



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**CARRERA: INGENIERÍA DE MEDIO AMBIENTE**

### **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES DE DIATOMEAS EPILÍTICAS ASOCIADAS  
A DIFERENTES NIVELES DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CUTUCHI EN  
LA PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO MARZO - MAYO 2018”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de

Ingeniero en Medio Ambiente

**Autor:**

Acosta Granda Víctor Daniel

**Director:**

MSc. Clavijo Cevallos Manuel Patricio

**Latacunga – Ecuador**

Agosto 2018

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

“Yo **ACOSTA GRANDA VÍCTOR DANIEL** declaro ser autor (a) del presente proyecto de investigación: **IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES DE DIATOMEAS EPILÍTICAS ASOCIADAS A DIFERENTES NIVELES DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CUTUCHI EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO MARZO - MAYO 2018**, siendo el **MSc. PATRICIO CLAVIJO CEVALLOS** tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

.....  
**ACOSTA GRANDA VICTOR DANIEL**  
**C.I. 055001436-9**

## CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **ACOSTA GRANDA VÍCTOR DANIEL**, identificado con C.C. N° **055001436-9**, de estado civil **SOLTERO** y con domicilio en Salcedo, Parroquia Santa Ana, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, el Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.- EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de **Ingeniería De Medio Ambiente**, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **Proyecto de Investigación** la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial académico.-

Fecha de inicio de carrera: **Marzo 2013/ Septiembre 2013**

Fecha de finalización: **Agosto 2018**

Aprobación HCA: **19 de Febrero del 2018**

Tutor.- MSc. Manuel Patricio Clavijo Cevallos

Tema: **“IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES DE DIATOMEAS EPILÍTICAS ASOCIADAS A DIFERENTES NIVELES DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CUTUCHI EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO MARZO - MAYO 2018 ”**

**CLÁUSULA SEGUNDA.- LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de

investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.-** Por el presente contrato, **LA/EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.- OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA/EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**CLÁUSULA QUINTA.-** El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA/EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.-** El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA.- CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.-** Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA/EL CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA.- LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.- LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA/EL CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.-** El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.-** En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.-** Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 13 días del mes de agosto del 2018.

.....  
Acosta Granda Víctor Daniel

**EL CEDENTE**

.....  
Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez

**EL CESIONARIO**

## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES DE DIATOMEAS EPILÍTICAS ASOCIADAS A DIFERENTES NIVELES DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CUTUCHI EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO MARZO - MAYO 2018”**, de Acosta Granda Víctor Daniel, de la carrera de Ingeniería de Medio Ambiente considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Carrera de Ingeniería de Medio Ambiente de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Agosto del 2018.

.....  
**MSc. MANUEL PATRICIO CLAVIJO CEVALLOS**

C.I.: 0501444582

**DIRECTOR DE TESIS**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Carrera de Ingeniería de Medio Ambiente; por cuanto, el postulante:

- Acosta Granda Víctor Daniel

Con el título de Proyecto de Investigación: **“IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES DE DIATOMEAS EPILÍTICAS ASOCIADAS A DIFERENTES NIVELES DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CUTUCHI EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO MARZO - MAYO 2018”**

Han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Agosto del 2018

Para constancia firman:

---

**Lector 1 (Presidente)**  
**Nombre: MSc. Mercy Ibay.**  
**CC: 06041479-0**

---

**Lector 2**  
**Nombre: MSc. Kalina Fonseca.**  
**CC: 172353445-7**

---

**Lector 3**  
**Nombre: MSc. Jaime Lema**  
**CC: 171375993-2**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de existir y de cumplir el único propósito que es vivir, a mis padres por su apoyo en la culminación de mi proyecto investigativo y de mi carrera profesional.

Gracias a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a mi Director MSc. Patricio Clavijo por el apoyo y orientación brindada en la elaboración de mi trabajo investigativo.

Deseo expresar mi gratitud a la Universidad Internacional SEK y a todos los que participaron en esta investigación en la facultad de Ingeniería Ambiental.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo investigativo lo dedico a la fuente de la vida porque de ella venimos y a ella volveremos, a mi familia, por darme ese voto de confianza creyendo que uno puede lograr todo lo que se propone en la vida, y especialmente le dedico este trabajo a la persona más especial de mi vida, mi motor por superarme cada día, mi madre Gloria, por demostrarme que la vida es un regalo, ella me enseñó andar de frente, a no mentir aunque todo el mundo mienta y a siempre ser valiente.

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

**TÍTULO:** “Identificación de Especies de Diatomeas Epilíticas asociadas a diferentes niveles de calidad del agua del Río Cutuchi en la provincia de Cotopaxi, periodo marzo - mayo 2018”

**Autor:** Acosta Granda Víctor Daniel

### RESUMEN

En esta investigación se consiguió identificar un total de 60 especies de diatomeas epilíticas asociadas a diferentes niveles de calidad de agua del río Cutuchi en la provincia de Cotopaxi; se realizó un muestreo en cada uno de los puntos, reconociendo así las de mayor influencia; en el punto uno o también conocido como punto limpio, se encontró la presencia de 8 microalgas: *Achnanthydium minutissimum*, *Gomphonema sp*, *Gomphonema lagenula*, *Mayamaea permissis*, *Nitzschia acidoclinata*, *Navicula cryptotenella*, *Planothidium lanceolatum*, *Planothidium frequentissimum.*, mientras que en el punto dos o punto medio de contaminación se localizó 9 microalgas: *Gomphonema parvulum*, *Gomphonema pumilum var. rigidum*, *Mayamaea permissis*, *Navicula cryptotenella*, *Navicula lanceolata*, *Navicula gregaria*, *Navicula tripunctata*, *Nitzschia inconspicua*, *Nitzschia amphibia*, y finalmente en el punto tres o llamado punto sucio, entre las más abundantes están: *Navicula nota*, *Navicula gregaria*, *Navicula lanceolata*, *Navicula cryptotenella*, *Nitzschia palea*, *Nitzschia inconspicua*, *Pinnularia sp*. Para calcular el índice de calidad de agua en los meses de marzo, abril y mayo, se utilizó 9 parámetros entre físico-químicos y microbiológicos, los cuáles se procesó a través del programa IQADData, y proyectó una escala idónea, donde en el punto 1 obtuvo una calificación de Bueno con un promedio de 81,60, mientras que para los puntos 2 y 3 la calificación fue de malo, con valores de 44,12 y 33,56 respectivamente. Posteriormente se comparó el ITCA teórico y de tablas; para el punto 1 el ITCA teórico tuvo un valor de 1,37 que comparado con el ITCA de tablas se encuentra en el rango de 1,0 a 1,5 mostrando un nivel de contaminación Oligotrófico; en el punto 2 el ITCA teórico tiene un valor de 2,32 y comparado con el ITCA de tabla recae dentro del rango 1,5- 2,5 con un nivel de contaminación  $\beta$ -meso trófico y, para el punto 3 se obtuvo un ITCA teórico de 2,84 que comparado con el ITCA de tablas resultó con nivel de contaminación  $\alpha$ -mesotrófico pues se encontró en un rango de 2,5 a 3,5.

### **Palabras clave:**

*Río Cutuchi, Diatomeas epilíticas / Bioindicadores/ Cuerpos lóxicos/ Análisis/ Eutrofización/ índice de calidad de agua (ICA)/índice trófico de calidad de agua (ITCA).*

# TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

## FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

**TITLE:** "Identification of Epilithic Diatom Species associated with different levels of water quality of the Cutuchi River in the province of Cotopaxi, March to May 2018"

### ABSTRACT

In this research, it was possible to identify a total of 60 species of epilithic diatoms associated with different levels of water quality from the Cutuchi River in Cotopaxi Province; a sampling was done in each of the points recognizing thus, those of greater influence; at point one or also known as a clean point, the presence of 8 microalgae was found: *Achnantheidium minutissimum*, *Gomphonema sp*, *Gomphonema lagenula*, *Mayamaea permitis*, *Nitzschia acidoclinata*, *Navicula cryptotenella*, *Planothidium lanceolatum*, *Planothidium frequentissimum*; while at point two or midpoint of contamination, 9 microalgae were located: *Gomphonema parvulum*, *Gomphonema pumilum var. rigidum*, *Mayamaea permitis*, *Navicula cryptotenella*, *Navicula lanceolata*, *Navicula gregaria*, *Navicula tripunctata*, *Nitzschia inconspicua*, *Nitzschia amphibia*; and finally at the point three or called dirty spot, among the most abundant are: *Navicula nota*, *Navicula gregaria*, *Navicula lanceolata*, *Navicula cryptotenella*, *Nitzschia palea*, *Nitzschia inconspicua*, *Pinnularia sp*. To calculate the rate of water quality in the months of March, April and May, 9 parameters between physico-chemical and microbiological were processed through the IQADData program, and they projected an appropriate scale, where at point 1 it was obtained a rating of Good with an average of 81.60, while for points 2 and 3 the rating was Bad, with values of 44.12 and 33.56 respectively. Subsequently, the theoretical ITCA and tables were compared; for point 1, the theoretical ITCA had a value of 1.37, which correlated with the ITCA of tables is in the range of 1.0 to 1.5 which shows an Oligotrophic contamination level; in point 2 the theoretical ITCA has a value of 2.32 and compared with the table ITCA falls within the range 1.5-2.5 with a degree of contamination  $\beta$ -mesotrophic and, for point 3 was obtained a Theoretical ITCA of 2.84 compared with the ITCA of tables resulted in a level of  $\alpha$ -mesotrophic contamination since it was found in a range of 2.5 to 3.5.

**Keywords:** Río Cutuchi, Epilithic diatoms / Bioindicators / Lotic bodies / Analysis / Eutrophication / water quality index (ICA) / water quality trophic index (ITCA).

## INDICE

<b>1. INFORMACIÓN GENERAL</b> .....	1
<b>2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO</b> .....	3
<b>3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO</b> .....	4
<b>4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	4
<b>5. OBJETIVOS</b> .....	7
<b>5.1. General</b> .....	7
<b>5.2. Específicos</b> .....	7
<b>6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS</b> .....	8
<b>7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA</b> .....	9
<b>7.1. RÍO CUTUCHI</b> .....	9
<b>7.1.1. Ubicación geográfica</b> .....	9
<b>7.1.2. Caracterización de la cuenca del río Cutuchi</b> .....	10
<b>7.1.3. Contaminación del río Cutuchi</b> .....	10
<b>7.2. FUENTES DE CONTAMINACIÓN</b> .....	11
<b>7.2.1. Fuentes naturales</b> .....	11
<b>7.2.2. Fuentes antropogénica</b> .....	11
<b>7.3. AGUA</b> .....	12
<b>7.4. ÍNDICES DE CALIDAD</b> .....	12
<b>7.5. EUTROFIZACIÓN</b> .....	16
<b>7.6. DIATOMEAS</b> .....	16
<b>7.7. VENTAJAS DE LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES</b> .....	17
<b>7.8. IDENTIFICACION DE DIATOMEAS EPILÍTICAS</b> .....	19
<b>7.9. ESTUDIO PREVIOS</b> .....	20
<b>7.10. ESTADO TROFICO</b> .....	23
<b>7.11. INDICE TRÓFICO DE CALIDAD DEL AGUA (ITQA)</b> .....	23
<b>7.12. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA (ICA)</b> .....	24

7.13. IQAData.....	25
7.14. PAST SOFTWARE.....	25
8. METODOLOGÍA.....	26
9. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	34
9.1 INDICADORES ABIÓTICOS.....	34
9.2. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA.....	46
9.3. INDICADORES BIÓTICOS.....	51
9.4. ÍNDICE TRÓFICO DE CALIDAD DEL AGUA.....	54
9.5. ANÁLISIS MULTIVARIADO.....	56
10. HIPÓTESIS Y VERIFICACIÓN.....	60
11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS).....	61
12. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	62
13. CONCLUSIONES.....	64
14. RECOMENDACIONES.....	65
15. BIBLIOGRAFÍA.....	67
16. ANEXOS.....	72

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

### **Título del Proyecto:**

“Identificación de especies de diatomeas epilíticas asociadas a diferentes niveles de calidad del agua del Río Cutuchi en la Provincia de Cotopaxi, periodo marzo – mayo 2018”

### **Fecha de inicio:**

Julio 2017

### **Fecha de finalización:**

Mayo 2018

### **Lugar de ejecución:**

Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga.

### **Facultad que auspicia:**

Ciencias agropecuarias y recursos naturales.

### **Carrera que auspicia:**

Ingeniería de medio ambiente

### **Proyecto de investigación vinculado:**

Eutrofización de sistemas lóticos y lénticos de los Andes y Amazonía ecuatoriana e implicaciones en la cadena trófica dulceacuícola.

### **Equipo de Trabajo:**

Tutor: MSc. Clavijo Cevallos Patricio

Coordinador: Acosta Granda Víctor Daniel

Lector 1: MSc. Ilbay Mercy

Lector 2: MSc. Kalina Fonseca

Lector 3: MSc. Lema Jaime

**Área de Conocimiento:**

UNESCO: Ciencias

**Línea de investigación:**

Según la UNESCO: Línea 11 Ambiente

Línea 1 (UTC) Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local.

Línea 5 (UTC) Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

**Sub líneas de investigación de la Carrera:**

Según la Universidad Técnica de Cotopaxi, Carrera de Medio Ambiente, Impactos Ambientales.

## 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

En la actualidad la condición del Río Cutuchi se la puede calificar de deplorable; sus aguas son las causantes de presentar un foco infeccioso para los campos, la ganadería y el consumo humano, por lo tanto el recurso agua se encuentra gravemente contaminado por las descargas industriales que vierten directamente al río y por las aguas negras de la ciudad de Latacunga , además de otros asentamientos humanos ubicados a lo largo del cauce, esto se debe al descuido de las autoridades por no ejercer un control desde el principio a lo largo del río y por el desorden en la planificación de asentamientos humanos, que ven al río como un medio de desfogue de todas las aguas servidas, tanto del sector poblacional como industrial (Reinoso, 2015)

La decisión de llevar a cabo esta investigación es porque la misma nos permitirá utilizar organismos unicelulares como bioindicadores que cuantificaran y calificarán el nivel de evolución de la contaminación presente en el Río Cutuchi, gracias a la sensibilidad diferencial que muestran las diatomeas epilíticas a diversos contaminantes, es decir el tamaño de sus poblaciones es inversamente proporcional a los niveles de contaminación, ya que a mayor número de diatomeas el grado de contaminantes disminuye.

De lo mencionado anteriormente este aporte de investigación permitirá conocer y observar los efectos acumulativos de la contaminación a lo largo del tiempo debido a que las diatomeas epilíticas disminuyen la necesidad de realizar costosos y sistemáticos análisis físico - químicos y revelan información sobre la evolución de la carga contaminante y sobre la capacidad de resiliencia de los ecosistemas acuáticos.

En Ecuador se han realizado indagaciones en la zona sub-tropical, utilizando diatomeas epilíticas las cuales han permitido un análisis efectivo en cuanto a la determinación de la calidad del agua; basándose en una guía ilustrada para sistemas lóticos subtropicales y templados brasileños el investigador Eduardo Lobo, *et al.* (2014), denominada “ÍNDICE TRÓFICO DE QUALIDADE DA ÁGUA”

Los beneficios de este proyecto, representan una contribución en el establecimiento de nuevos métodos biológicos para evaluar la calidad medioambiental a través de las diatomeas, y aporta una nueva herramienta para homologar y consensuar los protocolos de trabajo en el ámbito nacional; también es fuente de datos de interés sobre comunidades de diatomeas presentes en el Río Cutuchi, aportando una nueva colección de flora diatomológica en el Ecuador, de gran interés en estudios de biodiversidad, taxonomía, conservación; permitirá su vez el cálculo del índice trófico del agua, el cual evalúa la calidad del agua. En el futuro, es pertinente mantener la continuidad de los estudios de calidad de sistemas fluviales y lacustres mediante las diatomeas y garantizar un mejor conocimiento de la evolución de los sistemas naturales en el tiempo.

### 3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

**Tabla 1. Beneficiarios del proyecto**

<b>Beneficiarios Directos</b>	<b>Beneficiarios Indirectos</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Centro de investigaciones públicas y privados de calidad de agua.</li> </ul>	Los ciudadanos de las siguientes ciudades:			
	<b>Ciudad</b>	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Total</b>
	Latacunga	82301	88188	170489

**Fuente:** (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010)

### 4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La disponibilidad de agua dulce en todo el mundo es crítica y cada día es más compleja, debido a factores como la contaminación de dicho recurso hídrico, la influencia económica y la fuente de poder que representa para quien la posee. Se incide que la ascendente demanda de agua para la agricultura, la industria y el consumo doméstico han creado competencias que se reflejarán en unos 15 años debido al crecimiento demográfico y a la falta de planificación, educación y conciencia para el manejo y uso adecuado de este tan

valioso recurso, lo que genera consecuencias como acidez de los suelos, enormes cantidades de sedimentos en ríos y lagos, enfermedades gastrointestinales derivadas de su consumo y aumento de abortos y malformaciones genéticas por la presencia de metales pesados en aguas. La desmedida ambición que ciertos grupos económicos tienen por aumentar la explotación, control y administración de recursos como el petróleo, el gas natural y el agua dulce hacen que el agua sea un recurso estratégico para el siglo XXI, ya que este es un elemento esencial, único e insustituible para la supervivencia de la humanidad (Agudelo, 2016)

En la actualidad las aguas del Río Cutuchi siguen siendo fuertemente alteradas debido al impacto negativo que continúan ejerciendo las comunidades aledañas (urbanas y agrícolas) sobre la calidad de sus aguas; dicha agresión ambiental hacia sus afluentes es debido generalmente por la utilización de agroquímicos (pesticidas y fertilizantes) que ingresan al río de manera superficial o por filtración y a ello se suma, el ingreso de materia orgánica, debido a las aguas residuales (desagües) que no tienen tratamiento alguno y que llegan directamente al cuerpo de agua por falta de servicios de saneamiento ambiental y de un sistema de alcantarillado adecuado para la zona. (Martinez de Fabricius, 2014).

La contaminación de los ríos tributarios que integran la cuenca del Río Cutuchi contribuyen sinérgicamente al arrastrar los residuos orgánicos e inorgánicos desde una población a otra aguas abajo, incrementando la cantidad de materia orgánica en toda esta cadena de arrastre de contaminantes. Todo esto continúa cambiando la calidad del agua del Río Cutuchi y así como la salud de la población ubicada río abajo, debido a los agentes patógenos que son transportados por estas aguas provenientes desde una población altitudinalmente superior. Teniendo conocimiento de éstos problemas, con el proyecto de la investigación vigente se vienen realizando evaluaciones periódicas de la calidad del agua de las Cuencas del Río Cutuchi; las evaluaciones de calidad de agua dependen de los estudios que se realizan para proyectos hídricos, y por lo tanto son muy esporádicos, además sus análisis se limitan a la determinación de Boro y Arsénico. Los organismos que se encargan de estas evaluaciones envían la mayoría de los análisis físicos y químicos a las oficinas autorizadas por el Ministerio del medio Ambiente, ocasionando retrasos de 2 hasta 3 meses. Es así que estos datos resultan obsoletos y hasta cierto punto un gasto mal

empleado para el momento de tomar decisiones. Los estudios que actualmente se vienen realizando en el monitoreo de la calidad del agua de la Cuenca del Río Cutuchi son de ciertos metales como (Cadmio, Cobre, Cromo, Hierro, Manganeso, Mercurio, Plomo y Zinc), cuya información no permite determinar el grado de contaminación orgánica existente en la cuenca, esta falta de datos se debe principalmente a la falta de instrumentación y de personal capacitado para los análisis de materia orgánica. A esto hay que añadirle que el monitoreo en la Cuenca del Río Cutuchi se realiza 2 ó 3 veces al año, haciendo esto aún más relativo los datos obtenidos. Además que los análisis físicos, químicos y microbiológicos por un lado presentan gran sensibilidad al detectar incluso trazas de pesticidas, venenos u otras toxinas, por otro lado los equipos, reactivos y el personal capacitado son muy limitados (y mucho peor en poblados alejados) lo que aumentaría notablemente el costo para poder contar con alguno de éstos análisis. Por último éstos resultados indican las condiciones en que ha sido tomada la muestra de agua, es decir sólo determina una “contaminación transitoria” o resultados “puntuales” en la dimensión cronológica. (Martinez de Fabricius, 2014).

Es así que el presente proyecto se plantea como una alternativa de solución, el uso de las diatomeas epilíticas como bioindicadores, que por sus estudios en otros lugares han demostrado ser muy útiles, confiables y económicos; estos organismos están adaptados para vivir en unas determinadas condiciones, de esta forma cuando existe algún cambio en el medio, como por ejemplo, un cambio en la acidez o en la concentración de sal, las poblaciones reaccionan de una forma u otra indicando que algo no está bien. La información generada permitirá proponer en el corto plazo un índice de calidad de agua para el Río Cutuchi que posibilite emprender programas de monitoreo de la calidad del agua. (Verger, CienciaToday, 2017)

Por lo que nos planteamos la siguiente pregunta: ¿Son las diatomeas bioindicadores sensibles para determinar la calidad del agua en la cuenca del río Cutuchi?

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

- Identificar especies de diatomeas epilíticas asociadas a diferentes niveles de calidad de agua del río Cutuchi en la provincia de Cotopaxi, periodo marzo – mayo 2018.

### **5.2. Específicos**

- Reconocer las especies de diatomeas epilíticas en cada uno de los puntos de muestreo del río Cutuchi.
- Calcular el índice de calidad del agua mediante la utilización de parámetros físicos, químicos y microbiológicos.
- Comparar el ITCA teórico, obtenido de las especies abundantes de diatomeas epilíticas, identificadas en laboratorio con el ITCA encontrado en la tabla propuesta por Lobo *et al* (2014).

## 6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

**Tabla 2:** Objetivos y Actividades

Objetivos	Actividades	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reconocer las especies de diatomeas epilíticas en cada uno de los puntos de muestreo del río Cutuchi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Calibración del microscopio LEICA DM750.</li> <li>▪ Barrido vertical lento en el porta objetos.</li> <li>▪ Toma de fotografías.</li> <li>▪ Revisión bibliográfica,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Abundancia relativa de cada especie de diatomea epilíticas en cada sitio de muestreo.</li> <li>▪ Observación de la taxonomía de la especie</li> <li>▪ Denominación de la familia a la cual pertenece cada especie de diatomea.</li> </ul>	<p><b>TÉCNICA:</b></p> <p>Utilización de lente de 100x.</p> <p>Movimiento vertical de la pletina mecánica.</p> <p>Bibliografía basada en la taxonomía de las especies de Diatomeas Epilíticas</p> <p><b>INSTRUMENTO</b></p> <p>Microscopio LEICA DM750 Cámara LEICA Aceite de inmersión Guía de las diatomeas de la cuenca del Duero. Rudas S. (2013)</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Calcular el índice de calidad del agua mediante la utilización de parámetros físicos, químicos y microbiológicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Medición y determinación de parámetros físico-químicos y microbiológicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ pH</li> <li>▪ Conductividad</li> <li>▪ Temperatura</li> <li>▪ Turbidez</li> <li>▪ Oxígeno Disuelto</li> <li>▪ Solidos Disueltos</li> <li>▪ Nitratos</li> <li>▪ Fosfatos</li> <li>▪ DBO5</li> <li>▪ Coliformes.</li> <li>▪ Clorofila</li> </ul>	<p><b>TÉCNICA:</b></p> <p>Observación Medición In Situ Utilización de Normas INEN</p> <p><b>INSTRUMENTOS:</b></p> <p>Sonda de pH Sonda de conductividad Sonda de oxígeno disuelto Espectrofotómetro HACH</p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Comparar el ITQA teórico, obtenido de las especies abundantes de diatomeas epilíticas, identificadas en laboratorio con el ITQA encontrado en la tabla propuesta por Lobo <i>et al</i> (2014).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Búsqueda de bibliografía para comparación de valores teóricos con valores de tablas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Determinación del valor trófico / ITQA, al cual pertenece cada especie.</li> </ul>	<p><b>TÉCNICA:</b> Observación Utilización de Fuentes Bibliográficas</p> <p><b>INSTRUMENTOS:</b> Tabla del ITQA de Lobo <i>et al</i> (2014).</p>
--	---	---	--

**Elaborado por:** Víctor Aosta

## 7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

### 7.1. RÍO CUTUCHI

#### 7.1.1. Ubicación geográfica

La cuenca del río Cutuchi nace de los deshielos del Cotopaxi, su recorrido es muy largo atraviesa las provincias de Cotopaxi (Latacunga, Salcedo), Tungurahua (Ambato, Baños) y Pastaza, la cuenca se encuentra en estado deteriorado por la presente contaminación de las poblaciones antes mencionadas que descargan sus aguas servidas en el río sin un debido tratamiento. (Serrano L. Z., 2010)

### **7.1.2. Caracterización de la cuenca del río Cutuchi**

**Geomorfología:** acciones tectónicas y volcanismo andino, bosques.

**Meteorología:**

**Clima:** Zona tropical ecuatoriana.

**Latitud:** -1.1666667

**Longitud:** -78.5666667

Zona occidental: Periodo invernal de la sierra (octubre a mayo).

Zona oriental: Periodo invernal de la amazonia (junio a septiembre).

Temperatura: 3 a 12°C sobre los 3000 msnm.

Temperatura medio mensual: Min. 7,4 °C, Max. 14,8 °C.

Superficie: Cubre 18.4 x 27.9 km, representa una superficie total de 513 km<sup>2</sup> (valores aproximados)

#### **Precipitación media anual**

Subcuenca Cutuchi: 805 mm.

Viento: dirección predominante: S – SE; velocidad 3,8 Km/ h. (Recalde, 2009, pág. 13)

### **7.1.3. Contaminación del río Cutuchi**

El río Cutuchi es considerado “un río muerto” por toda la contaminación que arrastra en su paso por las poblaciones ribereñas, solo al pasar por la ciudad de Latacunga lleva los desperdicios de otros cuatro ríos en las mismas condiciones, además de los diferentes tipos de contaminantes provenientes de las industrias locales como: conservas, embutidos, papel, plásticos aglomerados, floricultoras, curtiembres y talleres de ensamblaje. El grado de polución que tiene es preocupante sobre todo por el uso agrícola que le dan a sus aguas, ya que son utilizadas para irrigar los campos productores de cultivos de hortalizas y legumbres, para consumo humano regional y nacional. (Serrano L. Z., 2010).

