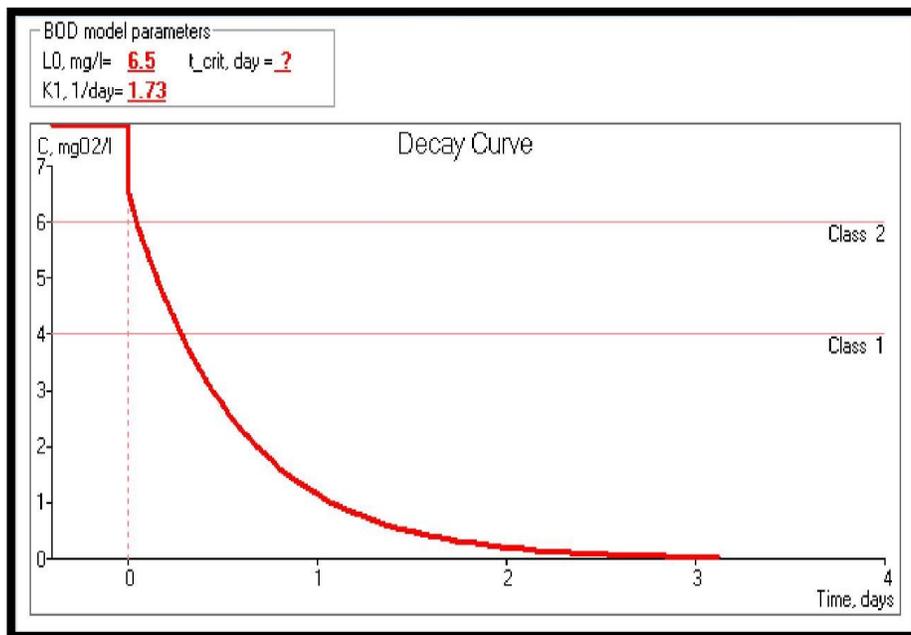


Figura 4. 40 Curva de decaimiento de DBO₅ A15PUENTE Y A16SUQUI.

Fuente: Elaboración Propia, WQMCAL.

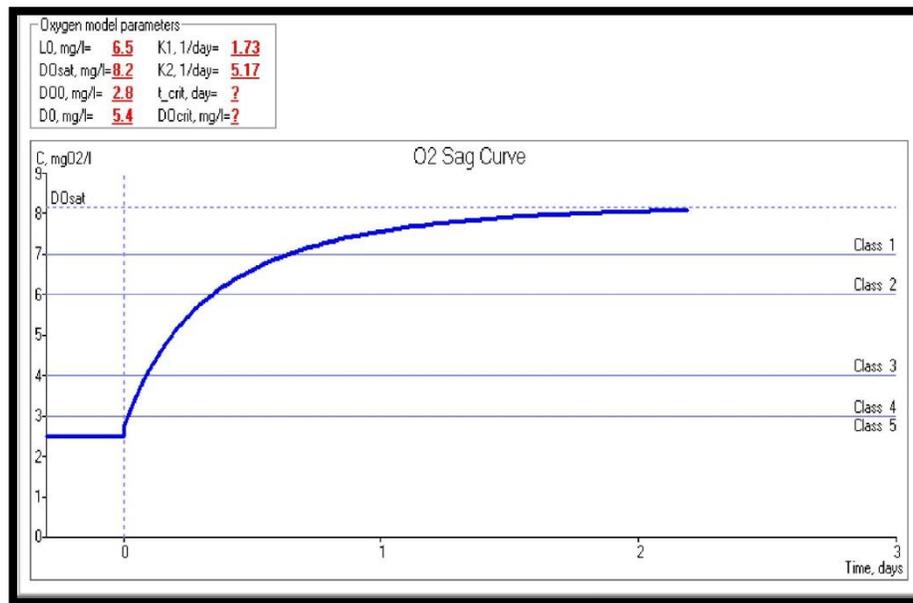


Figura 4. 41 Curva de caída de OD A15PUENTE Y A16SUQUI.

Fuente: Elaboración propia. WQMCAL.

- **Discusión de resultados.**

-Al igual que en el punto de análisis anterior, las curvas de decaimiento de DBO_5 y de agotamiento de oxígeno, no muestran la zona de degradación, por definición, el tiempo y la distancia críticas son cero, inmediatamente en el punto de unión del tributario A15PUENTE y la corriente principal.

-La zona de descomposición, presenta un oxígeno disuelto inicial crítico que es de 2.8 mg/l en la zona del enganche.

-A medida el río sigue su cauce, recupera el oxígeno disponible, de manera que teóricamente, llega al valor de saturación (8.2 mg/l) al segundo día.

-La curva de decaimiento de DBO_5 se encuentra en la zona de clase 3, TOLERABLE y la de agotamiento de oxígeno en la Clase 5, según la Figura 4. 41 del software WQMCAL se clasifica como MUY CONTAMINADA.

4.3.9. ANÁLISIS DE LOS PUNTOS A17GUILGU Y A18SUQUI.

- Ubicación.

Estos puntos de muestreo están cerca de la hacienda San Antonio y de la planta hidroeléctrica San Luis, A17GUILGU es un río tributario del río Suquiapa situado sobre la carretera que conduce de Santa Ana a San Pablo Tacachico a 8.6km del desvío a Tacachico, A18SUQUI es el punto de muestreo del río principal el cual está situado en la colonia San Luis a 450 metros de A17GUILGU.



Figura 4. 42 Localización de los puntos A17GUILGU y A18SUQUI.

Fuente: Elaboración propia.

- Modelo de DBO₅/OD A17GUILGU y A18SUQUI.

Las curvas de decaimiento de DBO₅ y de agotamiento de oxígeno, son las siguientes:

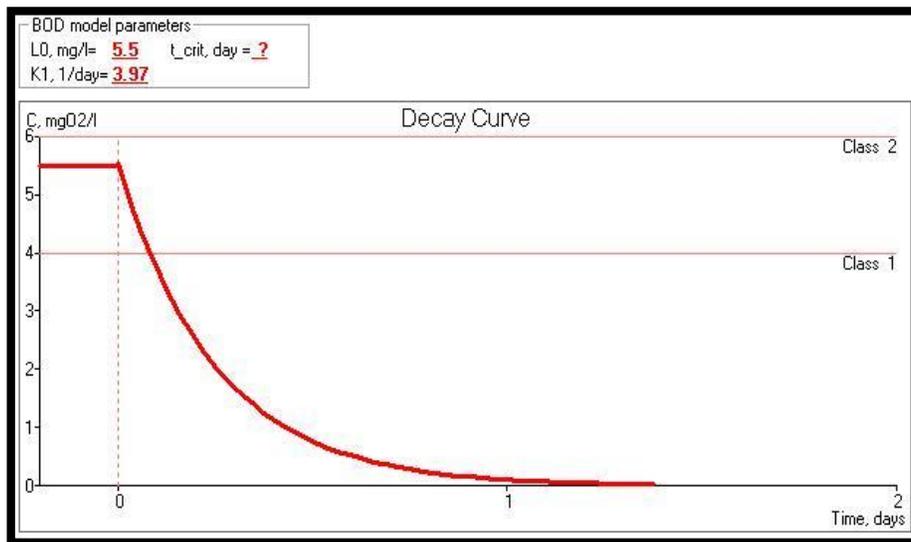


Figura 4. 43 Curva de decaimiento de DBO₅ A17GUILGU Y A18SUQUI.

Fuente: Elaboración propia. WQMCAL.

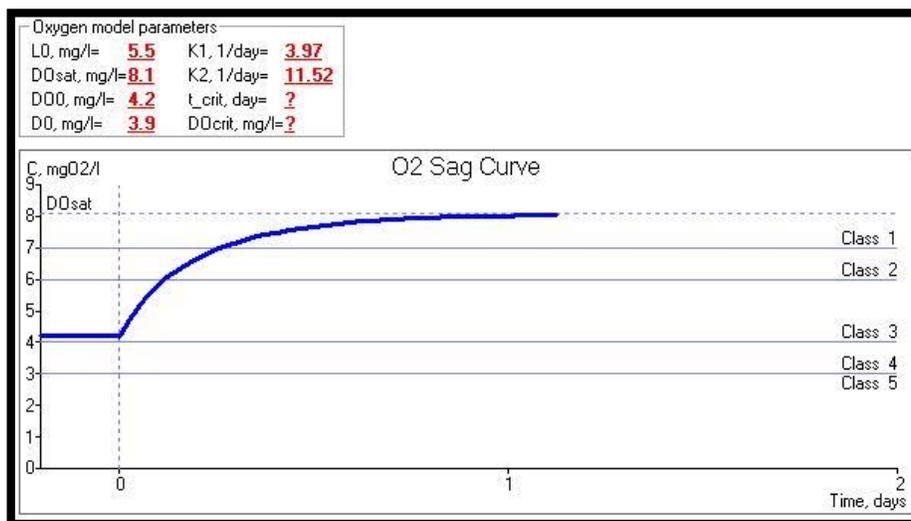


Figura 4. 44 Curva de caída de OD A17GUILGU Y A18SUQUI.

Fuente: Elaboración propia. WQMCAL.

- **Discusión de resultados:**

-Al igual que en el punto de análisis anterior, las curvas de agotamiento de oxígeno y la de decaimiento de DBO no muestran la zona de degradación.

-La zona de descomposición, presenta OD crítico de 4.2 mg/l, valor que se encuentra por encima de las normas,

-El río llega al valor de saturación (8.1 mg/l) aproximadamente en el primer día.

-Con respecto a la curva de decaimiento de DBO₅, se encuentra en la zona de clase 2, BUENO, pero de acuerdo a los valores de oxígeno disuelto (curva de agotamiento de oxígeno) vemos que el espacio más bajo se encuentra en la zona de la Clase 3, que según la Figura 4. 44 del software WQMCAL se clasifica como TOLERABLE.

4.4. ANALISIS DE MODELACION DE METALES PESADOS

4.4.1. CALIBRACION CON CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

El proceso de calibración que se mostró en el capítulo dos y que se visualizaron sus resultados, en el capítulo tres, son analizados en esta sección por un análisis comparativo. Para ello hacemos uso de los gráficos generados anteriormente tanto con los datos que se recopilaron experimentalmente como con los datos que fueron predichos por el software WASP.

Este análisis consiste en una convergencia entre los datos que se tienen de los puntos del flujo principal del río que se tomaron en los muestreos de campo y los datos que se presentaron en el software WASP posteriormente de parametrizado el río, si bien los datos no serán exactos se busca un patrón que sea similar en los dos gráficos.

Para la conductividad eléctrica comenzamos haciendo un análisis en su grafica que denota la evolución de la conductividad con respecto al tiempo como se muestra en la Figura 3. 71

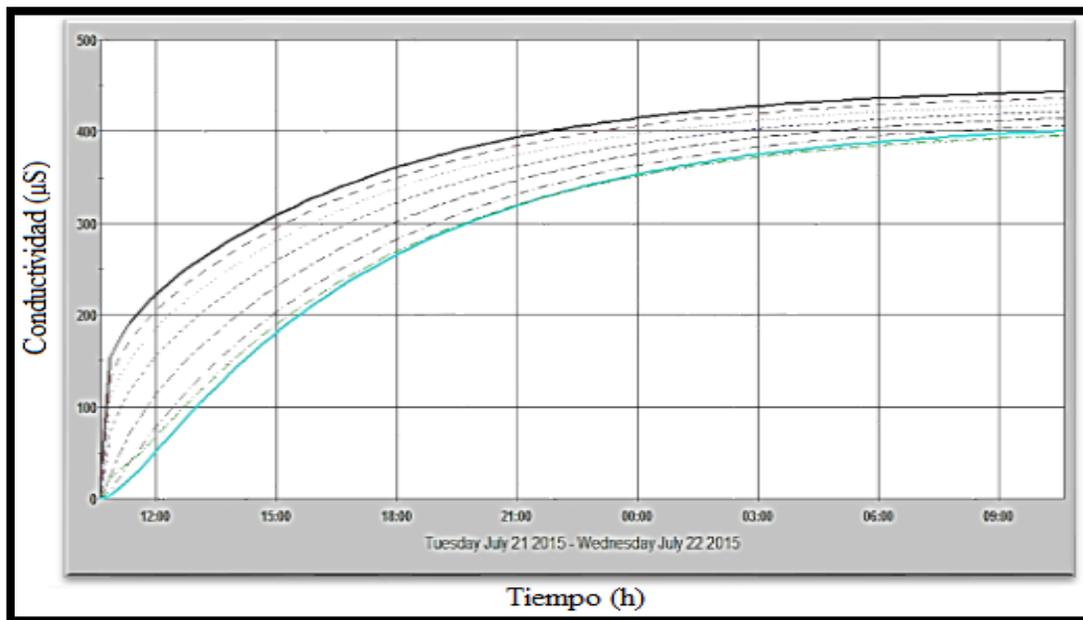


Figura 4. 45 Grafico de conductividad por tiempo en WASP

Fuente: Elaboración Propia, WASP.

Cuando se visualiza el recorrido de la conductividad eléctrica en el tiempo como se ve en la gráfica, se pueden concretar varios aspectos el primero de ellos es el crecimiento acelerado en su valor el cual incrementa en intervalos cortos de tiempo, además se observa la similitud de los valores de conductividad entre sí de cada uno de los puntos, en este aspecto cabe mencionar que cada una de las curvas que se ven en la gráfica representa uno de los puntos de muestreo del flujo principal del río (Puntos con terminación “SUQUI”) esto cobra especial importancia cuando observando los datos de conductividad que se tomaron de forma experimental sucede lo mismo, es decir cercanías entre sus valores.

Cabe destacar que esta simulación es solamente para 24 horas, el programa realiza un evolución en el tiempo de los niveles de la conductividad en el río, el programa parte desde cero, creando un escenario donde el sistema nace, es decir recreando el inicio del río, esto se logra como ya se vio en el capítulo uno mediante modelos matemáticos de predicción y considerando varios factores, especialmente juegan un papel importante los caudales, volúmenes de segmento y los coeficientes de dispersión.

En este caso la conductividad está tomando un papel importante y es porque el usuario ingresa estos valores que el programa considera como valores de concentración de alguna especie química. El objetivo de esto es observar dos cosas: la primera es considerar la coherencia de los valores, y el patrón de los puntos, quizá en esta grafica es muy difícil visualizar un patrón ya que no se tienen múltiples datos de la conductividad eléctrica en el tiempo sin embargo lo que se hace es observar el punto donde todas las curvas se suavizan y denotan una tendencia común, si esos valores son cercanos a los que se tienen de forma experimental el software esta calibrado. Regresando a este ejemplo es claro que estos valores están dentro del rango de aceptabilidad que se necesita para continuar con los estudios.

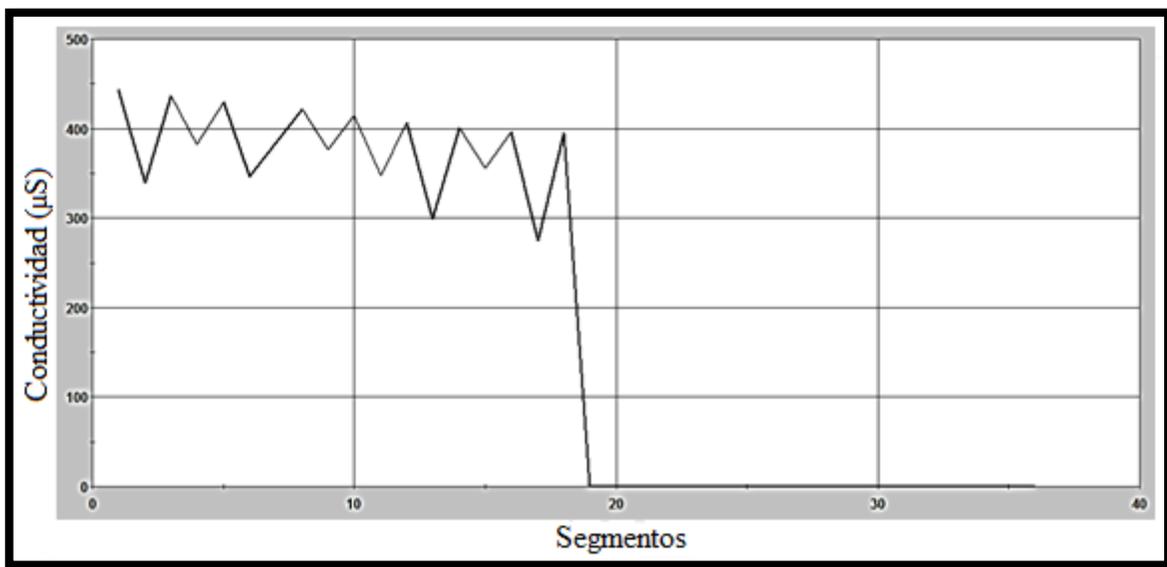


Figura 4. 46 Grafico de conductividad por segmento en WASP

Fuente: Elaboración propia, WASP.

El grafico de conductividad por segmento resulta mucho más fácil de analizar ya que si lo que hacemos es un simple análisis visual comparativo en cuanto al patrón de la curva obtendremos una idea de que las gráficas son sumamente similares, esto es mucho más importante que la coincidencia entre los valores puntuales de cada segmento, ya que lo que se busca es que el software logre simular al rio en cuanto a su patrón propio, es decir que haya uniformidad, coherencia y similitud en los aspectos de flujos del rio.

Los valores puntuales van a discrepar un poco debido a los valores de dispersión y caudales del río, ya que estos vienen de análisis experimentales y correcciones estadísticas, de alguna manera los valores del software por la interacción de otras variables desvaría de los valores experimentales, también es importante recalcar que tampoco se esperan valores muy dispersos.

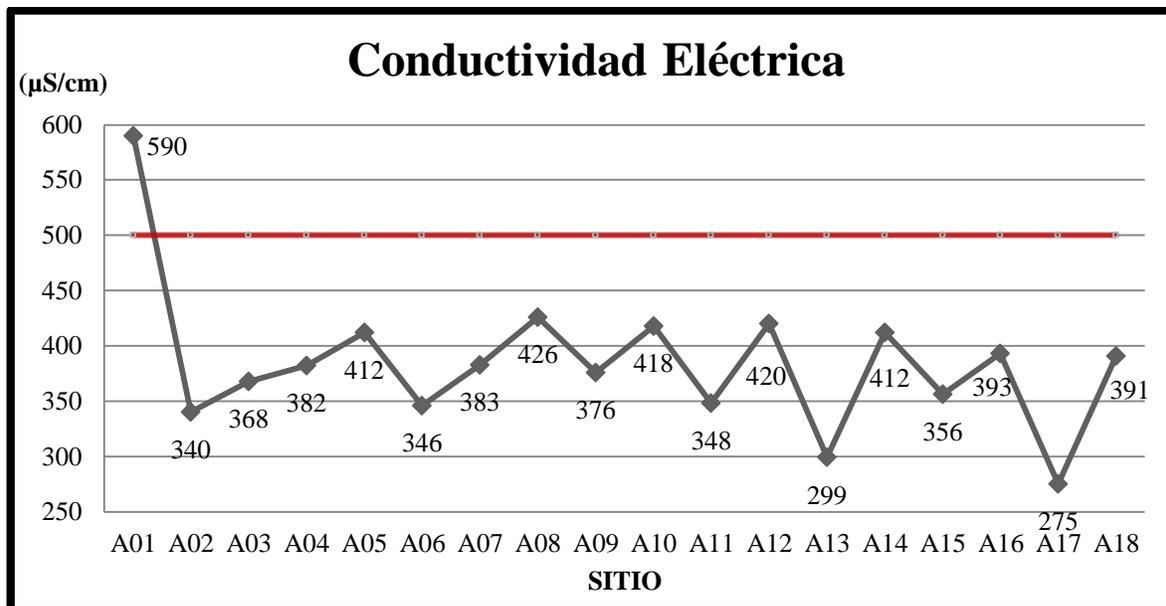


Figura 4. 47 Gráfica de resultados Conductividad Eléctrica

Fuente: Elaboración Propia

Otro punto importante entre estos dos gráficos el valor en la conductividad eléctrica en el primer punto, experimentalmente el valor es de 590 lo cual es un valor elevado a comparación del resto, esto es un factor que es muy difícil de reproducir en la modelación ya que el software al considerar un flujo continuo como es un río, espera que los valores sean de un rango previsible de datos, este valor que sale de la tendencia afecta de sobremanera a la simulación tanto en este punto de la calibración como en el análisis de metales pesados además ya se logró visualizar en el análisis de la modelación orgánica.

4.4.2. MODELACION DE ARSENICO

En cuanto al arsénico los resultados encontrados por los análisis experimentales muestran cantidades muy pequeña, las cuales se encuentran bajo la norma como se pudo observar en

la sección de calidad fisicoquímica, este arsénico de origen natural o geológico tiene un crecimiento muy lento a lo largo del tiempo como se muestra en la figura 3.73 donde se muestra la evolución en el tiempo de los puntos principales del río.