## **7.2. FUENTES DE CONTAMINACIÓN**

### **7.2.1. Fuentes naturales**

En agua pueden encontrarse componentes contaminantes de origen natural dependiendo de los suelos por los que atraviese y del contacto con la atmosfera (Ej. Calcio, hierro, magnesio, sales minerales, mercurio, etc.), que se encuentran naturalmente en la corteza de la tierra, aunque algunos son perjudiciales para la salud, normalmente las fuentes de contaminación natural son muy dispersas y no provocan concentraciones altas de polución, excepto en algunos lugares muy concretos. . (Garcia G. , 2012)

### **7.2.2. Fuentes antropogénica**

La contaminación antropogénica se refiere a todos los efectos, procesos o materiales que son producidos por los seres humanos a comparación de otras que tienen distintas causas naturales, están generadas por las actividades de los humanos directamente. (Purs, 2017)

#### **Origen Urbano**

Estas se refieren al resultado del uso urbano del agua en viviendas, actividades comerciales y servicios, en si todo lo que genere aguas residuales, sobretodo estas aguas contienen restos fecales, restos de alimentos juntamente con grasas, y también con un incremento de productos químicos como lejías y detergentes. (Purs, 2017)

#### **Origen Agrícola**

Son causadas por los trabajos agrícolas que producen vertidos de pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales, en conclusión todo lo que utilizan los agricultores para que su trabajo no tenga ningún imprevisto. Por consiguiente todo esto es arrastrado por las aguas de riego las mismas que se van llevando sales de nitrógeno, azufre, fósforo etc. De esta forma se primero se contamina el suelo y luego estos contaminantes se filtran y pasan a las aguas subterráneas. (Purs, 2017)

### **7.3. AGUA**

El agua es la sustancia más importante de todos los recursos naturales, indispensable para la vida, constituye una necesidad primordial para la salud, pero debe tenerse en consideración que en forma natural casi no existe pura, pues casi siempre contiene sustancias minerales y orgánicas disueltas o en suspensión. En la actualidad el agua se ha convertido en un bien muy valioso, debido a su escasez, es un sustento para la vida y además para que exista el desarrollo económico en un país, se debe contar con la disponibilidad de agua. (Monge, 2016)

### **7.4. ÍNDICES DE CALIDAD**

Los índices constituyen una herramienta muy útil y un sistema cualitativo que permite hacer comparaciones de niveles de contaminación en distintas áreas, permitiendo una rápida interpretación y reconocimiento de las tendencias en la calidad del cuerpo de agua a lo largo del espacio y del tiempo. A su vez, se presentan como una opción viable para la interpretación de variables físicas, químicas, y biológicas de un programa de monitoreo, debido a que las diferentes variables son combinadas para generar un valor numérico que permite la evaluación, por ejemplo, de los efectos de las actividades antrópicas y de los procesos de autodepuración del cuerpo de agua. (García, 2013)

#### **Índices abióticos**

Se basan en el estudio de los componentes no vivos del medio ambiente que rodean a las especies y que le permiten vivir. Todos los factores químico-físicos del ambiente son llamados factores abióticos, entre los cuales tenemos: temperatura, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, Oxígeno disuelto, acidez (pH), conductividad, nitratos, fosfatos, sólidos, color, olor y sabor. (Seguí, 2016)

### **Conductividad Eléctrica (C.E):**

La conductividad eléctrica es un indicador de la capacidad de una solución acuosa de transportar corriente eléctrica que depende de la temperatura del agua, mientras más alto sea el nivel de temperatura, la conductividad eléctrica será más alta, también depende de la presencia, concentración, movilidad y valencia de los iones . La conductividad aumenta con la temperatura a una tasa de aproximadamente 1,9 % / °C. (Smart, 2014)

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):**

La DBO mide la cantidad de oxígeno que los microorganismos especialmente bacterias, hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra, es decir, mide solamente las materias orgánicas biodegradables, no mide contaminantes específicos. Se expresa en mg / l. (Andreo, 2014)

### **Fósforo - Fosfatos:**

Los fosfatos son las sales o los ésteres del ácido fosfórico, se caracterizan porque tienen en común un átomo de fósforo rodeado por cuatro átomos de oxígeno en forma tetraédrica. El fósforo cuando se introduce al agua fundamentalmente por erosión y por descargas de aguas residuales. Los fosfatos secundarios y terciarios se caracterizan por ser insolubles en agua, con la excepción de los de sodio, potasio y amonio. (Ecured, 2012)

### **Nitrógeno - Nitratos:**

El nitrógeno se introduce al agua por medio de la descarga de aguas residuales domésticas e industriales, así los niveles naturales de nitratos en aguas superficiales y subterráneas son generalmente de unos pocos miligramos por litro, su importancia en la calidad de aguas está relacionada con el impacto que genera en la salud pública ya que su presencia en el agua es indeseable ya que puede ser tóxico para el ser humano. (Lenntech, 2016)

**Oxígeno Disuelto (OD):**

El oxígeno disuelto presente en el agua procede de la disolución del oxígeno atmosférico y de la actividad fotosintética de los organismos acuáticos. Por lo tanto es consumido por la respiración de organismos, oxidación de inorgánicos y demanda de materias orgánicas, produciéndose un balance dinámico en la concentración de oxígeno en el agua, hay que considerar también que su solubilidad depende de la presión parcial del oxígeno en la atmósfera, el contenido de sales y la temperatura. (Henares, 2013)

**Potencial de hidrogeno (pH):**

El pH es un factor que indica el balance entre ácidos y bases del agua, es importante ya que identificados procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH, está determinado por el número de iones libres de hidrógeno ( $H^+$ ) en una sustancia. El pH nos sirve como un indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua, se destaca que los procesos biológicos como es la fotosíntesis y la aeración influyen en el pH del agua, por variación de la concentración de dióxido de carbono. (Lenntech, 2016)

**Temperatura del agua:**

La variación de la temperatura tiene incidencia sobre diferentes parámetros físico-químicos que, a su vez, pueden afectar la calidad de las aguas de riego. Los factores a tener en cuenta son derivados de los sistemas de riego, de las condiciones del cultivo y de la variación de temperatura diaria y estacional. (Freire, 2013)

**Sólidos Totales (ST):**

El contenido total de materia sólida contenida en el agua corresponde a los Sólidos Totales, este es el material residual que queda en un recipiente después de la evaporación de una muestra de agua que ha sido secada a una cierta temperatura bien definida, así está medición de ST incluye los sólidos disueltos totales y los sólidos suspendidos totales. (Cyclucid, 2015)

**Sólidos Disueltos Totales (SDT):**

Porción de los sólidos totales que no sedimentan y se encuentran en el agua en estado iónico o molecular, estos pasan a través de un filtro de 2,0µm. (Cyclucid, 2015)

**Turbiedad:**

La turbidez es el efecto óptico que se origina al dispersarse o interferirse el paso de los rayos de luz que atraviesan una muestra. La turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas minerales u orgánicas que el líquido puede contener en forma de suspensión y otros organismos microscópicos. (Tripod, 2014)

**Coliformes Fecales:**

Son bacterias en forma de varillas (coliformes) encontradas en el intestino de seres humanos y animales de sangre caliente. Pueden multiplicarse a temperaturas por encima de 44°C y fermentar la lactosa, el azúcar y por eso también se conocen como “coliformes termotolerantes”. Cuando estas bacterias se encuentran en el agua, indica fuertemente que el agua estaba contaminada con heces fecales (caca) o aguas servidas (aguas negras). (Weissel, 2016)

**Clorofila:**

La clorofila pertenece a la familia de pigmentos de color verde que se encuentran en las cianobacterias y en todos aquellos organismos que contienen plastos en sus células, lo que incluye las hojas y tallos de muchos vegetales y algas eucarióticas. La clorofila es responsable del proceso de fotosíntesis ya que es una biomolécula extremadamente importante que permite a las plantas y algas absorber energía a partir de la luz solar. (Bailey, 2017)

## **Índices bióticos**

Se basan en los organismos vivos que interactúan con otros organismos vivos, refiriéndonos a la fauna y la flora de un lugar específico, así como también a sus interacciones. Los organismos con mayor adaptación a los cuerpos de agua son los invertebrados, dentro de este grupo encontramos a los macroinvertebrados, estos organismos presentan una gran sensibilidad y resistencia a cambios en el agua y al ser en su mayoría sedimentarios reflejan las condiciones locales. (Gil, 2014)

### **7.5.EUTROFIZACIÓN**

La eutrofización es un proceso que puede ser natural o antrópico, así tenemos que ríos y lagos sufren de eutrofización cuando sus aguas se enriquecen de nutrientes, si es natural la aportación de nutrientes a través de la lluvia es un poco lento, en cambio cuando es antrópico se vuelve más dinámico, podría parecer que a primera vista es muy bueno que las aguas estén repletas de muchos nutrientes, porque así podrían vivir de una manera más fácil los seres vivos. Pero no es tan sencillo como parece ya que el problema radica en que si hay exceso de nutrientes las plantas y otros organismos crecen en abundancia. Más tarde, cuando estos mueren proceden a pudrirse y llenan el agua de malos olores y le dan un aspecto nauseabundo, disminuyendo drásticamente su calidad. (Ecology, 2015)

La proliferación de algas que aparece con la primera etapa de la eutrofización es causante de provocar un enturbiamiento del agua, ocasionando que la luz natural no llegue hasta el fondo, por lo cual comienzan a ocurrir cambios en el ecosistema, como es la falta de oxígeno, en si la vegetación muere al no poder realizar la fotosíntesis, provocando que otros microorganismos, como son las bacterias aumenten, alimentándose de la materia muerta, agotando el oxígeno que necesitaban moluscos y peces por lo que en el ecosistema ocurre la generación de microorganismos patógenos y algas tóxicas que podrían causar enfermedades. (Borràs, 2011)

### **7.6. DIATOMEAS**

Las diatomeas se caracterizan por ser algas con una pared celular muy distintiva, son algas unicelulares microscópicas, formadas por dióxido de silicio hidratado, se distribuyen

ampliamente por todo el mundo y cumplen un papel fundamental en la cadena trófica como productor primario en hábitats acuáticos. Su pared celular se le llama frústula y suele estar compuesta por dos mitades que reciben el nombre de válvulas, las mismas que tienen la capacidad de obtener nutrientes y también permite intercambiar sustancias de desecho con el medio ambiente. (Verger, Ciencia Today, 2017)

Se estima que hasta la fecha se han reconocido aproximadamente 12.000 especies de una estimación de 20.000 y 2 millones de diatomeas en la Tierra. Los científicos continúan trabajando en su clasificación ya que están surgiendo nuevas y diversas formas que están siendo descubiertas. Se estima que en la Tierra, las diatomeas ya estuvieron presentes desde el periodo Jurásico, pero como las evidencias que existen son inciertas ya que los primeros fósiles de diatomeas que se encontraron y aún se conservan en buen estado son del Cretácico. (Verger, Ciencia Today, 2017)

La importancia de las diatomeas radica en que constituyen la base de las cadenas tróficas acuáticas en agua dulce y en hábitats marinos. Contribuyen en la fijación del carbono atmosférico, además se considera que la actividad fotosintética de las diatomeas es capaz de aportar entre un 20 y un 40% de oxígeno a la Tierra. Por otra parte, se suele usar a las diatomeas como bioindicadores de la calidad del medio en el que se encuentran ya que son adaptables a vivir en ciertas condiciones, y por medio de esto podemos saber cuándo existe alguna variación en el medio. (Verger, Ciencia Today, 2017)

## **7.7. VENTAJAS DE LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

**Ubicuidad:** las diatomeas suelen estar presentes en cada uno de los sistemas acuáticos que podemos encontrar, desarrollándose significativamente en una gran variedad de formas vitales (coloniales, perifíticas, planctónicas, etc), por lo que son aptas para ser usadas como bioindicadores virtualmente en todo ecosistema en el que el agua forme parte del biotopo. (Blanco S. , 2010)

**Cosmopolitanismo:** se ha hallado que la distribución de la División Bacillariophyta (las diatomeas) en todas partes del mundo desde las regiones más desérticas hasta los polos más lejanos , tanto en todos los ríos como en todos los mares, en aguas termales, hipersalinas y salobres, con distintas variaciones en las condiciones ambientales. . (Blanco S. , 2010)

**Bajo grado de endemismo:** en todo el planeta se han encontrado significativamente una gran mayoría de especies que aparecen con abundancia, por esta razón la aplicación de varios índices diatomológicos se los considera universales, lo que nos permite tener distintos estudios comparativos entre regiones diferentes, que en otras situaciones son inviábiles. (Blanco S. , 2010)

**Precisión estadística:** los índices diatomológicos más usuales que podemos encontrar son los que se basan en la identificación de un mínimo de 400 individuos por muestra. Por lo que podemos destacar que el error cometido sea inferior al 10% en la composición de la comunidad de diatomeas, esto es aplicable para todos los casos, lo que nos da una mayor precisión y fiabilidad desde el punto de vista estadístico de estos métodos. (Blanco S. , 2010)

**Ciclos vitales:** las diatomeas al ser microorganismos unicelulares se reproducen con mucha rapidez como respuesta inmediata a eventuales cambios en condiciones del medio que las rodea, estas presentan ciclos vitales cortos y homogéneos. La composición de la comunidad de diatomeas en cada punto integra, por tanto, la calidad biológica del agua durante determinados periodos de tiempo, y no sólo la condición puntual que reflejaría un análisis físico-químico. (Blanco S. , 2010)

**Facilidad de muestreo:** las diatomeas presentan una gran ventaja a la hora de realizar el muestreo ya que puede muestrearse en cualquier tramo fluvial, junto a una gran variedad de sustratos, sin que esto afecte de alguna manera a la naturaleza de la comunidad de (diatomeas) ya sean naturales o artificiales, simplemente con un esfuerzo en tiempo y material mínimos. (Blanco S. , 2010)

**Facilidad de tratamiento, procesado y almacenaje:** en este proceso el tratamiento necesario para lograr la obtención de preparaciones microscópicas es relativamente sencillo y barato. Además pueden almacenarse indefinidamente sin alterarse, ocupan poco espacio y no hay necesidad de tratamientos conservativos. (Blanco S. , 2010)

**Estudios temporales:** las diatomeas al contrario que otros microorganismos, específicamente los frústulos o cubiertas silíceas, sobre prácticamente los que se basa su

taxonomía son inalterables en el transcurso del tiempo y cuentan con la facilidad de poder recuperarse en estado fósil o subfósil de sedimentos fluviales, estratos y lacustres, lo que es sumamente crucial ya que permite inferir el estado del agua en el pasado, así como la elaboración de funciones cuantitativas de transferencia, elaboración de modelos que sirven para la reconstrucción de paleo ambientes a escala geológica. Además en las cuencas hidrográficas sobre los cantos rodados de cauces secos y temporales son virtualmente los únicos bioindicadores recuperables, frecuentemente bajo bioclima mediterráneo. (Blanco S. , 2010)

### **7.8. IDENTIFICACION DE DIATOMEAS EPILÍTICAS**

La identificación de diatomeas consiste en eliminar todas las células y preparar las epilíticas utilizando un reactivo específico para el montaje con un elevado índice de refracción; para su conteo se utiliza un microscopio óptico de altas prestaciones, hasta que se obtiene un tamaño de muestra apropiado. A continuación se interpretan estos datos con la ayuda de uno o más índices o mediante otros métodos de evaluación. (NormaEN14407, 2005)

Recientes debates sobre los principios de la taxonomía de las diatomeas han conducido a la coexistencia de sistemas paralelos de nomenclatura, por lo que cuando se utilicen diatomeas para evaluar la calidad del agua, es importante asegurarse de que se ha eliminado cualquier posible confusión en lo que respecta al nombre correcto aplicable a la diatónica considerada. (NormaEN14407, 2005)

La identificación de diatomeas epilíticas aporta un importante repositorio, ofreciendo puntos de consulta y referencia espacio-temporal fundamentales acerca de la presencia de estos organismos en determinadas zonas del país, información que puede ser utilizada posteriormente como base en estudios ecológicos, evolutivos, de conservación ambiental, planes de ordenamiento territorial o bien, en estudios de impacto ambiental. (Morales S. F., 2013)

## 7.9. ESTUDIO PREVIOS

(Bajaña, 2013) En su estudio estableció la calidad del agua del río Babahoyo y sus afluentes dentro de la zona urbana, mediante la aplicación del índice de saprobio, determinando la composición y densidad del fitoplancton, presencia de organismos indicadores, además determinó las variables físico-químicas como la DBO5, OD, pH, temperatura, salinidad y nutrientes, para lo cual realizó monitoreos durante el último trimestre del año 2011. Los valores que obtuvo de DBO5, OD, NH4, sobrepasaron los límites permisibles descritos en el TULAS, TULSMA y en otras normas internacionales establecidas, durante el mes de diciembre, e indicó que los resultados mostraron presencia de contaminación orgánica débil en las estaciones correspondientes, dando a conocer que las diatomeas son bioindicadores muy útiles para identificar el grado de contaminación en los Ríos.

Según el estudio realizado por (Castro, 2015) Las diatomeas epilíticas son usadas extensamente para el monitoreo de la contaminación en los ríos, debido a que son sensibles a los cambios en la química del agua; su investigación la realizó en el río Teaone en la provincia de Esmeraldas, Ecuador, desde el tramo alto hasta el tramo bajo, lo cual le permitió relacionar las actividades antrópicas con la posible contaminación del río, de esta manera utilizó las diatomeas como bioindicadores de la calidad del agua, haciendo previo muestreo durante el mes de agosto 2015, en 7 estaciones del Teaone, extrayendo muestras en el biofilme de las piedras del lecho fluvial.

(Bajaña, 2013) En su estudio estableció la calidad del agua del río Babahoyo y sus afluentes dentro de la zona urbana, mediante la aplicación del índice de saprobio, determinando la composición y densidad del fitoplancton, presencia de organismos indicadores, además determinó las variables físico-químicas como la DBO5, OD, pH, temperatura, salinidad y nutrientes, para lo cual realizó monitoreos durante el último trimestre del año 2011. Los valores que obtuvo de DBO5, OD, NH4, sobrepasaron los límites permisibles descritos en el TULAS, TULSMA y en otras normas internacionales establecidas, durante el mes de diciembre, e indicó que los resultados mostraron presencia de contaminación orgánica débil en las estaciones correspondientes, dando a conocer que

las diatomeas son bioindicadores muy útiles para identificar el grado de contaminación en los Ríos.

(Córdova, 2016) estableció un índice biótico de la calidad de aguas basado en poblaciones de diatomeas epilíticas para determinar la calidad del agua de los ríos Andinos del Ecuador, centrándose en el río Ambi, ubicado al norte del país en la provincia de Imbabura, ya que este río cuenta con distintos niveles de eutrofización; dedujo entonces que las diatomeas serán los microorganismos bioindicadores debido a que son abundantes en los sistemas acuáticos y excelentes sensores naturales de calidad ambiental; además, al encontrarse adheridos a un sustrato fijo, tales como piedras o vegetales, suponen un punto fijo de monitoreo durante todas las estaciones del año, dedujo así que esta técnica requiere de la clasificación e identificación de la composición de las poblaciones de diatomeas y su relación con otros factores bióticos y abióticos de calidad de aguas ya establecidos y universalmente utilizados.

(Uvillus, 2017) estudió la composición de la flora de diatomeas epilíticas y su relación con procesos de eutrofización en la cuenca del río “la Compañía”; el cual pertenece a la Provincia de Pichincha, ubicado al sur-oriente de Quito, Ecuador, durante tres meses consecutivos (marzo, abril y mayo del 2017), monitoreando tres estaciones de colecta (punto limpio, punto medio y punto sucio), en los cuales midió parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, de ahí que en lo posterior logró identificar 34 especies de diatomeas epilíticas para medir la calidad del agua; los datos de dichas especies los analizó mediante el análisis de conglomerados (AC), basado en el método de Ward y un análisis de correspondencia canónica (CCA); Análisis multivalentes rápidos que agrupan y juntan parámetros de estudio, para concluir efectivamente sin necesidad de un análisis estadístico largo.

(Méndez, 2017) realizó un monitoreo de agua de la microcuenca del río cebadas en los meses de junio, julio y agosto de 2017, en dos distintos puntos (P1 y P2); midió a su vez parámetros físicos, químicos y microbiológicos, y realizó la identificación cualitativa y cuantitativa de las especies de diatomeas epilíticas, encontrando un total de 35 especies; en P1 4 especies abundantes, mientras que en P2 encontró 6 especies abundantes. Realizó también en análisis multivariado Clúster método Ward y el análisis de correspondencia

canónica, los cuales le permitieron agrupar especies y juntarlas con los parámetros de estudio.

(P. Castillejo, et al, 2018), en su artículo de Biodiversidad titulado “*Respuesta de las comunidades de diatomeas epilíticas al medio ambiente en gradientes a lo largo de un río andino ecuatoriano*”, realiza junto a C. R. Biologies, el primer intento en el Ecuador para determinar la composición de las diatomeas epilíticas, mediante la medición de variables físicas, químicas y microbiológicas en cinco sitios de muestreo a lo largo de Río Pita, desde agosto hasta diciembre de 2016. En los resultados que obtuvieron indican una clara gradiente de eutrofización; así para P1 (agua buena) en los tramos superiores y a P5 (agua mala) ubicado en los tramos inferiores; posteriormente en sus análisis de diatomeas, indican una gran diversidad para las zonas tropicales en términos de riqueza de especies, que varía desde  $S = 34$  en cabeceras a  $S = 42$  aguas abajo. Concluyen finalmente que los valores tróficos de las especies de diatomeas disponibles en la literatura científica no son directamente aplicables a sus sitios en el río Pita. Por lo tanto, es necesario establecer una diatomea trófica índice para la región andina de Ecuador.

(Serrano P. , 2018) evaluó la biodiversidad y riqueza de diatomeas epilíticas como bioindicadores que estiman niveles de contaminación en la microcuenca del río Chibunga, afluente del río Chambo que cruza de norte a sur en el cantón Riobamba, utilizando así mismo parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, los cuales fueron monitoreados en los meses de junio, julio y agosto de 2017 en dos tramos del río, identificando un total de 62 especies entre el punto 1 y 2, posteriormente asigno valores tróficos a las especies de diatomeas epilíticas, las mismas que le permitieron estimar el ITCA, con una calificación en el punto P1:  $\beta$ -mesotrófico y en el punto P2:  $\alpha$ -mesotrófico.

(Arevalo, 2018) realizó la determinación de especies de diatomeas epilíticas como bioindicadoras de eutrofización en la microcuenca del río “Guano”, perteneciente a la Provincia de Chimborazo, efectuando un monitoreo durante tres meses consecutivos, el cual dio como resultado que la demanda biológica de oxígeno, coliformes fecales, fosfatos, sólidos disueltos, sólidos totales y turbidez mostraron una correlación significativa en relación con el gradiente de eutrofización de acuerdo a la abundancia de diatomeas epilíticas en cada punto de muestreo.

## **7.10. ESTADO TROFICO**

Describe la cantidad de nutrientes, biomasa algal, transparencia del agua y la concentración de sustancias húmicas que llegan a un ecosistema acuático, también existen estados intermedios entre los antes mencionados que se definen como mesotrofia. Todos estos se caracterizan por presentar en común una baja concentración de sustancias húmicas. (Hydrobio, 2012)

El "estado trófico" que caracteriza a un cuerpo de agua, informa del grado de "eutrofización" en el que se encuentra. Existe un cambio que se lleva a cabo de un estado trófico a otro grado mucho mayor por adición de nutrientes y también de materia orgánica, que son las causantes de alterar temporalmente las condiciones de equilibrio natural en el que suele encontrarse el ecosistema, ocasionando un desequilibrio en su composición biótica y en su sucesión. (Moreno, 2010)

## **7.11. INDICE TRÓFICO DE CALIDAD DEL AGUA (ITQA)**

Es un procedimiento a seguir, mediante la utilización de la fórmula del índice trófico de calidad de agua (ITQA), propuesto por el Dr. Lobo et al. (2014).

A partir de los resultados obtenidos, teniendo como criterio operacional o gradiente ambiental la eutrofización, se determinará los distintos grados de tolerancia de eutrofización, la cual se atribuirá valores tróficos iguales a 1, 2, 3, 4, e 5, correspondientes a niveles de tolerancia de eutrofización definidos como bajo, medio, alto. Respectivamente utilizando estos valores tróficos para cada una de la especie de diatomeas, se calcula el índice trófico de calidad de agua (ITQA), adaptando a la fórmula de Pantle e Buck (1995)

$$\text{TWQI} = \frac{\sum (vt. h)}{\sum h}$$

## **7.12. ÍNDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA (ICA)**

El Índice de calidad de agua propuesto por Brown, es una versión modificada del “WQI” que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creo y diseño un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA). (Brown, 2012)

En general el ICA indica porcentajes de calidad que varían entre cero y cien, teniendo en cuenta que cero es un agua de mala calidad, mientras que un valor que se acerque a cien representa un agua en excelentes condiciones. A su vez, de acuerdo a la calidad que reflejan estas categorías suelen estar asociadas a un grupo de colores. Los colores rojos o naranjos reflejan cuerpos de agua de pésima calidad y los colores celestes o azules representan sistemas acuáticos de muy buena calidad. (Semarnat, Dirección General de Estadística e Información Ambiental, 2008)

A su vez, el alcance que tiene dicho indicador no tiene la suficiente capacidad de incorporar la complejidad de los fenómenos naturales y la variabilidad climática de forma meticulosa y diferencial, dificultando así identificar de forma específica si el origen de los aportes a la muestra es natural o antrópico, aunque algunas veces puede inferirse intuitivamente el origen principal de dichos aportes. (Minambiente, 2014)

Para la determinación del ICA, se tiene una variada metodología, pero la más utilizada y la que brinda una gran información es la que contiene datos de calidad de agua disponible que estuviera relacionada con los nueve constituyentes biológicos y físico-químicos que seleccionaron para basar su análisis. (Francisco J. Torres Vega, 2012)

Para determinar el valor del “ICA” en un punto deseado es necesario que se tengan las mediciones de los 9 parámetros físico-químicos y biológicos implicados en el cálculo del Índice los cuales son: Coliformes Fecales, pH, (DBO5), Nitratos, Fosfatos, Cambio de la Temperatura, Turbidez, Sólidos disueltos Totales, Oxígeno disuelto. (Brown, 2012, pág. 4). El ICA se calcula por la multiplicación ponderada de la calidad del agua correspondiente a cada parámetro evaluado.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Dr. Lobo et al. (2015).