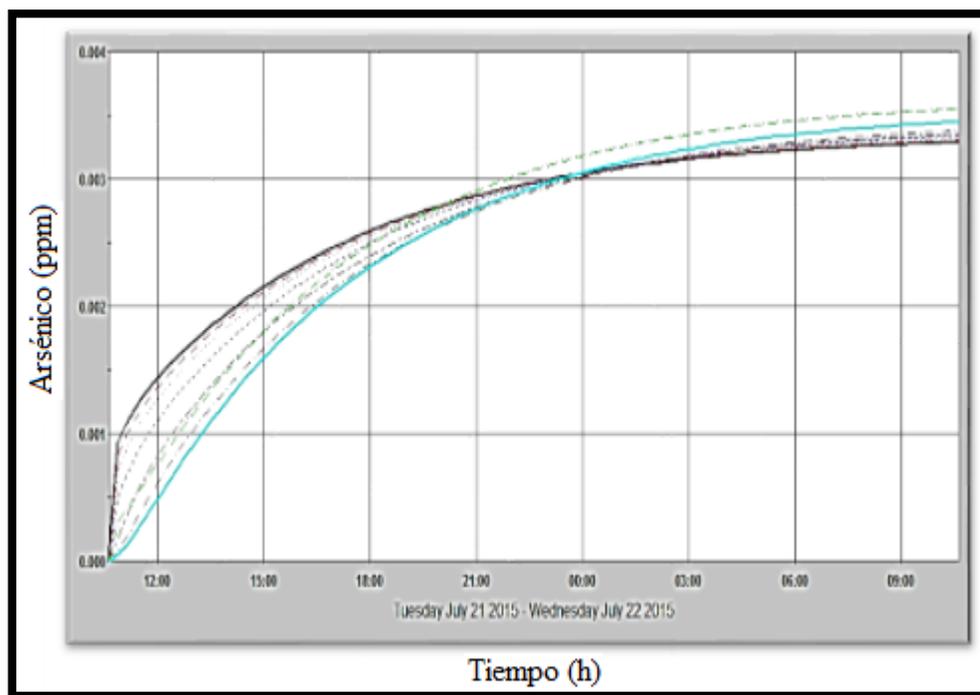


Figura 4. 48 Grafico de la evolución de la concentración de arsénico con respecto al tiempo.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

En este grafico se muestra el crecimiento de la concentración del arsénico en el tiempo y que las cantidades las cuales son muy mínimas a las máximas permisibles según la norma (0.005 ppm), sin embargo se realiza nuevamente el análisis de concordancia entre los patrones de los gráficos.

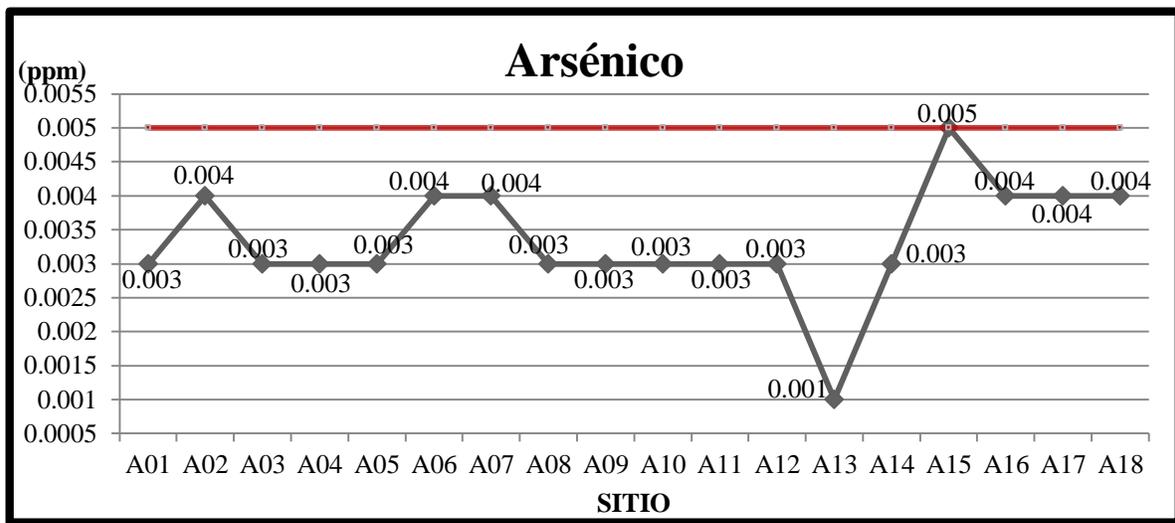


Figura 4. 49 Grafico resultado de Arsénico

Fuente: Elaboración propia

El grafico en WASP marca una reproducibilidad muy observable en cuento a los datos de los análisis experimentales.

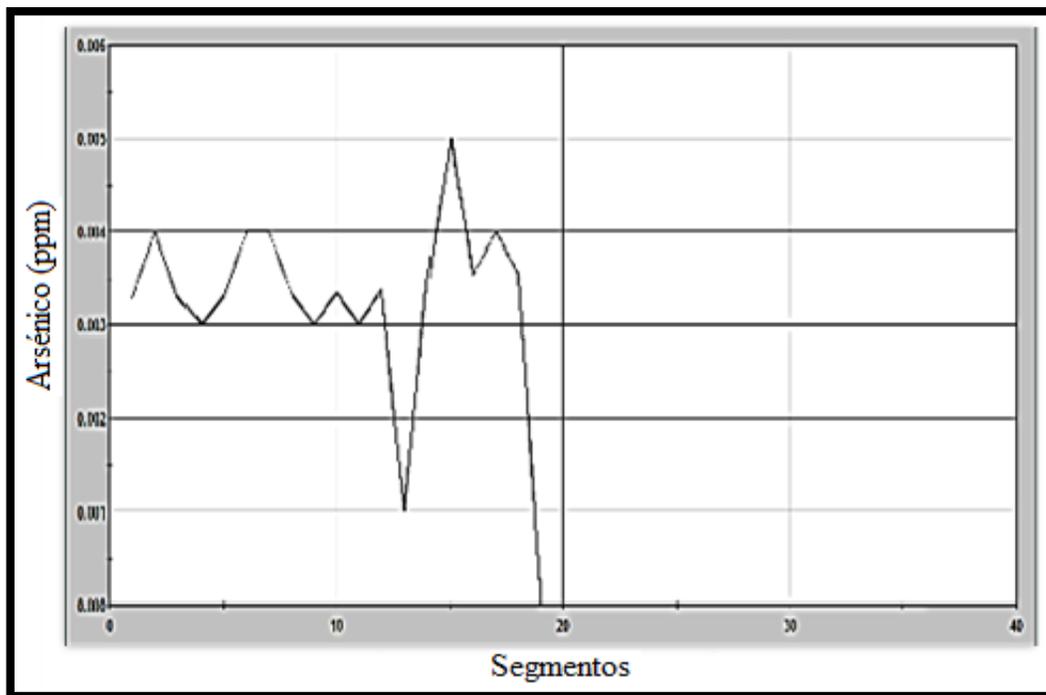


Figura 4. 50 Grafico de Arsénico por Segmento

Fuente: Elaboración propia, WASP

Algunos estudios muestran que en general los valores de arsénico en río son relativamente bajos como se menciona en (Lillo, 2000) en general, inferiores a 0.004 ppm aunque pueden variar dependiendo de factores como recarga (superficial y subterránea), litología de la cuenca, drenaje de zonas mineralizadas, clima, actividad minera y vertidos urbanos o industriales. Por ejemplo, en áreas de clima árido, el aumento de la concentración de arsénico en las aguas superficiales se ve favorecido por procesos de evaporación, que además provocan un aumento en la salinidad y pH de las aguas, sin embargo como se puede visualizar en el gráfico, solo hay un punto que llega al valor límite los demás permanecen bajo o muy por debajo del valor de norma.

En este sentido la movilización de cantidades de arsénico en el río podría estar condicionada por el origen o interconexión del río con las aguas del lago Coatepeque y el volcán Ilamatepec ubicados siempre en el departamento de Santa Ana, ya que la mayor parte de manantiales y aguas subterráneas provienen de ahí, además estos dos acuíferos son de origen volcánico lo cual justificaría apropiadamente los niveles de arsénico en el río.

4.4.3. MODELACION DE PLOMO

Los resultados de los análisis de aguas para determinar las concentraciones de plomo han sido bastante concretos, en el sentido de que no existe un excedente de concentración que esté por encima de la norma, los niveles encontrados son relativamente bajos.

Si observamos la gráfica de la evolución de la concentración del plomo con respecto al tiempo resulta interesante ver el crecimiento de dicha concentración el tiempo, pero es mucho más curioso ver el crecimiento puntual en cada segmento, ya que con esto podemos tener una idea de cuál es el segmento de mayor crecimiento en su crecimiento.

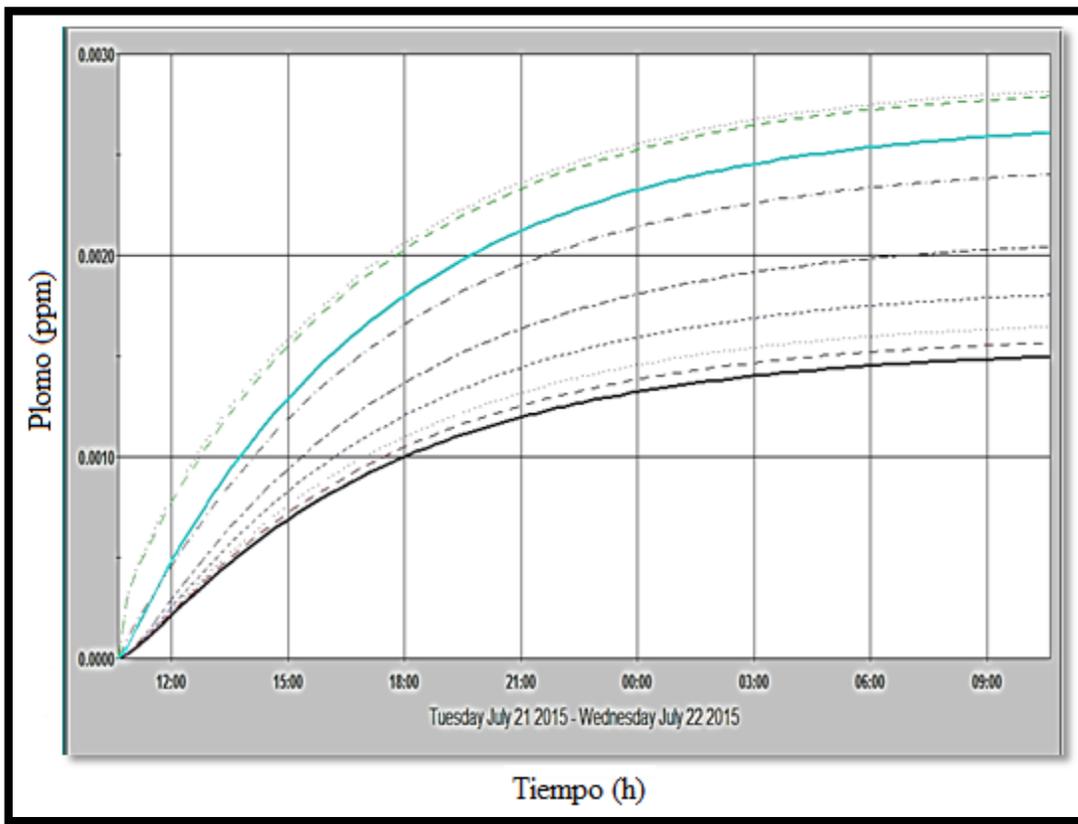


Figura 4. 51 Grafico de la evolución de la concentración de plomo respecto al tiempo.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

La Figura 4. 51 representa muy claramente la dispersión entre la concentración de los puntos ya que la mayoría de puntos tributarios (los que se insertaron al software) tienen valores de concentración que oscila entre 0 y 0.003 de esta forma el software se le dificulta determinar los puntos donde se concentran las mayores cantidades de plomo; a partir de este fenómeno se establece una hipótesis en la cual estas cantidades focalizadas de plomo podrían provenir de los agroquímicos utilizados por los agricultores en los cultivos de caña.

Sin embargo previo a entrar a este análisis es importante realizar un análisis de concordancia entre los patrones de la gráfica experimental y la del software WASP. El patrón de la curva de plomo por punto es muy distintivo e identificable en ambos gráficos.

Además como se ha mencionado anteriormente, que aunque la escala numérica entre los gráficos no sea 100% concordantes se puede observar la reproducibilidad cuando vemos los

puntos que destacan en ambos gráficos que es lo mismo que notar el patrón en general. Esto ayuda a denotar cuales son los puntos mayormente contaminados y focalizar nuestras investigaciones a la explicación de este fenómeno, ya que si bien las cantidades son mínimas los puntos que presentan mayor concentración presentan una diferencia considerable con los demás puntos de análisis.

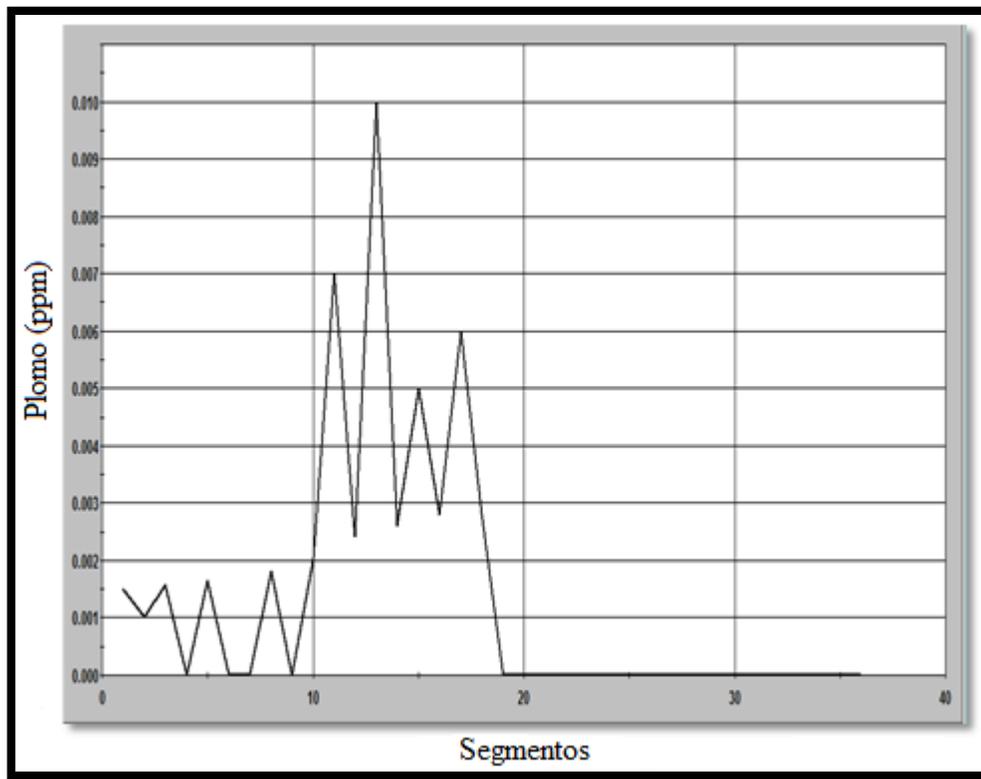


Figura 4. 52 Grafico de Plomo por Segmento

Fuente: Elaboración propia, WASP.

Aunque la mayoría de los puntos en análisis tienen concentraciones de plomo muy baja hay algunos puntos que exceden el límite máximo permisible según la norma (0.01 ppm) habiendo un punto extremadamente superior como lo es el punto A10SUQUI con un valor de 0.157 ppm, este entre otros valores que también salen de norma resultan particularmente interesantes debido a su focalización, la mayoría de los puntos contienen valores muy distintos a estos.

Debido a este fenómeno surge una hipótesis, la cual se fundamenta en la particularidad de las concentraciones en estos puntos, una explicación razonable podría ser una probable carga difusa producida por el uso de pesticidas y plaguicidas o agroquímicos en general en los cultivos de caña cercanos a los puntos donde aparecen esas altas concentraciones.

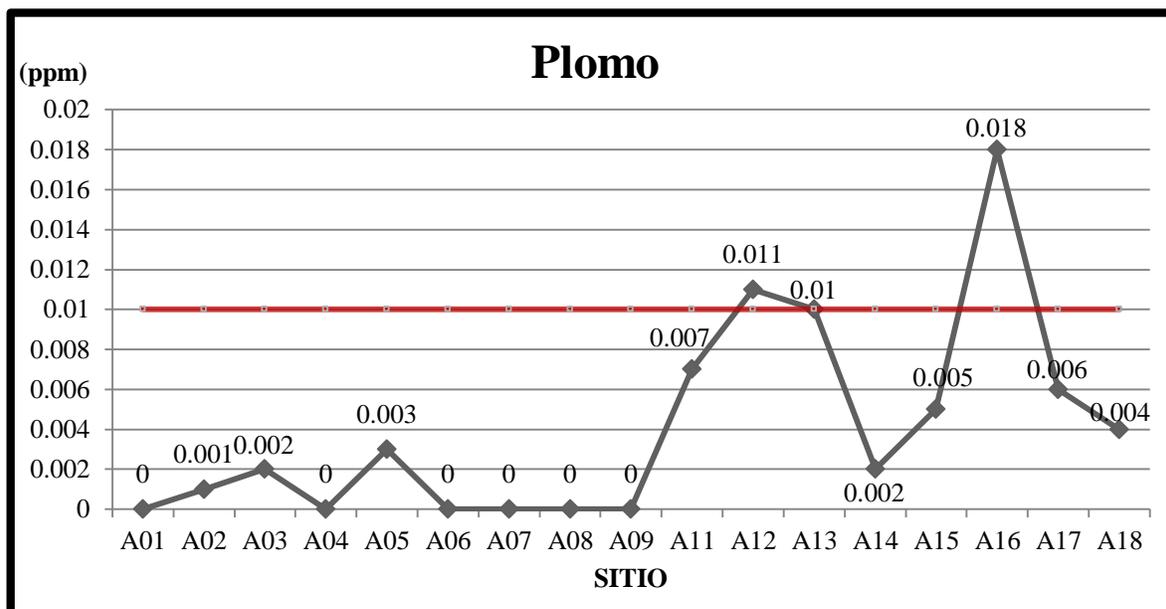


Figura 4. 53 Grafico resultado de Plomo

Fuente: Elaboración Propia

Con la hipótesis mencionada anteriormente se procedió a realizar una investigación acerca de los pesticidas y plaguicidas que ocupan en estos cultivos para determinar si existe la posibilidad de que haya pequeñas cantidades de plomo contenidos en estos agroquímicos.

Inicialmente se realizó un sondeo de campo con las personas que tienen cultivos (todos de caña) ubicados a lo largo de nuestro segmento de estudio, este sondeo fue simple, consultar que tipo de pesticidas, herbicidas o plaguicidas son utilizados en estos cultivos para realizar un seguimiento de los componente de dichos productos agroquímicos y poder tener nutrir más nuestra hipótesis.

Existe una diversidad significativa de agroquímicos utilizados por los agricultores sin embargo según los agricultores los productos agroquímicos que ellos utilizan son los presentados en la Tabla 4. 2 En la tabla se presenta información acerca de la función de estos.

Tabla 4. 2 Productos Agroquímicos

AGROQUIMICO	FUNCION
Cipermetrina	Plagas de gusanos
Engeo	Plagas de gusanos
Jade (Mosca pinta)	Plagas de insectos
Fertilizante 18460	Fertilizante rico en nitrógeno y fosfatos.
Sulfato de amonio	Fertilizante para mezclas con herbicidas

Fuente: Elaboración Propia

Estos productos no presentan en sus componentes indicaciones de que contengan alguna cantidad de plomo, sin embargo esto es normal debido a que por norma no podrían contener ningún rastro de metal pesado y mucho menos plomo sin embargo algunas investigaciones que se han realizado a nivel internacional muestran que esto es posible.

Por ejemplo para cuantificar los niveles de metales contaminantes: plomo y cadmio, en fertilizantes de uso común en Mendoza (Argentina) se analizaron 44 muestras de los principales productos comercializados por empresas agroquímicas; 61 % de ellos correspondieron a fertilizantes fosfatados; 32 %, a nitrogenados y el resto abarcó potásicos, magnésicos simples y orgánicos. Las muestras, molidas a polvo impalpable, se extractaron con ácido clorhídrico en una proporción de 1:5 para obtener extractos finales lípidos de dilución 1:50. Mediante espectrofotometría de absorción atómica y de llama aire-acetileno se cuantificó los tenores metálicos contrastándolos con patrones de alta confiabilidad. (Luis Marti, 2002)

Valores detectados (mg/kg) para el plomo fueron de un máximo: 21,5 en un fertilizante completo. Y un mínimo de 0 en productos de fertirriego y una urea.

Aunque este estudio no presenta las marcas de productos agroquímicos que fueron utilizados en sus análisis si son una aproximación importante a la posibilidad de que las concentraciones elevadas de plomo en los puntos del río Suquiapa provengan de estos cultivos cercanos de caña, a continuación se presenta en una tabla los resultados totales de este estudio realizado en Argentina sobre agroquímicos y metales pesados.

Tabla 4. 3 Cantidad de Metales pesados en Agroquímicos

Fertilizante	Ppm Plomo	Ppm Cadmio
Intervalo de confianza: 95%		
Fosfatado	10,974 ± 1,335	10,439 ± 3,242
Nitrogenado	4,656 ± 2,218	2,037 ± 0,499
Fertirriego	no contienen	0,483 ± 0,067
General	9,551 ± 1,505	0,483 ± 0,067
Intervalo de confianza: 99%		
Fosfatado	10,974 ± 1,932	10,439 ± 4,692
Nitrogenado	4,656 ± 3,458	2,037 ± 0,778
Fertirriego	no contienen	0,483 ± 0,097
General	9,551 ± 1,267	8,208 ± 2,449

Fuente: (Luis Marti, 2002)

Estos resultados muestran la posibilidad de que los agroquímicos utilizados en la zona del río Suquiapa puedan ser la fuente de las concentraciones relativamente elevadas de plomo, sin embargo para determinar de forma concreta el origen de estas concentraciones se necesitan realizar investigaciones de mucha más profundidad.

4.5. PROPUESTA DE DESCONTAMINACIÓN

Como propuesta de descontaminación se realizaron diferentes escenarios en la modelación tanto orgánica como de metales pesados de la siguiente manera:

4.5.1. ESCENARIO DE REMOCIÓN DE DBO₅/OD.

Los resultados generados en las secciones anteriores relacionados con la contaminación debido a carga orgánica revelan un nivel altamente elevado de DBO₅ (126.25 mg O₂/l H₂O) y un valor de 0 mg/l de oxígeno disuelto en el sitio A01SUQUI, lo que se traduce en una carga orgánica altamente contaminante, pues no permite siquiera la subsistencia de organismos acuáticos.