$q_i$ : calidad del  $i$ -ésimo parámetro, un número entre 0 e 100, obtenido de la respectiva "curva promedio de variación de calidad", en función de su concentración o medida.

El ICA se calcula por la multiplicación ponderada de la calidad del agua correspondiente a cada parámetro evaluado. Dr. Lobo et al. (2015).

$w_i$ : peso correspondiente al  $i$ -ésimo parámetro, un número entre 0 e 1, atribuido en función de su importancia para la configuración global de calidad, siendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Dr. Lobo et al. (2015)

### **7.13. IQADData**

Es un software dedicado al desarrollo y aplicación de diferentes índices de calidad del agua, desarrollado por el Programa de Maestría en Sistemas y Procesos Industriales en asociación con el Departamento de Biología y Farmacia de la Universidad de Santa Cruz del Sur. (Santa Cruz do Sul. Patente n° NPI n° 10670-2, 2010)

### **7.14. PAST SOFTWARE**

Es un paquete Estadístico, de uso general, que integra procedimientos estadísticos y gráficos interactivos de alta resolución, de tal manera que sirve de apoyo al análisis de datos. Es útil entre otros aspectos para realizar análisis exploratorio desde el punto de vista gráfico, de igual manera se utiliza para realizar análisis estadístico simple y/o avanzado.

El programa sirve para profundizar en temas como: Métodos Cuantitativos, Métodos de Investigación, Segmentación de Mercados, Finanzas, Inferencia Estadística, Análisis Multivariado, Pronósticos con series de Tiempo, Métodos Multivariados y otros más. (Gomez, 2014)

## 8. METODOLOGÍA

### 8.1.1. Área de trabajo

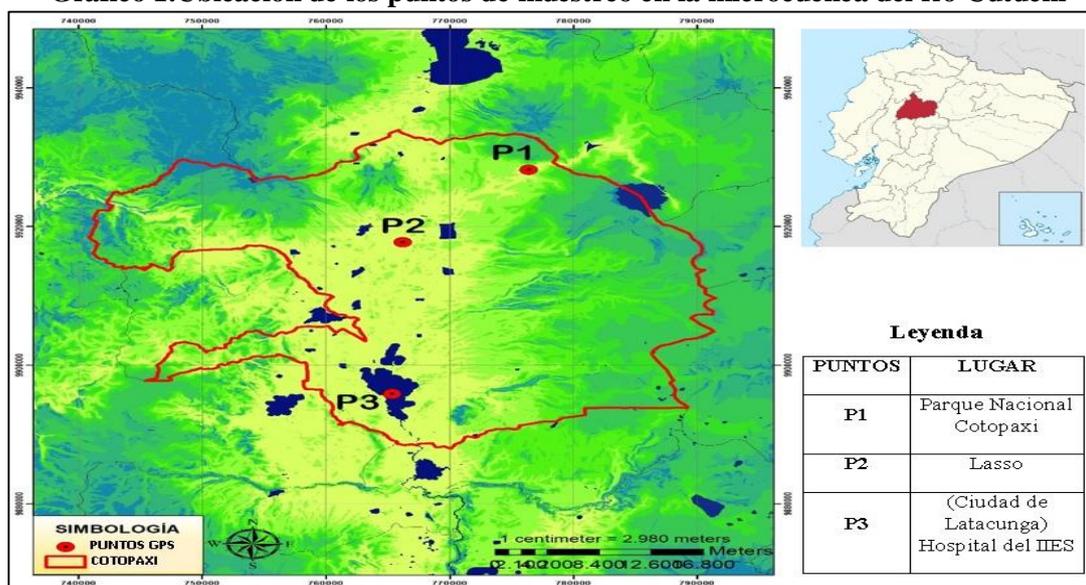
El área de estudiada se encuentra ubicado en tres puntos estratégicos dependiendo del grado de contaminación del río Cutuchi: bajo, medio y alto. El primero se denomina punto uno porque no existe alto grado de contaminación ubicado en el Parque Nacional Cotopaxi donde encontramos la vertiente natural que nace en el volcán Cotopaxi, que proporciona agua a sus alrededores. El segundo punto se ubica en el sector de Lasso al frente de la brigada patria y finalmente el tercer sitio se ubica en la ciudad de Latacunga junto al Hospital del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) (Gráfico 1). Además los tres puntos señalados presentaron: seguridad, accesibilidad y legalidad (Tabla 3).

**Tabla 3. Ubicación de los puntos de monitoreo en la microcuenca del río “Cutuchi”**

Código	Río	Ubicación	Puntos	Coordenadas
P1	Cutuchi	Parque Nacional Cotopaxi	Limpio	776413; 9928175
P2	Cutuchi	Lasso	Medio	766244; 9917741
P3	Cutuchi	Ciudad de Latacunga	Sucio	765352; 9895884

Elaborado por: Víctor Acosta

**Gráfico 1. Ubicación de los puntos de muestreo en la microcuenca del río Cutuchi**



Elaborado por: Víctor Acosta

## **8.2.DISEÑO DEL MUESTREO**

De acuerdo a la Norma ISO 5667-6 se realizó un muestreo simple cada mes, durante los meses de marzo, abril y mayo del 2018 en la época lluviosa, las muestras recolectadas de acuerdo a la norma NTE INEN 2176:2013 fueron puntuales e individuales debido a que el flujo del agua a muestrear no es uniforme, y los valores de los parámetros analizados no son constantes; las muestras se recogieron de forma manual de la superficie del río Cutuchi en los tres puntos identificados.

### **8.2.1. Toma de muestras de diatomeas en la fase de campo**

Se recolectaron muestras de diatomeas cada mes en tres puntos específicos a lo largo del río Cutuchi que se muestra en la tabla 3, en los cuales para el análisis cualitativo y cuantitativo se siguió lo propuesto por Lobo, *et al.* (2016); se seleccionó de 3 a 5 piedras en cada uno de los puntos de muestreo, posteriormente se procedió a cepillar la superficie superior de las piedras, evitando así las superficies de erosión y sedimentación. Posteriormente se lavó con agua destilada recolectando aproximadamente 300ml de muestra en una botella de plástico, y por último se etiquetó y colocó la muestra en un cooler para su conservación y transporte al laboratorio. (Lobo, *et al.*, 2016),

### **8.2.2. Procesamiento de muestras de diatomeas en la fase de laboratorio**

Todo el proceso de preparación y limpieza de diatomeas epilíticas en el laboratorio, se tomó de lo explicado por Lobo, *et al.* (2016), que a su vez ha sido adaptada de Round *et al.* (1993), A Review and Methods for the Use of Epilithic Diatoms for Detecting and Monitoring Changes in River Water Quality.

Para la preparación de diatomeas se tomó una muestra de cada punto, y colocó en tubos de ensayo 6,25ml de muestra y 3,75ml de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), obteniendo un total de 10ml en el tubo de ensayo. En un vaso de precipitación se colocó pedazos de cerámica (evita el alto burbujeo al hervir), y se añadió agua hasta que la muestra se cubrió, luego se llevó a una campana extractora de gases donde se puso a hervir en una estufa durante 60 minutos. Una vez que se la muestra se enfrió se colocó 0,8gr de dicromato de potasio

( $K_2Cr_2O_7$ ) en cada tubo de ensayo, se llevó nuevamente al vaso de precipitación con los tubos de ensayo y se calentó en la estufa durante 60 minutos a  $90^\circ C$ , después se dejó reposar por 24 horas para poder seguir con el procedimiento. Luego del reposo de 24 horas, se centrifugo a 3.000 rpm durante 2 minutos y se retiró el sobrenadante con una pipeta Pasteur de plástico para agregar agua destilada hasta lograr los 10ml a manera de enjuague de la muestra y centrifugamos nuevamente y retiramos el sobrenadante. Este proceso se repitió hasta que el agua destilada quedo de color transparente.

Una vez retirado el sobrenadante se colocó a la muestra 2ml de ácido clorhídrico (HCL) y 10 ml de agua destilada, se agregó nuevamente en el vaso de precipitación y se puso a hervir durante 30 min en la campana extractora de gases. Una vez fría la muestra se centrifugo a 3.000 rpm durante 2 min y se retiró el sobrenadante, luego se añadió 10ml de agua destilada a modo de enjuague, se centrifugo y se retiró el sobrenadante nuevamente, este proceso se repitió 6 veces con la finalidad de retirar todo el HCL de la muestra y finalmente se dejos a la muestra con 2ml de agua destilada.

Para la preparación de placas, se tomó dos gotas de la muestras, se colocó en los portaobjetos en la plancha de calentamiento a  $50^\circ C$ , se añadió de 2 a 3 gotas de agua destilada y dos gotas de alcohol al 70%, se esperó hasta que la muestra se secó. Después de secarse se tomó el cubre-objetos y se lo invirtió en un porta-objetos con 1 gota de Naphrax, que es un medio de montaje con un alto índice de refracción, luego se colocó nuevamente en la plancha de calentamiento a  $200^\circ C$  hasta su ebullición, después se retiró de la plancha de calentamiento y se procedió a presionar suavemente para un fijado homogéneo, finalmente fueron debidamente identificadas.

### **Identificación de diatomeas epilíticas**

Para la identificación y conteo de diatomeas epilíticas se siguió el proceso establecido en la Norma Europea EN 14407 de agosto de 2004.

## **Procedimiento**

Se usó un microscopio óptico Leica DM750, equipado de una pletina mecánica y de un objetivo de inmersión que permitió la obtención de un aumento elevado (por ejemplo, 100\*); para la medición se usó un micrómetro ocular que venía incorporado al microscopio. (NormaEN14407, 2005)

Se realizó un barrido vertical lento en el porta objetos milimetrado, mediante el cual se tomó fotografías y se identificó a cada una de las diatomeas epilíticas presentes en cada una de las nueve placas, basándonos en la taxonomía de cada especie y comparándolas con distintas fuentes bibliográficas de estudios previos realizados en Ecuador de (Uvillus, 2017, Paz, 2017, Arevalo, 2018, Serrano, 2018 y Méndez, 2018) encontrados en el repositorio de la Universidad Internacional SEK.

Una vez identificadas se realizó otro barrido vertical lento en el portaobjetos milimetrado, en el que se recontó y se sumó las diatomeas epilíticas hasta alcanzar un máximo de 600 unidades para calcular los índices de contaminación.

### **8.2.3. Utilización del índice trófico de calidad del agua (ITCA)**

Para calcular el valor trófico de cada especie se utilizó un sistema preliminar propuesto por Lobo et al. (2014) el cual estableció valores indicativos de 1, 2,5 y 4 a las diatomeas basándose en los valores de la abundancia relativa de especies y teniendo en cuenta el grado de tolerancia de cada especie a la eutrofización.

A partir de los resultados obtenidos de abundancia relativa de especies y los valores tróficos de cada especie se determinó el índice trófico de la calidad de aguas usando la fórmula descrita a continuación:

Cálculo del Índice Trófico de calidad de aguas adaptado de Pantle y Buck (1955):

$$TWQI = \frac{\sum (vt. h)}{\sum h},$$

En donde

vt= valor trófico de especies

h= abundancia relativa de especies

#### **8.2.4. Toma de muestras de agua en la fase de campo**

En cada punto identificado a lo largo del Río Cutuchi, se recolecto una botella de 2 litros llena de agua, cada botella obtenida de los puntos se conservó a 4°C en un cooler y fue llevada al laboratorio para su análisis en un máximo de 12 horas, (INEN 2176:2013).

#### **8.2.5. Procesamiento de muestras de agua en la fase de laboratorio**

Para el análisis de variables físico-químicas y microbiológicas se realizaron análisis *in situ* con el equipo medidor multiparámetro HACH de: pH (4500-B), temperatura, conductividad (2510-B), oxígeno disuelto y para la turbidez (2130-B) que también se analizó *in situ* se usó el turbidímetro portátil HACH siguiendo las recomendaciones emitidas por (HACH® Company, 2016).

- **Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO5)**

Para realizar la DBO5 se utilizó el (Method, 5210 A). Se tomó 300 ml de cada muestra de agua del río Cutuchi y se colocó en tres vasos de precipitación, luego se preparó agua de dilución en un Matraz Erlenmeyer graduado de 1000 ml y se procedió a saturar con oxígeno utilizando una bomba de aire durante 20 minutos; después de ese lapso de tiempo se midió el OD y se colocó la muestra en recipientes Winkler, el agua de la muestra se dejó rebosar sin permitir aire atmosférico. Los recipientes Winkler fueron almacenados a 20 grados centígrados por 5 días y se mide OD nuevamente, después aplicamos la siguiente formula:  $DBO, mg/lt = D1 - D2/P$

- **Coliformes Fecales**

Para la determinación de Coliformes Fecales, se usó Norma técnica (VB0003). Se procedió a autoclavar las placas de Petri, luego se preparó el medio de cultivo como lo indica su envase, sin necesidad de ser autoclavado, agregándole agar al 1.5% y se fundió. Una vez fundido se termostató a 45°C y se repartió en las cajas de Petri en una atmósfera aséptica, colocando aproximadamente 3ml de medio por placa de 50mm de diámetro. Las diluciones se prepararon con agua destilada y se usó un volumen de filtro de (1ml), luego se colocó en el embudo de filtración aproximadamente 10ml de agua destilada y luego la muestra logrando una adecuada distribución sobre la membrana.

Las placas Petri con el filtro se colocaron en la estufa de incubación a  $44.5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  en posición invertida durante 24 horas y una vez pasado el tiempo requerido se contó las colonias que presentaron una tonalidad de verde plateado.

- **Nitratos**

Para la determinación de los Nitratos se usó el (Method, 8192) Rango Bajo, en el que se siguió lo establecido en el HACH PROGRAM. Se llenó cada una de las celdas de 10 ml con las muestras, se agregó el contenido del reactivo NitraVer 6 y se agitó por 3 minutos. Luego de 2 minutos de reposo, se agregó otro reactivo NitriVer 3 y se agitó por 30 segundos, también se dejó en reposo de 15 minutos, después se procedió a medir en el espectrofotómetro colocando una celda de blanco y las otras con las muestras.

- **Fosfatos**

Para la determinación de Fosfatos se usó el (Method, 8114) en el que se siguió lo estandarizado por HACH PROGRAM. Se llenó tres celdas de 10 ml con las muestras y se agregó 3,3 ml de la solución del reactivo molibdovanadato (100 mL MDB), se dejó reposar por 15 minutos y se procedió a medir en el espectrofotómetro colocando una celda de blanco y las otras con las muestras.

- **Solidos Totales Disueltos**

Para la determinación de solidos disueltos se usó el (Method, 2130-B) en el que se siguió lo establecido, procediendo a filtrar 100 ml de cada muestra con papel filtro en tres probetas graduadas, luego se pesaron tres morteros en la balanza y se anotaron los resultados en una libreta. Una vez pesado se colocaron las muestras filtradas en sus respectivos morteros y se llevaron a la estufa durante 24 horas a 105°C, luego se sacaron y se volvieron a pesar. El resultado se sacó de la diferencia de los dos pesos.

- **Clorofila**

Para la determinación de la clorofila se utilizó el Método Tricromatico, primero se filtró 200 ml de la muestra con ayuda de un embudo magnético en el que se separó el material particulado que contiene la clorofila mediante membranas filtrantes de micocelulosa de 47 mm de diámetro y 0,45 micras de tamaño de poro. Una vez filtrado se plegó el filtro con el material particulado hacia el interior y se introdujo en un tubo falcón cubriéndolo de papel aluminio para evitar la fotodegradación, posteriormente se guardó en un congelador por 2 horas y se agregó 6ml de acetona al 90%, después se guardó de nuevo en el congelador por 24 horas y se procedió a la extracción de pigmentos centrifugando el tubo a 2500 revoluciones por minuto durante 5 minutos para separar el material particulado. La medición se lo realizo en el espectrofotómetro para lo cual primero se usó una muestra de blanco que se colocó en una cubeta de cuarzo de 1cm a las mismas longitudes de onda que para la muestra de estudio, luego se midió la muestra de estudio y se aplicó la fórmula para la determinación de la clorofila a.

$$Cl a = Ve x \frac{((11,85 * (A_{664} - A_{750})) - (1,54 * (A_{647} - A_{750})) - (0,08 * (A_{630} - A_{750})))}{Vf * L}$$

### **8.2.6. Determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA)**

Para la determinación del “ICA” se usaron 9 parámetros, los cuales son:

- Coliformes Fecales (en NMP/100 mL)
- pH (en unidades de pH)

- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5 en mg/ L)
- Nitratos (NO3 en mg/L)
- Fosfatos (PO4 en mg/L)
- Cambio de la Temperatura (en °C)
- Turbidez (en NTU)
- Sólidos disueltos totales (en mg/ L)
- Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

Los resultados obtenidos de los los nueve parámetros físicos, químicos y microbiológicos se introdujeron IQADData por medio del cual se determinó el índice de calidad del agua; arrojando valores que van del 0 al 100 para cada uno de los nueve puntos acumulados durante los tres meses de muestreo (marzo, abril y mayo) y posteriormente se calificó de acuerdo a la tabla 2, misma que evidencia rangos adecuados de ICA.

**Tabla 4. Rangos para determinar el Índice de calidad del agua**

Valor de ICA	Calificación
Excelente	91 – 100
Bueno	71 --90
Regular	51 – 70
Malo	26 – 50
Muy malo	0 – 25

**Fuente:** (Posselt & Costa, 2010)

## 9. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 9.1. INDICADORES ABIÓTICOS

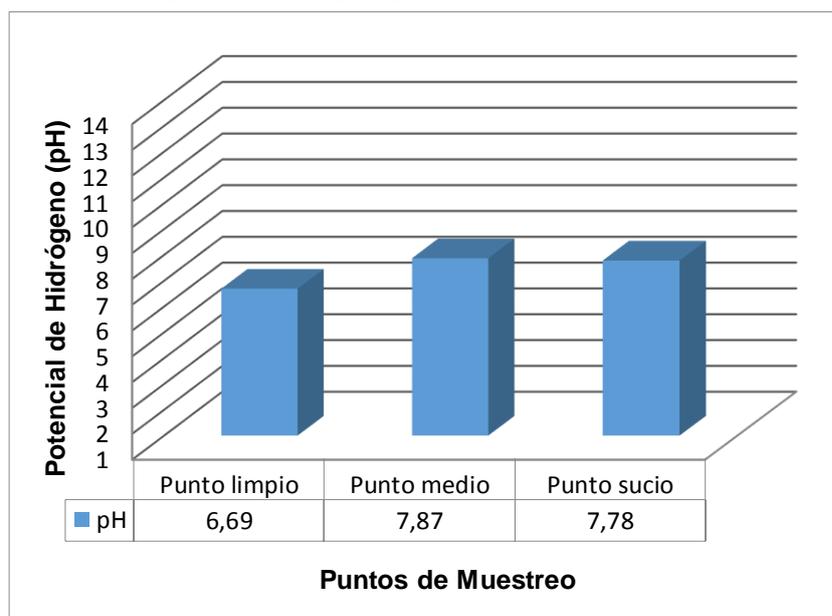
#### 9.1.1. Análisis *In Situ*

**Tabla 5. Valores de pH en 3 sitios de muestreo del Río Cutuchi. Tres meses**

		Ph			
		Marzo	Abril	Mayo	Media
Puntos	P 1	6,72	6,95	6,42	6,69
	P 2	7,96	8,00	7,66	7,87
	P 3	7,57	8,08	7,71	7,78

Elaborado por: Víctor Acosta

**Gráfico 2. Resultados promedio de pH, para tres sitios de muestreo del Río Cutuchi.**



Elaborado por: Víctor Acosta

En la tabla 5, se puede observar los valores de pH registrados de 3 puntos de muestreo del cuerpo hídrico Cutuchi, durante los meses Marzo, Abril y Mayo; posteriormente una media calculada indica resultados de potencial de hidrógeno de 6,69; 7,89 y 7,78.

Cuando el pH es neutro y el agua no tiene características ácidas ni alcalinas, su valor es de 7.0. En las aguas naturales y residuales el valor del pH está en el rango de 6.0 a 8.0 unidades de pH, y estos valores son los más adecuados para la actividad biológica de los

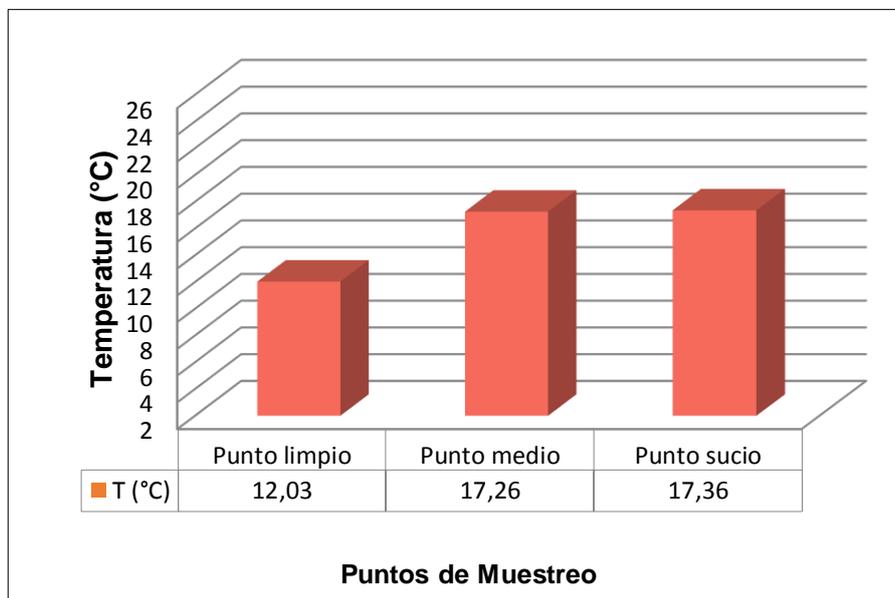
ecosistemas; así mismo en el libro VI-Anexo 1, de la Norma Ambiental del Recurso Agua “TULAS”, el límite máximo permisible de pH es de 6 a 9, el cual se cumple en la presente investigación. En el monitoreo el promedio de los 3 muestreos realizados del potencial de hidrogeno (pH) en los principales afluentes de la cuenca del río Cutuchi, el valor más bajo es de 6,69 y se registró en el parque Nacional Cotopaxi, siendo ligeramente ácido, en tanto que para los dos siguientes puntos se presentó alcalinidad, la misma que se debe a la presencia del carbonato de calcio, el cual se encuentra en el agua superficial y especialmente en los ríos.

**Tabla 6. Valores de Temperatura en 3 sitios de muestreo del Río Cutuchi. Tres meses**  
T(°C)

		Marzo	Abril	Mayo	Media
Puntos	P 1	12,4	12,5	11,2	12,03
	P 2	20,6	16,2	15,0	17,26
	P 3	19,0	17,2	15,9	17,36

**Elaborado por:** Víctor Acosta

**Gráfico 3. Resultados promedio de Temperatura, para tres sitios de muestreo del Río Cutuchi.**



**Elaborado por:** Víctor Acosta

La temperatura del agua es importante conocerla porque influye de forma directa en los factores que determinan la calidad del agua. En los puntos de muestreo la temperatura ha fluctuado entre 12 °C a 17°C, como se muestra en la tabla número 6.

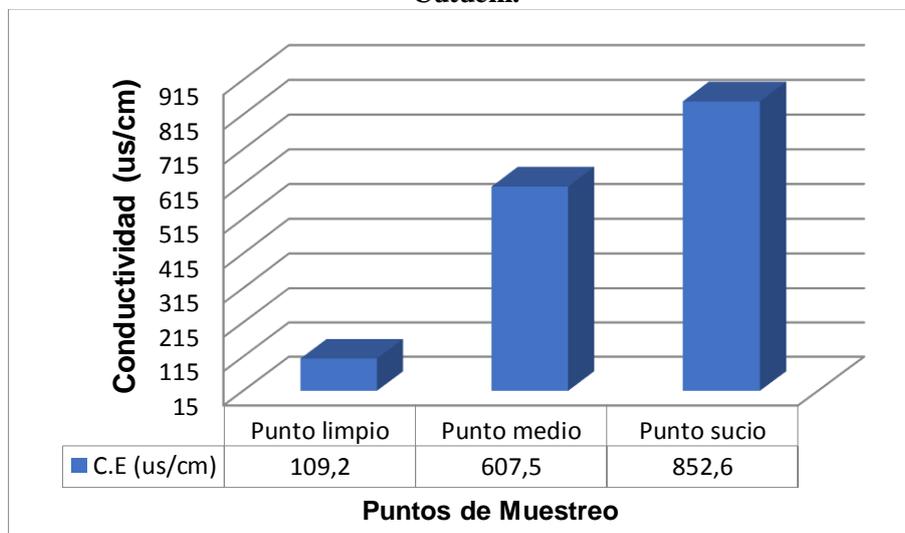
De acuerdo a los resultados promedio de temperatura del agua representados en el gráfico número 3, para el ecosistema lotico de estudio, los valores de T (°C) fueron: 12,03; 17,26 y 17,36 y en ninguno de los muestreos ésta supera el límite máximo permisible (LMP) de 34 °C. Es importante indicar que la temperatura del agua superficial está influenciada por la hora en que se realiza la lectura en el campo, sin embargo las lecturas tomadas en las horas más cálidas del día no superan el límite máximo permisible.

**Tabla 7. Valores de Conductividad en 3 sitios de muestreo del Río Cutuchi. Tres meses**  
Conductividad (us/cm)

		Marzo	Abril	Mayo	Media
Puntos	P 1	109,2	107,3	111,1	109,2
	P 2	663,0	566,5	593,0	607,5
	P 3	1135	752,0	671,0	852,6

**Elaborado por:** Víctor Acosta

**Gráfico 4. Resultados promedio de Conductividad, para tres sitios de muestreo del Río Cutuchi.**



**Elaborado por:** Víctor Acosta

Como se verifica en la tabla número 7 la conductividad ha variado conforme el sitio de muestreo, encontrándose en rangos de 109,2 us/cm a 111,1 us/cm para el punto 1, 663 us/cm a 593 us/cm para el punto 2, y el punto 3 se ubica en el rango de 1135 us/cm. a 671 us/cm.