Para establecer un escenario de eliminación de carga orgánica, se seguirán los siguientes pasos: la evaluación del porcentaje de remoción de DBO₅ y recuperación de OD y la propuesta de tratamiento.

-Evaluación del porcentaje de remoción de DBO₅ y recuperación de OD.

El objetivo de la planta de tratamiento es la de remover el DBO₅ contenido en A01SUQUI de tal manera que al unirse al tributario A02VERTI, el contenido de DBO₅ sea menor al límite máximo de 4 mg O₂/l H₂O permitido por el Decreto 51.

Caso contrario al oxígeno disuelto, es deseable mantener una concentración que sea mayor al límite inferior de 4 mg/l sugerido en este mismo decreto.

Para la evaluación de los niveles de remoción de materia orgánica se ha utilizado como herramienta el software WQMCAL, y se fueron interpolando los valores de DBO₅ (L_s) y OD_s para A01SUQUI, los resultados fueron los siguientes, Ver Figura 4. 54:

$$L_s = 3.8 \text{ mgO}_2/\text{l H}_2\text{O}$$

$$OD_s = 3.72 \text{ mg/l}$$

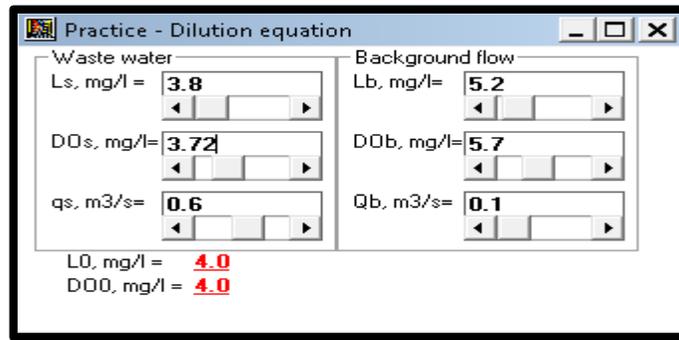


Figura 4. 54 Valores de Ls y ODs.

Fuente: Elaboración Propia, WQMCAL.

Los valores interpolados nos indican que la concentración de DBO_5 debe ser disminuida de $126 \text{ mgO}_2/\text{l H}_2\text{O}$ hasta $3.8 \text{ mgO}_2/\text{l H}_2\text{O}$ e incrementar el OD de 3.5 a 3.72 mg/l para tener dentro de la normativa todo el recorrido del río, como vemos en las curvas tradicionales de decaimiento de DBO_5 (Figura 4. 55) y de agotamiento de oxígeno (Figura 4. 56) generadas por el programa WQMCAL.

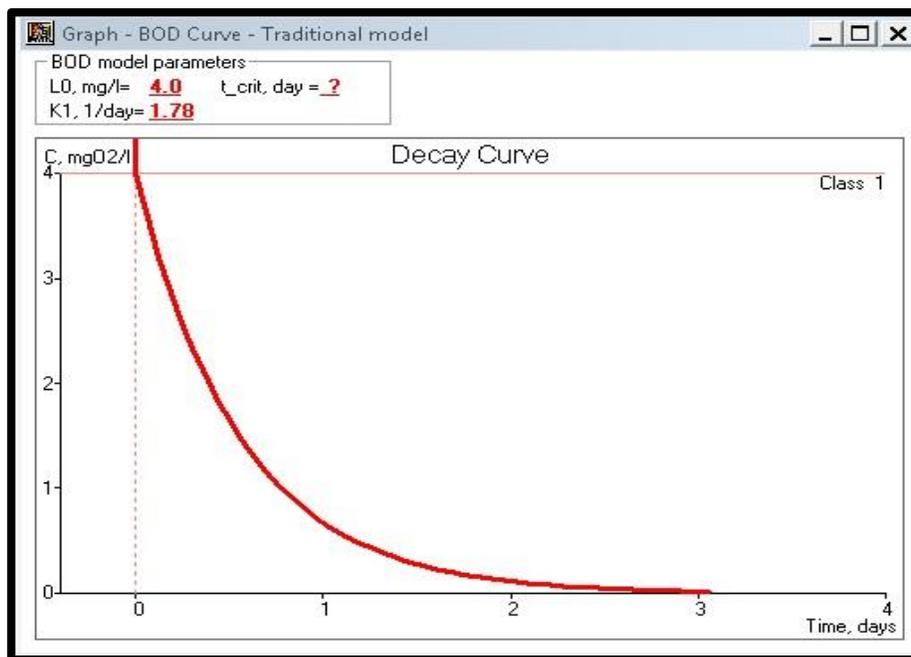


Figura 4. 55 Curva de decaimiento de DBO_5 luego de remover la carga contaminante.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

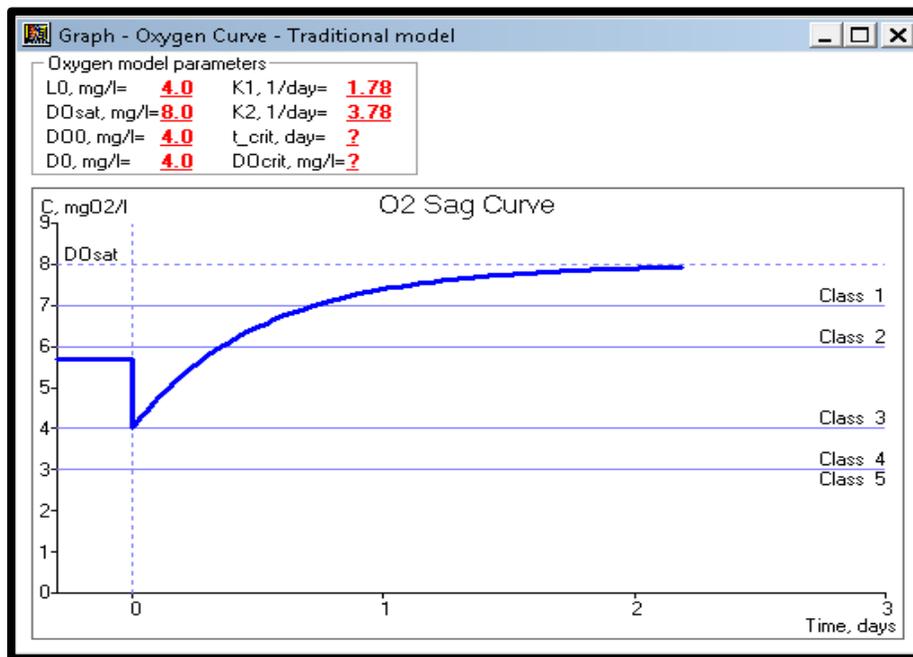


Figura 4. 56 Curva de agotamiento de oxígeno luego de remover la carga contaminante.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

La curva de decaimiento de materia orgánica (Figura 4. 55) muestra cómo se recupera la cantidad de oxígeno disponible en el río y su disminución de degradación, de acuerdo al programa WQMCAL está dentro de la clase 1 (Excelente).

La curva de agotamiento de oxígeno (Figura 4. 56) muestra como en teoría se recupera el oxígeno disponible debido al proceso de reaireación y turbulencia, y su compensación de clase 3 (Tolerable) hasta clase 1 en aproximadamente el tercer día. Traduciendo estos gráficos en función de la distancia obtenemos la siguiente figura:

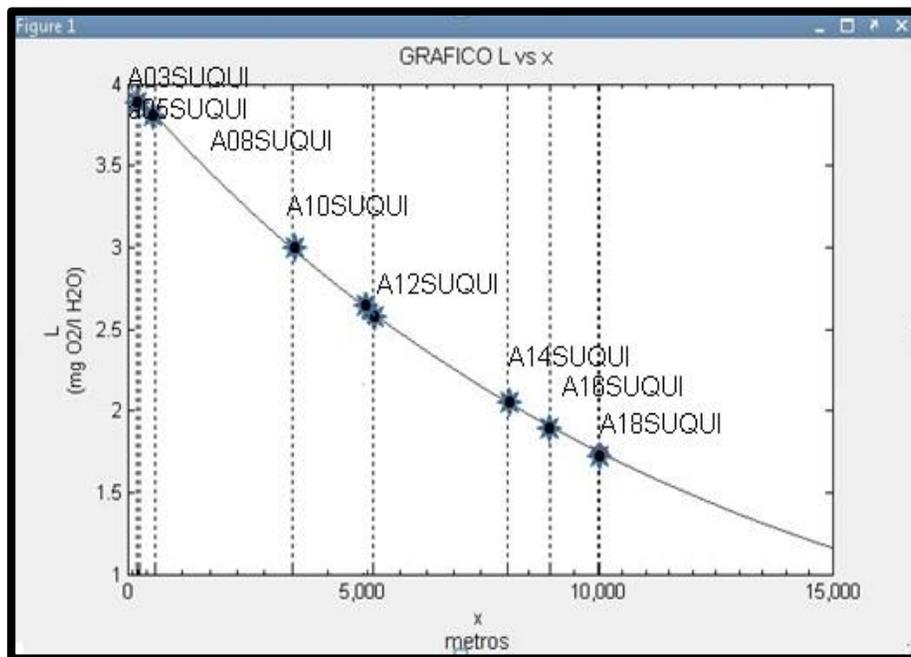


Figura 4. 57 Curva de decaimiento de oxígeno en función de la distancia, luego la remoción.

Fuente: Elaboración propia, WQMCAL.

La Figura 4. 57 representa la concentración de DBO₅ con respecto a la distancia x, luego de ser expuesta a un tratamiento de remoción de carga orgánica, también se ha querido representar la trayectoria de la corriente y distinguir como disminuye el valor de DBO₅ de la corriente principal de agua en su recorrido sin incluir las contribuciones de los tributarios y las fuentes difusas en nuestro tramo de estudio.

Para remover el DBO₅ de 126 a 3.8 mgO₂/l H₂O el porcentaje de remoción de la planta de tratamiento debe ser del 97%. En el caso del OD, para recuperar oxígeno de 3.5 a 3.72 mg/l no se necesita mucha eficiencia, un 6% es satisfactorio.

-Propuesta de una planta de tratamiento.

Se propone como medida de descontaminación establecer una planta de tratamiento de agua en la zona aledaña a la hacienda San Lorenzo, a 130 metros del puente El Sauce, donde comienza el tramo del río en estudio.

Según (Saravia, 2010), inicialmente el propósito del tratamiento de aguas fue el de lograr los siguientes objetivos:

-Eliminación de sólidos flotantes y suspendidos.

-Remoción de materia orgánica biodegradable.

-Eliminación de organismos patógenos.

Los métodos individuales de tratamiento más comunes son clasificados como operaciones unitarias físicas, procesos unitarios químicos y procesos unitarios biológicos.

Ejemplos de operaciones físicas unitarias: Tamizado, desarenado, regulación de flujo, mezclado, flotación, filtración, enfriamiento y sedimentación.

Ejemplos de procesos químicos unitarios: precipitación química, transferencia de gases, adsorción, neutralización, reacciones de óxido-reducción e intercambio iónico.

Ejemplos de procesos unitarios biológicos: filtros percoladores, lodos activados, lagunas de estabilización, lagunas aireadas, zanjas de oxidación y reactores anaerobios.

En la práctica de la ingeniería sanitaria se establece un sistema de clasificación de nivel de tratamiento: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario o avanzado que se explican en el cuadro siguiente:

Tabla 4. 4 Niveles de tratamiento de DBO5.

NIVEL DE TRATAMIENTO.	CONCEPTO	EJEMPLOS	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DBO₅
Pretratamiento.	Engloba a aquellos procesos mediante los cuales se logra la remoción de sólidos flotantes voluminosos y arenas: materiales que ocasionarían problemas a los tratamientos siguientes.	Trituración o desmenuzado. Regulación de flujo Mezcla. Enfriamiento.	---
Tratamiento primario.	Encaminado a la remoción de sólidos sedimentables y flotantes.	Tamizado mecánico. Sedimentación. Flotación.	Remueve cerca del 30-50% de DBO ₅

NIVEL DE TRATAMIENTO.	CONCEPTO	EJEMPLOS	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE DBO₅
Tratamiento secundario.	<p>Se le denomina a los procesos en los cuales la estabilización de la materia orgánica se realiza por medios biológicos, donde se convierte la materia biodegradable y el nitrógeno Kjendahl en dióxido de carbono, agua y nitratos.</p> <p>En el caso de aplicar procesos anaerobios, la materia orgánica se transforma en una mezcla de metano y dióxido de carbono (biogás).</p>	<p>Aireación mecánica.</p> <p>Lagunas aerobias.</p> <p>Reactores Anaerobios de flujo ascendente.</p>	Remueve de 90 a 95% de DBO ₅
Tratamiento terciario.	<p>Aquí se agrupan aquellos procesos utilizados para reducir la concentración de sustancias orgánicas e inorgánicas en el efluente proveniente de un sistema de tratamiento secundario. Además dentro de esta clasificación también se consideran aquellos procesos empleados para remover sustancias que no son removidas o reducidas significativamente en los procesos primario y secundario, como es el caso de los nutrientes, metales pesados, detergentes y otras sustancias tóxicas.</p>	<p>Filtración.</p> <p>Intercambio iónico.</p> <p>Coagulación química.</p> <p>Ósmosis inversa.</p>	La remoción de la materia orgánica supera el 95%.

Fuente: (Saravia, 2010).

A partir del cuadro anterior, es tentativo elegir como procedimiento de remoción de carga orgánica un tratamiento terciario, pero debido a que generalmente esto trae inmersos mayores costos de adquisición y mantenimiento, se recomienda utilizar por separado un método combinado de tratamiento primario (por ejemplo tamizado) y secundario (aireación mecánica) para la eliminación del 97% de carga orgánica y la recuperación del 6% de oxígeno disuelto.

4.5.2. ESCENARIO CON WASP PARA METALES PESADOS

Los daños causados por el plomo dependen de la cantidad y frecuencia de exposición al contaminante. El polvo, el agua y los gases contaminados con plomo perjudican el cerebro, los riñones, el hígado y otros órganos (Luis Marti, 2002). Por ello aunque las cantidades encontradas en el río Suquiapa no son alarmantes en un sentido toxicológico, si es interesante proponer un escenario o varios de descontaminación para de este modo evitar la acumulación de este metal pesado en el río.

A continuación se presentan una serie de escenarios que propician la remoción del plomo de las aguas del río, se realiza un análisis utilizando Fitotecnologías y también consideraciones que van desde cambiar algunos valores en las variables de modelación en el software, como lo son el coeficiente de dispersión y los caudales.

➤ FITORREMEDIACIÓN

El término Fitotecnologías describe la aplicación de la ciencia y la ingeniería para estudiar problemas y dar soluciones que involucran plantas. Aunque el término no se usa ampliamente, es útil en la comprensión de la importancia de las plantas y su papel beneficioso en ambos sistemas sociales y naturales. El uso de plantas como tecnologías para ayudar a abordar los desafíos ambientales. (Angélica Evelin Delgadillo-López, 2011)

La fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo. Estas Fitotecnologías ofrecen numerosas ventajas en

relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo. En esta revisión se presenta un panorama de las diversas técnicas fitocorrectivas empleadas para restaurar suelos y efluentes contaminados; así como del potencial que ofrece el uso de plantas transgénicas. (Angélica Evelin Delgadillo-López, 2011)

- Transporte de contaminantes inorgánicos

Los metales pesados son aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a 5 g/cm³ cuando están en forma elemental o cuyo número atómico es superior a 20. Muestran una elevada tendencia a bioacumularse y a biomagnificarse a través de su paso por los distintos eslabones de las cadenas tróficas. Esta información y la que se presenta a continuación fue tomada de la revista de Agrosistemas tropicales y subtropicales. (Angélica Evelin Delgadillo-López, 2011)

En concentraciones elevadas, ocasionan graves problemas en el desarrollo, crecimiento y reproducción de los seres vivos. Los mecanismos de tolerancia varían entre las distintas especies de plantas y están determinados por el tipo de metal, eficiencia de absorción, traslocación y secuestro. Las fases del proceso por el cual las plantas incorporan y acumulan metales pesados son las siguientes.

-Fase I. Implica el transporte de los metales pesados al interior de la planta y, después, al interior de la célula. La raíz constituye el tejido de entrada principal de los metales, los cuales llegan por difusión en el medio, mediante flujo masivo o por intercambio catiónico. La raíz posee cargas negativas en sus células, debido a la presencia de grupos carboxilo, que interaccionan con las positivas de los metales pesados, creando un equilibrio dinámico que facilita la entrada hacia el interior celular, ya sea por vía apoplástica o simplástica.

-Fase II. Una vez dentro de la planta, las especies metálicas son secuestradas o acomplejadas mediante la unión a ligandos específicos. Entre los quelantes producidos por las plantas se encuentran los ácidos orgánicos (ácidos cítrico, oxálico y málico), algunos aminoácidos (histidina y cisteína) y dos clases de péptidos: fitoquelatinas y metaloteínas.

Las metalotioneinas son polipéptidos de unos 70-75 aminoácidos con un alto contenido en cisteína, aminoácido capaz de formar complejos con cationes mediante el grupo sulfidrilo. Tienen una marcada afinidad por las formas iónicas de Zn, Cd, Hg y Cu.

-Fase III. Involucra la compartimentalización y detoxificación, proceso por el cual, el complejo ligando-metal queda retenido en la vacuola.

Se han identificado una amplia diversidad de especies que se emplean para este fin. Algunas de ellas, debido a su gran capacidad para acumular metales pesados, reciben el nombre de hiperacumuladoras. Sin embargo existe un límite que por definición no puede exceder como se presenta en la siguiente tabla.

- Tecnologías de Fitorremediación

Las fitotecnologías se basan en los mecanismos fisiológicos básicos que tienen lugar en las plantas y en los microorganismos asociados a ellas, tales como: transpiración, fotosíntesis, metabolismo y nutrición. (Ver Tabla 4. 5)

Según (Ghosh, 2005) dependiendo del tipo de contaminante, las condiciones del sitio y el nivel de limpieza requerido; las tecnologías de fitorremediación se pueden utilizar como medio de contención (rizofiltración, fitoestabilización y fitoinmovilización) o eliminación (fitodegradación, fitoextracción y fitovolatilización).

Tabla 4. 5 Mecanismos de Fitorremediación.

PROCESO	MECANISMO	CONTAMINANTES
Fitoestabilización	Complejación	Orgánicos e Inorgánicos
Fitoextracción	Hiperacumulación	Inorgánicos
Fitovolatilización	Volatilización a través de las hojas	Orgánicos e inorgánicos
Fitoinmovilización	Acumulación en la rizosfera	Orgánicos e inorgánicos

PROCESO	MECANISMO	CONTAMINANTES
Fitodegradación	Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes	Orgánicos
Rizofiltración	Uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua	Orgánicos e inorgánicos

Fuente: (Ghosh, 2005)

Según la tabla anterior el mecanismo que nos interesa es el de la Rizofiltración, ya que este método permite trabajar en un medio hídrico y propone una solución factible al problema de la remoción, otra ventaja es que este proceso puede ser focalizado en los puntos donde hay mayores concentraciones de plomo.

La rizofiltración utiliza las plantas para eliminar del medio hídrico contaminantes a través de la raíz. En la rizofiltración estas plantas se cultivan de manera hidropónica. Cuando el sistema radicular está bien desarrollado, las plantas se introducen en el agua contaminada con metales, en donde las raíces los absorben y acumulan (Ver Figura 4. 58).

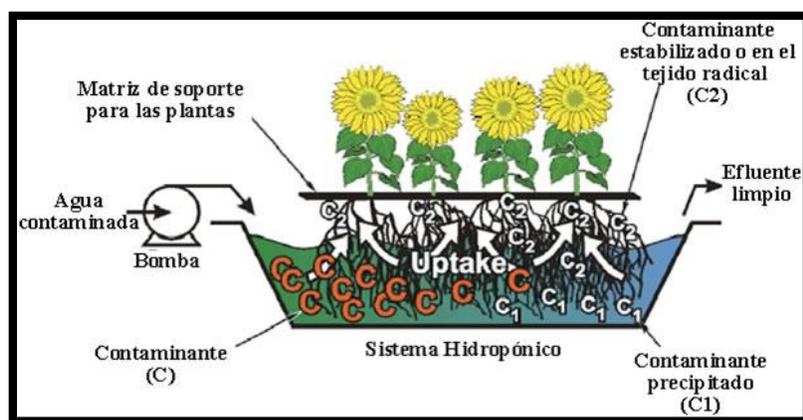


Figura 4. 58 Esquema de la Rizofiltración

Fuente: (Ghosh, 2005)

A medida que las raíces se van saturando, las plantas se cosechan y se disponen para su uso final. Existe una gran cantidad de estudios relacionados con la capacidad de acumulación de contaminantes de diversas plantas acuáticas, algunos ejemplos de ellas se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4. 6 Plantas utilizadas para la Rizofiltración

PLANTA	METAL PESADO QUE ABSORBE
<i>Scirpus lacustris</i>	Cd, Cu, Pb, Mg, Fe, Se, Cr
<i>Lemna gibba</i>	Pb, As, Cu, Cd, Ni, Cr, Al, Fe, Zn, Mn
<i>Azolla caroliniana</i>	Hg, Cr Sr, Cu, Cd, Zn, Ni, Pb, Au, Pt
<i>Elatine trianda</i>	As
<i>Polygonum punctatum</i>	Cu, Cd, Pb, Se, As, Hg, Cr, Mn
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Cu, Zn, Mn, Fe, Ni

Fuente: (Angélica Evelin Delgadillo-López, 2011)

Otro aspecto importante es el límite de absorción de las raíces para los metales pesados de este modo en la siguiente tabla se presentan estos valores limites, que servirán de gran manera para el análisis y el planteamiento del escenario de descontaminación.

Tabla 4. 7 Valores límites de acumulación de metales pesados en las plantas

METAL PESADO	LIMITE DE ABSORCION
Cadmio	100 µg/g (0.01 % peso seco)
Cobalto	1000 µg/g (0.1 % peso seco)
Arsénico	100 µg/g (0.01 % peso seco)
Cobre	1000 µg/g (0.1 % peso seco)
Cromo	1000 µg/g (0.1 % peso seco)
Níquel	1000 µg/g (0.1 % peso seco)
Plomo	1000 µg/g (0.1 % peso seco)
Manganeso	10 000 µg/g (1.0 % peso seco)
Demás metales pesados (en promedio)	1000 µg/g (0.1 % peso seco)

Fuente: (Angélica Evelin Delgadillo-López, 2011)

Según esta investigación los niveles de absorción de los metales pesados de nuestro interés en este caso el plomo, es muy útil y conveniente, ya que el valor límite está muy por encima de la remoción necesaria para descontaminar el río.

Sin embargo la selección de la planta para realizar una fitorremediación dependería de varios factores como factibilidad de esta a adaptarse al clima del sitio en consideración, precio, disponibilidad entre muchos otros factores, sin embargo estas consideraciones y análisis están fuera de la presente investigación.

Con propósitos académicos, y con el respaldo de la información anteriormente vista, se puede concluir la veracidad de cualquiera de estas plantas con la que se pueda tratar el plomo en el río, de este modo el escenario de descontaminación se establece focalizando el establecer un grupo de plantas para realizar la Rizofiltración en los puntos del segmento en estudio con mayores cantidades de plomo y que sean puntos tributarios, en este caso se propone realizarlo en los puntos con los códigos A02VERTI(0.001 ppm), A11ZARCO (0.007 ppm), A13VERTI (0.01 ppm), A15PUENTE (0.005 ppm), A17GUILGUI(0.006 ppm), es importante mencionar porque se han elegido solo puntos catalogados como tributarios, esto se debe a que es en estos puntos donde la aplicabilidad de la Rizofiltración es más conveniente ya que los puntos de flujo principal es más complicado, además puede resultar muy confuso no elegir los puntos con mayores cantidades de plomo sin embargo esta focalización de estos puntos permite que la acumulación en los puntos donde se exceden los valores de norma disminuyan por efecto de flujo del río sin tener que atacarlos directamente, sin embargo existe una amplia variedad de escenarios para aplicar la Rizofiltración una de estas es poner las plantas en la zona donde está ubicada la planta eléctrica ya que en este punto se tiene la infraestructura y el personal para darle un seguimiento constante.

Por la efectividad mencionada de las plantas y la capacidad de remoción y exposición automáticamente estos puntos llegarían a 0 ppm de concentración de plomo, realizando estos ajustes en el software WASP se pueden observar cambios considerables como se muestra en el siguiente gráfico.

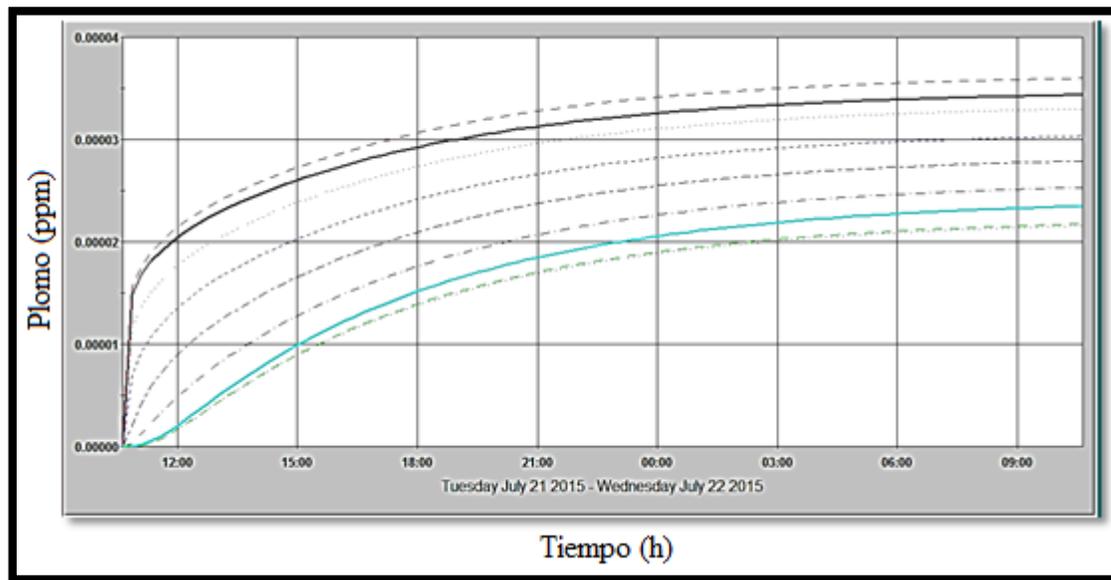


Figura 4. 59 Concentración de plomo en el tiempo posterior al tratamiento de fitorremediación.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

Al observar la gráfica y compararla con la gráfica anterior al tratamiento de fitorremediación se observa que hay una mejor considerablemente mayor, ya que los niveles se han reducido desde valores de 0.002 ppm de plomo hasta un 0.0003 ppm, los cuales son valores casi insignificantes muy por debajo de los valores de la norma que permiten un máximo de 0.01 ppm, lo importante en este escenario es también, que solo se está aplicando el tratamiento a unos cuantos puntos tributarios del río, no tocando los del flujo principal, esto se ha realizado de esta forma ya que un tratamiento de Rizofiltración en el flujo principal se complicaría considerablemente debido a la instalación de las plantas, sin embargo los puntos tributarios con caudales bajos y accesibles representa una opción oportuna y donde la Rizofiltración se podría poner en práctica de forma muy sencilla, tanto como por los caudales bajos como ya se mencionó como también por la localización de los puntos.

El grafico de concentraciones por segmentos también genera algunos análisis importantes ya que también justifica la disminución e concentraciones de plomo a lo largo del río, pero además resalta un punto importante, y es que los puntos que se proponen para la Rizofiltración son solo de la parte baja o final del tramo en estudio, generando así que los puntos al principio del tramo se mantengan constantes en sus valores con respecto a antes

de aplicar el tratamiento, esto no es especialmente un problema ya que se consideró no tocar los puntos iniciales debido a que desde ya las concentraciones son muy bajas por ende no había necesidad de reducirlas más, pero el aspecto más importante es por lo que se hablaba en la sección anterior y es que las relativamente elevadas concentraciones de plomo podrían focalizarse en solo algunos puntos por alguna clase de carga difusa en zonas muy específicas y cercanas a los mismo. En el grafico siguiente se observan mejor estos análisis.

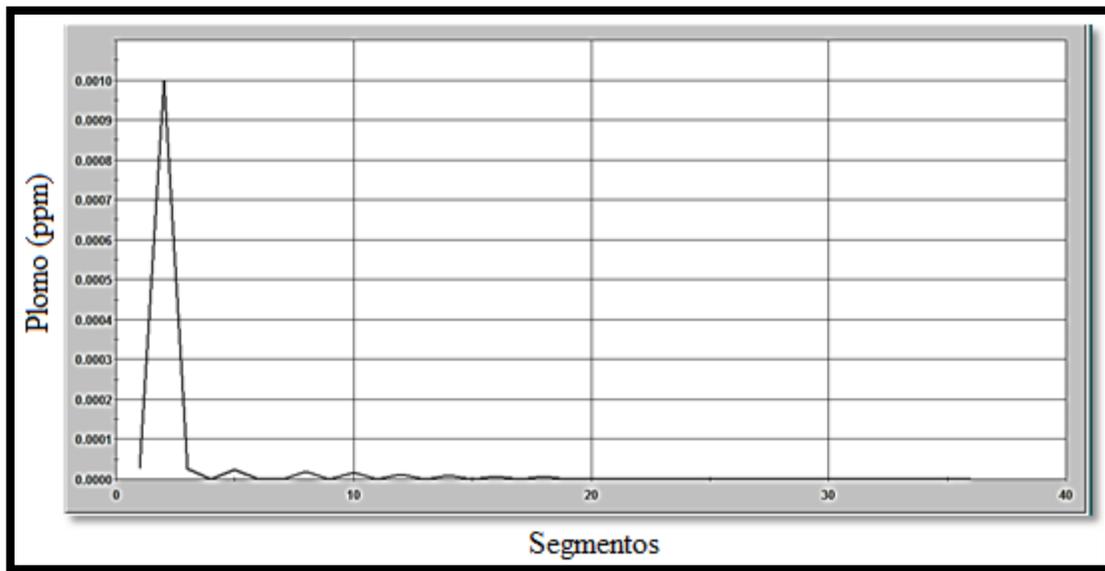


Figura 4. 60 Concentración de plomo por segmento posterior al tratamiento de fitorremediación

Fuente: Elaboración propia, WASP.

Como se puede observar el único valor que parece salirse del patrón bajo es el punto numero dos (A02VERTI), donde la concentración de plomo es de 0.001 tanto en el valor comprobado experimentalmente como el simulado el cual esta una décima debajo del máximo permitido por la norma, lo cual hace de la Rizofiltración una alternativa atractiva y eficaz de descontaminación. Además este valor se presume ira disminuyendo ya que como los metales pesados en este caso el plomo se desplaza con los sedimentos y estos son arrastrados por el flujo del agua en el rio en algún momento se espera que estas concentraciones se distribuyan uniformemente a lo largo del rio en valores sumamente bajos sino es que nulos.

➤ ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Un escenario importante de análisis cuando ya se tiene la reproducibilidad del cuerpo de agua es realizar un análisis de sensibilidad, para poder determinar cuáles son las variables que causan mayores modificaciones al modelo, esto es importante ya que algunos valores de estas variables podrían ser moldeables lo que ayudaría a tener una posible solución de descontaminación.

- Modificación del coeficiente de dispersión.

Hasta el momento se ha trabajado con el coeficiente de dispersión promedio encontrado en (Espinoza Rivas, Vinicio Merino, & Zavaleta Lemus, 2013), el cual tiene un valor de 120,602 m²/s, lo que se procederá a hacer es cambiar este valor de coeficiente de dispersión a valores de 50% más alto y 50% más bajo y observar su incidencia en los datos proporcionados por el software.

Si se plantea un escenario donde el coeficiente de dispersión sea 50% más bajo que el actual de 120,602 m²/s quedando un coeficiente de dispersión de 60.301 m²/s, el set de datos para el software WASP es el mismo la única variante será este nuevo valor, además los valores de las concentraciones de plomo siguen siendo los originales medidos experimentalmente.

Con estas observaciones se procede a realizar la corrida del modelo para poder observar que cambios hay en las gráficas o de qué forma si existe varían los valores de concentración.

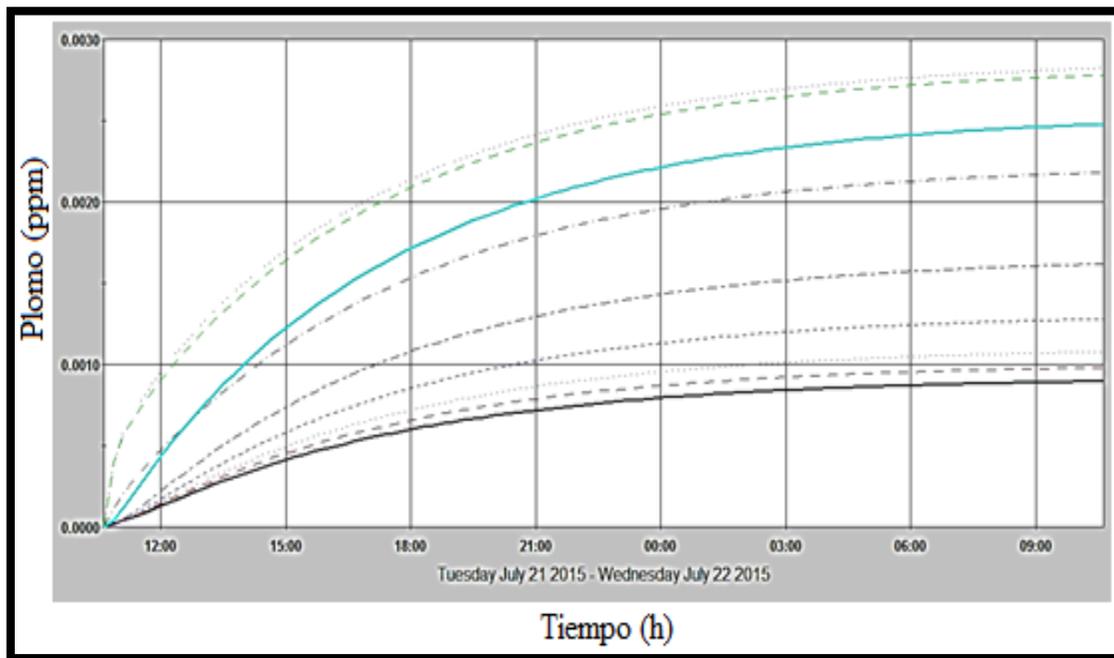


Figura 4. 61 Concentración de plomo en el tiempo con variación de 50% menos en su coeficiente de dispersión.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

Si observamos el grafico anterior y lo comparamos con el grafico con el valor original del valor de dispersión quizá las diferencias no sean tantas, teniendo una misma escala, es decir en general los valores siguen alcanzando un mismo máximo, sin embargo si observamos detenidamente cada curva, algunas curvas en especial las de los puntos iniciales del tramo en estudio tiende a aumentar su concentración con mayor lentitud, esto es fácilmente observable ya que en el grafico origina ninguna curva está por debajo de 0.001 ppm de plomo, y en este grafico se encuentran casi 3 curvas, los demás valores permanecen casi idénticos, lo importante es mencionar que con esta modificación los valores permanecen bajo el limite permisible según la norma de 0.01 ppm.

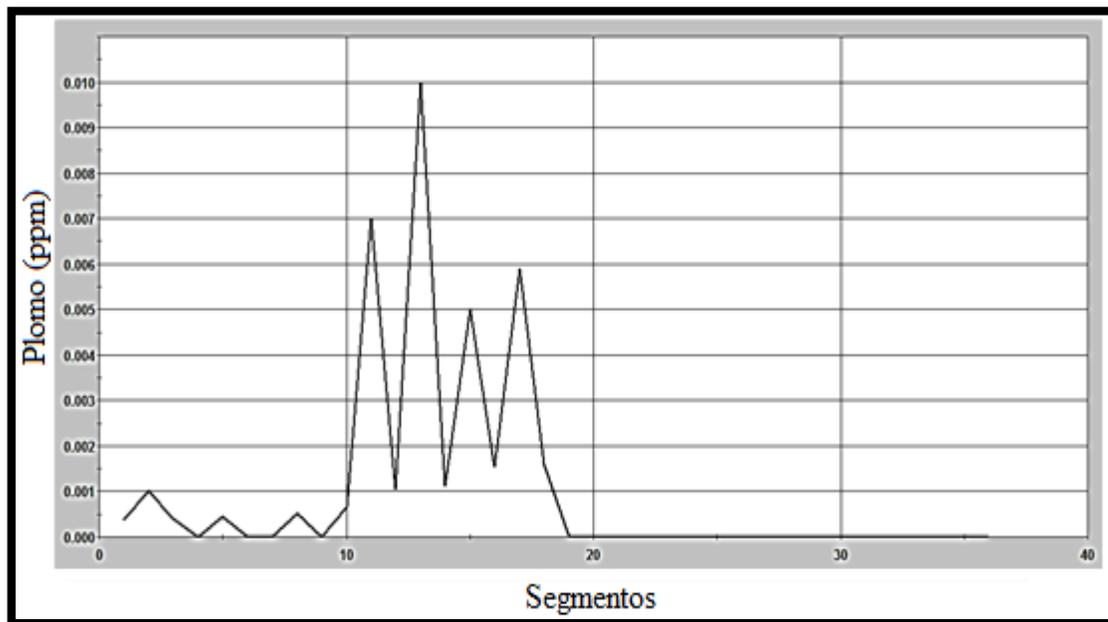


Figura 4. 62 Concentración por segmento de plomo con un coeficiente de dispersión 50% menor al original.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

El gráfico de concentración por segmento es aún mucho más esclarecedor ya que fácilmente se observa que la primera mitad de los puntos de análisis del río ha disminuido considerablemente en sus concentraciones y la mitad restante se han mantenido constantes, este fenómeno podría deberse a varios factores, como podrían ser las diferencias entre los caudales o volúmenes, velocidades, etc. entre cada segmento de puntos, es preciso recordar que el valor del coeficiente de dispersión implica varias variables de este modo es sensato pensar que el segmento inicial del río tiene mayor capacidad de dispersar, diluir o distribuir mejor las cargas contaminantes.

Además es importante notar que según este gráfico solo existe un valor que llega al límite establecido según la norma del decreto 51 de 0.01 ppm pero aun con este valor el resto de puntos en el gráfico son altamente aceptables ya que están muy por debajo de la norma.

Con estos valores básicamente se establece una incidencia considerable en cuanto a la modificación del coeficiente de dispersión en una disminución del 50% del original, la

percepción de estas modificaciones que se visualizan en ambos gráficos realizados por el software WASP.

Ahora realizaremos el mismo análisis pero con un valor 50% mayor al coeficiente de dispersión original es decir el valor ahora será de 180,603 m²/s.

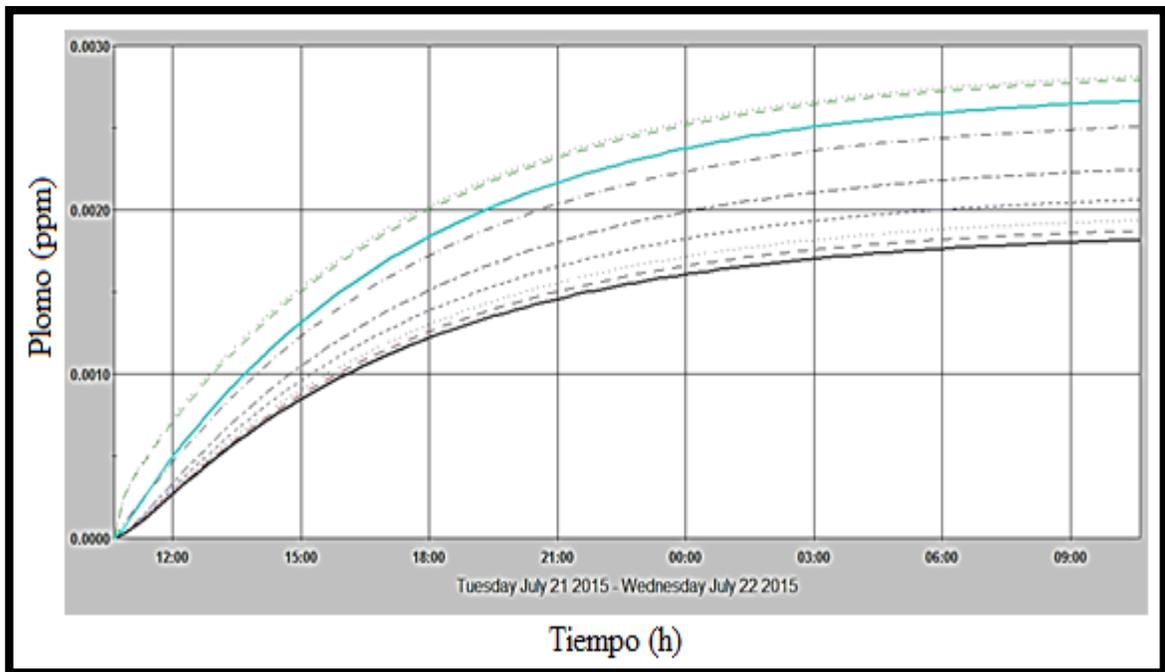


Figura 4. 63 Concentración en el tiempo de plomo con un coeficiente de dispersión 50% mayor al original.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

En este gráfico se puede visualizar lo que por lógica se esperaba, es decir un incremento en la concentración de plomo en el tiempo siempre solo de los primeros puntos, esto resulta especialmente interesante ya que en teoría se necesitarían valores más extremos tanto inferiores o superiores para modificar todos los puntos de estudio, además determinar qué es lo que condiciona este fenómeno requiere un análisis profundo, es decir desde el cálculo mismo de los coeficientes de dispersión que ya no abarca este trabajo.

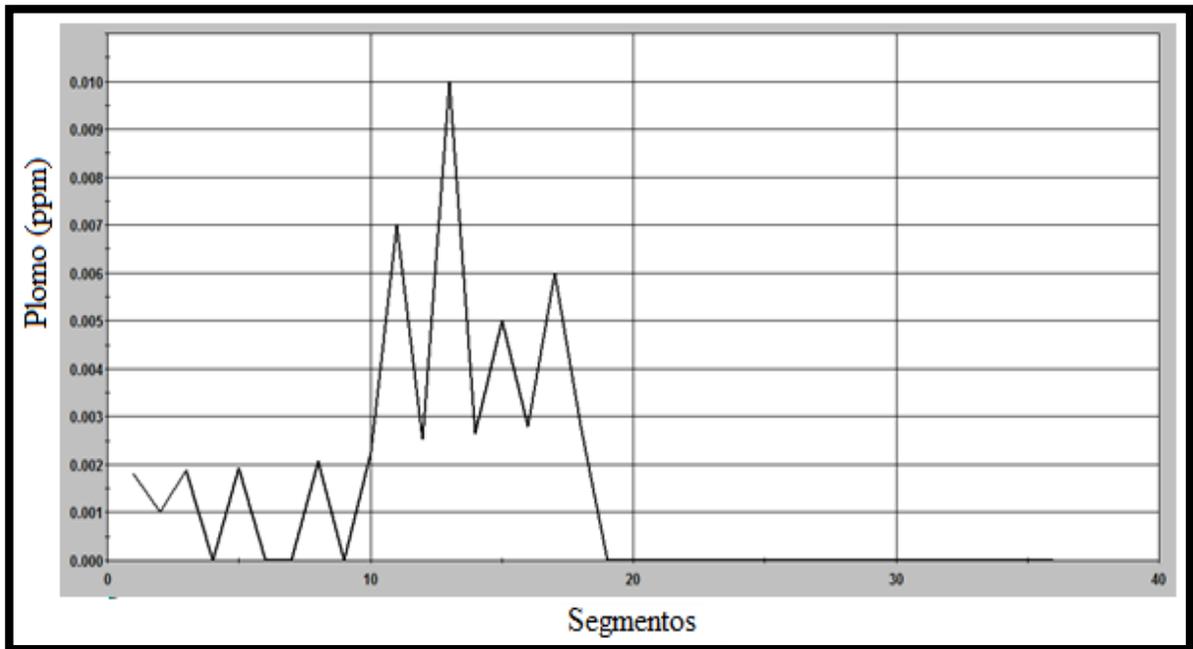


Figura 4. 64 Concentración de plomo por segmento con un coeficiente de dispersión 50% mayor al original

Fuente: Elaboración propia, WASP.