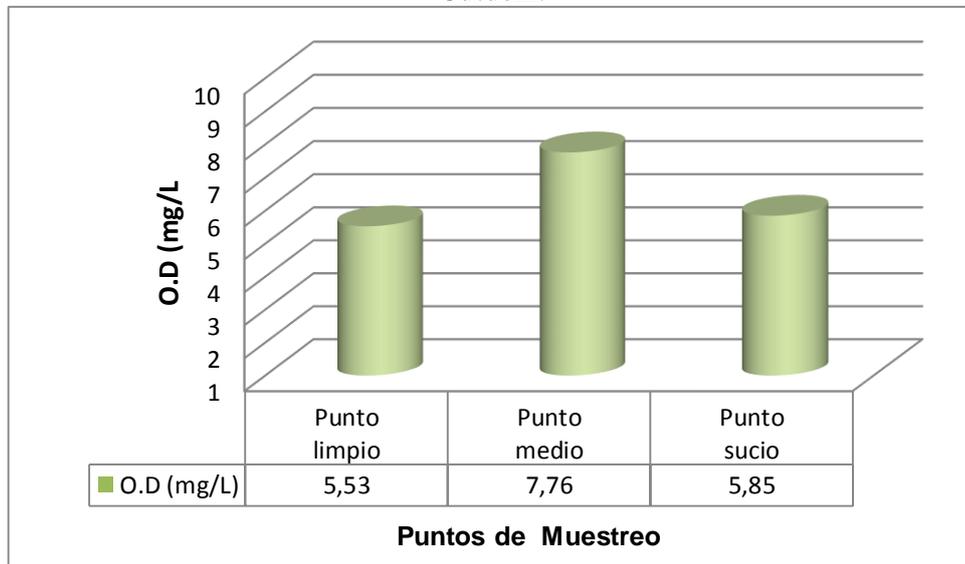
De forma gráfica (Gráfico.4) se presenta una comparación de la conductividad eléctrica de cada punto de muestreo en los ríos bajo estudio, donde se puede apreciar el comportamiento de la misma en la época lluviosa del año; de acuerdo a los resultados, los valores de la conductividad eléctrica en los tres muestreos realizados en los 3 puntos, se encuentra que los valores están dentro del límite máximo permisible, pues sus promedios son: 109,2 us/cm; 607,5 us/cm y 852,6 us/cm, que de acuerdo a las normas europeas las aguas superficiales destinadas a ser potables no deben tener una conductividad superior a 1000  $\mu$ S/cm. El mencionado parámetro no se establece en la Legislación Ambiental Ecuatoriana dentro del TULSMA, pero es necesario para determinar la cantidad de sales.

**Tabla 8. Valores de Oxígeno Disuelto en 3 sitios de muestreo del Río Cutuchi. Tres meses**  
O.D (mg/L)

		Marzo	Abril	Mayo	Media
Puntos	P 1	5,37	5,63	5,59	5,53
	P 2	10,08	6,70	6,51	7,76
	P 3	4,98	6,24	6,34	5,85

**Elaborado por:** Víctor Acosta

**Gráfico 5. Resultados promedio de Oxígeno Disuelto, para tres sitios de muestreo del Río Cutuchi.**



**Elaborado por:** Víctor Acosta

Según la tabla 8; en el punto 1 para los tres meses de muestro el oxígeno disuelto no presenta una variación significativa, los valores se mantienen entre 5,37 y 5,63, mientras que para el punto 2 se evidencia una clara variación que va disminuyendo de 10,08 a 6,51 y para el punto 3 presenta una variación que va en aumento de 4,98 a 6,34.

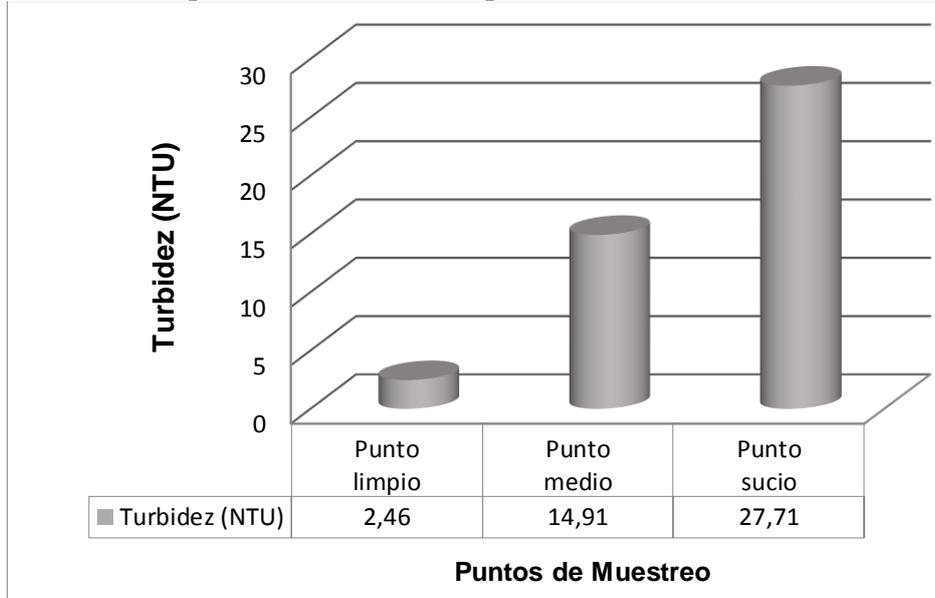
De acuerdo a los resultados del Gráfico 5, los niveles promedio de oxígeno disuelto (mg/l) en los 3 puntos de monitoreo son diferentes así para P1= 5,53; P2=7,76 Y P3=5,85, evidenciando claramente que el punto uno tiene el nivel promedio más bajo principalmente, debido a la disminución del caudal en el río y el aumento de la concentración de la contaminación debido a agua residuales. El nivel más alto de oxígeno disuelto se presenta el punto de monitoreo 2 (Lasso), lo cual se debe a que en este tramo del río hay mayor burbujeo debido a un alto contenido de oxígeno disuelto. Lo anterior mencionado es debido a que en el Ecuador los ríos son correntosos y por este motivo en lugar de que en el punto limpio haya mayor oxígeno, el oxígeno aquí es menor y no cumple con las Normas “TULSMA”, la cual refiere a un LMP, no menor a 6 mg/L

**Tabla 9. Valores de Turbidez en 3 sitios de muestreo del Río Cutuchi. Tres meses**

		Turbidez (NTU)			
		Marzo	Abril	Mayo	Media
Puntos	P 1	2,60	3,24	1,54	2,46
	P 2	3,34	13,10	28,30	14,91
	P 3	16,50	36,05	30,60	27,71

**Elaborado por:** Víctor Acosta

**Gráfico 6. Resultados promedio de Turbidez, para tres sitios de muestreo del Río Cutuchi.**



**Elaborado por:** Víctor Acosta

En la tabla 9, se presentan los valores de Turbidez en Unidad de Turbidez Nefelométrica para los tres sitios muestreos de los principales afluentes de la cuenca del río Cutuchi; dichos valores van aumentando del punto 1 al punto 3. El parámetro turbidez es uno de los más importantes en la calidad del agua, ya que es indicativo de su contaminación.

De acuerdo a los resultados expuestos en el Gráfico 6, los valores promedio de turbidez están bajo el límite máximo aceptable en todos los puntos de muestreo del río; de acuerdo a la normativa TULSMA, donde el LMP para Turbiedad debe ser  $< 100$  NTU, los valores altos de turbidez en este estudio  $P2=14,91$ ;  $P3=27,71$ , se deben principalmente a la presencia de partículas suelo producto de la erosión provocada por las lluvias, así como por la presencia de material orgánico debido a la descarga de aguas residuales sobre los cuerpos de agua en la región, Los resultados en este caso son contradictorios, ya que no deben cumplirse los LMP de turbidez, pero si son aceptables debido a las condiciones naturales de los recursos hídricos.

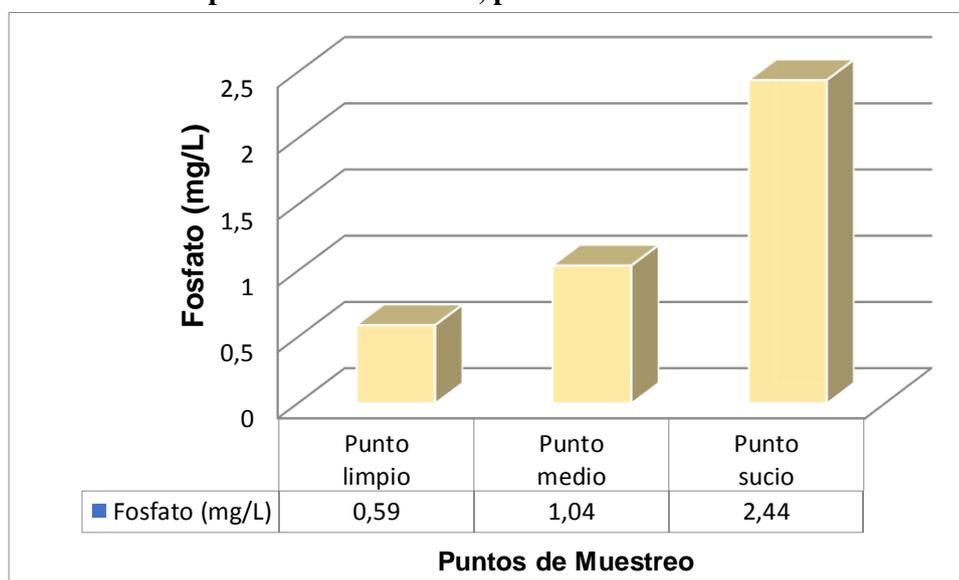
### 9.1.2. Análisis en el laboratorio

**Tabla 10. Tabla 10. Valores de Fosfatos en 3 sitios de muestreo del Río Cutuchi. Tres meses**  
Fosfatos (mg/L)

		Marzo	Abril	Mayo	Media
Puntos	P 1	0,377	0,698	0,709	0,59
	P 2	0,891	1,126	1,132	1,04
	P 3	1,561	2,797	2,965	2,44

Elaborado por: Víctor Acosta

**Gráfico 7. Resultados promedio de Fosfatos, para tres sitios de muestreo del Río Cutuchi.**



Elaborado por: Víctor Acosta

La tabla 10, indica valores de fosfatos que fluctúan entre 0,3 mg/L a 2,96 mg/L, durante los meses consecutivos de muestreo marzo, abril y mayo, para el punto limpio, medio y sucio.

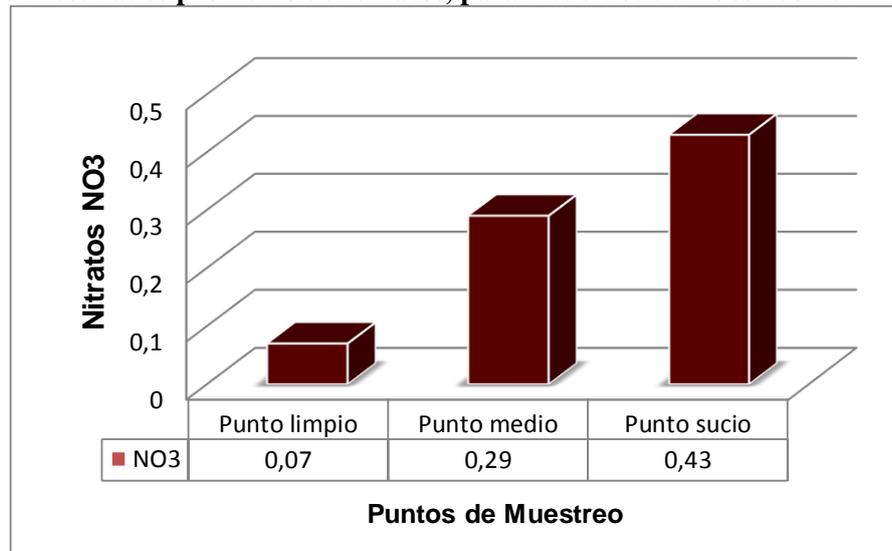
Como se comprueba en el gráfico 7, los datos promedios resultantes van de 0,59 mg/L para el punto 1; 1,04 mg/L para el punto 2 y 2,44 mg/L en el punto 3, incrementando los ésteres del ácido fosfórico a medida que el río aumenta la carga contaminante. De acuerdo a los resultados, existe presencia de fosfatos con niveles por encima de 1 mg/l que es límite máximo permisible de acuerdo a la OMS.

**Tabla 11. Valores de Nitratos en 3 sitios de muestreo del Río Cutuchi. Tres meses**  
Nitratos (mg/L)

		Marzo	Abril	Mayo	Media
Puntos	P 1	0,03	0,14	0,06	0,07
	P 2	0,25	0,36	0,28	0,29
	P 3	0,46	0,39	0,46	0,43

**Elaborado por:** Víctor Acosta

**Gráfico 8. Resultados promedio de Nitratos, para tres sitios de muestreo del Río Cutuchi.**



**Elaborado por:** Víctor Acosta

Los nitratos provocan la eutrofización de los ríos; en el Gráfico 11 se observa que los valores de NO<sub>3</sub>, son menores a 1 mg/L, ya que fluctúan de 0,3 a 0,46 (mg/L), durante los tres meses de muestreo.

El agua con altas concentraciones de nitratos es un riesgo para la salud especialmente para los niños, porque al consumir agua con altas concentraciones de nitratos ocasiona el síndrome del bebe azul y constituyen compuestos cancerígenos. La concentración de nitratos en el agua para Ecuador, según la norma TULSMA, permite un límite de NO<sub>3</sub> < 10 mg/L, por lo que este parámetro cumple con los límites aceptables, así lo demuestra el Gráfico 8 de resultados, por los valores medios de 0,07 mg/L; 0,29 mg/L y 0,43 respectivamente. El origen ascendente de los nitratos presentes en el agua del río, se debe principalmente a que del punto limpio al punto sucio, se evidencia uso de fertilizantes

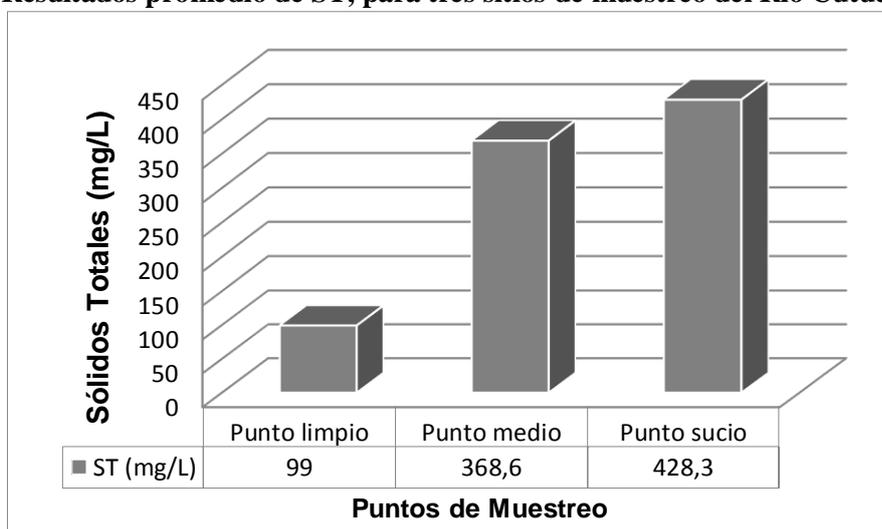
nitrogenados debido a la producción agrícola de la región y a la descarga de aguas residuales con alta concentración de materia orgánica directamente en el cauce de los ríos.

**Tabla 12. Valores de ST en 3 sitios de muestreo del Río Cutuchi. Tres meses**

		Sólidos Totales (mg/L)			
		Marzo	Abril	Mayo	Media
Puntos	P 1	128	87	82	99
	P 2	421	310	375	368,6
	P 3	666	221	398	428,3

**Elaborado por:** Víctor Acosta

**Gráfico 9. Resultados promedio de ST, para tres sitios de muestreo del Río Cutuchi.**



**Elaborado por:** Víctor Acosta

Los valores de sólidos Totales de la Tabla 12, muestran un aumento conforme el muestreo cambia del punto limpio al punto sucio, debido a que el grado de contaminación en cada sitio de monitoreo va de menor a mayor.

Los valores promedio de la concentración de sólidos disueltos totales en el agua del río Cutuchi, según los tres muestreos inscritos en el Gráfico 9, variaron entre 99 y 428,3 mg/l, siendo el punto limpio, el que presentó menor concentración de sólidos disueltos totales y el punto sucio, el que presentó mayor concentración de SDT, debido a la presencia de partículas de suelo en suspensión. Sin embargo la concentración de sólidos disueltos totales en el agua del cuerpo hídrico Cutuchi, está bajo el LMA (500 mg/l) y el LMP (1000

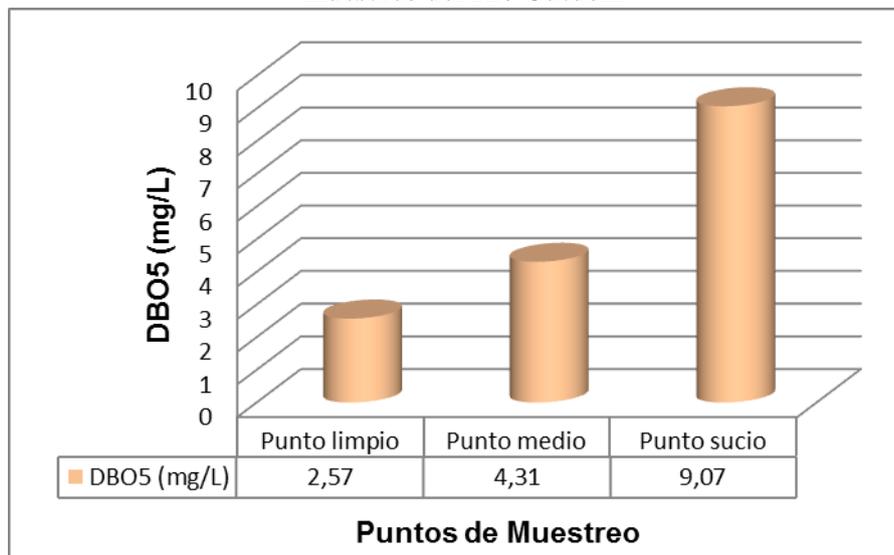
mg/l), de la Norma TULSMA. Esto indica que el agua de ESTE río por su naturaleza presenta bajas concentraciones de sólidos disueltos totales.

**Tabla 13. Valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno en 3 sitios de muestreo del Río Cutuchi. Tres meses**

		DBO5 (mg/L)			
		Marzo	Abril	Mayo	Media
Puntos	P 1	1,66	4,11	1,94	2,57
	P 2	3,64	4,67	4,63	4,31
	P 3	6,52	11,82	8,87	9,07

**Elaborado por:** Víctor Acosta

**Gráfico 10. Resultados promedio de Demanda Bioquímica de Oxígeno, para tres sitios de muestreo del Río Cutuchi**



**Elaborado por:** Víctor Acosta

Como se observa en la tabla 13, para el punto 1 se obtuvo un valor promedio de 2,57mg /L, mientras que para el punto 2 se presenta un promedio de 4,31 mg /L y para el punto 3 un valor promedio de 9,07, estos resultados descritos más claramente en el Gráfico 10 indican la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para oxidar la materia orgánica presente en la muestra de agua. El nivel de DBO5, más alto se presentó en el punto sucio, debido a la presencia de materia orgánica por la descarga de aguas residuales del hospital y desechos de los humanos de la ciudad de Latacunga.

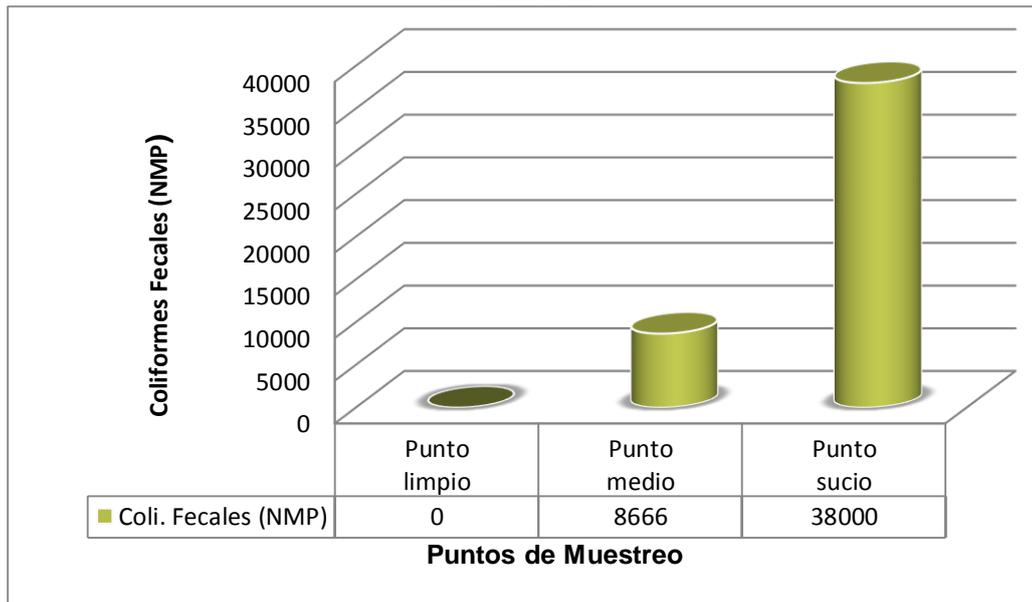
Según la norma TULSMAS del libro VI anexo I calidad de agua el límite permisible para DBO5 debe ser <2 mg/l, por lo que los resultados promedio en los 3 puntos de muestreo no cumple con los límites permisibles; debido a lo que ya se mencionó, pues cabe recalcar que existe gran cantidad de materia orgánica biodegradable en los sitios de toma de muestra, especialmente en el punto 2 y 3.

**Tabla 14. Valores de Coliformes Fecales en 3 sitios de muestreo del Río Cutuchi. Tres meses**

		Coliformes (UFC)			
		Marzo	Abril	Mayo	Media
Puntos	P 1	0	0	0	0
	P 2	8000	7000	11000	8666
	P 3	40000	36000	38000	38000

**Elaborado por:** Víctor Acosta

**Gráfico 11. Resultados promedio de Coliformes Fecales, para tres sitios de muestreo del Río Cutuchi.**



**Elaborado por:** Víctor Acosta

Para Ecuador la normativa establece que el agua para consumo humano debe tener 600 NMP/100 ml (Número más Probable por 100 mililitros de agua) en Coliformes Fecales; de acuerdo a los resultados presentados en el Gráfico 11, el cuerpo hídrico Cutuchi está contaminado con coliformes fecales porque presentan valores superiores al LMP, según la normativa Ambiental TULSMA, exceptuando el punto limpio de muestreo el cual tiene

resultado 0; lo anterior demuestra que el tramo Lasso - Latacunga tiene contaminación con heces fecales humanas o de animales de sangre caliente, provocando que el agua no sea apta para consumo humano.

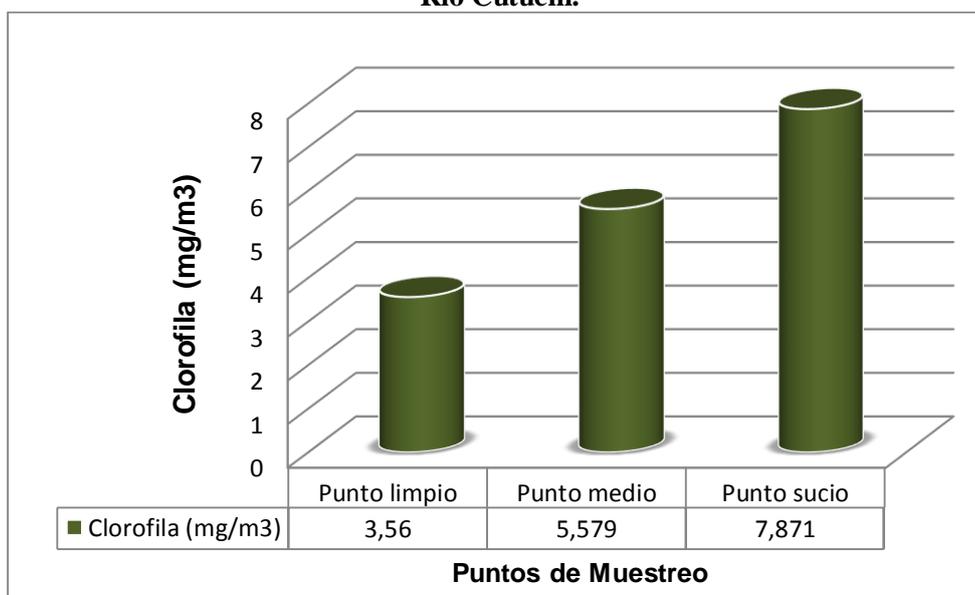
Como muestran los resultados el promedio varió del P1=0 a mayor en P3= 38000 NMP/100 ml de agua. La presencia de coliformes fecales indica que el agua necesita algún tipo de tratamiento para eliminar la presencia de estas bacterias. Este es uno de los parámetros más importantes para evaluar la calidad de agua porque si existe la presencia de coliformes fecales en el ecosistema lótico y si esta se consume provoca graves daños a la salud humana.

**Tabla 15. Valores de Clorofila en 3 sitios de muestreo del Río Cutuchi. Tres meses**  
Cl a (mg/m3)

		Marzo	Abril	Mayo	Media
Puntos	P 1	1,532	5,875	3,274	3,560
	P 2	2,097	6,836	7,805	5,579
	P 3	1,790	13,971	7,854	7,871

**Elaborado por:** Víctor Acosta

**Gráfico 12. Resultados promedio de Clorofila, para tres sitios de muestreo del Río Cutuchi.**



**Elaborado por:** Víctor Acosta

La clorofila es un resultado adicional, que sirve para ver la distribución de diatomeas en cada uno de los puntos y efectivamente en el análisis canónico de correspondencia (Gráfico 17), se observa como la clorofila se relaciona directamente con las especies más abundantes, en donde existe mayor eutrofización, es decir donde el punto sucio, ya que es el más contaminado.

Los resultados del gráfico 12 muestran que en el punto 1 se obtuvo un valor promedio de 3,560 mg/L durante los tres meses de muestro, mientras que en el punto2 se el valor fue de 5,579 mg/L y finalmente para el punto 3 el valor medio es de 7,871 mg/L, mostrando así una gradiente ascendente a medida que el rio se contamina.