Aunque los cambios en los valores de la concentración con este nuevo coeficiente de dispersión son visualmente similares existe un ligero aumento, tan mínimo como en el caso de cuando el valor del coeficiente de dispersión se redujo a la mitad, lo importante es concluir que de hecho este valor si afecta sin embargo su incidencia es mínima ya que los valores solo tienen un cambio muy pequeño y no afecta a todos los puntos de análisis.

- Modificación de los caudales

En el año 2007 se realizó un documento por el Ministerio de medio ambiente y recursos naturales (Esquivel, 2007), en el cual se presentaban datos de caudales y concentraciones de metales pesados en varios puntos de varios ríos del país, este documento presenta valores de caudales en época lluviosa, aunque el informe lleva varios años, los datos se prestan para hacer una aproximación.

Sin embargo en este informe solo se presenta uno de los puntos de nuestro segmento de estudio, en este sentido se realizar un cociente estadístico entre el valor actual y el valor en época lluviosa utilizando la siguiente formula.

$$\%deCrecimiento = \frac{Valor\ Epoca\ Lluviosa - Valor\ Epoca\ Seca}{Valor\ Epoca\ Seca}$$

Ecuación 32

Los valores que se tienen son los del primer punto A01SUQUI el valor de la época seca es de $0.609 \frac{m^3}{s}$ y el valor para la época lluviosa $2.906 \frac{m^3}{s}$ el valor del porcentaje de crecimiento es extremadamente alto es de 377%. Para propósitos de análisis se aumentaran los valores de los caudales de los 18 puntos de análisis en el porcentaje ya mencionado como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4. 8 Caudales de época lluviosa

PUNTO	CAUDAL EPOCA SECA	CAUDAL EPOCA LLUVIA
A01SUQUI	0,609	2,30
A02VERTI	0,061	0,23
A03SUQUI	0,677	2,55
A04APANT	0,346	1,31
A05SUQUI	1,091	4,11
A06SAUCE	0,16	0,60
A07CARCA	0,095	0,36
A08SUQUI	1,203	4,54
A09MOLIN	0,151	0,57
A10SUQUI	1,812	6,83
A11ZARCO	0,422	1,59

PUNTO	CAUDAL EPOCA SECA	CAUDAL EPOCA LLUVIA
A12SUQUI	2,299	8,67
A13VERTI	0,053	0,20
A14SUQUI	2,66	10,03
A15PUENTE	0,719	2,71
A16SUQUI	2,9	10,94
A17GUILGU	0,127	0,48
A18SUQUI	3,027	11,42

Fuente: Elaboración propia.

Estos valores son sustituidos en el modelo realizado en WASP y se generan nuevamente los gráficos para observar sus comportamientos en caudales altos.

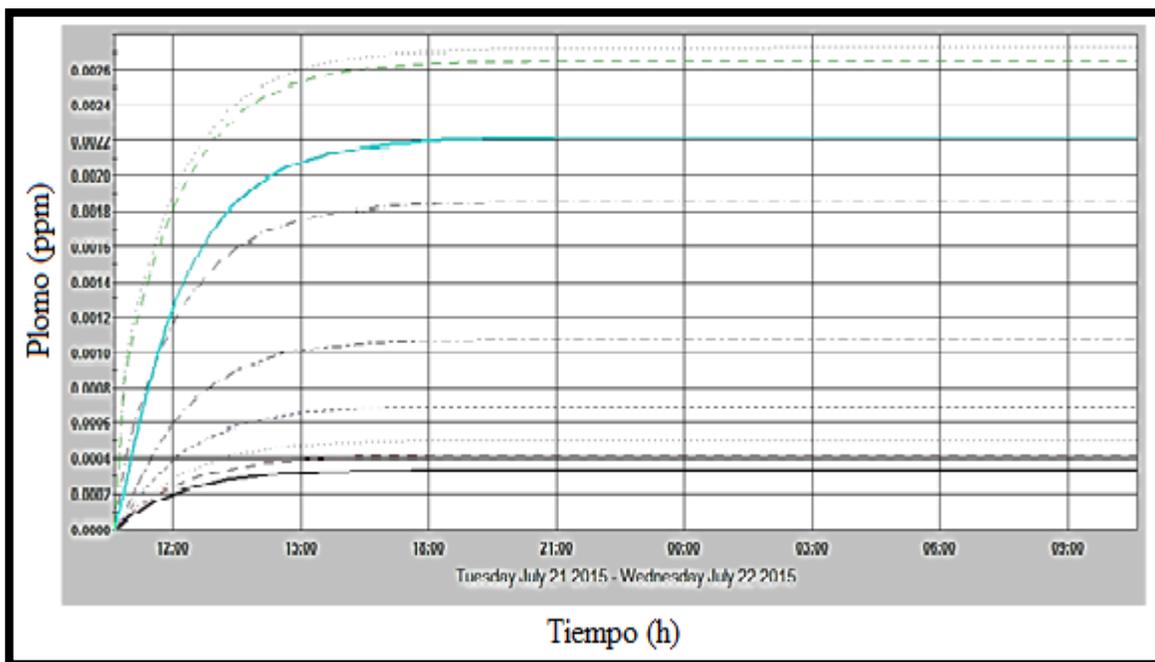


Figura 4. 65 Concentración de plomo en el tiempo con caudales en época de lluvia.

Fuente: Elaboración propia, WASP.

Con el cambio de caudales las diferencias observadas en el grafico son considerables para empezar la escala de concentración máxima se reduce sin embargo lo que más llama la atención es que las curvas que representan la evolución de la concentración de plomo en el tiempo se dispersan de forma muy marcada, los primeros puntos son los que tienen niveles más bajos en el tiempo, esto es siempre parte del patrón que se ha cumplido a lo largo de todos los escenarios donde se observa que los puntos finales del tramo en estudio son los que presentan mayor contaminación.

Estos niveles bajos de concentración se pueden observar mejor en el gráfico de concentración por segmento el cual será muy parecido al original

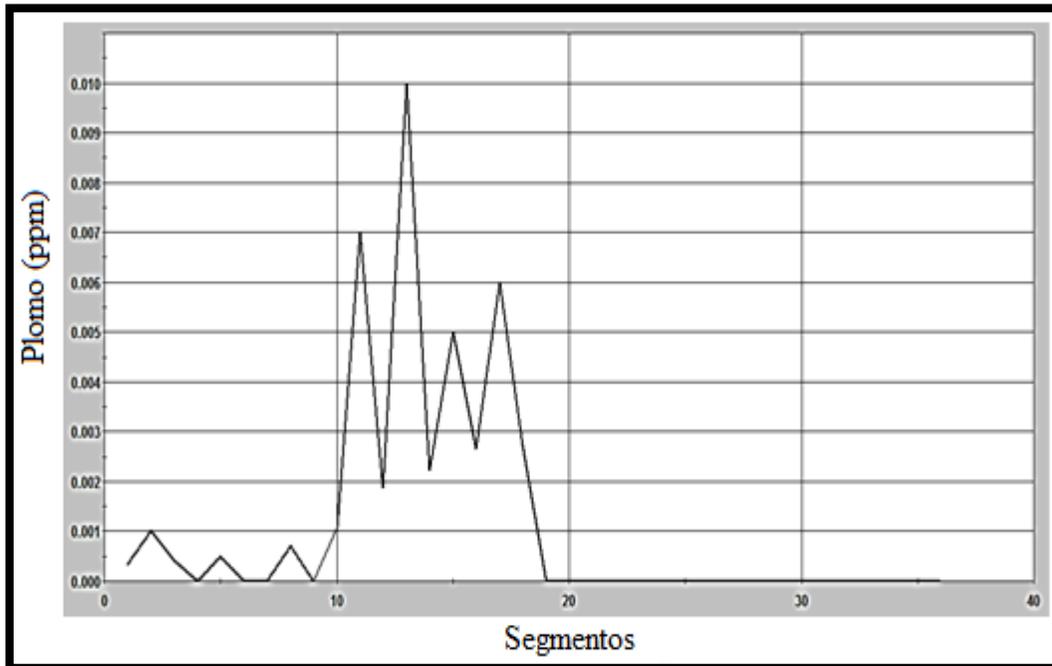


Figura 4. 66 Concentración por segmento de plomo con caudales en época lluviosa

Fuente: Elaboración propia, WASP.

Algo curioso es que este grafico se parece mucho al gráfico de cuando disminuimos en un 50% el coeficiente de dispersión lo que puede sugerir que existe una relación inversamente proporcional entre el caudal y el coeficiente de dispersión, sin embargo en general las modificaciones son muy mínimas en cada uno de los escenarios.

En general en época de lluvia los valores de las concentraciones de plomo disminuyen en la parte alta del segmento de estudio y en los demás puntos tiende a disminuir un poco sin embargo estas disminuciones son casi insignificantes sin embargo son variaciones y siempre deben ser observadas, lo importante sigue siendo que los valores de la simulación siguen estando por debajo de la norma de 0.01 ppm.

Para culminar este análisis en el mismo documento publicado por el MARN (Esquivel, 2007) presenta valores de concentración de plomo en dos de los puntos que involucra nuestro estudio los puntos que en el documento del MARN han sido codificados como A01SUQUI siendo el mismo punto con el mismo condigo para nuestro estudio y el punto A04ARANC que es el equivalente al A10SUQUI en nuestro estudio, a continuación se presenta una comparación entre estos valores.

Tabla 4. 9. Comparación de concentraciones de plomo en años diferentes

PUNTO	CONCENTRACION EN 2007	CONCENTRACION ACTUAL
A01SUQUI	0.0033	0
A10SUQUI	0	0.157

Fuente: Elaboración propia.

Con esta comparación se puede observar que las cargas no sean continuas, sin embargo para nutrir esta información sería conveniente tomar más datos en épocas diferentes en diferentes puntos para comprobar dicha hipótesis, sin embargo resulta muy interesante ver el cambio entre las concentraciones en diferentes épocas más aun cuando el punto A10SUQUI es el que presenta mayor concentración de plomo en los actuales datos.

CONCLUSIONES.

- La modelación de la carga orgánica del río Suquiapa queda caracterizada a partir de uno de los modelos de DBO₅/OD en ríos realizada por el software de carácter académico WQMCAL, aprobado por la UNESCO y que ha permitido visualizar los puntos a lo largo del segmento del río en estudio que contienen una mayor cantidad de demanda bioquímica de oxígeno y nos presenta un panorama de los puntos de mayor contaminación y los sitios de recuperación del río. Ya que el análisis de carga orgánica se realizó a partir de un subconjunto de puntos considerando los puntos tributarios como los puntos efluentes, exceptuando el primero, da la pauta para continuar con un estudio más prolongado del segmento restante del río en el cual fácilmente se podrían sustituir los tributarios por algún tipo de industria contaminante, esto es conveniente, ya que más allá del segmento de estudio la industria se intensifica generando así más focos contaminantes.
- Al aplicar el “modelo de DBO₅/OD en ríos” en un tramo de aproximadamente 10 km del río Suquiapa, el software WQMCAL despliega un resultado promedio de TOLERABLE para DBO₅ y CONTAMINADO para oxígeno disuelto, exceptuando dos puntos radicalmente opuestos: el sector A01SUQUI-A02VERTI, donde ambos parámetros están completamente deteriorados y A17GUILGU-A18SUQUI donde se presenta cierta mejoría. A partir de ello, se propone realizar un procedimiento de descontaminación en la sección correspondiente a A01SUQUI, específicamente en la zona aledaña a la hacienda San Lorenzo, a 130 kilómetros del puente El Sauce, debido a que su contenido de DBO₅ se transferirá en el agua de los puntos que le continúan en la corriente principal, por lo que dedujimos que se debe remover el 97% de DBO₅ y recuperarse el 6% de OD para lograr cumplir los requerimientos de aguas superficiales. El procedimiento de descontaminación propuesto consiste en realizar por separado el tratamiento primario (por ejemplo, tamizado), que remueve cerca del 30 al 50% de DBO₅ y un tratamiento secundario (por

ejemplo aireación mecánica) que remueve del 90-95% de DBO₅ y a su vez incrementa la cantidad de oxígeno disuelto.

- Con los análisis fisicoquímicos y de calidad de agua se llega a la conclusión de que la calidad del agua en río se categoriza como REGULAR, esto concuerda con el análisis de la modelación orgánica.
- En cuanto a la modelación de metales pesados (arsénico y plomo) se concluye para empezar, que la dispersión de los datos de concentraciones en el río genera una complicación, ya que los datos insertados son de los puntos tributarios que para el plomo son generalmente de 0 ppm y para el arsénico es el promedio de 0.03 ppm, pero se incrementan drásticamente en los puntos de la corriente principal del río, (puntos con terminación SUQUI), debido a esto se investigó el motivo del incremento de los valores en los puntos ya mencionados y una de las explicaciones más precisas es la que el incremento de plomo es generada por una carga difusa a partir de las plantaciones de caña en las cercanías de los puntos donde hay más concentración de plomo, la razón vinculante podría ser que los pesticidas o plaguicidas ocupados para estos cultivos contengan plomo.
- En cuanto al arsénico, los niveles contenidos en el sedimento del río, son tan mínimos que se consideran de origen natural.

RECOMENDACIONES

- Si se desea realizar una mejor caracterización del comportamiento de las aguas del río Suquiapa es importante ampliar el tiempo de monitoreo para las estaciones tanto seca y lluviosa, también combinar datos de diferentes años especialmente para efectos de comparación y estimación de variabilidad.
- Para la evaluación de un índice de calidad de agua más completo en el río Suquiapa, se pueden añadir más parámetros para calcular su valor, además se recomienda utilizar otros índices de calidad como el de Brown, el cual considera más parámetros y variables y hacer comparaciones entre estos.
- Se debe dar a conocer los resultados de este estudio a los pobladores de las zonas aledañas al río Suquiapa, con el objetivo de que conozcan los peligros que atrae el contacto con las aguas contaminadas de este río y que reevalúen los posibles usos que le dan al agua, ya que muchas veces esta agua es utilizada para el consumo de ganado y regadíos en plantaciones, y de acuerdo a nuestros resultados el río no tiene aptitudes para consumo ni humano ni animal.
- Debido al incremento de plomo a partir de un sitio de muestreo, se debería realizar una investigación que tenga como objetivo encontrar las fuentes contaminantes de plomo y la búsqueda de una solución factible al problema.
- Debido a las concentraciones deficientes de oxígeno disuelto en el río Suquiapa, se recomienda realizar trabajos posteriores que investiguen y planteen la posibilidad de la instalación de una planta de tratamiento de aguas para combatir los altos índices de degradación de la materia orgánica que provoca, especialmente en los puntos desde A01SUQUI hasta A04APANT la muerte de organismos acuáticos y la deficiente calidad del agua.
- Uno de las principales recomendaciones es realizar un estudio de modelación del metal pesado cromo, ya que la presencia de tenerías en la zona del río predispone a

que haya contaminación por esta sustancia, esto debido a que para limpiar los cueros esta industria utiliza una solución de cromo. Además con el estudio realizado por el ministerio de medio ambiente y recursos naturales en 2006 se encontraron concentraciones de cromo de hasta 53.1 ppm (Esquivel, 2007) estos niveles son extremadamente altos y deben ser estudiados.

- Es necesario promover el establecimiento de locales adecuados para hacer uso del equipo disponible de la Universidad de El Salvador, en ocasiones, se encuentran una gran cantidad de aparatos de gran valor económico que no puede ser utilizados ya que no se encuentra la correcta instalación eléctrica en el local. Además, se recomienda la realización de un proceso de mantenimiento continuo en el equipo y la revisión de las sustancias de calibración correspondientes, ya que muchas veces las sustancias de calibración se encuentran vencidas y eso puede provocar errores en la medida de los parámetros.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguirre Chavarría, C. M., González Guidos, E. O., & Guerrero Granadeño, H. L. (febrero de 2015). Elaboración y aplicación de metodologías analíticas e instrumentales para la cuantificación de parámetros fisicoquímicos en agua y su aplicación en el laboratorio de Ingeniería Química, FIA, UES. San Salvador, El Salvador.
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2006). *Acueducto*. Obtenido de Agua, Alcantarillado y Aseo de Bogotá: <http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/06/servicios/ProtPreLabAguas.pdf>
- Ali Khan, A., Paterson, R., & Khan, H. (2004). Modification and Application of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for the Communication of Drinking Water Quality Data. *Water Qual. Res. J. Canada*, 2004 • Volume 39, No. 3, 285–293.
- Amaya Arévalo, Á. J. (Abril de 2015). Evaluación Hidrogeoquímica e Hidroquímica de la Subcuenca del Rio Aranchacal. Ciudad Universitaria, El Salvador.
- Angélica Evelin Delgadillo-López, C. A.-R.-G.-I.-S. (2011). *FITORREMEDIACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA ELIMINAR LA CONTAMINACION*. Mexico DF.: Tropical and subtropical geoeosystems.
- Balmaseda Espinosa, C., & García Hidalgo, Y. (2014). Índice canadiense de calidad de las aguas para la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3), 11-16.
- Bryan, K. (1979). Classification of springs. *Journal of Geology*, 15.
- Dirección General de Estadística y Censos. (2007). *VI Censo de población y vivienda 2007*. San Salvador: Ministerio de Economía.

- Espinoza Rivas, R. L., Vinicio Merino, A., & Zavaleta Lemus, R. M. (Octubre de 2013). Caracterización hidrodinámica y Dispersión de contaminantes de la parte alta del Río Suquiapa. Ciudad Universitaria, El Salvador.
- Esquivel, O. A. (2007). *Diagnóstico Nacional de la Calidad Sanitaria de las Aguas Superficiales de El Salvador*. San Salvador: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Géza Jolánkai, I. B. (2000). *Description of the CAL programme on Water Quality Modelling Version 2 Basic river and lake water quality models (with an outlook to "ecohydrological" applications)*. Budapest: UNESCO.
- Ghosh, M. S. (2005). *A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by-products*. . Washintong DC: Ecology and Environmental Research.
- Government of Newfoundland and Labrador. (30 de Octubre de 2014). *Newfoundland Labrador Canada*. Obtenido de Departament of Environment and Conservation: <http://www.env.gov.nl.ca/env/waterres/quality/background/cwqi.html>
- GROUP, W. B. (1998). Pollution prevention and abatement handbook. *Water quality models*.
- Hernández, W. (2005). *Servicio Nacional de Estudios Territoriales*. Obtenido de Nacimiento y Desarrollo del Río Lempa: www.snet.gob.sv/Geologia/NacimientoEvolucionRLempa.pdf
- Lenntech BV. (2015). *Lenntech*. Obtenido de Water treatment: <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/>
- Lillo, J. (2000). *Peligros geoquímicos: arsénico de origen natural*. Mexico D.F.: GEMM.
- Luis Marti, J. N. (2002). *Metales pesados en fertilizantes y fosfatos, nitrogenados y mixtos*. Buenos Aires.: Facultad de Ciencias Agrícolas, UNcoyo.

- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2012). *Clasificación de Ríos por Cuencas Hidrográficas de El Salvador*. San Salvador, El Salvador.
- Norma Nacional Decreto No. 51. (16 de noviembre de 1987). *Diario Oficial*.
- Organización de Las Naciones Unidas. (22 de 10 de 2014). *Naciones Unidas*. Obtenido de Decenio Internacional para la acción "El Agua Fuente de Vida" 2005-2015: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>
- Pastora Flores, D. V. (2009). *Imágenes de caracterización para la Cuenca Suquiapa*. El Salvador.
- Ríos, J. C. (2013). *Transporte de contaminantes en sistemas fluviales y evaluación de la aplicabilidad del modelo WASP en las cuencas de los ríos Elqui y Choapa, Región de Coquimbo, Chile*. La Serena: Universidad de la Serena.
- Robert B. Ambrose, T. A. (2009). *WASP7 Stream Transport – Model Theory and User's Guide*. Atalanta, Georgia: Environmental Protection Agency.
- Samboni, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación. *Ingeniería e Investigación*, 27, 172–181.
- Saravia, P. (2010). *Contaminación del Agua*. Guatemala: Ed. Universidad de San Carlos.
- Schnoor, J. (1996). *Environmental modeling: fate and transport of pollutants in water, air, and soil*. Nueva York. Estados Unidos.: John A. Wiley & Sons, Inc.
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales. (2009). *Informe de Calidad de Agua de los ríos de El Salvador*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Servicio Hidrológico Nacional, El Salvador.
- Servicio Nacional de Estudios Territoriales. (2009). *Modelación de Metales Pesados en Equilibrio subcuenca del Río Sucio*. El Salvador.