## 9.2.ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

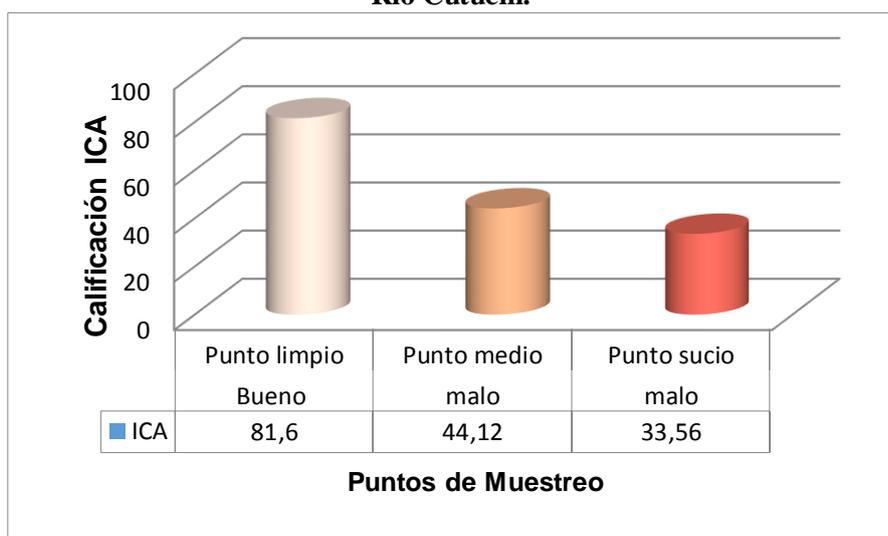
El Índice de Calidad de Agua - ICA - adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación de agua en estudio. Posteriormente al cálculo el índice de calidad de agua de tipo “General” se clasifica la calidad del agua con base a la tabla 4 del punto 9.2.6, y también el resultado fue obtenido por el IQAdata.

**Tabla 16. Resultados obtenidos según el IQA-DATA en los puntos de muestreo ubicados en el Río “Cutuchi”**

Puntos	Valor de IQA	Calificación
P1 m	78,16	Bueno
P2 m	42,4	Malo
P3 m	34,12	Malo
P1 a	83,26	Bueno
P2 a	46,91	Malo
P3 a	33,57	Malo
P1 my	83,4	Bueno
P2 my	43,07	Malo
P3 my	33	Malo

**Elaborado por:** Víctor Acosta

**Gráfico 13. Resultados promedio ICA, para tres sitios de muestreo del Río Cutuchi.**



**Elaborado por:** Víctor Acosta

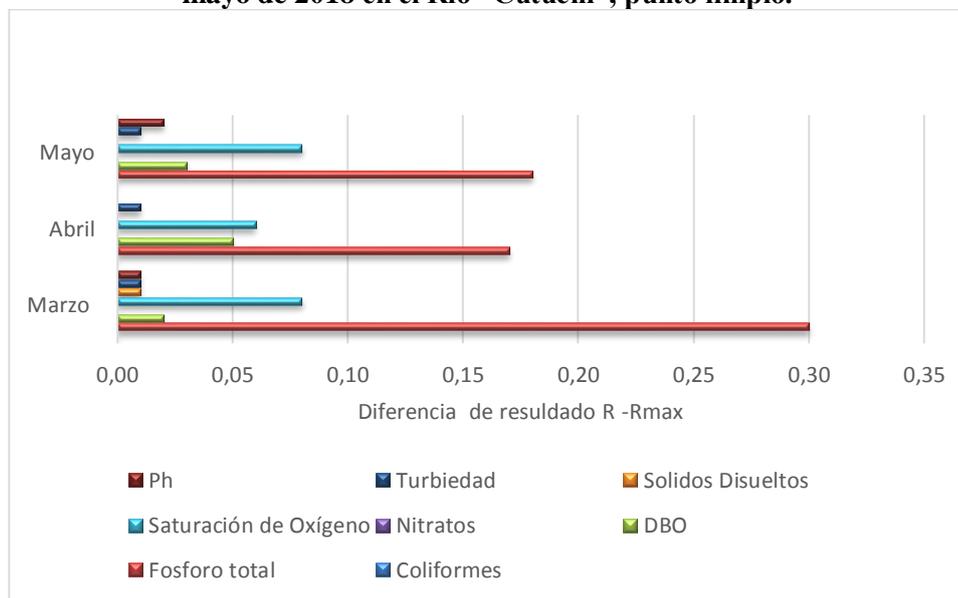
Con los resultados obtenidos de los nueve parámetros físicos, químicos y microbiológicos, se determinó el índice de calidad del agua (ICA), en los meses de marzo, abril y mayo. Dichos análisis de la calidad del agua se llevaron a cabo en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universitario Internacional SEK. Según el gráfico 13. Los resultados para el punto 1 tienen una calificación de ICA Buena, dado que posee un valor medio equivalente a 81,60, siendo el valor más alto y el cual requiere purificación menor para consumo humano, el punto medio en Lasso obtuvo calificación de ICA de (Mala) con promedio de 44,12, considerándose como agua de dudosa procedencia para consumo, ya que tiene índices de contaminación, y el punto sucio en Latacunga presentó el ICA más bajo con un valor promedio de 33,56, es decir tramo del río Cutuchi más contaminado de acuerdo a dicho valor, debido a la reducción del caudal y a la descarga de aguas residuales sin ningún tipo de tratamiento sobre el cauce del río.

### **9.2.1. Variables que representan mayor impacto en la calificación del índice de calidad del agua (IQA)**

Los valores de las variables que representan mayor impacto en la calificación del índice de calidad del agua, fueron tomados de la diferencia de resultado que hubo entre el resultado y el resultado máximo del (ICA), permitiendo obtener el porcentaje de representación de cada parámetro.

- **Punto uno (punto limpio)**

**Gráfico14. Variables con mayor impacto obtenidas durante los muestreos de marzo, abril y mayo de 2018 en el Río “Cutuchi”, punto limpio.**



**Elaborado por:** Víctor Acosta

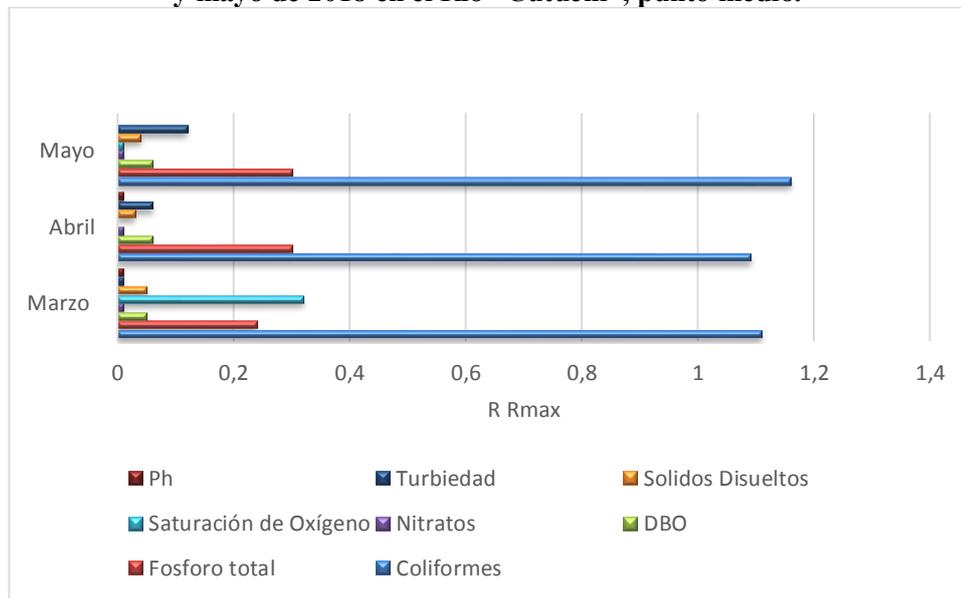
Las variables que poseen mayor representación para la determinación del índice de calidad del agua en el punto uno en el mes de marzo son: fósforo total que tiene un valor de 0,30 representando el 69,77% del aporte para determinar el ICA y la saturación de oxígeno que tiene un valor de 0,08 representando el 18,60% del aporte para determinar el ICA como se muestra en el gráfico 14.

En el mes de abril, el fósforo total tiene un valor de 0,17 representando el 58,62% del aporte para determinar el ICA, la saturación de oxígeno tiene un valor de 0,06 representando el 20,69% y la demanda bioquímica de oxígeno tiene un valor de 0,05 representando el 17,24 % del aporte para determinar el ICA.

En el mes de mayo, el fósforo total tiene valor de 0,18 representando el 56,25% y la saturación de oxígeno con el valor de 0,08 representando el 25% del aporte para determinar el ICA.

- **Punto dos (punto medio)**

**Gráfico15. Variables con mayor impacto obtenidas durante los muestreos de marzo, abril y mayo de 2018 en el Río “Cutuchi”, punto medio.**



**Elaborado por:** Víctor Acosta

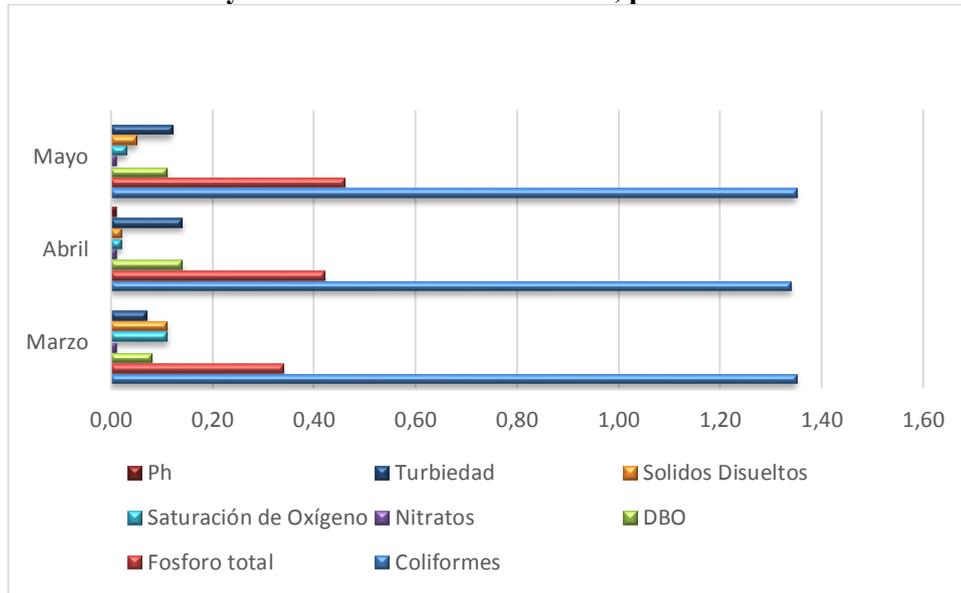
Las variables que poseen mayor representación para la determinación del índice de calidad del agua en el punto dos en el mes de marzo son: coniformes fecales que tiene un valor de 1,11 representando el 61,67% del aporte para determinar el ICA, la saturación de oxígeno que tiene un valor de 0,32 que representa el 17,78% y el fósforo total que tiene un valor de 0,24 representando el 13,33% del aporte para determinar el ICA como se muestra en el gráfico 15.

En el mes de abril, coniformes fecales tiene un valor de 1,09 representando el 69,87% y el fósforo total tiene un valor de 0,3 que representa el 19,23 % del aporte para determinar el ICA.

En el mes de mayo, coliformes fecales tiene un tiene un valor de 1,16 representando el 68,24% del aporte y el fósforo total tiene un valor de 0,3 el cual representa 7, 65% del aporte para determinar el ICA.

- **Punto tres (punto sucio)**

**Gráfico16. Variables con mayor impacto obtenidas durante los muestreos de marzo, abril y mayo de 2018 en el Río “Cutuchi”, punto medio.**



**Elaborado por:** Víctor Acosta

Las variables que poseen mayor representación para la determinación del índice de calidad del agua en el punto tres en el mes de marzo son: coliformes fecales las cuales tienen un valor de 1,35 representando el 65,22% y el fosforo total el cual tiene un valor de 0,34 representando el 16,43 % del aporte para determinar el IQA como se muestra en el gráfico 16.

En el mes de abril, coliformes fecales tienen un valor de 1,34 representando el 63,81 % y el fosforo total tiene un valor de 0,42 representando el 20% del aporte para determinar el IQA.

En el mes de mayo, coliformes fecales tienen un valor de 1,35 representando el 63,38 % y el fosforo total tiene un valor de 0,46 representando el 21,60% del aporte para determinar el IQA

Los parámetros que no fueron mencionados representan menos del 10%.

### 9.3.INDICADORES BIÓTICOS

Se identificaron un total de 60 especies de diatomeas epilíticas en los tres puntos de muestreo durante los meses de marzo, abril y mayo.

**Tabla 17. Especies de diatomeas epilíticas encontradas en el punto uno**

#	Nombre	Marzo	Abril	Mayo	Especies abundantes
1	<i>Achnantheidium minutissimum</i>	55	44	63	162
2	<i>Eunotia arcubus</i>	0	0	1	1
3	<i>Fragilaria pectinalis</i>	7	2	6	15
4	<i>Fragilaria vaucheriae</i>	1	0	0	1
5	<i>Frustulia vulgaris</i>	0	2	0	2
6	<i>Frustulia amphipleuroides</i>	2	4	0	6
7	<i>Frustulia crassinervia</i>	1	0	3	4
8	<i>Gomphonema sp.</i>	75	63	69	207
9	<i>Gomphonema lagenula</i>	84	92	64	240
10	<i>Gomphonema subclavatum var. compactum</i>	1	0	1	2
11	<i>Mayamaea permitis</i>	51	35	47	133
12	<i>Navicula gregaria</i>	11	16	5	32
13	<i>Navicula cryptotenella</i>	29	26	36	91
14	<i>Navicula cryptocephala</i>	12	8	14	34
15	<i>Navicula lanceolata</i>	0	4	3	7
16	<i>Naviculadicta aff. cosmopolitana</i>	2	0	0	2
17	<i>Nitzschia palea</i>	17	10	0	27
18	<i>Nitzschia paleacea</i>	9	14	12	35
19	<i>Nitzschia acidoclinata</i>	36	29	42	107
20	<i>Nitzschia inconspicua</i>	6	2	4	12
21	<i>Planothidium lanceolatum</i>	95	136	119	350
22	<i>Planothidium frequentissimum</i>	88	103	99	290
23	<i>Planothidium dubium</i>	12	8	9	29
24	<i>Pinnularia sp.</i>	2	1	3	6
25	<i>Sellaphora auldreekie</i>	1	0	0	1
26	<i>Ulnaria ulna</i>	3	1	0	4
TOTAL		1800			

**Elaborado por:** Víctor Acosta

En el punto uno se identificaron 26 especies de diatomeas de las cuales 8 son abundantes: *Achnantheidium minutissimum*, *Gomphonema sp*, *Gomphonema lagenula*, *Mayamaea permitis*, *Nitzschia acidoclinata*, *Navicula cryptotenella*, *Planothidium lanceolatum*, *Planothidium frequentissimum*.

**Tabla 18. Especies de diatomeas epilíticas encontradas en el punto dos**

#	Nombre	Marzo	Abril	Mayo	Especies abundantes
1	<i>Cocconeis lineata</i>	11	8	0	19
2	<i>Craticula molestiformis</i>	5	13	9	27
2	<i>Diatoma moniliformis</i>	9	0	0	9
3	<i>Encyonema silesiacum</i>	5	0	0	5
4	<i>Fragilaria vaucheriae</i>	1	1	0	2
5	<i>Frustulia vulgaris</i>	2	0	0	2
6	<i>Gomphonema parvulum</i>	25	33	39	97
7	<i>Gomphonema pumilum var. rigidum</i>	80	118	34	232
8	<i>Gomphonema bourbonense</i>	3	1	0	4
9	<i>Gomphonema lagenula</i>	0	15	13	28
10	<i>Mayamaea permitis</i>	73	28	84	185
11	<i>Navicula cryptotenella</i>	26	46	58	130
12	<i>Navicula lanceolata</i>	67	44	99	210
13	<i>Navicula gregaria</i>	46	42	67	155
14	<i>Navicula tripunctata</i>	52	43	26	121
15	<i>Nitzschia sp.</i>	4	2	7	13
16	<i>Nitzschia acidoclinata</i>	7	11	5	23
17	<i>Nitzschia inconspicua</i>	89	130	53	272
18	<i>Nitzschia amphibia</i>	71	38	67	176
19	<i>Nitzschia palea</i>	0	1	0	1
20	<i>Nitzschia angustatula</i>	1	0	0	1
21	<i>Nitzschia fonticola</i>	0	0	1	1
22	<i>Nitzschia costei</i>	1	0	0	1
23	<i>Pinnularia sp.</i>	2	0	1	3
24	<i>Planothidium lanceolata</i>	12	9	14	35
25	<i>Planothidium frequentissimum</i>	0	0	8	8
26	<i>Platesa hustedtii</i>	0	0	1	1
27	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	8	17	14	39
<b>TOTAL</b>		<b>1800</b>			

**Elaborado por:** Víctor Acosta

En el punto dos se identificaron 27 especies de diatomeas de las cuales 9 son abundantes: *Gomphonema parvulum*, *Gomphonema pumilum var. rigidum*, *Mayamaea permitis*, *Navicula cryptotenella*, *Navicula lanceolata*, *Navicula gregaria*, *Navicula tripunctata*, *Nitzschia inconspicua*, *Nitzschia amphibia*

**Tabla 19. Especies de diatomeas epilíticas encontradas en el punto tres**

#	Nombre	Marzo	Abril	Mayo	Especies abundantes
1	<i>Achnantes inconspicua</i>	1	0	0	1
2	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	3	2	0	5
3	<i>Cocconeis lineata</i>	2	0	0	2
4	<i>Encyonema minutum</i>	2	0	1	3
5	<i>Encyonema neogracile</i>	3	0	0	3
6	<i>Encyonema ventricosum</i>	0	1	0	1
7	<i>Fragilaria arcus</i>	1	0	0	1
8	<i>Fragilaria recapitellana</i>	0	0	1	1
9	<i>Fragilariforma virescens</i>	1	0	0	1
10	<i>Frankophila similioides</i>	0	0	1	1
11	<i>frustulia vulgaris</i>	1	0	0	1
12	<i>Gomphonema parvulum</i>	2	1	0	3
13	<i>Gomphonema lagenula</i>	4	1	0	5
14	<i>Gomphonema sp</i>	3	0	0	3
15	<i>Gyrosigma kuetzingii</i>	1	0	0	1
16	<i>Luticola goeppertiana</i>	9	0	0	9
17	<i>Luticola mutica</i>	5	0	0	5
18	<i>Navicula notha</i>	101	112	103	316
19	<i>Navicula gregaria</i>	89	104	77	270
20	<i>Navicula lanceolata</i>	77	122	109	308
21	<i>Navicula cryptotenella.</i>	44	36	59	139
22	<i>Navicula tripunctata</i>	11	0	5	16
23	<i>Navicula cincta</i>	13	5	21	39
24	<i>Nitzchia archibaldii</i>	0	1	0	1
25	<i>Nitzchia amphibia</i>	7	11	4	22
26	<i>Nitzchia palea</i>	68	85	91	244
27	<i>Nitzchia sp.</i>	10	14	7	31
28	<i>Nitzschia subtilis</i>	2	0	0	2
29	<i>Nitzschia inconspicua</i>	51	45	53	149
30	<i>Nitzschia fonticola</i>	1	0	1	2
31	<i>Nitzschia communis</i>	17	11	9	37
32	<i>Nitzschia umbonata</i>	0	1	0	1
33	<i>Pinnularia sp.</i>	68	48	56	172
34	<i>Platessa hustedtii</i>	1	0	0	1
35	<i>Sellaphora auldreekie</i>	0	0	1	1
36	<i>Tabellaria flocculosa</i>	3	0	1	4
TOTAL		1800			

**Elaborado por: Víctor Acosta**

En el punto tres se identificaron 36 especies de diatomeas de las cuales 7 son abundantes: *Navicula nota*, *Navicula gregaria*, *Navicula lanceolata*, *Navicula cryptotenella*, *Nitzschia palea*, *Nitzschia inconspicua*, *Pinnularia sp.*

#### 9.4.ÍNDICE TRÓFICO DE CALIDAD DEL AGUA

Para la determinación del índice trófico de calidad del agua se asignaron valores tróficos a las especies abundantes que se encontraron en cada punto de muestreo, obteniendo los siguientes resultados:

$$ITCA = (vt * \%h) / h$$

**Tabla 20. Determinación del índice trófico de calidad de agua para el punto uno**

Nombre	Especies abundantes	Valor trófico	Abundancia relativa
<i>Achnantheidium minutissimum</i>	162	1	9,00
<i>Gomphonema sp.</i>	207	1	11,50
<i>Gomphonema lagenula</i>	240	2,5	13,33
<i>Mayamaea permitis</i>	133	4	7,39
<i>Nitzschia acidoclinata</i>	107	1	5,94
<i>Navicula cryptotenella</i>	91	2,5	5,06
<i>Planothidium lanceolatum</i>	350	1	19,44
<i>Planothidium frequentissimum.</i>	290	1	16,11
<b>ITCA</b>	1,3	Oligotrófico (Polución despreciable)	

**Elaborado por:** Víctor Acosta

**Tabla21. Determinación del índice trófico de calidad de agua para el punto dos**

Nombre	Especies abundantes	Valor trófico	Abundancia relativa
<i>Gomphonema parvulum</i>	97	2,5	5,39
<i>Gomphonema pumilum var. rigidum</i>	232	2,5	12,89
<i>Mayamaea permitis</i>	185	4	10,28
<i>Navicula cryptotenella.</i>	130	2,5	7,22
<i>Navicula lanceolata</i>	210	4	11,67
<i>Navicula gregaria</i>	155	4	8,61
<i>Navicula tripunctata</i>	121	1	6,72
<i>Nitzschia inconspicua</i>	272	1	15,11
<i>Nitzschia amphibia</i>	176	2,5	9,78
<b>ITCA</b>	2,3	β-mesotrófico (contaminación moderada)	

**Elaborado por:** Víctor Acosta

**Tabla 22. Determinación del índice trófico de calidad de agua para el punto tres**

Nombre	Especies abundantes	Valor trófico	Abundancia relativa
<i>Navicula notha</i>	316	2,5	17,56
<i>Navicula gregaria</i>	270	4	15,00
<i>Navicula lanceolata</i>	308	4	17,11
<i>Navicula cryptotenella.</i>	139	2,5	7,72
<i>Nitzschia palea</i>	244	4	13,56
<i>Nitzschia inconspicua</i>	149	1	8,28
<i>Pinnularia sp.</i>	172	3,2	9,56
<i>ITCA</i>	2,8	$\alpha$ -mesotrófico (Polución fuerte)	

Elaborado por: Víctor Acosta

De las especies abundantes encontradas se consideró como bioindicadoras a las presentes exclusivamente en cada punto de muestreo como se muestra en la tabla 23:

**Tabla 23. Especies de diatomeas bioindicadoras en cada punto de muestreo**

Especies Punto uno	Especies Punto dos	Especies Punto tres
<i>Achnantheidium minutissimum</i>	<i>Gomphonema parvulum</i>	<i>Navicula notha</i>
<i>Gomphonema sp.</i>	<i>Gomphonema pumilum</i> <i>var. rigidum</i>	<i>Navicula gregaria</i>
<i>Gomphonema lagenula</i>	<i>Mayamaea permitis</i>	<i>Navicula lanceolata</i>
<i>Mayamaea permitis</i>	<i>Navicula cryptotenella.</i>	<i>Navicula cryptotenella.</i>
<i>Nitzschia acidoclinata</i>	<i>Navicula lanceolata</i>	<i>Nitzschia palea</i>
<i>Navicula cryptotenella</i>	<i>Navicula gregaria</i>	<i>Nitzschia inconspicua</i>
<i>Planothidium lanceolatum</i>	<i>Navicula tripunctata</i>	<i>Pinnularia sp.</i>
<i>Planothidium frequentissimum.</i>	<i>Nitzschia inconspicua</i>	
	<i>Nitzschia amphibia</i>	

Elaborado por: Víctor Acosta

**Tabla 24. Relación entre el Índice Trófico de calidad de Agua (ITQA) y la calidad del agua.**

ITQA	Niveles de contaminación
1,0 - 1,5	Oligotrófico (contaminación despreciable)
1,5 -2,5	$\beta$ -mesotrófico (contaminación moderada)
2,5 - 3,5	$\alpha$ -mesotrófico (contaminación fuerte)
3,5 - 4,0	Eutrófico (contaminación excesiva)

Fuente: Lobo et al (2014)

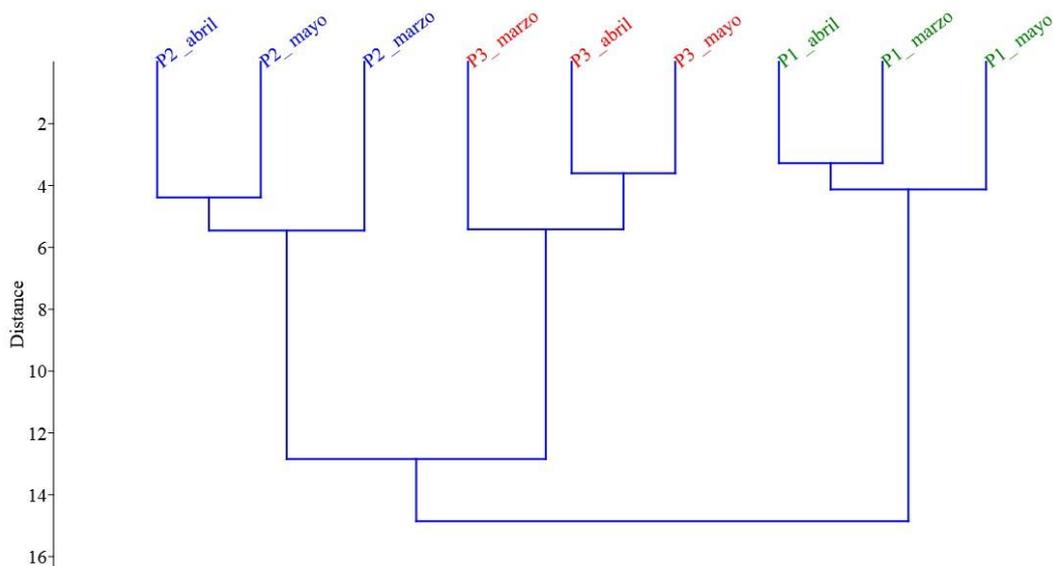
Se ha considerado que la distribución de las comunidades de diatomeas epilíticas es el resultado de las interacciones espaciales y temporales de los factores fisicoquímicos, más que de los factores geológicos o climáticos (Potapova & Charles, 2002); por ello, la química del agua ha sido considerada como el elemento crucial para la composición de las especies (Soininen *et al.* 2004).