- Servicion Nacional de Estudios Territoriales. (2002). *Estrategias de Descontaminación de los ríos Acelhuate, Sucio y Suquiapa*. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Servicio Nacional Hidrologico. San Salvador: Programa Ambiental de El Salvador (MAG).
- Shimadzu Corporation. (2000). Atomic Absorption Spectrophotometry Cookbook. *Water Analysis and Air Analysis*, 10-16.
- SNET. (2007). *Estrategias de Descontaminación de los ríos Acelhuate, Sucio y Suquiapa*. San Salvador: Programa Ambiental de El Salvador.
- Streeter H.W., P. E. (1925). A Study of the Pollutions and Natural Purification of the Ohio River Public Health. *U.S. Public Health Service, Bulletin NO. 146*.
- Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones. (s.f.). *Proyectos de Energía Renovable, a través de la utilización del recurso hídrico*. Obtenido de <http://www.naruc.org/international/Documents/EL%20SALVADOR-%20Arias%20Illustrated%20RE%20SPANISH1.pdf>
- Sydow, T. L. (5 de Abril de 2005). Environmental Modelling - Introduction. *ERCIM NEWS*, pág. 5.
- Torres, B. C. (2012). *Modelos de simulación de calidad del agua en el Río Yacuambí, en el tramo comprendido desde la formación del Río Tutupali hasta la intersección del Río Yacuambí con el Río Zamora, en la provincia de Zamora Chinchipe*. Loja, Ecuador: UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA.
- U. S. Geological Survey. (07 de Mayo de 2015). *USGS science for a changing world*. Obtenido de La Ciencia del Agua para Escuelas: <http://water.usgs.gov/gotita/characteristics.html>

ANEXOS

A. TECNICA DE MUESTREOS

 Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos				REGISTRO DE CADENA DE CUSTODIA								Ciudad Universitaria, Final de Av. Mártires y Héroes del 30 julio, San Salvador, El Salvador, América Central.						
Alumnos: Luis Enrique Amaya Grande Daniel Ernesto Arriola Castillo Zulma Veronica Cerna Díaz				Localización: Rio Suquiapa, Santa Ana, Santa Ana								Tema de Trabajo de Graduación: "MODELACION DE LA CALIDAD FISICOQUIMICA DE LAS AGUAS DEL RÍO SUQUIAPA"						
SITIO DE AFORO	FECHA DE TOMA DE PARAMETROS DE CAMPO Y MUESTRAS	FECHA DE ANALISIS DBO ₅	ÉPOCA	C.E. (μS/cm)	TDS (ppm)	Turbidez (NTU)	pH	Tamb (°C)	Tmx (°C)	OD (ppm)	Hierro (ppm)	Cloro libre (ppm)	Cloro total (ppm)	Yodo (ppm)	Bromo (ppm)	DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)	ID ANDA	Muestreador
A01SUQUI			SECA															
A02VERTI			SECA															
A03SUQUI			SECA															
A04APANT			SECA															
A05SUQUI			SECA															
A06SAUCE			SECA															
A07CARCA			SECA															
A08SUQUI			SECA															
A09MOLIN			SECA															
A10SUQUI			SECA															
A11ZARCO			SECA															
A12SUQUI			SECA															
A13VERTI			SECA															
A14SUQUI			SECA															
A15PUENTE			SECA															
A16SUQUI			SECA															
A17GUILGU			SECA															
A18SUQUI			SECA															
Docente Asesor: Ing. Alvaro Josué Amaya Arévalo																		

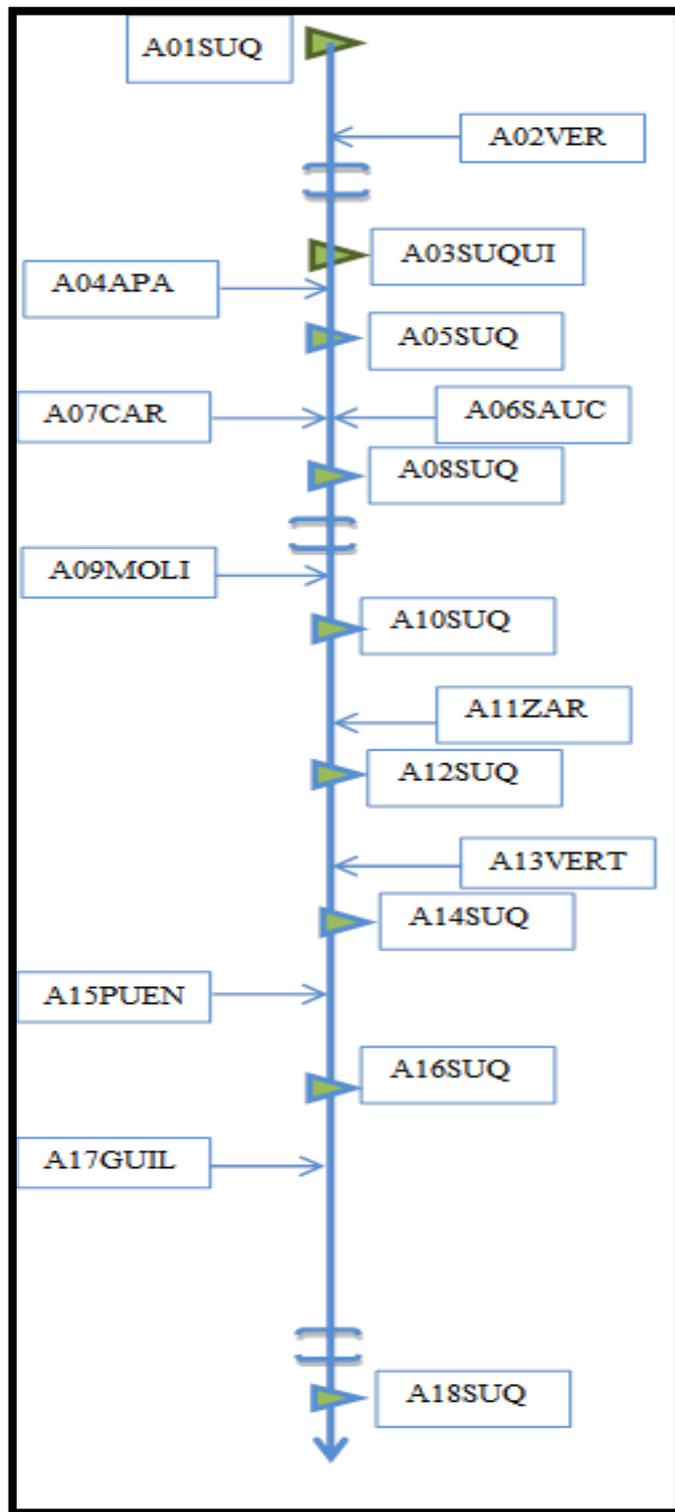
Anexo A. 1 Carta de custodia utilizada en muestreo y toma de parámetros de campo

Fuente: Elaboración Propia

Semana	(26/04 - 02/05/2015)							(03 - 09/05/2015)							(10 - 16/05/2015)							(17 - 23/05/2015)													
Día	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S							
Cantidad de muestras				2	2								2						2							2							4		
Nombre de muestras				A01SUQUI A02VERTI	A03SUQUI A04PANT			A05SUQUI A07CARCA						A06SAUCE A18SUQUI					A10SUQUI A11ZARCO								A12SUQUI A13VERTI			A14SUQUI A15PUENTE A16SUQUI A17GUILGU					

Anexo A. 2 Calendarización de toma de muestras

Fuente: Elaboración Propia



Anexo A. 3 Esquema del río principal con sus tributarios
 Fuente: (Espinoza Rivas, Vinicio Merino, & Zavaleta Lemus, 2013)



Anexo A. 4 Uso de trajes de vadeo

Fuente: Elaboración Propia



Anexo A. 5 Preservación de muestras

Fuente: Elaboración Propia



Anexo A. 6 Toma de parámetros de campo
Fuente: Elaboración Propia



Anexo A. 7 Análisis de muestras en el Laboratorio de la EIQA
Fuente: Elaboración Propia

B. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN Y MEDICIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS

B.1 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Según (Aguirre Chavarría, González Guidos, & Guerrero Granadeño, 2015) la conductividad (conductancia) es una expresión numérica de la habilidad de una solución acuosa para conducir una corriente eléctrica. Esta habilidad depende de la presencia de iones, su concentración total, movilidad, valencia y concentraciones relativas y temperaturas de medición. Las soluciones de la mayoría de compuestos inorgánicos son relativamente buenos conductores.

B.1.1 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Para cambiar el factor de conversión (CONV) y el coeficiente de temperatura β (Beta) en EC/TDS

-Desde el modo medición, presione y mantenga el botón MODE hasta que aparezca TEMP y la temperatura actual será desplegada en la parte inferior del display.

-Presione el botón MODE nuevamente para mostrar el factor de conversión actual. Ej.: 0.50 CONV.

-Presione el botón SET/HOLD para cambiar el factor de conversión

-Presione el botón MODE para mostrar el actual coeficiente de temperatura β (Beta).

-Presione el botón SET/HOLD para cambiar el coeficiente de temperatura β (Beta).

-Presione el botón MODE para retornar al modo normal de medición.

- Calibración:

Desde el modo de medición, presione y mantenga el botón MODE hasta que el LCD muestre CAL.

-Suelte el botón y sumerja la sonda en la solución de calibración apropiada: HI7031 (1413 μ S/cm).

-Una vez que la calibración se efectúe automáticamente, el display mostrará OK por 1 segundo y retornará al modo normal de medición.

-Desde aquí, es conocida la relación entre EC y TDS, por lo que no se requiere calibración en TDS.

-El símbolo CAL indica que el equipo está calibrado.

B.1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Si el electrodo está seco, enjuague en solución de almacenamiento (HI70300) o pH 7.01 (HI7007) por al menos 1 hora para reactivarlo.

-Encender el medidor presionando y manteniendo el botón MODE por 2 o 3 segundos. Todos los segmentos del LCD estarán visibles por algunos segundos, seguido de la indicación de porcentaje de vida restante de la batería. Ej.: 100% BATT. Chequeando así el estado de batería.

-Para seleccionar las unidades de la temperatura (de °C a °F), desde el modo de medición, presione y mantenga el botón MODE hasta TEMP, y la temperatura actual se verá desplegada en la parte inferior del LCD. Ej.: TEMP °C. Use el botón SET/HOLD para cambiar la unidad de temperatura y presione el botón MODE un par de veces para volver al modo normal de medición.

-Seleccione el modo EC con el botón SET/HOLD.

-Antes de tomar cualquier medición asegúrese que el instrumento está calibrado

-Enjuague el electrodo con agua de la llave cuidadosamente para eliminar cualquier contaminación. Luego de la limpieza, enjuague la sonda con la muestra a ser medida.

-Sumerja el electrodo en la solución a ser medida. Utilice un vaso plástico para minimizar interferencias electromagnéticas. La medición estará tomada cuando el símbolo de estabilidad desaparezca. El valor de EC automáticamente compensado se mostrará en el LCD primario y el display secundario mostrará la temperatura de la muestra.

-Para congelar el display, presione el botón SET/HOLD por 2 o 3 segundos hasta que aparezca HOLD en el display secundario. Anote la medición.

-Presione nuevamente el botón SET/HOLD para retornar al modo normal de medición.

-Enjuague el electrodo con agua de la llave cuidadosamente para eliminar cualquier contaminación. Si seguirá tomando mediciones y son en diferentes muestras sucesivamente, luego de la limpieza, enjuague la sonda con la muestra a ser medida y repita los pasos anteriores (a partir del f).

-Cuando haya terminado de medir, enjuague y seque el electrodo. Apague el medidor presionando el botón MODE mientras está en modo normal de medición. Aparecerá OFF en la parte inferior del display. Suelte el botón.

B.2 TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS

Según (Aguirre Chavarría, González Guidos, & Guerrero Granadeño, 2015) un medidor de TDS indica el total de sólidos disueltos (TDS) de una solución, es decir, la concentración de sólidos disueltos en ella. Dado que los sólidos disueltos ionizadas tales como sales y minerales aumentan la conductividad de una solución, las medidas un medidor de TDS de la conductividad de la solución y estima el TDS de eso. Sólidos orgánicos disueltos, como el azúcar y las partículas sólidas microscópicas tales como coloides, no afectan significativamente a la conductividad de una solución para un medidor de TDS no los incluye en su lectura.

B.2.1 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

El procedimiento de calibración es el mismo al de Conductividad Eléctrica (Ver Anexo B.1.1)

B.2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

El procedimiento de medición es el mismo al de Conductividad Eléctrica (Ver Anexo B.1.2)

B.3 TURBIDEZ

Según (Aguirre Chavarría, González Guidos, & Guerrero Granadeño, 2015) La turbidez es la dificultad del agua, para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales. Son difíciles de decantar y filtrar, y pueden dar lugar a la formación de depósitos en las conducciones de agua, equipos de proceso, etc. Además interfiere con la mayoría de procesos a que se pueda destinar el agua. La turbidez nos da una noción de la apariencia del agua y sirve para tener una idea acerca de la eficiencia de su tratamiento.

B.3.1 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Si el agua de la muestra es muy clara, es posible que desee para que el sensor de turbidez se caliente durante unos cinco minutos para asegurar una tensión estable.

Pulse SETUP para la selección principal.

Pulse CALIBRATE y luego CALIBRATE NOW.

- El primer punto de calibración:

-Tome la cubeta que contiene el patrón de turbidez (100 NTU) y suavemente invierta cuatro veces para mezclar cualquier partícula que pueda haberse adherido a la parte inferior. Importante: No agite el estándar. Sacudiendo introducirá pequeñas burbujas de aire que afectarán las lecturas de turbidez.

-Limpie el exterior de la cubeta con un paño suave y sin pelusa o tejido.

-Sosteniendo el estándar por la tapa, colocarla en el sensor de turbidez. Alinear la marca de la cubeta con la marca en el sensor de turbidez. Importante: Estas marcas deben alinearse cada vez que se toma una lectura.

-Cierre la tapa.

-Introduzca 100 como el valor de NTU.

-Retire el estándar.

- Segundo punto de calibración:

-Preparar un blanco enjuagando la cubeta vacía con agua destilada, a continuación, llenándolo hasta la parte superior de la línea con agua destilada. Importante: La parte inferior del menisco debe ser en la parte superior de la línea para cada medición a lo largo de esta prueba. Este nivel de volumen es fundamental para obtener los valores de turbidez correctas.

-Enrosque de la tapa de la cubeta. Limpie el exterior con un paño suave y sin pelusa o tejido.

-Sosteniendo la cubeta por la tapa, colóquela en la ranura del sensor de turbidez. Asegúrese de que las marcas estén alineadas. Cierre la tapa. Ingrese 0 como el valor en NTU.

-Pulse OK. Ahora está listo para recoger los datos de turbidez

B.3.2 DESCRIPCIÓN DE PROCEDIMIENTO

Conecte el sensor de turbidez en el canal 1 de la interfaz de LabPro (el equipo Vernier)

-Inicie el software de recopilación de datos. (Encienda el equipo). El programa reconocerá automáticamente el sensor de turbidez.

-Prepare el sensor de turbidez para la calibración.

-Invierta suavemente la muestra de agua para mezclar en cualquier partícula que pueda haberse adherido a la parte inferior. Importante: No agite la muestra. Sacudiendo introducirá pequeñas burbujas de aire que puedan afectar la turbidez.

-Vacíe el agua destilada de la cubeta y enjuague con agua de la muestra. Llene la cubeta hasta la parte superior de la línea de agua de la muestra.

- Enrosque la tapa en la cubeta. Limpie el exterior con un paño suave y sin pelusa o tejido.
- Sostenga la cubeta por la tapa y colóquelo en el sensor de turbidez. Asegúrese de que las marcas estén alineadas.
- Cierre la tapa.
- Monitorear el valor de turbidez. Nota: Las partículas en el agua se depositan con el tiempo y muestran una lenta desviación descendente en las lecturas de turbidez; por lo tanto, tome sus lecturas poco después de colocar la cubeta en el sensor.
- Enjuague la cubeta entre mediciones con agua destilada.
- Cuando haya terminado de utilizar el sensor de turbidez, simplemente enjuague la cubeta de la muestra con agua destilada y séquela suavemente. Es importante tener buen cuidado de su cubeta y el patrón de turbidez. Su integridad es esencial para las mediciones de turbidez precisas.
- Apague el equipo y desconecte el sensor.

B.4 POTENCIAL DE HIDROGENO

Según (Aguirre Chavarría, González Guidos, & Guerrero Granadeño, 2015) La medición de pH es una de las más importantes y frecuentes pruebas utilizadas en la química del agua. Prácticamente cada fase de agua de suministro y tratamiento de aguas de desecho, por ejemplo: neutralizaciones ácido base, suavización del agua, precipitación, coagulación, desinfección, y control de la corrosión, son dependientes del pH. El pH es utilizado en las mediciones de alcalinidad y dióxido de carbono y en otras muchas de equilibrio ácido base.

B.4.1 PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Para limpiar la calibración previa, presione el botón MODE después de entrar en el modo de calibración. La parte baja del LCD mostrará ESC por 1segundo y el instrumento retornará al modo normal de operación. El símbolo CAL en el display desaparecerá. El medidor será reseteado a la calibración por defecto.

- Sets de Buffers de Calibración

-Desde el modo de medición de pH presione y mantenga el botón MODE hasta que aparezca TEMP y la temperatura actual se desplegará en el display secundario.

-Presione nuevamente el botón MODE y mostrará el actual set de buffers: pH 7.01 BUFF (para 4.01/7.01/10.01)

-Presione el botón SET/HOLD para cambiar el valor del buffer.

-Presione el botón MODE para retornar al modo normal de operación.

- Calibración

Desde el modo de medición, presione y mantenga el botón MODE hasta que el símbolo CAL sea desplegado en el LDC inferior. Suelte el botón. El LCD desplegará pH 7.01 USE. El símbolo Cal pestañeará en el display.

-Coloque el electrodo en el buffer 7.01. El medidor reconocerá el valor del buffer y mostrará pH 4.01 USE.

-Enjuague el electrodo cuidadosamente para eliminar contaminación.

-Coloque el electrodo en el segundo buffer (pH 4.01 o pH 10.01).

-Cuando el segundo buffer sea reconocido, el LCD mostrará OK por 1 segundo y el medidor retornará al modo normal de operación. El símbolo CAL indica que el equipo está calibrado.

B.4.2 DESCRIPCIÓN DE PROCEDIMIENTO

Si el electrodo está seco, enjuague en solución de almacenamiento (HI70300) o pH 7.01 (HI7007) por al menos 1 hora para reactivarlo.

-Encender el medidor presionando y manteniendo el botón MODE por 2 o 3 segundos. Todos los segmentos del LCD estarán visibles por algunos segundos, seguido de la indicación de

porcentaje de vida restante de la batería. Ej.: 100% BATT. Chequeando así el estado de batería.

-Para seleccionar las unidades de la temperatura (de °C a °F), desde el modo de medición, presione y mantenga el botón MODE hasta TEMP, y la temperatura actual se verá desplegada en la parte inferior del LCD. Ej.: TEMP °C. Use el botón SET/HOLD para cambiar la unidad de temperatura y presione el botón MODE un par de veces para volver al modo normal de medición.

-Seleccione el modo pH con el botón Set/Hold.

-Antes de tomar cualquier medición asegúrese que el instrumento está calibrado

-Enjuague el electrodo con agua de la llave cuidadosamente para eliminar cualquier contaminación. Luego de la limpieza, enjuague la sonda con la muestra a ser medida.

-Sumerja el electrodo en la solución a ser testeada. La medición estará tomada cuando el símbolo de estabilidad □ desaparezca. El valor de pH automáticamente compensado se mostrará en el LCD primario y el display secundario mostrará la temperatura de la muestra.

-Para congelar el display, presione el botón SET/HOLD por 2 o 3 segundos hasta que aparezca HOLD en el display secundario. Anote la medición.

-Presione nuevamente el botón SET/HOLD para retornar al modo normal de medición.

-Enjuague el electrodo con agua de la llave cuidadosamente para eliminar cualquier contaminación. Si seguirá tomando mediciones y son en diferentes muestras sucesivamente, luego de la limpieza, enjuague la sonda con la muestra a ser medida y repita los pasos anteriores (a partir del f). Importante: Tome por lo menos 5 mediciones por muestra.

-Cuando haya terminado de medir, enjuague y seque el electrodo. Apague el medidor presionando el botón MODE mientras está en modo normal de medición. Aparecerá OFF en la parte inferior del display. Suelte el botón.

B.5 OXÍGENO DISUELTO

Según (Aguirre Chavarría, González Guidos, & Guerrero Granadeño, 2015) el Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua. Es un indicador de cómo de contaminada está el agua o de lo bien que puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

Tabla B. 1 Tabla Indicador de Nivel de Oxígeno

Nivel de DO	Porcentaje de Saturación de DO
Supersaturación	$\geq 101\%$
Excelente	90 – 100%
Adecuado	80 – 89%
Aceptable	60 – 79%
Pobre	$< 60\%$

Fuente: (Aguirre Chavarría, González Guidos, & Guerrero Granadeño, 2015)

B.5.1 PREPARACIÓN DE EQUIPO SEGÚN TIPO DE AGUA

A continuación se enlistan los procedimientos recomendados:

-Agua. Para muestras no contaminadas, donde no están presentes sustancias interferentes, calibrar en la solución de prueba o en agua destilada.

-Agua salina. Calibrar directamente con muestras de agua de mar o con aguas que tengan una concentración constante de sal mayor de 1000 mg/l.

-Agua con sustancias contaminantes o interferentes. Calibrar con agua destilada, debido a que con la muestra se obtienen resultados erróneos.

-Agua salina con sustancias contaminantes o interferentes. Calibrar con una muestra de agua libre de contaminantes que tenga el mismo contenido de sal que la muestra a ser analizada. A un volumen de agua destilada agregar una solución concentrada de cloruro de potasio (KCl) para producir la misma conductancia específica que en la muestra (ver el protocolo de Conductividad). Para aguas de océano contaminadas, calibrar con una muestra de agua marina no contaminada.