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron con el ICA, se relacionan con los niveles de contaminación obtenidos con el ITCA de las especies de diatomeas epilíticas, en el punto uno y en el punto tres es muy evidente, mientras que en el punto dos no existe una relación significativa, teniendo así: que los dos índices arrojaron tres clasificaciones del estado del agua. En el ICA con calificaciones de bueno, malo y malo, y en el ITCA con niveles de contaminación de Oligotrófico (contaminación despreciable),  $\beta$ -mesotrófico (contaminación moderada) y  $\alpha$ -mesotrófico (contaminación fuerte), estos resultados guardan relación con el estudio realizado por (Uvillus, 2017) que presenta tres clasificaciones del estado del agua, para el ICA con calificaciones de bueno, regular y malo, y para el ITCA con niveles de contaminación de Oligotrófico,  $\beta$ -mesotrófico y  $\alpha$ -mesotrófico. Además, el estudio realizado por (Rosero, 2016), el cual fue establecer un índice biótico de calidad del agua, señala que existen variaciones espaciales y temporales de especies de diatomeas epilíticas que se relacionan con los parámetros fisicoquímicos y ambientales como son la presencia de materia orgánica, oxígeno disuelto, pH, demanda bioquímica de oxígeno y temperatura, ello es acorde con lo que en este estudio se encuentra.

## **9.5. ANÁLISIS MULTIVARIADO**

### **9.5.1. Análisis de conglomerados o análisis clúster**

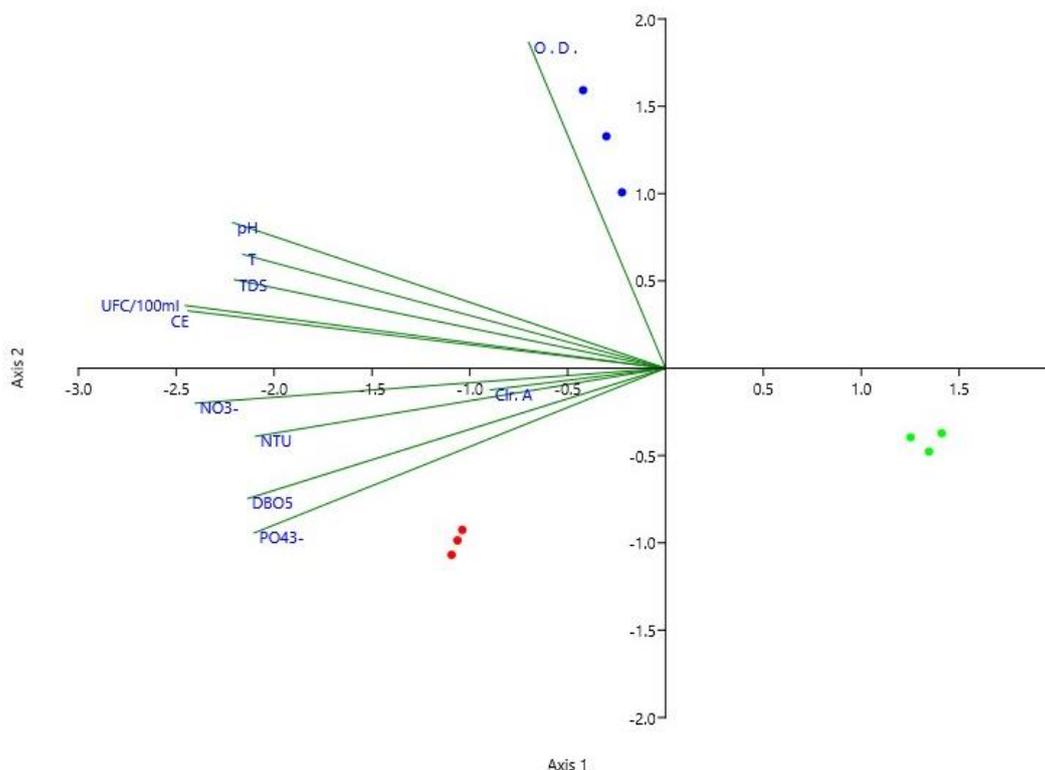
Como se evidencia en el gráfico 17, se han creado tres grupos, el primer grupo de color azul contiene los puntos 2 (punto medio) de los meses de marzo, abril y mayo, el segundo grupo conformado por los puntos 3 (punto sucio) que están de color rojo involucra los meses de marzo, abril y mayo y el tercer grupo de color verde pertenece a los puntos 1 (punto limpio) formado por los meses de marzo, abril y mayo.



**Grafico 17. Dendrograma de los puntos de muestreo y las especies de diatomeas epilíticas encontradas en los meses de marzo, abril y mayo en Cuenca Hidrográfica del río “Cutuchi”**

### 9.5.2. Análisis canónico de correspondencia

Se utilizó el análisis de correspondencia canónica con el propósito de identificar la relación que existe entre las diatomeas encontradas en los meses de marzo, abril, mayo y los datos analizados de los parámetros abióticos lo cual reveló un 81,89% de la variabilidad total de los datos en los 3 primeros ejes, mientras que para los 2 ejes referenciados para el estudio, el análisis de correspondencia canónico reveló un 71,6% de la variación total, con valores para los ejes de 55,27% y 38,39% respectivamente (tabla 25)



**. Grafico 18. Diagrama de dispersión basado en la CCA de las muestras de diatomeas de tres estaciones de muestreo, correlacionadas con las variables ambientales con relación a los ejes 1 y 2: Temperatura (T), pH, Conductividad eléctrica (CE), Oxígeno Disuelto (OD), Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), Nitratos (NO3-), Fosfatos (PO43-), Coliformes fecales (UFC/100ml), Sólidos disueltos totales (), Turbidez (NTU), Clorofila A (Clr. A) El color verde muestra los puntos1, el azul muestra los puntos 2 y el rojo muestra los puntos 3.**

**Tabla 25. Resumen de resultados del análisis Canónico de Correspondencia de la matriz de propiedades fisicoquímicas y diatomeas epilíticas en los dos puntos de muestreo.**

	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Autovalores ( $\lambda$ )	0,55274	0,38399	0,13465
Porcentaje de varianza explicada (%)	42,25	29,35	10,29
Varianza acumulada (%)	42,25	71,6	81,89

**Elaborado por:** Víctor Acosta

Los coeficientes canónicos, a lo largo del eje 1, con el 42,25% de la varianza explicada, podemos observar que todas las variables abióticas se encuentran al lado contrario de las especies de color verde del punto uno (punto limpio), esto revela que tienen un bajo valor en las variables analizadas del punto uno en los meses de marzo, abril y mayo como se muestra en la figura 14. En el eje 1 también podemos observar a las especies de color rojo

del punto tres (punto sucio), que revelan la correlación con las variables más importantes que lo representan en los meses de marzo, abril y mayo como son: pH ( $r = 0,33$ ), Temperatura ( $r = -0,86$ ), Sólidos disueltos ( $r = -0,88$ ), Conductividad ( $r = -0,97$ ), Nitratos ( $r = -0,96$ ), Coliformes fecales ( $r = -0,98$ ), Clorofila A ( $r = -0,35$ ), DBO5 ( $r = -0,85$ ) y fosfatos ( $r = -0,84$ ).

En el eje 2, revela la correlación de las especies de color azul del punto dos (punto medio) de los meses de marzo, abril y mayo con el Oxígeno disuelto ( $r = 0,74$ ) que es la variable más importantes que lo representa.

**Tabla 26. Coeficientes canónicos y correlaciones de interés de once parámetros fisicoquímicos con los ejes 1,2 y 3, utilizando 60 variables bióticas**

Axis	Axis 1	Axis 2	Axis 3
T(°C)	-0,863635	0,260756	0,132591
pH	-0,884369	0,333752	-0,217479
Oxi._Disuelto(mg/L)	-0,279527	0,746086	-0,227056
Conductividad(ms/cm)	-0,975877	0,131401	0,0407932
DBO5_(mg/L)	-0,853605	-0,298393	-0,363639
nitratos_(mg/l)	-0,961276	-0,0799204	-0,0540052
Fosfatos (mg/L)	-0,840703	-0,377398	-0,459823
Coliformes (UFC/mL)	-0,981367	-0,143758	-0,0922387
Solidos_disueltos_totales_(mg/L)	-0,881057	0,202843	0,247751
Turbidez_(NTU)	-0,837884	-0,155888	-0,321772
Clorofila_(A)_(mg/m3)	-0,357685	-0,0494404	-0,726332

**Elaborado por: Víctor Acosta**

## 10. HIPÓTESIS Y VERIFICACIÓN

### HIPÓTESIS

Las comunidades de diatomeas epilíticas varían en función del grado de eutrofización del río Cutuchi, por lo que vamos a encontrar diferentes abundancias relativas de especies en la cabecera del río (aguas limpias) en el tramo medio (aguas de calidad media) y tramo urbano (aguas sucias).

#### Hipótesis nula

La composición de las poblaciones de especies diatomeas epilíticas no difieren significativamente de un sitio de muestreo a otro por lo que no están condicionadas por los niveles de contaminación del agua.

$$H_0: P_1 = P_2 = P_3 \dots$$

#### Hipótesis alternativa

La composición de las poblaciones de especies de diatomeas epilíticas difieren significativamente de un sitio de muestreo a otro por lo que están condicionadas por los niveles de contaminación del agua.

$$H_1: P_i \neq T_j \text{ en al menos uno } i, j$$

La finalidad de la prueba a evaluar, es la probabilidad de que dos o más especies de diatomeas epilíticas difieran de un sitio de muestreo a otro. Para comprobar si hay diferencia se adelantan dos hipótesis, la hipótesis nula ( $H_0$ ) y, la hipótesis alternativa ( $H_1$ ). La Hipótesis nula expresa que las especies de diatomeas epilíticas del punto uno y el punto dos son igual de abundantes. Sin embargo debe señalarse que dos puntos críticos, no son iguales, y la hipótesis nula nunca puede aceptarse. La hipótesis alternativa expresa que dos o más especies de diatomeas epilíticas difieren en su composición por lo que están

condicionadas con los niveles de contaminación del agua y si existe una prueba suficiente, se rechaza  $H_0$  a favor de  $H_1$  (Carpenter, R. Lyon, D. Hasdell, T., 2002).

Mediante el análisis de Conglomerados o análisis Clúster (AC) fue posible comprobar la aceptación de la hipótesis alternante, ya que este es un método estándar del análisis multivariado que redujo una compleja cantidad de información en pequeños grupos o clústers, donde los miembros de cada uno de ellos comparten características similares (Lin, G. & L. Chen., 2006) es así que se dio el cumplimiento hipotético porque en el AC se agruparon las diferentes poblaciones de diatomeas epilíticas según el punto estuvo limpio o sucio, dándonos un gradiente de concentración mayor o menor. También pudo ser comprobada la hipótesis al realizar el análisis canónico de correspondencia ya que en este se ve como las poblaciones se organizan en función de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

## **11. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS):**

### **Impactos técnicos:**

La investigación se realizó en los laboratorios de Ingeniería Ambiental de la Universidad Internacional SEK, ya que cuentan con todos los equipos, materiales y reactivos para la ejecución del proyecto, esto provocó que el análisis se realice de manera rápida, acortando el tiempo de ejecución, esto permite que el investigador realice un proceso de identificación de diatomeas de forma precisa. Se pudo aplicar la metodología de manera óptima debido al asesoramiento técnico del laboratorio.

### **Impactos ambientales:**

Por medio de esta investigación se mide el nivel de contaminación que existe en el río Cutuchi, esta técnica consiste en identificar y contabilizar la cantidad de diatomeas existentes en los puntos de muestreo, luego sacar la abundancia relativa de cada especie y asignar un valor trófico para calcular el Índice Trófico de Calidad de Agua, permitiendo de esta manera categorizar si el tipo de agua se encuentra en un estado apto para su utilización. Esto permitirá mejorar la calidad de vida de los beneficiarios, en el ámbito

alimenticio, agrícola y ganadero. A su vez se plantea nuevos métodos para la mediación de la calidad de agua llegando a la conclusión que las diatomeas sirven como organismos bioindicadores del estado en que se encuentra el agua.

### **Impacto económico:**

En el estudio del agua mediante la utilización de diatomeas epilíticas podemos realizar investigaciones sin la necesidad de incurrir en gastos elevados, puesto a que la técnica permite observar a los microorganismos desde la toma de la muestra, lo que no sucede con los otros métodos de medición de la calidad del agua, siendo accesible para el agricultor o ganadero pedir un análisis biológico del agua a un precio moderado.

## **12. PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.**

**Tabla 27: Presupuesto**

<b>RECURSOS</b>	<b>PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO</b>			
	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>V. Unitario</b>	<b>V. Total</b>
<b>EQUIPOS</b>				
GPS (uso)	3	días	25	75,00
Computador (uso)	125	horas	1,00	125,00
Cámara fotográfica (uso)	3	días	20	60,00
Microscopio (uso)	15	horas	7,00	105,00
Centrifuga (uso)	8	horas	7,00	56,00
Turbidímetro Orbeco Hellige (uso)	8	horas	7,00	56,00
Espectrofotómetros Orbeco Hellige (uso)	8	horas	7,00	56,00
Digestor Hach DRB 200 (uso)	8	horas	7,00	56,00
Lovibond OxDtrex (uso)	8	horas	7,00	56,00
Placa calefactora	5	horas	7,00	35,00
<b>MATERIALES DE OFICINA</b>				
Papel bond	3	paquetes	3,60	10,80
Fichas de campo y laboratorio	60		0,20	12,00
Impresiones	700	hojas	0,20	140,00

Anillado	6		3,00	18
<b>EQUIPO DE PROTECCION PERSOSNAL</b>				
Mascarillas	20		0,20	4,00
Mandil (uso)	1		25,00	25,00
Gafas de protección	3		5,00	15,00
Botas	1		10,00	10,00
<b>MATERIALES DE LABORATORIO</b>				
Placas porta y cubre objetos	2	cajas	15,00	30,00
Tubos de ensayo pequeños	20	unidades	0,30	6,00
Tubos de ensayo grandes	20	unidades	0,50	10,00
Pipetas aforadas de 10 mL (uso)	2		12,00	12,00
Pipetas pasteur	20		1,50	30,00
Dicromato de potasio (K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )	50	g	30,00	30,00
Ácido clorhídrico (HCl)	6	mL	50,00	50,00
Alcohol 70 %	20	mL	15,00	15,00
Fosfato de potasio monobásico (KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )	21,75	g	15,00	15,00
Agua destilada (H <sub>2</sub> O)	5	ltrs	5,00	25,00
Fosfato de sodio dibásico (Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> )	33,4	g	20,00	20,00
Cloruro de amonio (NH <sub>4</sub> CL)	33,4	g	20,00	20,00
Sulfato de magnesio (MgSO <sub>4</sub> )	22,5	g	20,00	20,00
Cloruro de calcio (CaCL <sub>2</sub> )	27,5	g	20,00	20,00
Cloruro férrico (FeCl <sub>3</sub> )	0,25	g	15,00	15,00
Sulfito de sodio (Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> )	1,575	g	15,00	15,00
Hidróxido de sodio (NaOH)	1,15	g	15,00	15,00
Sulfato mercúrico (HgSO <sub>4</sub> )	2,00	g	15,00	15,00
Ácido sulfámico (H <sub>3</sub> NSO <sub>3</sub> )	24	mL	15,00	15,00
<b>OTROS RECURSOS</b>				
Transporte, salida de campo	8		15,00	120,00
Alimentación	50		3,50	175,00
			<b>TOTAL</b>	1587,8
			<b>IMPREVISTOS 10%</b>	158,78
			<b>TOTAL</b>	1746,58

Elaborado por: Víctor Acosta

### 13. CONCLUSIONES

- Un total de 60 especies de diatomeas epilíticas se identificaron en los tres puntos de muestreo durante los meses marzo, abril y mayo, las mismas se asocian a distintos niveles de calidad del agua del cuerpo hídrico Cutuchi. La distribución de las poblaciones de diatomeas en los tres puntos es desigual. El número total de especies encontradas en el punto 1 (Parque Nacional Cotopaxi) fue de 26 y se asocian a un nivel de calidad bueno del agua, mientras que para el punto 2 (Lasso), el número de especies encontradas fueron de 27, con un nivel de calidad malo y finalmente para el punto de muestreo 3 (Latacunga) las especies identificadas sumaron un total de 36, asociándose a un nivel de calidad malo. De las 60 especies identificadas para los tres puntos, hay algunas que son comunes en los tres, y podrían definirse como especies con una amplia distribución ecológica.
- Se reconocieron especies de diatomeas epilíticas en cada uno de los puntos de muestreo del río Cutuchi. En el primer punto (punto limpio) entre las especies más abundantes se encontraron 8: *Achnantheidium minutissimum*, *Gomphonema sp.*, *Gomphonema lagenula*, *Mayamaea permitis*, *Nitzschia acidoclinata*, *Navicula cryptotenella*, *Planothidium lanceolatum*, *Planothidium frequentissimum*, mientras que en el segundo punto (punto medio) las más abundantes fueron 9 y son: *Gomphonema parvulum*, *Gomphonema pumilum var. rigidum*, *Mayamaea permitis*, *Navicula cryptotenella*, *Navicula lanceolata*, *Navicula gregaria*, *Navícula tripunctata*, *Nitzschia inconspicua*, *Nitzschia amphibia*, finalmente en el tercer punto (punto sucio) tenemos 7 como las más abundantes y son las siguientes: *Navicula nota*, *Navicula gregaria*, *Navicula lanceolata*, *Navicula cryptotenella*, *Nitzschia palea*, *Nitzschia inconspicua*, *Pinnularia sp.*
- Para el cálculo de índice de calidad de agua, se tomó en cuenta nueve parámetros, entre físicos, químicos y microbiológicos, medidos en los meses marzo, abril y mayo, los cuales se procesaron en el IQADData, para determinar dicho índice, y a su vez también se compara positivamente con la tabla de rangos para ICA, propuesta por *Posselt y Costa 2010*, con lo cual para P1, se obtuvo un valor medio de 81,60 indicando una calificación de buena, lo que implica purificación menor para

consumo o para aquellos cultivos que requieran alta calidad de agua, en cambio en el punto dos la calificación media obtenida dio un resultado malo con valor de 44,12 y significa que pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y experimentan probablemente problemas de la contaminación, necesitando tratamiento para la mayoría de cultivos, por último en el punto tres el promedio fue de 33,56, por consiguiente también la calificación es de malo, donde la diversidad de vida es baja e inaceptable para consumo humano.

- El ITCA teórico, obtenido de las especies abundantes de diatomeas epilíticas, identificadas en laboratorio, se comparó con el ITCA encontrado en la tabla propuesta por Lobo *et al* (2014a); en el primer punto el ITCA teórico tuvo un valor de 1,37 que comparado con el ITCA de tablas se encuentra en el rango de 1,0 a 1,5 mostrando un nivel de contaminación Oligotrófico (contaminación despreciable), en tanto que en el punto 2 el ITCA tiene un valor de 2,32 y comparándose con el ITCA recae dentro del rango 1,5- 2,5 entendiéndose que en este sitio el nivel de contaminación es  $\beta$ -meso trófico (contaminación moderada) ; finalmente para el punto 3 se obtuvo un ITCA de 2,84 que al compararlo con el ITCA resulto con el nivel de contaminación  $\alpha$ -mesotrófico (contaminación fuerte), pues se encuentra en un rango de 2,5 a 3,5.

#### **14. RECOMENDACIONES**

- Al momento de identificar las especies de diatomeas epilíticas asociadas a diferentes niveles de calidad del agua del río Cutuchi, se recomienda verificar el buen estado del microscopio Leica DM-75, ya que al tomar las fotos el software las EZ debe encontrarse bien calibrado para obtener una buena calidad de imagen.
- Al momento de reconocer las especies de diatomeas epilíticas se recomienda considerar las medidas de longitud correctas de cada especie y a la vez contar con una amplia bibliografía de estudios previos para facilitar la identificación.

- Es recomendable que los residuos resultantes del análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, así como el lavado y preparación de diatomeas generados en el laboratorio sean correctamente etiquetados y manejados como residuos tóxicos peligrosos para su adecuada disposición final, evitando de tal manera contaminación ambiental. Así mismo para el cálculo del ICA en el IQADdata se recomienda que el programa este correctamente instalado en el computador, para el ingreso adecuado de los 9 parámetros analizados.
- Para la comparación del **ITCA** teórico con el **ITCA** de tablas, se recomienda la utilización de la bibliografía adecuada, ya que esta debe ser adecuada y específica para diatomeas epilíticas, contando a su vez con minuciosos estudios realizados a estas micro algas, caso contrario los resultados serán erróneos y nada significativos. También es importante que al efectuar el conteo de las mencionadas especies, para su correcta determinación se debe comenzar a contar cada una de las placas hasta llegar a 600 valvas, obteniendo la abundancia relativa, para el cálculo del índice trófico de calidad de agua.

## 15. BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo, R. M. (2016). El agua, recurso estratégico del siglo XXI. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*.
- Andreo, M. (2014). *Cricyt*. Obtenido de Cricyt:  
<http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/DBO.htm>
- Arevalo, P. (2018). *Diatomeas epilíticas como bioindicadoras de eutrofización en la microcuenca del río "Guano", Provincia de Chimborazo*. Quito: Universidad Intercional SEK.
- Bailey, G. (3 de Agosto de 2017). *Ecuared*. Obtenido de Ecuared:  
<https://www.ecured.cu/Clorofila>
- Bajaña, E. L. (2013). *Estudio de la calidad del agua del río Babahoyo y sus afluentes: índice saprobio*. Guayaquil.
- Blanco, S. (2010). GUÍA DE LAS DIATOMEAS DE LA CUENCA DEL DUERO. *Confederación Hidrográfica del Duero*, 15 -17.
- Blanco, S., Álvarez, I., Cejudo, C., & Becares, E. (2010). Guía de diatomeas de la cuenca del Duero. En *Confederación hidrográfica del Duero* (págs. 14-15). Madrid-España: CONABIO.
- Borràs, C. (2011). *Ecología verde*. Obtenido de Ecología verde:  
<https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-eutrofizacion-34.html>
- Brown. (2012). ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL "ICA". *Servicio Nacional de Estudios Territoriales*, 14.
- Caliza, A. J., Cáceres, M., & Delgado, V. I. (2013). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA FLUVIAL CON DIATOMEAS (Bacillariophyceae), UNA EXPERIENCIA EN TACNA, PERÚ. *Peruana de Medicina Experimental Y Salud Pública*, 58-63. Obtenido de <https://doi.org/36326085012>
- Carpenter, R. Lyon, D. Hasdell, T. (2002). *Análisis Sensorial en el desarrollo y Control de la calidad de los alimentos*. Zaragoza (España): Acriba S.A.
- Castillo, F. (2013). *Laboratorio de Tecnología Educativa. Departamento de Microbiología y Genética*. Obtenido de Laboratorio de Tecnología Educativa. Departamento de Microbiología y Genética.:  
[http://coli.usal.es/Web/demo\\_fundacua/demo2/FiltraMembColiT\\_auto.html](http://coli.usal.es/Web/demo_fundacua/demo2/FiltraMembColiT_auto.html)
- Castro, M. E. (2015). *Caracterización de diatomeas como herramienta para el estudio de la calidad del agua del río Teaone*. Esmeraldas.
- Chacón, E. S. (2007). *Caracterización y Diagnóstico de Puntos Críticos en la Agrocadena de la Tilapia en la Región Huetar Norte*. Costa Rica: Ministerios de Agricultura, Ganadería y pesca.
- Córdova, K. J. (2016). *Establecimiento de un índice biótico para determinar la calidad de aguas de los ríos andinos presentes en el Ecuador basado en poblaciones de diatomeas epilíticas*. Quito: Universidad Internacional SEK.