-Agua estuarina con cantidades variables de sal. Calibrar con una muestra de agua marina no contaminada o agua destilada o del grifo. Determinar la concentración de cloruros o de sales en la muestra y revisar la calibración para calcular los cambios de solubilidad del oxígeno en las aguas estuarinas.

B.5.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Prepare el sensor de oxígeno disuelto para su uso:

-Retire la tapa protectora azul de la punta de la sonda. Esta tapa protectora puede ser descartada una vez que haya desembalado la sonda.

-Desenrosque la tapa de la membrana de la punta de la sonda.

-Con una pipeta, llene la tapa de la membrana con 1 ml de la DO de solución de llenado de electrodo.

-Atornille cuidadosamente la tapa de la membrana de nuevo en el electrodo.

-Coloque la sonda en un vaso de precipitados lleno con aproximadamente 100 ml de agua destilada.

-Conecte la sonda de oxígeno disuelto en el canal 1 de la interfaz de LabPro (el equipo Vernier) y arranque el software de DataPro (encienda el equipo). El programa reconocerá automáticamente la sonda de oxígeno disuelto.

Deje la sonda de oxígeno disuelto en el agua durante 10 minutos para que esta se caliente. Estando conectado empezará a interactuar con el programa de recolección de datos de corriente. Si se desconecta, será necesario calentarla de nuevo

Prepare la sonda de oxígeno disuelto para la calibración, mantenga presionado el campo de la pantalla de DO y aparecerá un menú emergente y selecciona Calibrate se muestra una calibración de dos puntos (solución cero de Oxígeno Disuelto y saturación de oxígeno al aire libre tabulada respecto a la Temperatura. Ver Anexo B) también puede seleccionar la calibración en un punto (Saturación de Oxígeno al aire libre).

Reunir datos de la concentración de oxígeno disuelto.

-Sitúe la punta del sensor en la muestra a medir. Sumérjalo de 4-6 cm.

-Suavemente agite el sensor en la muestra. Nota: es importante agitar la sonda en la muestra. Debe haber siempre agua fluyendo por el sensor cuando estamos tomando datos.

Como la sonda mide concentración de oxígeno disuelto, la sonda elimina oxígeno de la muestra de agua.

B.6 HIERRO

Según Fuente: (Aguirre Chavarría, González Guidos, & Guerrero Granadeño, 2015) el hierro en los suministros de aguas procedentes del subsuelo en zonas rurales es muy frecuente: los niveles de concentración van entre rangos de 0 a 50mg/l, mientras la OMS recomienda niveles de < 0.3mg/l. El hierro ocurre de manera natural en acuíferos pero los niveles de aguas subterráneas pueden aumentar por disolución de rocas ferrosas. Las aguas subterráneas que tienen hierro son normalmente de color naranja y provoca el destiño en las ropas lavadas, y además tienen un sabor desagradable, que se puede notar en el agua y en la cocina.

B.6.1 CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTO.

En cada caso seguir las instrucciones del fabricante para el medidor de hierro y para el almacenamiento y preparación de los viales para su uso.

B.6.2 PREPARACIÓN DE REACTIVOS.

➤ PREPARACIÓN DE BLANCO.

Llene una probeta graduada hasta la señal de 25 ml con agua destilada. Añada el contenido de un paquete de reactivo HI 93746 TPTZ, cierre la probeta y agite durante 30 segundos. Éste es el blanco.

Llene una cubeta con 10 ml del blanco hasta 1,5 cm ($\frac{3}{4}$ ") del borde y déjela durante 3 minutos.

Coloque la tapa, inserte el blanco en el alojamiento y asegúrese de que la muesca de la tapa está situada sobre la ranura. Pulse ZERO.

El medidor visualizará "SIP" durante unos segundos y después la indicación de cero.

B.6.3 PROCEDIMIENTO GENERAL

-Llene una probeta graduada hasta la señal de 25 ml con la muestra.

-Añada el contenido de un paquete de reactivo HI 93746 TPTZ, cierre la probeta y agite durante 30 segundos.

-Colocar la muestra en la cubeta y dejarla durante 3 minutos.

-Introduzca la cubeta en el equipo y presione la tecla READ y esperar a que la lectura se estabilice.

-Anotar los resultados.

B.7 CLORO LIBRE

Según Fuente: (Aguirre Chavarría, González Guidos, & Guerrero Granadeño, 2015) el cloro es un químico importante para la purificación del agua (como en plantas de tratamiento de agua), en desinfectantes, y en la lejía. El cloro en agua es más de tres veces más efectivo como agente desinfectante contra *Escherichia coli* que una concentración equivalente de bromo, y más de seis veces más efectiva que una concentración equivalente de yodo.

B.7.1 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.

En cada caso seguir las instrucciones del fabricante para el medidor de cloro y para el almacenamiento y preparación de los viales para su uso.

B.7.2 PROCEDIMIENTO GENERAL.

- Luego de llevada a cabo la etapa de calibración, lavar la cubeta con agua destilada.
- Colocar la muestra en la cubeta y añadir el contenido de sus respectivos paquetes
- Coloque la tapa, sacuda la cubeta y espere unos segundos para que el color se desarrolle. Para obtener unos mejores resultados espere 2 ½ minutos.
- Presionar la tecla READ y esperar a que la lectura se estabilice.
- Anotar los resultados.

B.8 YODO

Según Fuente: (Aguirre Chavarría, González Guidos, & Guerrero Granadeño, 2015) el yodo es un importante micronutriente necesario para la nutrición humana. Su deficiencia conduce a un amplio espectro de problemas colectivamente llamados desórdenes por deficiencia de yodo (DDY). Las mayores manifestaciones son el retardo mental, cretinismo, sordomudez, abortos y bocio. Esta carencia también afecta el desarrollo socioeconómico de los países. La industrialización y el desarrollo económico mejoran el yodo en la dieta, permitiendo el consumo de alimentos producidos en ambientes diferentes al local.

B.8.1 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO.

En cada caso seguir las instrucciones del fabricante para el medidor de yodo y para el almacenamiento y preparación de los viales para su uso.

B.8.2 PROCEDIMIENTO GENERAL.

- Luego de llevada a cabo la etapa de calibración, lavar la cubeta con agua destilada.
- Colocar la muestra en la cubeta y añadir el contenido de sus respectivos paquetes
- Coloque la tapa, sacuda la cubeta y espere unos segundos para que el color se desarrolle. Para obtener unos mejores resultados espere 2 ½ minutos.
- Presionar la tecla READ y esperar a que la lectura se estabilice.
- Anotar los resultados.

B.9 BROMO

Según Fuente: (Aguirre Chavarría, González Guidos, & Guerrero Granadeño, 2015) el bromo es un elemento que se da en la naturaleza y que puede encontrarse en muchas sustancias inorgánicas. Los humanos, sin embargo, empezaron hace muchos años a introducir bromuros orgánicos en el medio ambiente. Estos son todos ellos compuestos que no son naturales y pueden causar graves daños a la salud humana y el medio ambiente.

B.9.1 CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTO

En cada caso seguir las instrucciones del fabricante para el medidor de bromo y para el almacenamiento y preparación de los viales para su uso.

B.9.2 PROCEDIMIENTO GENERAL.

- Luego de llevada a cabo la etapa de calibración, lavar la cubeta con agua destilada.
- Colocar la muestra en la cubeta y añadir el contenido de sus respectivos paquetes

-Coloque la tapa, sacuda la cubeta y espere unos segundos para que el color se desarrolle.
Para obtener unos mejores resultados espere 2 ½ minutos.

-Introduzca la cubeta en el equipo y presione la tecla READ y esperar a que la lectura se estabilice.

-Anotar los resultados.

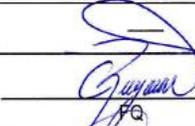
C. RESULTADOS DE DBO₅, ARSENICO Y PLOMO

	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	REGISTRO	N° <i>Lex 152679</i>
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LEX152679
Cliente: UNIVERSIDAD NACIONAL, DANIEL ARRIOLA	Fecha de Recepcion: 29-04-2015 Hora: 12:30
Dirección: CARRETERA A METAPAN, HACIENDA EL SAUCE, CONTIGUO A HACIENDA SAN LORENZO	Fecha de Análisis: 29-04-2015 Hora: 13:35
Muestreador: DANIEL ERNESTO ARRIOLA ZULMA VERONICA CERNA	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: RIO GRANCHACAL	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04
Fecha de Muestreo: 29-04-2015 Hora: 09:30	ORDINARIO

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Limite Máximo Permissible	Método
Temperatura de Muestra	27.5	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar ± 5°C con respecto al cuerpo hidrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	CRUDA	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Limite Máximo Permissible	Método
DQO Total *	-	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trinitrometric Method APHA
DBO Total *	126.25	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables*	--	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales*	-	mg/L	60	630 Method HACH
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	-	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marino	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	-	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130B Nephelometric Method APHA
Color	-	PL - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification APHA
* Métodos Acreditados	Revisado por: 			
Observaciones:	 			

Autorizado por: 
 LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCIA
 JEFE LABORATORIO DE CALIDAD

	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	REGISTRO	N° <u>Lex 152680</u>
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LEX152680
Cliente: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR, DANIEL ARRIOLA	Fecha de Recepcion: 29-04-2015 Hora: 12:30
Dirección: CARRETERA A METAPAN, HACIENDA EL SAUCE, CONTIGUO A HACIENDA SAN LORENZO	Fecha de Análisis: 29-04-2015 Hora: 13:43
Muestreador: DANIEL ERNESTO ARRIOLA/ZULMA VERONICA CERNA	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: RIO GRANCHACAL	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04
Fecha de Muestreo: 29-04-2015 Hora: 09:50	ORDINARIO

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
Temperatura de Muestra	26.1	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar \pm 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
DQO Total *	-	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trinitimetric Method APHA
DBO Total *	5.25	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables*	-	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales*	-	mg/L	60	630 Method HACH
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	-	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnias; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marino	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	-	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130B Nephelometric Method APHA
Color	-	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric Method APHA
Oxígeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification APHA

* Métodos Acreditados

Revisado por: _____

Observaciones:

Autorizado por: _____

LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCIA
JEFE LABORATORIO DE CALIDAD



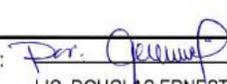
	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	REGISTRO	N° <i>L152694</i>
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: L152694
Cliente: REQUERIMIENTO ESPECIAL, UNIVERSIDAD NACIONAL	Fecha de Recepcion: 30-04-2015 Hora: 11:08
Dirección: CARRETERA A METAPAN, FINCA EL SAUCE, SANTA ANA	Fecha de Análisis: 30-04-2015 Hora: 13:40
Muestreador: DANIEL ERNESTO ARRIOLA	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: RIO SUQUIAPA	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04
Fecha de Muestreo: 30-04-2015 Hora: 09:15	ORDINARIO

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
Temperatura de Muestra	27	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar ± 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- CI G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
DQO Total *	-	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritrimetric Method APHA
DBO Total *	26.2	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables*	-	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales*	-	mg/L	60	630 Method HACH
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	-	—	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnias; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marino	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	-	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130B Nephelometric Method APHA
Color	-	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	—	4500 - Chloride B Argentometric Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L	—	4500 - O C Azide Modification APHA
* Métodos Acreditados	Revisado por:  FQ			
Observaciones:-				

Autorizado por: 
LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCIA
JEFE LABORATORIO DE CALIDAD



	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	REGISTRO	N° L 15 2695
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

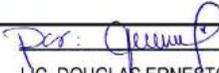
Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: L152695
Cliente: REQUERIMIENTO ESPECIAL, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	Fecha de Recepcion: 30-04-2015 Hora: 11:08
Dirección: CARRETERA A METAPAN, FINCA EL SAUCE, A 7M AL SUR DEL PUNTO ANTERIUOS	Fecha de Análisis: 30-04-2015 Hora: 13:45
Muestreador: DANIEL ERNESTO ARRIOLA	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: RIO SUQUIAPA	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04
Fecha de Muestreo: 30-04-2015 Hora: 09:30	ORDINARIO

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
Temperatura de Muestra	27.2	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podra alterar \pm 5°C con respecto al cuerpo hidrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
DQO Total *	-	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trinitimetric Method APHA
DBO Total *	5.2	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables*	-	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales*	-	mg/L	60	630 Method HACH
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	-	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marino	4500 - H + B ELectrometric Method APHA
Turbidez	-	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130B Nephelometric Method APHA
Color	-	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L		4500 - O C Azide Modification APHA
* Métodos Acreditados	Revisado por:  FQ			
Observaciones:				

Autorizado por:


 LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCIA
 JEFE LABORATORIO DE CALIDAD



	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	REGISTRO	N° <i>Lex 152696</i>
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

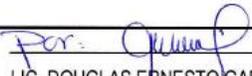
Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LEX152696
Cliente: DANIEL ERNESTO ARRIOLA/ UES	Fecha de Recepcion: 04-05-2015 Hora: 10:55
Dirección: CARRETERA A METAPAN, FINCA EL SAUCE	Fecha de Análisis: 04-05-2015 Hora: 13:40
Muestreador: LUIS ENRIQUE AMAYA	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: A 450 METROS DE LA ENTRADA	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04
Fecha de Muestreo: 04-05-2015 Hora: 09:25	ORDINARIO

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
Temperatura de Muestra	25.3	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar ± 5°C con respecto al cuerpo hidrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
DQO Total *	-	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trinitric Method APHA
DBO Total *	15.6	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables*	-	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales*	-	mg/L	60	630 Method HACH
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	-	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marino	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	-	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130B Nephelometric Method APHA
Color	-	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification APHA
* Métodos Acreditados	Revisado por: 			
Observaciones:				

Autorizado por:

Por: 
 LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCIA
 JEFE LABORATORIO DE CALIDAD



	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 28 F 2
	REGISTRO	N° <u>Lex 152839</u>
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LEX152839
Cliente: DANIEL ARRIOLA	Fecha de Recepcion: 11-05-2015 Hora: 11:30
Dirección: CARRETERA A METAPAN, SANTA ANA, BENEFICIO EL SAUCE	Fecha de Análisis: 11-05-2015 Hora: 12:00
Muestreador: DANIEL ARRIOLA LUIS AMAYA	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: 700 METROS DE LA ENTRADA AL BENEFICIO DESPUES DEL PUENTE DE HAMACA.	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04
Fecha de Muestreo: 11-05-2015 Hora: 09:00	ORDINARIO

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
Temperatura de Muestra	25,3	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar \pm 5°C con respecto al cuerpo hidrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
DQO Total *	-	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trirometric Method APHA
DBO Total *	2.17	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables*	-	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales*	-	mg/L	60	630 Method HACH
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	-	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marino	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	-	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130B Nephelometric Method APHA
Color	-	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification APHA

* Métodos Acreditados	Revisado por: 
Observaciones:	

Autorizado por: 
LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCIA
JEFE LABORATORIO DE CALIDAD

	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	REGISTRO	N° <i>LEX152697</i>
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LEX152697
Cliente: DANIEL ERNESTO ARRIOLA/UES	Fecha de Recepcion: 04-05-2015 Hora: 10:55
Dirección: CARRETERA A METAPAN, FINCA SAUCE	Fecha de Análisis: 04-05-2015 Hora: 13:45
Muestreador: LUIS ENRIQUE AMAYA	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: A 500 METROS DE LA ENTRADA	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04
Fecha de Muestreo: 04-05-2015 Hora: 09:40	ORDINARIO

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Limite Máximo Permissible	Método
Temperatura de Muestra	25	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar ± 5°C con respecto al cuerpo hidrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Limite Máximo Permissible	Método
DQO Total *	-	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trinitimetric Method APHA
DBO Total *	1.41	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables*	--	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales*	-	mg/L	60	630 Method HACH
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	-	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marino	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	-	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130B Nephelometric Method APHA
Color	-	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification APHA

* Métodos Acreditados

Revisado por: _____




Observaciones:

Autorizado por: _____

Por: Douglas Ernesto Garcia
LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCIA
JEFE LABORATORIO DE CALIDAD

	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 28 F 2
	REGISTRO	N° <u>L152743</u>
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: L152743
Cliente: REQUERIMIENTO ESPECIAL / UES	Fecha de Recepción: 06-05-2015 Hora: 10:36
Dirección: CARRETERA A METAPAN, BENEFICIO EL SAUCE.	Fecha de Análisis: 06-05-2015 Hora: 11:25
Muestreador: DANIEL ARRIOLA	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: 100 METROS ABAJO DEL ANTERIOR	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04 ORDINARIO
Fecha de Muestreo: 06-05-2015 Hora: 09:15	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
Temperatura de Muestra	26.1	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar ± 5°C con respecto al cuerpo hidrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
DQO Total *	-	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trinitimetric Method APHA
DBO Total *	8.9	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables*	-	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales*	-	mg/L	60	630 Method HACH
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	-	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marino	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	-	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130B Nephelometric Method APHA
Color	-	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification APHA

* Métodos Acreditados

Revisado por: _____

FQ

Observaciones:-

Autorizado por: _____

LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCIA
JEFE LABORATORIO DE CALIDAD



	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	REGISTRO	N° <u>L152742</u>
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: L152742
Cliente: REQUERIMIENTO ESPECIAL / UES	Fecha de Recepcion: 06-05-2015 Hora: 10:36
Dirección: CARRETERA A METAPAN, BENEFICIO EL SAUCE.	Fecha de Análisis: 06-05-2015 Hora: 11:20
Muestreador: DANIEL ARRIOLA	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: A 800 METROS DE LA ENTRADA	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04 ORDINARIO
Fecha de Muestreo: 06-05-2015 Hora: 09:05	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permisible	Método
Temperatura de Muestra	26.4	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar ± 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permisible	Método
DQO Total *	-	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritrimetric Method APHA
DBO Total *	7.6	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables*	-	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales*	-	mg/L	60	630 Method HACH
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	-	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnias; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marino	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	-	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130B Nephelometric Method APHA
Color	-	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification APHA

* Métodos Acreditados

Revisado por: _____



Observaciones:-

Autorizado por: _____

LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCIA
JEFE LABORATORIO DE CALIDAD



	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	REGISTRO	N° <u>L152953</u>
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: L152953
Cliente: REQUERIMIENTO ESPECIAL UES	Fecha de Recepcion: 14-05-2015 Hora: 11:30
Dirección: CARRETERA A METAPAN, CALLE LA CHINA, HACIENDA LA REFORMA, SANTA ANA	Fecha de Análisis: 14-05-2015 Hora: 11:50
Muestreador: DANIEL ERNESTO ARRIOLA/SULMA VERONICA CERNA	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: 2719MTS. DE LA UNION CON EL RIO MOLINO	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04
Fecha de Muestreo: 14-05-2015 Hora: 09:10	ORDINARIO

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
Temperatura de Muestra	28.8	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar \pm 5°C con respecto al cuerpo hidrico receptor	2550 Laboratory and Field MethodoAPHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
DQO Total *	-	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritrimetric Method APHA
DBO Total *	8.35	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables*	-	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales*	-	mg/L	60	630 Method HACH
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	-	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marino	4500 - H + B ELectrometric Method APHA
Turbidez	-	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130B Nephelometric Method APHA
Color	-	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification APHA
* Métodos Acreditados				
Revisado por:  FQ				
Observaciones:-				

Autorizado por: 
LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCIA
JEFE LABORATORIO DE CALIDAD



	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	REGISTRO	N° <i>L 152954</i>
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: L152954
Cliente: REQUERIMIENTO ESPECIAL UES.	Fecha de Recepcion: 14-05-2015 Hora: 11:30
Dirección: CARRETERA A METAPAN, CALLE LA CHINA, HACIENDA LA REFORMA, SANTA ANA.	Fecha de Análisis: 14-05-2015 Hora: 11:53
Muestreador: DANIEL ERNESTO ARRIOLA	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: POSA "EL CAJON" A 30MTS DEL ENGANCHE CON EL RIO PRINCIPAL SUQUIAPA.	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04
Fecha de Muestreo: 14-05-2015 Hora: 09:15	ORDINARIO

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
Temperatura de Muestra	28.5	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar ± 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
DQO Total *	-	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritrimetric Method APHA
DBO Total *	2.15	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables*	-	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales*	-	mg/L	60	630 Method HACH
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	-	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnias; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marino	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	-	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130B Nephelometric Method APHA
Color	-	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification APHA
* Métodos Acreditados				
Revisado por:  FQ				
Observaciones:-				

Autorizado por:


LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCIA
JEFE LABORATORIO DE CALIDAD



	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	REGISTRO	N° LEX153098
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LEX153098
Cliente: ZULMA VERONICA Y LUIS ENRIQUE AMAYA, UES	Fecha de Recepcion: 20-05-2015 Hora: 11:24
Dirección: CARRETERA A METAPAN CANTON CUTUMAY CAMONES CASERIO MASACUA SANTA ANA RIO SUQUIAPA	Fecha de Análisis: 20-05-2015 Hora: 11:35
Muestreador: DANIEL ERNESTO ARRIOLA	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: RIO SUQUIAPA	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04 ORDINARIO
Fecha de Muestreo: 20-05-2015 Hora: 09:40	

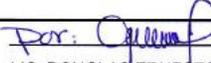
Parámetros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
Temperatura de Muestra	27.2	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar ± 5°C con respecto al cuerpo hidrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Parámetros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
DQO Total *	-	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritrimetric Method APHA
DBO Total *	10.0	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables*	-	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales*	-	mg/L	60	630 Method HACH
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	-	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marino	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	-	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130B Nephelometric Method APHA
Color	-	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification APHA

* Métodos Acreditados	Revisado por: 
Observaciones:	

Autorizado por:


LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCIA
JEFE LABORATORIO DE CALIDAD

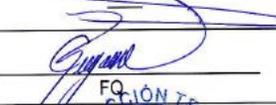


	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 28 F 2
	REGISTRO	N° <u>LEX153099</u>
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

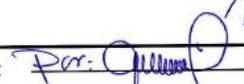
Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LEX153099
Cliente: ZULMA VERONICA CERNA, Y LUIS ENRIQUE AMAYA, UES	Fecha de Recepcion: 20-05-2015 Hora: 11:24
Dirección: CARRETERA A METAPAN, CANTON CUTUMAY CAMONES CASERIO MASACUA SANTA ANA	Fecha de Análisis: 20-05-2015 Hora: 11:40
Muestreador: DANIEL ERNESTO ARRIOLA	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: RIO VERTIENTE 25MTS AL NORTE DEL PUNTO ANTERIOR	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04
Fecha de Muestreo: 20-05-2015 Hora: 09:23	ORDINARIO

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permisible	Método
Temperatura de Muestra	29.5	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar \pm 5°C con respecto al cuerpo hidrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permisible	Método
DQO Total *	-	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trinitimetric Method APHA
DBO Total *	6.0	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables*	-	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales*	-	mg/L	60	630 Method HACH
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	-	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marino	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	-	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130B Nephelometric Method APHA
Color	-	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification APHA
* Métodos Acreditados				
Revisado por: 				
Observaciones:				

Autorizado por:


 LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCIA
 JEFE LABORATORIO DE CALIDAD



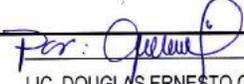
	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 28 F 2
	REGISTRO	N° <i>Lex 153142</i>
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LEX153142
Cliente: ZULMA V. CERNA, Y LUIS E. AMAYA, UES.	Fecha de Recepcion: 21-05-2015 Hora: 11:30
Dirección: CARRETERA A SAN PABLO TACACHICO CASERIO EL PITARRIO	Fecha de Análisis: 21-05-2015 Hora: 12:10
Muestreador: DANIEL ERNESTO ARRIOLA	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: RIO SUQUIAPA SANTA ANA	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04
Fecha de Muestreo: 21-05-2015 Hora: 09:00	ORDINARIO

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
Temperatura de Muestra	25.9	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar ± 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
DQO Total *	-	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Titrimeric Method APHA
DBO Total *	8.0	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables*	-	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales*	-	mg/L	60	630 Method HACH
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	-	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnias; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marino	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	-	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130B Nephelometric Method APHA
Color	-	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification APHA
* Métodos Acreditados	Revisado por: 			
Observaciones:				

Autorizado por: 
 LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCIA
 JEFE LABORATORIO

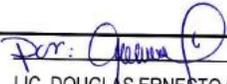
 LABORATORIO DE CALIDAD	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 28 F 2
	REGISTRO	N° <u>L 153143</u>
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: L153143
Cliente: ZULMA V. CERNA Y LUIS E. AMAYA, UES.	Fecha de Recepcion: 21-05-2015 Hora: 11:30
Dirección: CASERIO EL PITARRIO	Fecha de Análisis: 21-05-2015 Hora: 12:12
Muestreador: DANIEL E. ARRIOLA	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: RIO PUENTE SANTA ANA	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04 ORDINARIO
Fecha de Muestreo: 21-05-2015 Hora: 09:10	

Parámetros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
Temperatura de Muestra	26.3	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar \pm 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
DQO Total *	-	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritimetric Method APHA
DBO Total *	1.67	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables*	-	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendedos Totales*	-	mg/L	60	630 Method HACH
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	-	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marino	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	-	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130B Nephelometric Method APHA
Color	-	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification APHA
* Métodos Acreditados				
Revisado por: 				
Observaciones:				

Autorizado por: 
 LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCIA
 JEFE LABORATORIO



	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	REGISTRO	N° <u>L153144</u>
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

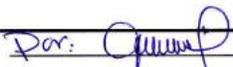
Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: L153144
Cliente: ZULMA V. CERNA, Y LUIS E. AMAYA. UES	Fecha de Recepcion: 21-05-2015 Hora: 11:30
Dirección: CARRETERA A SAN PABLO TACACHICO FRENTE A HACIENDA SAN ANTONIO	Fecha de Análisis: 21-05-2015 Hora: 12:14
Muestreador: DANIEL ERNESTO ARRIOLA	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: RIO SUQUIAPA SANTA ANA	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04
Fecha de Muestreo: 21-05-2015 Hora: 09:20	ORDINARIO

Parámetros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
Temperatura de Muestra	26.4	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar \pm 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field MetodoAPHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
DQO Total *	-	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Titrímetric Method APHA
DBO Total *	7.73	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables*	-	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales*	-	mg/L	60	630 Method HACH
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	-	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marino	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	-	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130B Nephelometric Method APHA
Color	-	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric Method APHA
Oxígeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification APHA
* Métodos Acreditados				
Revisado por: 				
Observaciones:				

Autorizado por:

Por: 
LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCIA
JEFE LABORATORIO



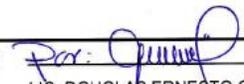
	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 2 8 F 2
	REGISTRO	N° <u>L153145</u>
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: L153145
Cliente: ZULMA V. CERNA, Y LUIS E. AMAYA, UES.	Fecha de Recepción: 21-05-2015 Hora: 11:30
Dirección: CARRETERA A SAN PABLO TACACHICO FRENTE A HACIENDA SAN ANTONIO	Fecha de Análisis: 21-05-2015 Hora: 12:20
Muestreador: DANIEL E. ARRIOLA	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: RIO GUILGUAYO SANTA ANA	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04
Fecha de Muestreo: 21-05-2015 Hora: 09:30	ORDINARIO

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
Temperatura de Muestra	27.4	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar \pm 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permissible	Método
DQO Total *	-	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Trinitimetric Method APHA
DBO Total *	6.67	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables*	-	mL/L	1	2540 F Settleable Solids APHA
Sólidos Suspendidos Totales*	-	mg/L	60	630 Method HACH
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	-	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnicas; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marino	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	-	NTU	No se incrementará en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130B Nephelometric Method APHA
Color	-	Pt - Co	Efluente líquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B* Argentometric Method APHA
Oxígeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification APHA
* Métodos Acreditados				
Revisado por: 				
Observaciones:				

Autorizado por: 
LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCIA
JEFE LABORATORIO



	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD	CODIGO: P G - 28 F 2
	REGISTRO	N° <i>Lex 152840</i>
	NOMBRE: INFORME DE ENSAYO DE AGUA RESIDUALES	PAGINA: 1 de 1

Código de Muestra: 0	Identificación de Muestra: LEX152840
Cliente: DANIEL ARRIOLA	Fecha de Recepcion: 11-05-2015 Hora: 11:30
Dirección: CANTON NATIVIDAD, COLONIA SAN LUIS, SANTA ANA	Fecha de Análisis: 11-05-2015 Hora: 12:04
Muestreador: DANIEL ARRIOLA/LUIS AMAYA	Tipo de Muestra Analizada:
Punto de Muestreo: 300 METROS AL DESVIO DE LA COLONIA.	Parametros de acuerdo a NSO 13.07.01.04 ORDINARIO
Fecha de Muestreo: 11-05-2015 Hora: 09:45	

Párametros de Campo	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permisible	Método
Temperatura de Muestra	26.5	°C.	20 - 35 °C La temperatura del agua descargada al cuerpo receptor no podrá alterar ± 5°C con respecto al cuerpo hídrico receptor	2550 Laboratory and Field Method APHA
Cloro Residual	-	mg/L	-----	4500- Cl G DPD Colorimetric Method APHA

RESULTADOS ANALITICOS

Párametros de Laboratorio	Resultados	Unidad	Límite Máximo Permisible	Método
DQO Total *	-	mg/L	150	5220 C Closed Reflux, Tritrimetric Method APHA
DBO Total *	5.50	mg/L	60	5210 B 5-Day BOD Test APHA
Sólidos Sedimentables*	-	mL/L	1	2540 F Settleable Solid APHA
Sólidos Suspendidos Totales*	-	mg/L	60	630 Method HACH
Aceites y Grasas	-	mg/L	20	5520 D Soxhlet Extraction Method APHA
pH *	-	---	5.5 - 9.0 Vertidos en aguas limnias; 6.0 - 9.5 Vertidos en aguas costero marino	4500 - H + B Electrometric Method APHA
Turbidez	-	NTU	No se incrementara en 5 unidades la turbidez del cuerpo receptor.	2130B Nephelometric Method APHA
Color	-	Pt - Co	Efluente liquido no deberá incrementar color visible al cuerpo receptor	120 Method HACH
Cloruros	-	mg/L	---	4500 - Chloride B Argentometric Method APHA
Oxigeno Disuelto *	-	mg/L	---	4500 - O C Azide Modification APHA

* Métodos Acreditados

Revisado por:

[Firma]
FQ

Observaciones:

Autorizado por:

[Firma]
LIC. DOUGLAS ERNESTO GARCIA
JEFE LABORATORIO DE CALIDAD





**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE QUIMICA AGRICOLA**

RESULTADO DE ANÁLISIS

Fecha: Ciudad Universitaria, 13 de julio de 2015.
Usuario: Daniel Arriola-Esc. Ingeniería Química
Fecha de Ingreso: 12 / Junio / 2015
Tipo de Muestra: Muestras de agua
Número de Muestra: De la Mx.22D hasta la Mx 39D
Análisis solicitado: Plomo y Arsénico

No.	IDENTIFICACIÓN	PLOMO (ppm)	ARSÉNICO (ppm)
Mx 22	A01- SUQUI	<0.001	0.003
Mx 23	A02- VERTI	0.001	0.004
Mx 24	A03- SUQUI	0.002	0.003
Mx 25	A04- APPANT	<0.001	0.003
Mx 26	A05- SUQUI	0.003	0.003
Mx 27	A06- SAUCE	<0.001	0.004
Mx 28	A07- CARCA	<0.001	0.004
Mx 29	A08-SUQUI	<0.001	0.003
Mx 30	A09-MOLIN	<0.001	0.003
Mx 31	A10-SUQUI	0.157	0.003
Mx 32	A11-SARCO	0.007	0.003
Mx 33	A12-SUQUI	0.011	0.003
Mx 34	A13-VERTI	0.010	0.001
Mx 35	A14-SUQUI	0.002	0.003
Mx 36	A15-PUENTE	0.005	0.005
Mx 37	A16-SUQUI	0.018	0.004
Mx 38	A17-GUILGU	0.006	0.004
Mx 39	A18-SUQUI	0.004	0.004

Analista: Lic. Freddy Alexander Carranza

Atentamente,

"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"



Ing. Agr. Oscar Mauricio Carrillo Turcios
Jefe del Departamento de Química Agrícola

D. FICHAS TECNICAS DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

FICHA TECNICA: A01SUQUI	
Punto de partida, cercano al Beneficio El Sauce y contiguo a Hacienda San Lorenzo conocida como El Parque de La Familia, Santa Ana	
Latitud: 14 00.801	
Longitud: 89 32.575	
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	590
TDS (ppm)	294
Turbidez (NTU)	42.20
pH	7.63
OD (ppm)	3.50
Hierro (ppm)	0.11
Cloro libre (ppm)	0.00
Yodo (ppm)	0.97
Bromo (ppm)	0.40
Pb (ppm)	0.000
As (ppm)	0.003
"DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)"	126.25
CWQI	52

Anexo C. 1 Ficha técnica de sitio de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

FICHA TECNICA:	
A02VERTI	
Aproximadamente a 30 metros de A01SUQUI. Tributario conocido por los lugareños como Vertiente.	
Latitud: 14 00.791	
Longitud: 89 32.585	
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	340
TDS (ppm)	171
Turbidez (NTU)	1.30
pH	7.05
OD (ppm)	5.70
Hierro (ppm)	0.00
Cloro libre (ppm)	0.00
Yodo (ppm)	0.00
Bromo (ppm)	0.01
Pb (ppm)	0.001
As (ppm)	0.004
"DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)"	5.25
CWQI	92

Anexo C. 2 Ficha técnica de sitio de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

FICHA TECNICA: A03SUQUI	
Punto antes de la unión del río Suquiapa con el río Apanteos. A 25 metros aguas arriba de la unión de los ríos.	
Latitud: 14 00.744	
Longitud: 89 32.484	
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	368
TDS (ppm)	185
Turbidez (NTU)	75.80
pH	7.60
OD (ppm)	3.70
Hierro (ppm)	0.30
Cloro libre (ppm)	0.35
Yodo (ppm)	1.33
Bromo (ppm)	0.64
Pb (ppm)	0.002
As (ppm)	0.003
"DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)"	26.20
CWQI	75

Anexo C. 3 Ficha técnica de sitio de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

FICHA TECNICA: A04APANT	
Río Apanteos, dentro del Beneficio El Sauce.	
Latitud: 14 00. 734	
Longitud: 89 32.480	
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	382
TDS (ppm)	189
Turbidez (NTU)	3.50
pH	7.87
OD (ppm)	3.60
Hierro (ppm)	0.00
Cloro libre (ppm)	0.05
Yodo (ppm)	0.34
Bromo (ppm)	0.16
Pb (ppm)	0.000
As (ppm)	0.003
"DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)"	5.20
CWQI	85

Anexo C. 4 Ficha técnica de sitio de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

FICHA TECNICA: A05SUQUI	
Aproximadamente a 30m aguas debajo de la unión con el río Apanteos.	
Latitud: 14 00.736	
Longitud: 89 32.460	
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	412
TDS (ppm)	206
Turbidez (NTU)	6.50
pH	7.62
OD (ppm)	3.20
Hierro (ppm)	0.04
Cloro libre (ppm)	0.03
Yodo (ppm)	1.54
Bromo (ppm)	0.02
Pb (ppm)	0.003
As (ppm)	0.003
"DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)"	15.60
CWQI	80

Anexo C. 5 Ficha técnica de sitio de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

FICHA TECNICA: A06SAUCE	
A 75 metros del punto A05SUQUI se encuentra en el interior del beneficio El Sauce..	
Latitud: 14 00.745	
Longitud: 89 32.410	
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	346
TDS (ppm)	173
Turbidez (NTU)	0.00
pH	7.25
OD (ppm)	5.90
Hierro (ppm)	0.00
Cloro libre (ppm)	0.04
Yodo (ppm)	2.15
Bromo (ppm)	0.01
Pb (ppm)	0.000
As (ppm)	0.004
"DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)"	2.17
CWQI	100

Anexo C. 6 Ficha técnica de sitio de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

FICHA TECNICA: A07CARCA	
Tributario cercano a A06 SAUCE.	
Latitud: 14 00.711	
Longitud: 89 32.387	
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	383
TDS (ppm)	192
Turbidez (NTU)	1.20
pH	7.38
OD (ppm)	3.90
Hierro (ppm)	0.00
Cloro libre (ppm)	0.04
Yodo (ppm)	0.57
Bromo (ppm)	0.01
Pb (ppm)	0.000
As (ppm)	0.004
"DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)"	1.41
CWQI	93

Anexo C. 7 Ficha técnica de sitio de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

FICHA TECNICA: A08SUQUI	
A aproximadamente 210 metros de A07CARCA	
Latitud: 14 00.778	
Longitud: 89 32.302	
C.E. ($\mu\text{S/cm}$)	426
TDS (ppm)	213
Turbidez (NTU)	4.00
pH	7.56
OD (ppm)	3.10
Hierro (ppm)	0.00
Cloro libre (ppm)	0.00
Yodo (ppm)	0.01
Bromo (ppm)	0.03
Pb (ppm)	0.000
As (ppm)	0.003
"DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)"	8.90
CWQI	84

Anexo C. 8 Ficha técnica de sitio de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

FICHA TECNICA: A09MOLIN	
A 50m del enganche con la corriente principal. El enganche se encuentra aproximadamente a 135m de A08SUQUI.	
Latitud: 14 00.814	
Longitud: 89 32.223	
C.E. ($\mu\text{S/cm}$)	376
TDS (ppm)	187
Turbidez (NTU)	3.00
pH	7.88
OD (ppm)	3.20
Hierro (ppm)	0.00
Cloro libre (ppm)	0.00
Yodo (ppm)	1.92
Bromo (ppm)	0.11
Pb (ppm)	0.000
As (ppm)	0.003
"DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)"	7.60
CWQI	84

Anexo C. 9 Ficha técnica de sitio de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

FICHA TECNICA: A10SUQUI	
A 2710 m de la unión con el río molino.	
Latitud: 14 01.108	
Longitud: 89 31.181	
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	418
TDS (ppm)	207
Turbidez (NTU)	1.80
pH	7.82
OD (ppm)	3.40
Hierro (ppm)	0.00
Cloro libre (ppm)	0.01
Yodo (ppm)	0.82
Bromo (ppm)	0.11
Pb (ppm)	0.157
As (ppm)	0.003
"DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)"	8.35
CWQI	59

Anexo C. 10 Ficha técnica de sitio de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

FICHA TECNICA: A11ZARCO	
Conocido por los lugareños como Poza “El Cajón”. A unos 30m del enganche con el río principal	
Latitud: 14 01.113	
Longitud: 89 31.178	
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	348
TDS (ppm)	174
Turbidez (NTU)	0.00
pH	7.85
OD (ppm)	3.10
Hierro (ppm)	0.00
Cloro libre (ppm)	0.00
Yodo (ppm)	0.01
Bromo (ppm)	0.03
Pb (ppm)	0.007
As (ppm)	0.003
"DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)"	2.15
CWQI	92

Anexo C. 11 Ficha técnica de sitio de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

FICHA TECNICA: A12SUQUI	
A 1650 de la unión con el río Zarco.	
Latitud: 14 01. 305	
Longitud: 89 30.294	
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	420
TDS (ppm)	209
Turbidez (NTU)	5.80
pH	7.80
OD (ppm)	3.50
Hierro (ppm)	0.00
Cloro libre (ppm)	0.09
Yodo (ppm)	0.34
Bromo (ppm)	0.14
Pb (ppm)	0.011
As (ppm)	0.003
"DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)"	10.00
CWQI	76

Anexo C. 12 Ficha técnica de sitio de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

FICHA TECNICA: A13VERTI	
Corriente utilizada para recreación y para bombear agua a comunidades aledañas (aproximadamente 200 familias). Aproximadamente a 330 m de enganche con corriente principal.	
Latitud: 14 01. 447	
Longitud: 89 30. 251	
C.E. ($\mu\text{S/cm}$)	299
TDS (ppm)	149
Turbidez (NTU)	40.70
Ph	6.76
OD (ppm)	2.60
Hierro (ppm)	0.05
Cloro libre (ppm)	0.15
Yodo (ppm)	0.30
Bromo (ppm)	0.31
Pb (ppm)	0.010
As (ppm)	0.001
"DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)"	6.00
CWQI	84

Anexo C. 13 Ficha técnica de sitio de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

FICHA TECNICA: A14SUQUI	
A 2500 m de unión con A13VERTI.	
Latitud: 14 01. 434	
Longitud: 89 29.553	
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	412
TDS (ppm)	206
Turbidez (NTU)	0.50
pH	7.75
OD (ppm)	3.40
Hierro (ppm)	0.00
Cloro libre (ppm)	0.01
Yodo (ppm)	0.86
Bromo (ppm)	0.07
Pb (ppm)	0.002
As (ppm)	0.003
"DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)"	8.00
CWQI	84

Anexo C. 14 Ficha técnica de sitio de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

FICHA TECNICA: A15PUENTE	
A 175 m de A14SUQUI.	
Latitud: 14 00.429	
Longitud: 89 29.582	
C.E. ($\mu\text{S/cm}$)	356
TDS (ppm)	178
Turbidez (NTU)	6.80
pH	7.60
OD (ppm)	3.80
Hierro (ppm)	0.00
Cloro libre (ppm)	0.10
Yodo (ppm)	0.01
Bromo (ppm)	0.02
Pb (ppm)	0.005
As (ppm)	0.005
"DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)"	1.67
CWQI	93

Anexo C. 15 Ficha técnica de sitio de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

FICHA TECNICA: A16SUQUI	
A 800 m de enganche con río Puente.	
Latitud: 14 00.142	
Longitud: 89 29.264	
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	393
TDS (ppm)	196
Turbidez (NTU)	2.50
pH	7.84
OD (ppm)	2.50
Hierro (ppm)	0.00
Cloro libre (ppm)	0.14
Yodo (ppm)	0.01
Bromo (ppm)	0.03
Pb (ppm)	0.018
As (ppm)	0.004
"DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)"	7.73
CWQI	76

Anexo C. 16 Ficha técnica de sitio de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

FICHA TECNICA: A17GUILGU	
A 810 m de sitio A16SUQUI.	
Latitud: 13 59.731	
Longitud: 89 29.118	
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	275
TDS (ppm)	137
Turbidez (NTU)	2.20
pH	7.98
OD (ppm)	3.00
Hierro (ppm)	0.00
Cloro libre (ppm)	0.05
Yodo (ppm)	0.01
Bromo (ppm)	0.05
Pb (ppm)	0.006
As (ppm)	0.004
"DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)"	6.67
CWQI	84

Anexo C. 17 Ficha técnica de sitio de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

FICHA TECNICA: A18SUQUI	
A 300 m de unión con río Guilguayo.	
Latitud: 13 59.784	
Longitud: 89 29. 020	
C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	391
TDS (ppm)	194
Turbidez (NTU)	7.80
pH	7.91
OD (ppm)	4.20
Hierro (ppm)	0.00
Cloro libre (ppm)	0.05
Yodo (ppm)	0.73
Bromo (ppm)	0.17
Pb (ppm)	0.004
As (ppm)	0.004
"DBO ₅ (mg O ₂ /l H ₂ O)"	5.50
CWQI	92

Anexo C. 18 Ficha técnica de sitio de muestreo

Fuente: Elaboración Propia