- Cyclusid. (2015). *cyclusid tecnologias y parametros*. Obtenido de cyclusid tecnologias y parametros: <http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/parametros-aguas-residuales/>
- D.G Mann. (2012). The species concept in diatoms. En D. Mann, *The species concept in diatoms* (págs. 437-495). USA: Phycologia.
- Ecology. (2015). *CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL MEDIO AMBIENTE*. Obtenido de CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL MEDIO AMBIENTE: <http://www4.tecnun.es/ asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/150Euro.htm>
- Ecured. (2012). *Ecured, conocimiento con todos y para todos*. Obtenido de Ecured, conocimiento con todos y para todos: <https://www.ecured.cu/Fosfato>
- Esteves, F. (2011). Fundamentos de Limnología.
- Franco, M., D, P., Manzano , J., & Cuevas, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofía.
- Freire, P. (2 de octubre de 2013). *Mie*. Obtenido de Mie: <http://mie.esab.upc.es/arr/T22E.htm>
- Frsncisco J. Torres Vega. (2012). *Dasarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para Ríos en Puerto Rico*. Puerto Rico.
- Garcia, G. (2012). La contaminación del agua. *Perú*, 1.
- García, G. (2013). *La contaminación del agua*. Obtenido de Salud Pública y AP de Salud: Girbau García.
- Garcia, L. (26 de noviembre de 2015). *Agricultura mecanizada*. Obtenido de Agricultura mecanizada: <https://agriculturamecanizada.jimdo.com/2015/11/26/fuentes-naturales-de-contaminaci%C3%B3n-del-agua/>
- Gil, J. A. (2014). *Determinación de la calidad del agua mediante variables fisicoquímicas y la comunidad de macroinvertebrados como bioindicadores de calidad del agua en la cuenca del Río Garagoa*. Obtenido de Determinación de la calidad del agua mediante variables: <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Gómez, N., Donato, C., Giorgi, A., Guash, H., P, M., & Sabater, S. (2009). *Conceptos y técnicas en Ecología Fluvial*. Obtenido de La Biota de los Ríos, Los Microorganismos Autótrofos: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gomez, S. (11 de Abril de 2014). *Software*. Obtenido de <http://softwareanalisisdedatoscuantitativos.blogspot.com/2014/04/tipos-de-paquetes-estadisticos.html>
- González A., M. (2010). Florecimiento de Diatomeas en aguas cubanas.
- Guisepina. (2007). La contaminación de aguas en el Ecuador. *Una aproximación a la economía*.
- Gutiérrez Altamirano, C. L. (2010). *Universidad Técnica Particular de Loja*. Obtenido de Tesis: <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/10203/1/Tesis%20Carlos%20Gutierrez%20Al.pdf>

- Henares. (2013). *Proyecto Río Henares*. Obtenido de Proyecto Río Henares: <http://www.riohenares.org/index.php/rio-henares/calidad-de-las-aguas/40-oxigeno-disuelto-od.html>
- Hernández, S. E., & Guerrero, M. (1998). DEL AGUA EN EL LAGO COCIBOLCA.
- hydrobio. (2012). *fcien*. Obtenido de fcien: [http://hydrobio.fcien.edu.uy/EFE\\_archivos/CLASE8.pdf](http://hydrobio.fcien.edu.uy/EFE_archivos/CLASE8.pdf).
- INEN. (2013). *Instituto Ecuatoriano de Normalización*. Obtenido de Norma Técnica Ecuatoriana: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte1/2169-1.pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). *INEC*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/cotopaxi.pdf>
- Layana B. (2013). *TESIS DE GRADO MAGÍSTER EN CIENCIAS ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO BABAHOYO Y SUS AFLUENTES: ÍNDICE SAPROBIO*. Obtenido de Universidad De Guayaquil Facultad De Ciencias Psicológicas: [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/988/1/CABANILLA LEON MARILYN.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/988/1/CABANILLA_LEON_MARILYN.pdf)
- Lenntech. (2016). *Lenntech BV, Distributieweg 3*. Obtenido de Lenntech BV, Distributieweg 3: <https://www.lenntech.es/nitratos-y-nitritos.htm>
- Lin, G. & L. Chen. (2006). *Identification of homogeneous regions for regional frequency analysis using the selforganizing*. 324, pp 1-9.
- Lobo, E. (2016). *ESTADO DEL ARTE DEL USO DE DIATOMEAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA, CON ESPECIAL REFERENCIA A LOS SISTEMAS LÓTICOS SUBTROPICALES Y TEMPLADOS BRASILEÑOS*. Santa Cruz do Sul: (UNISC).
- Lobo, E., Heinrich, C. G., Schuch, M., Düpont, A., Costa, A., & Wetze, C. E. (2016). *Índice Tráfico de calidad de agua*. Obtenido de Journal of Chemical Information and Modeling: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- López, F., & Siqueiros, B. (2011). Las diatomeas como indicadores de la calidad ecológica de los oasis de Baja California Sur. *Biodiversitas*, 8-11.
- Luján, A. (2016). *Las algas, indicadores de la calidad del agua*. Obtenido de Las algas, indicadores de la calidad del agua: <https://www.unrc.edu.ar/publicar/intercien/004/dos.htm>
- Martinez de Fabricius, A. L. (2014). *Estudios sistemáticos de las Bacillariophyceae del Río Grande*. Calamuchita, prov. Córdoba, Argentina): Pennales II. Bol. Soc. Argent.
- Medlin, L. K., & Kaczmarska, I. (2004). *Evolution of the diatoms: V. Morphological and cytological support for the major clades and a taxonomic revision*. Obtenido de Phycologia: <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-43-3-245.1>
- Méndez, P. (2017). *Diversidad y equidad espacio-temporal de la comunidad de diatomeas epilíticas en la microcuenca del río Cebadas Provincia de Chimborazo*. Quito: Universidad Internacional SEK.
- Minambiente. (2014). *IDEAM*. Obtenido de IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/indicadores1>

- Monge, C. (Julio de 2016). la naturaleza del agua como recurso. *EL AGUA RECURSO NATURAL Y ELEMENTO DE DESARROLLO*, 1. Obtenido de Salud Pública y AP de Salud.
- Morales, E. A., Fernández, E., & Chávez, V. S. (2010). Incorporarlas En Estudios De La Biodiversidad Boliviana. 31-54.
- Morales, S. F. (2013). Nuevos taxa de diatomeas (Bacillariophyta) descritos en el Herbario Criptogámico de la Universidad Católica Boliviana "San Pablo" (HCUCB). *SCIELO*, 5.
- Moreno, D. (9 de noviembre de 2010). *Metodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia*. Obtenido de Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia: [www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf](http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf)
- NormaEN14407. (2005). *Guía para la identificación, recuento e interpretación de muestras de diatónicas bentónicas de ríos*. Madrid - España: AENOR. Obtenido de Norma española.
- P. Castillejo, et al. (2018). Response of epilithic diatom communities to environmental. *EL SEVIER*, 8.
- Posselt, E. L. (2010). *Santa Cruz do Sul. Patente nº NPI nº 10670-2*.
- Purs, M. (19 de Agosto de 2017). *Contaminación Ambiental*. Obtenido de Contaminación Ambiental: <https://contaminacionambiental.net/contaminacion-antropogenica/>
- Recalde, J. (2009). Manejo integral de los recursos hídricos y tratamientos de aguas servidas del río Cutuchi. En *Recursos Hídricos*. Bélgica: Cohiec Cia. Ltda.
- Reinoso, G. L. (11 de NOVIEMBRE de 2015). Peligrosas aguas del río Cutuchi. Quito, Cotopaxi, Ecuador.
- Rice, E. B. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (22th Ed.)*. Washington, USA.
- Rodriguez, L. M. (2015). *Análise da estrutura de comunidades de diatomáceas epilíticas no arroio Sampaio, municipio de Mato Leitao, RS*. Santa Cruz do Sul: Cuaderno de Pesquisa Sér. Bot.
- Rojas. (2016). *Estimación de Caudales Máximos para Cuencas sin datos de Escorrentia en base a Precipitacion y Parametros de la Cuenca*. Venezuela: CIDIAT.
- Round, F. (1993). *A Review and Methods for the Use of Epilithic Diatoms for Detecting and Monitoring Changes in River Water Quality*.
- Round, F., Crawford, M., & Mann, D. (1993). *The diatoms*. Cambridge: University Press.
- Sánchez, & Gándara. (2011). Conceptos Básicos de Gestión Ambiental. En *Desarrollo Sustentable*.
- Saúl Blanco, I. Á. (2010). GUÍA DE LAS DIATOMEAS DE LA CUENCA DEL DUERO. *Confederación Hidrográfica del Duero*, 15-16.
- Seguí, P. (2016). *Ovacen*. Obtenido de Ovacen: <https://ecosistemas.ovacen.com/biotopo/abioticos/>
- Serrano, L. Z. (2010). *EL POBRE RÍO CUTUCHI*. Latacunga: EL GRITO.

- Serrano, P. (2018). *Diversidad y riqueza de especies de diatomeas epilíticas de la microcuenca del río Chibunga, Chimborazo*. Quito: Universidad Internacional SEK.
- Smart. (Marzo de 2014). *SMART*. Obtenido de SMART: <http://www.smart-fertilizer.com/es/articulos/electrical-conductivity>
- SNET. (2016). *Servicio Nacional de Estudios Territoriales*. El Salvador: Centro América.
- Torres, P. (Julio de 2012). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 1-16. Obtenido de Salud Pública y AP de Salud.
- Tripod. (2014). *Determinación de turbidez en agua. Metodo ASTM D1889-88a*. Obtenido de Determinación de turbidez en agua. Metodo ASTM D1889-88a: <http://arturobola.tripod.com/turbi.htm>
- Trobajo, R. (2005). *La directiva marco del agua y las diatomeas como indicadores de los humedales mediterraneos*.
- Universidad de España. (06 de Noviembre de 2015). *UNIVERSIA*. Obtenido de UNIVERSIA: <http://noticias.universia.es/ciencia-nn-tt/noticia/2002/11/06/630228/diatomeas-nuevos-bioindicadores-calidad-mediambiental-agua-rios-cataluna.html>
- Urrea, G., & Sabater, S. (2009). *Epilithic diatoms assemblages and their relationship to environmental characteristics in an agricultural watershed*. Beasil: Guadiana River.
- Uvillus, S. (2017). *Caracterización de la composición florística de diatomeas epilíticas asociadas al grado de eutrofización en el río "la Compañía", cantón Mejía*. Quito: Universidad Internacional SEK.
- Velázquez, B. M., Israde, A. I., & Mendoza, C. M. (2007). *Uso De Diatomeas Para La Evaluación De La Calidad Del Agua Del Río Turbio. Afluente Del Río Lerma*, 1.
- Verger, E. (4 de Julio de 2017). *Ciencia Today*. Obtenido de Ciencia Today: <https://cienciatoday.com/diatomeas-importancia-aplicaciones/>
- Verger, E. (4 de julio de 2017). *CienciaToday*. Obtenido de CienciaToday: <https://cienciatoday.com/diatomeas-importancia-aplicaciones/>
- Weissel, D. (22 de diciembre de 2016). *AireLibre*. Obtenido de ireLibre: <http://airelibre.cl/que-son-los-coliformes-fecales/>
- Welzel, C. (2011). *Biodiversidade e distribuição espacial de diatomáceas (Bacillariophyceae) na bacia hidrográfica do Rio Negro*. Sao Paulo: Univesidad de Brasil.

## 16. ANEXOS

### ANEXO A. Fotografías del punto 1 durante los muestreos de marzo, abril y mayo de 2018 en el río "Cutuchi"



**ANEXO B. Fotografías del punto 2 durante los muestreos de marzo, abril y mayo de 2018 en el río “Cutuchi”**



**ANEXO C. Fotografías del punto 3 durante los muestreos de marzo, abril y mayo de 2018 en el río “Cutuchi”**



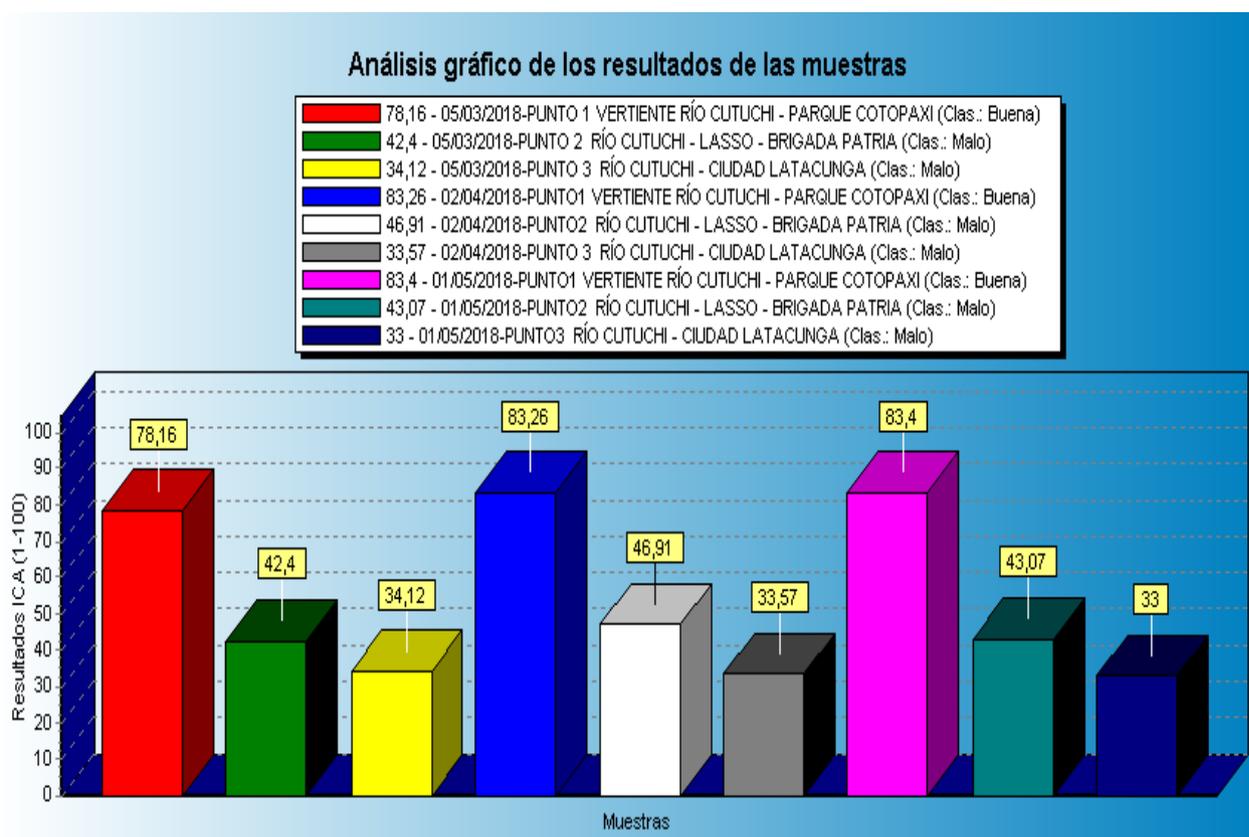
**ANEXO D. Fotografías de los análisis físico- químico y microbiológico del Rio “Cutuchi” durante los meses de marzo, abril y mayo de 2018.**



**ANEXO D. Tabla 26. Datos obtenidos de los parámetros físico-químicos y microbiológicos para la determinación del IQA del río “Cutuchi”**

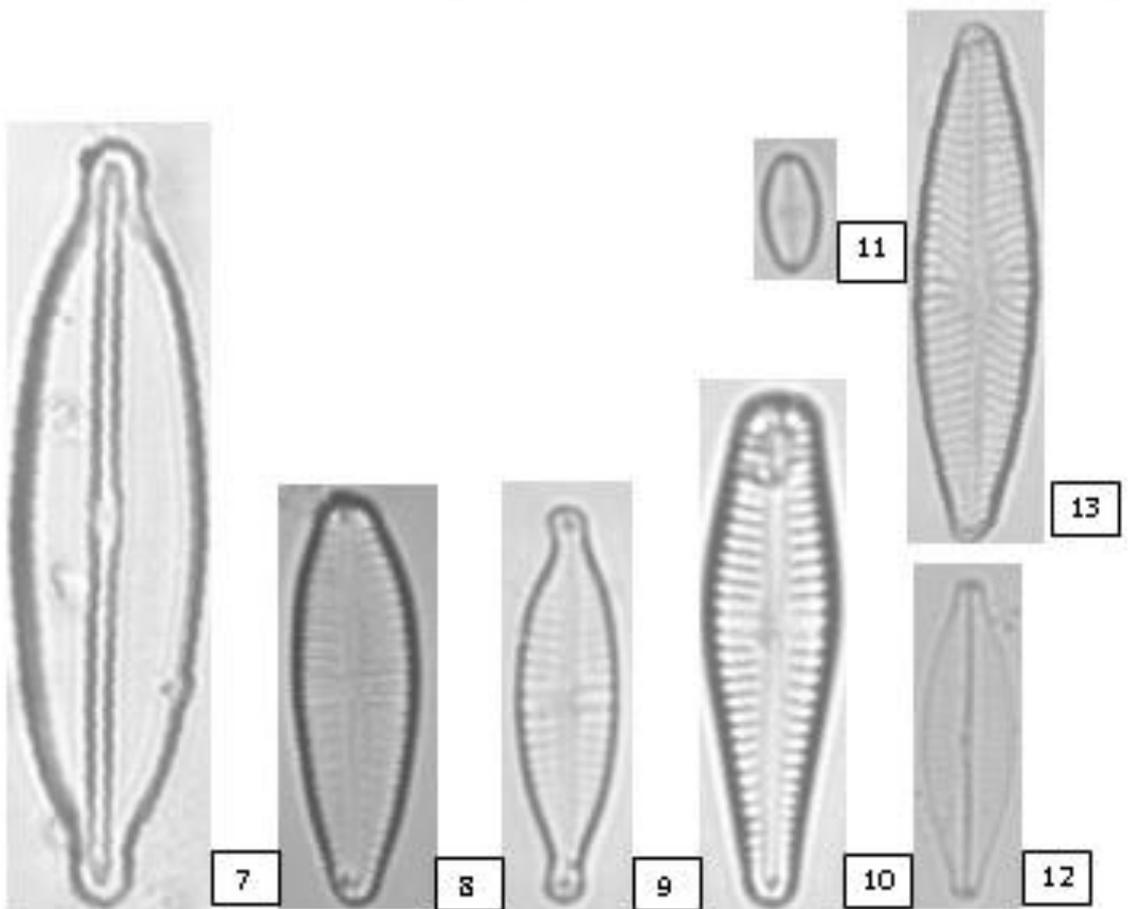
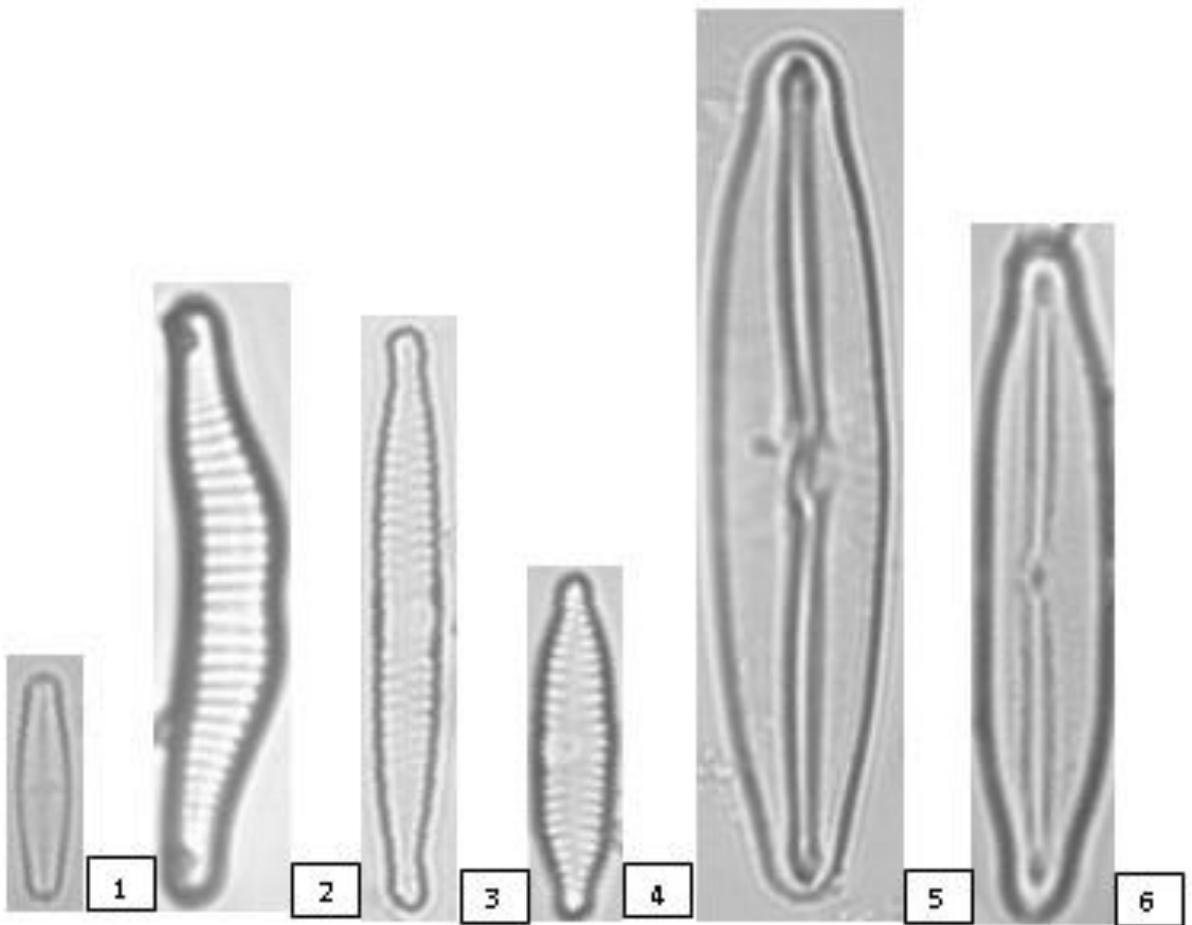
variables	T(°C)	pH	Oxi. Disuelto(mg/L)	DBO5 (mg/L)	nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes NMP/100ml	Solidos disueltos totales (mg/L)	Turbidez (NTU)
P1 m	12,4	6,72	5,37	1,66	0,03	0,377	0	128	2,6
P2 m	20,6	7,96	10,08	3,64	0,25	0,891	8000	421	3,34
P3 m	19	7,57	4,98	6,52	0,46	1,561	40000	666	16,5
P1 a	12,5	6,95	5,63	4,11	0,14	0,698	0	87	3,24
P2 a	16,2	8	6,7	4,67	0,36	1,126	7000	310	13,1
P3 a	17,2	8,08	6,24	11,82	0,39	2,797	36000	221	36,05
P1 my	11,2	6,42	5,59	1,94	0,06	0,709	0	82	1,54
P2 my	15	7,66	6,51	4,63	0,28	1,132	11000	375	28,3
P3 my	15,9	7,71	6,34	8,87	0,46	2,965	38000	398	30,6

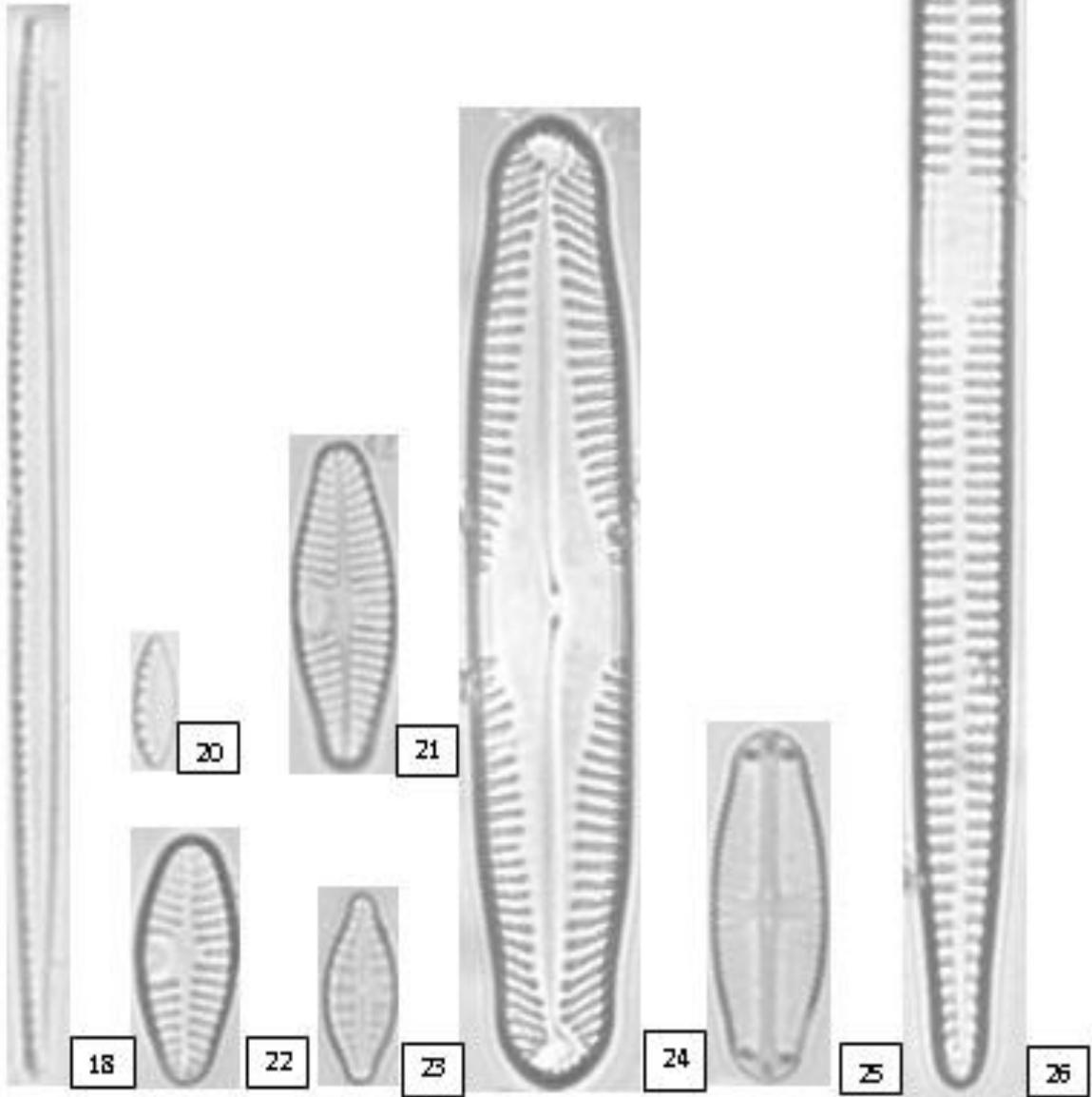
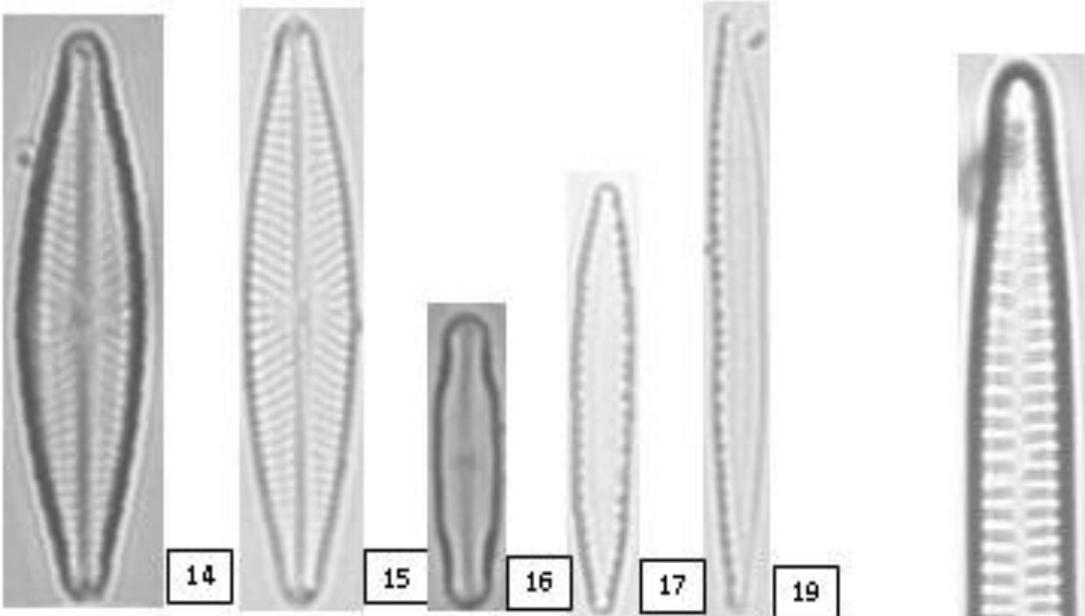
**ANEXO E. Tabla 26. Resultados del índice de calidad del agua, durante los meses de marzo, abril y mayo de 2018**



**ANEXO F. Diatomeas encontradas en el primer punto del río Cutuchi durante los meses de marzo, abril y mayo de 2018**

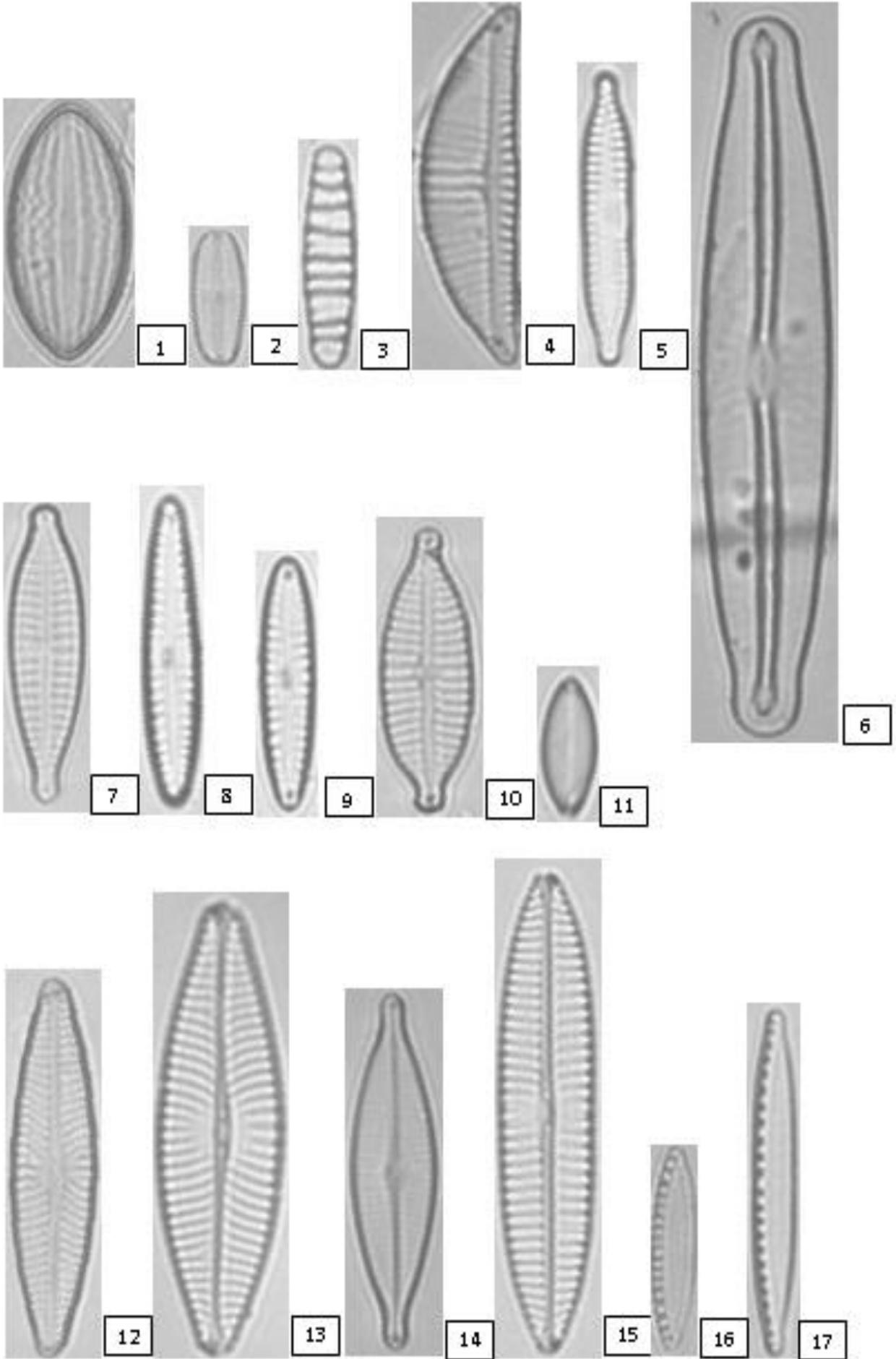
#	Nombre	Características
1	<i>Achnantheidium minutissimum</i> . Kützing (1994)	Largo: 10µm - Ancho: 3µm
2	<i>Eunotia arcubus</i> .(Ehrenberg) Cleve	Largo: 30µm - Ancho: 6µm
3	<i>Fragilaria pectinalis</i> . Lyngbye (1819)	Largo: 36µm - Ancho: 4µm
4	<i>Fragilaria vaucheriae</i> .Kützing (1938)	Largo: 24µm - Ancho: 4µm
5	<i>Frustulia vulgaris</i> . Thwaites(1891)	Largo: 46µm - Ancho: 10µm
6	<i>Frustulia amphipleuroides</i> .Grunow (1934)	Largo: 37µm - Ancho: 7µm
7	<i>Frustulia crassinervia</i> . Lange-Bertalot & Metzeltin (1996)	Largo: 42µm - Ancho: 10µm
8	<i>Gomphonema</i> sp.	Largo: 21µm - Ancho: 6µm
9	<i>Gomphonema lagenula</i> . Kützing (1844)	Largo: 20µm - Ancho: 6µm
10	<i>Gomphonema subclavatum</i> var. <i>compactum</i>	Largo: 27µm - Ancho: 7µm
11	<i>Mayamaea permitis</i> .Bruder et Medlin	Largo: 6µm - Ancho: 3µm
12	<i>Navicula gregaria</i> . Donkin (1861)	Largo: 21µm - Ancho: 6µm
13	<i>Navicula cryptotenella</i> . Krammer & Lange-Bertalot (1985)	Largo: 24µm - Ancho: 6µm
14	<i>Navicula cryptocephala</i> . Kützing(1844)	Largo: 30µm - Ancho: 6µm
15	<i>Navicula lanceolata</i> .(Agardh) Kützing	Largo: 31µm - Ancho: 7µm
16	<i>Naviculadicta</i> aff. <i>cosmopolitana</i>	Largo: 15µm - Ancho: 3µm
17	<i>Nitzschia palea</i> .(Kützing)Smith	Largo: 30µm - Ancho: 4µm
18	<i>Nitzschia paleacea</i> . Grunow (1881)	Largo: 53µm - Ancho: 3,5µm
19	<i>Nitzschia acidoclinata</i> . Lange-Bertalot (1976)	Largo: 30µm - Ancho: 3µm
20	<i>Nitzschia inconspicua</i> .Grunow (1862)	Largo: 7µm - Ancho: 3µm
21	<i>Planothidium lanceolatum</i> . Lange-Bertalot (1999)	Largo: 19µm - Ancho: 6µm
22	<i>Planothidium frequentissimum</i> . Lange-Bertalot (1999)	Largo: 15µm - Ancho: 6 µm
23	<i>Planothidium dubium</i> .Grunow (1996)	Largo: 7µm - Ancho: 5µm
24	<i>Pinnularia</i> sp.	Largo: 36µm - Ancho: 8µm
25	<i>Sellaphora auldreekie</i> . D.G.Mann et al. (2004)	Largo: 20µm - Ancho: 7µm
26	<i>Ulnaria ulna</i> .(C.L. Nitzsch) Compère (2001)	Largo: 180µm - Ancho: 10µm

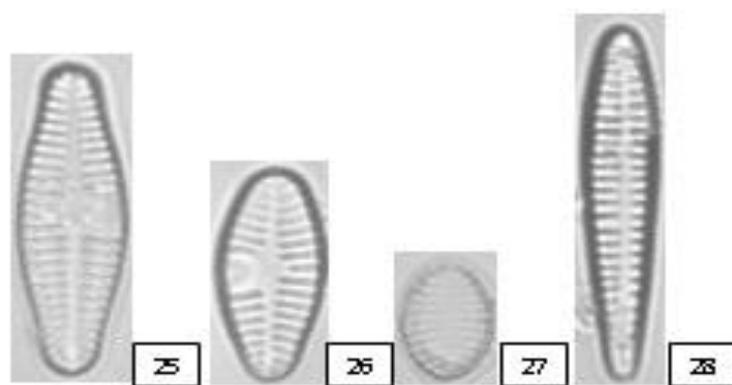
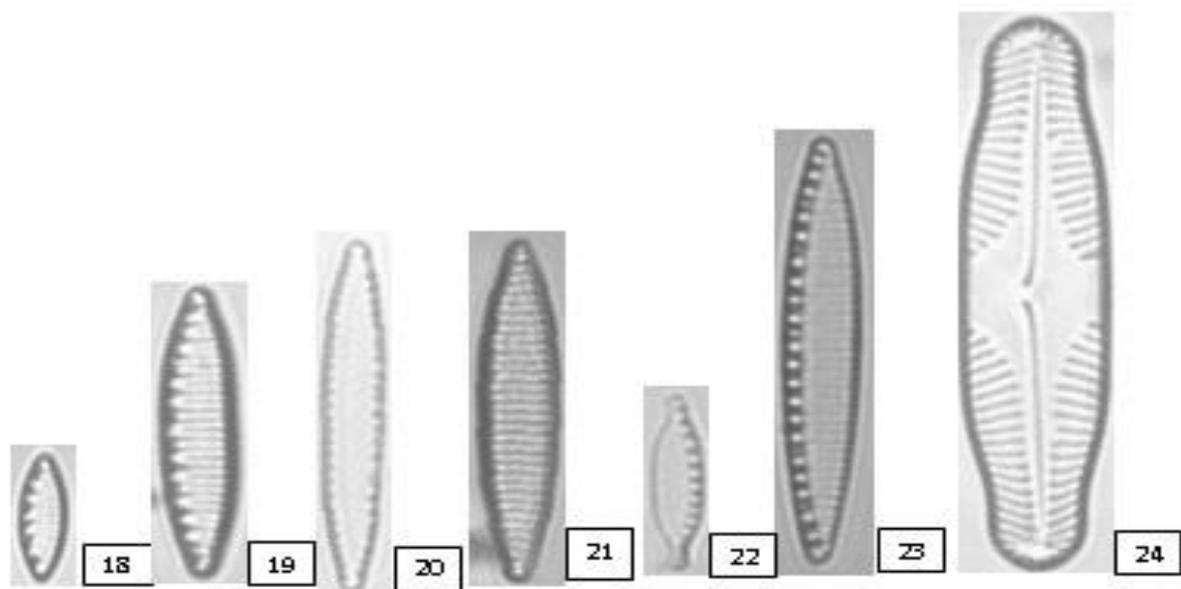




**ANEXO G. Diatomeas encontradas en el segundo punto del río Cutuchi durante los meses de marzo, abril y mayo de 2018**

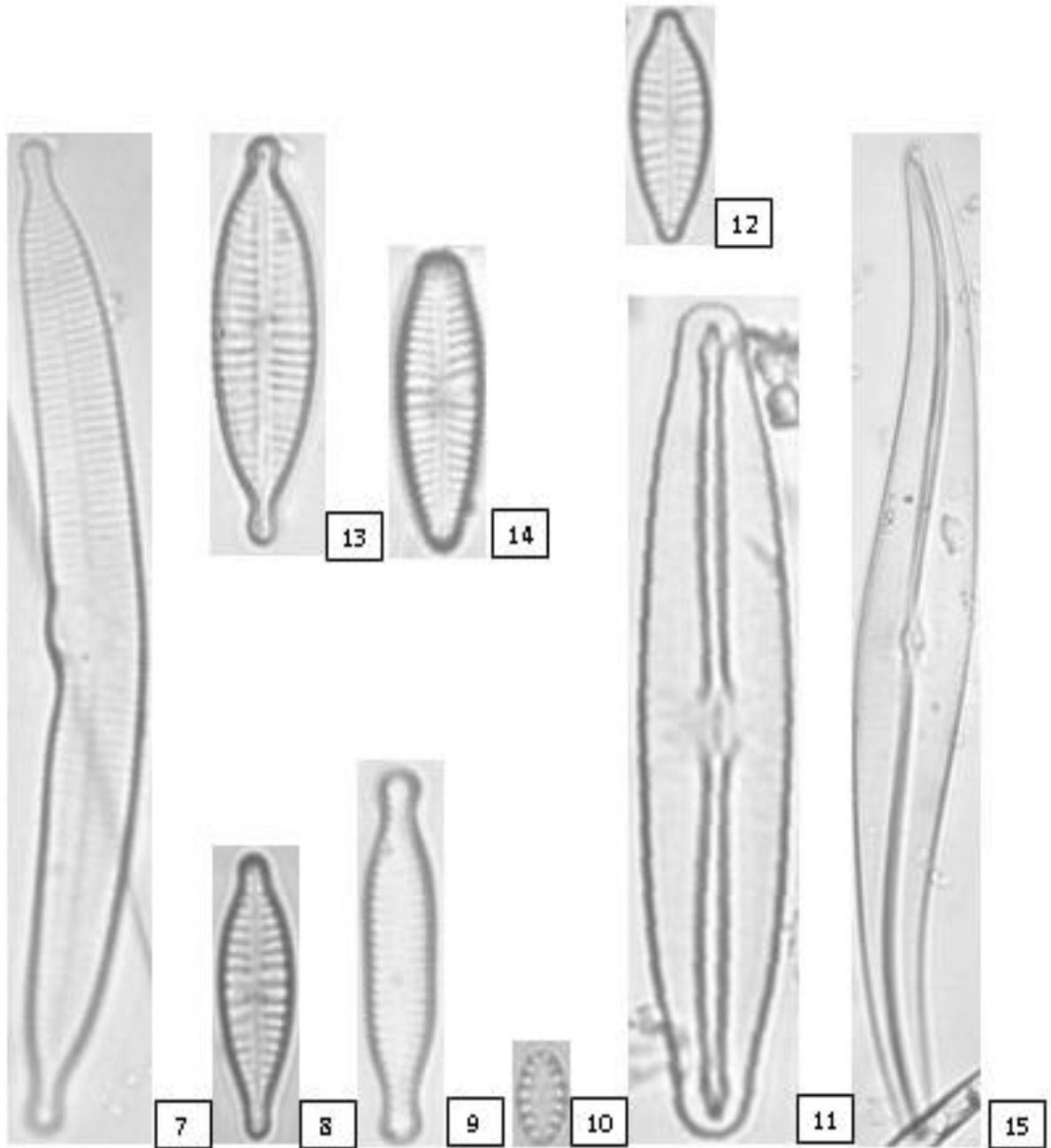
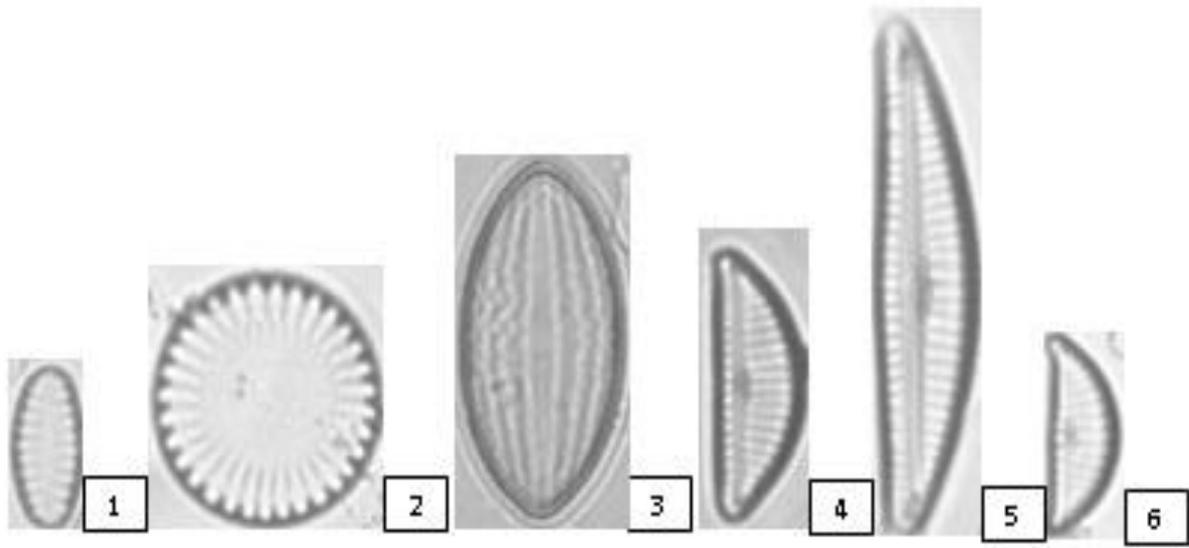
#	Nombre	Características
1	<i>Cocconeis lineata</i> . Ehrenberg (1849)	Largo: 20µm - Ancho: 10µm
2	<i>Craticula molestiformis</i> . Mayama (1999)	Largo: 10µm - Ancho: 3µm
3	<i>Diatoma moniliformis</i> . Kützing (2012)	Largo: 17µm - Ancho: 6µm
4	<i>Encyonema silesiacum</i> . Bleisch (1990)	Largo: 10µm - Ancho: 3µm
5	<i>Fragilaria vaucheriae</i> . Kützing (1938)	Largo: 30µm - Ancho: 6µm
6	<i>Frustulia vulgaris</i> . Thwaites(1891)	Largo: 46µm - Ancho: 10µm
7	<i>Gomphonema parvulum</i> . Kützing (1849)	Largo: 22µm - Ancho: 6µm
8	<i>Gomphonema pumilum</i> var. <i>rigidum</i>	Largo: 20µm - Ancho: 4µm
9	<i>Gomphonema bourbonense</i> . Reichardt (1997)	Largo: 22µm - Ancho: 4 µm
10	<i>Gomphonema lagenula</i> . Kützing (1844)	Largo: 21µm - Ancho: 7µm
11	<i>Mayamaea permitis</i> . Hustedt (2008)	Largo: 7µm - Ancho: 3µm
12	<i>Navicula cryptotenella</i> . Krammer & Lange-Bertalot (1985)	Largo: 24µm - Ancho: 6µm
13	<i>Navicula lanceolata</i> .(Agardh) Kützing	Largo: 36µm - Ancho: 9µm
14	<i>Navicula gregaria</i> . Donkin (1861)	Largo: 22µm - Ancho: 6µm
15	<i>Navicula tripunctata</i> .(O.F.Müller)Bory	Largo: 43µm - Ancho: 8µm
16	<i>Nitzschia</i> sp.	Largo: 10µm - Ancho: 3µm
17	<i>Nitzschia acidoclinata</i> . Lange-Bertalot (1976)	Largo: 20µm - Ancho: 3µm
18	<i>Nitzschia inconspicua</i> . Grunow (1862)	Largo: 7µm - Ancho: 3µm
19	<i>Nitzschia amphibia</i> . Grunow (1862)	Largo: 22µm - Ancho: 4µm
20	<i>Nitzschia palea</i> .(Kützing) Smith	Largo: 25µm - Ancho: 4µm
21	<i>Nitzschia angustatula</i> . Lange-Bertalot(1987)	Largo: 26µm - Ancho: 5µm
22	<i>Nitzschia fonticola</i> . Grunow (1881)	Largo: 12µm - Ancho: 3µm
23	<i>Nitzschia costei</i> . Rimet, F. & Ector, L. (2008)	Largo: 28µm - Ancho: 4µm
24	<i>Pinnularia</i> sp.	Largo: 30µm - Ancho: 9µm
25	<i>Planothidium lanceolata</i> . Lange-Bertalot 1999	Largo: 19µm - Ancho: 6µm
26	<i>Planothidium frequentissimum</i> . Lange-Bertalot (1999)	Largo: 15µm - Ancho: 6µm
27	<i>Platesa hustedtii</i> . Lange-Bertalot (2004)	Largo: 8µm - Ancho: 5µm
28	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> . Lange-Bertalot (1980)	Largo: 23µm - Ancho: 4µm

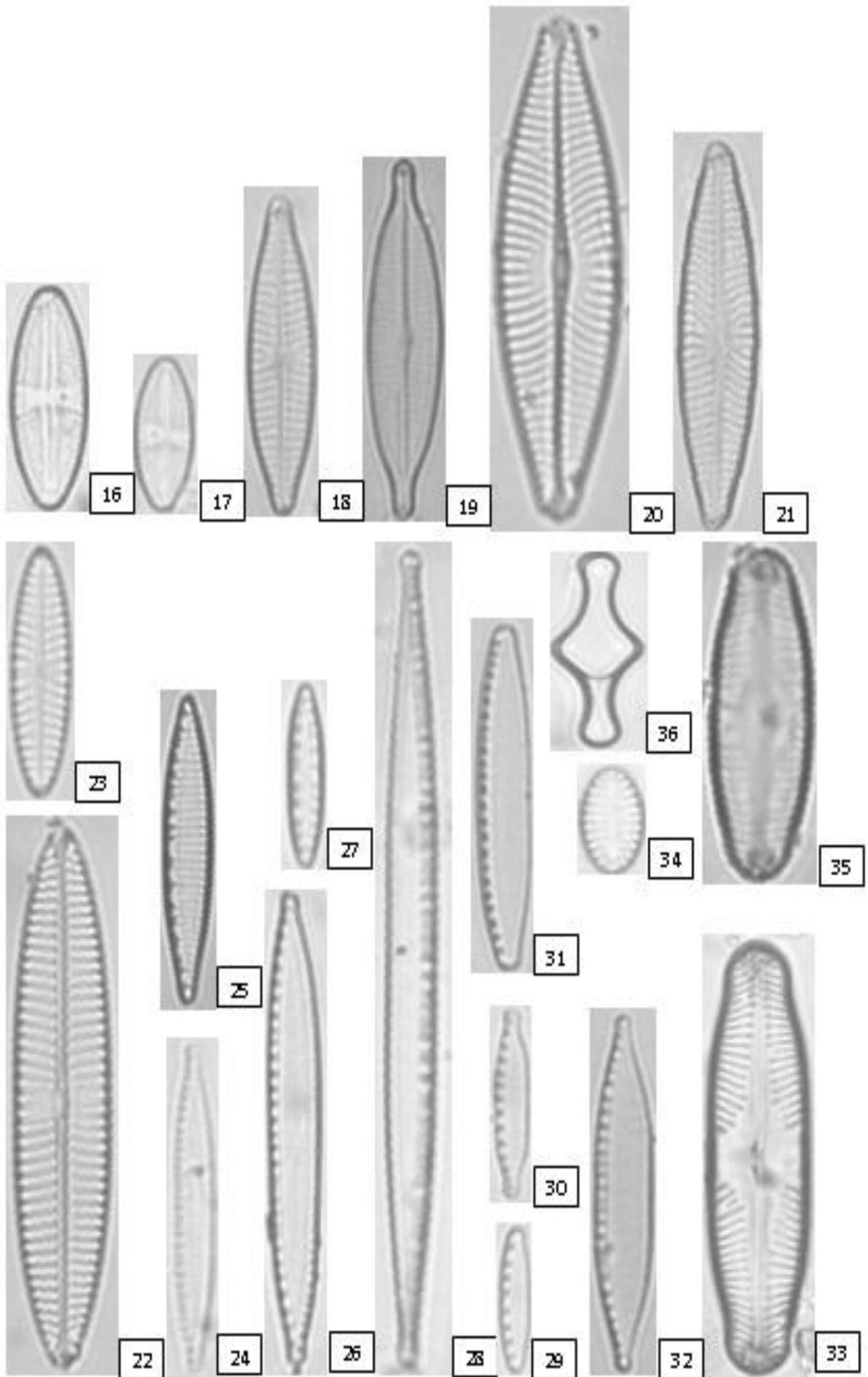




**ANEXO H. Diatomeas encontradas en el tercer punto del río Cutuchi durante los meses de marzo, abril y mayo de 2018**

#	Nombre	Características
1	<i>Achnantes inconspicua</i> . Cleve-Euler(1932)	Largo: 11µm - Ancho: 4µm
2	<i>Cyclotella meneghiniana</i> . Kützing (1844)	Largo: 18µm - Ancho: 18µm
3	<i>Cocconeis lineata</i> . Ehrenberg (1849)	Largo: 23µm - Ancho: 12µm
4	<i>Encyonema minutum</i> . (Hilse) D.G.Mann	Largo: 15µm - Ancho: 5µm
5	<i>Encyonema neogracile</i> . Krammer (1997)	Largo: 21µm - Ancho: 5µm
6	<i>Encyonema ventricosum</i> . Grunow(1875)	Largo: 11µm - Ancho: 4µm
7	<i>Fragilaria arcus</i> . (Ehrenberg) Cleve (1898)	Largo: 60µm - Ancho: 6µm
8	<i>Fragilaria recapitellana</i> .Lange-Bertalot and Metzeltin	Largo: 20µm - Ancho: 6µm
9	<i>Fragilariforma virescens</i> . Williams & Round (1988)	Largo: 22µm - Ancho: 6µm
10	<i>Frankophila similioides</i> . Lange-Bertalot (1997)	Largo: 6µm - Ancho: 3µm
11	<i>Frustulia vulgaris</i> . Thwaites (1891)	Largo: 50µm - Ancho: 10µm
12	<i>Gomphonema parvulum</i> . Kützing (1849)	Largo: 22µm - Ancho: 6 µm
13	<i>Gomphonema lagenula</i> . Kützing (1844)	Largo: 21µm - Ancho: 7µm
14	<i>Gomphonema</i> sp	Largo: 23µm - Ancho: 6µm
15	<i>Gyrosigma kuetzingii</i> . (Grunow) Cleve (1894)	Largo: 58µm - Ancho: 10 µm
16	<i>Luticola goeppertiana</i> . Crawford & Mann (1990)	Largo: 17µm - Ancho: 6µm
17	<i>Luticola mutica</i> . Kützing(1990)	Largo: 11µm - Ancho: 5µm
18	<i>Navicula nota</i> . Wallace (1960)	Largo: 24µm - Ancho: 6µm
19	<i>Navicula gregaria</i> . Donkin (1861)	Largo: 25µm - Ancho: 6µm
20	<i>Navicula lanceolata</i> . (Agardh) Kützing	Largo: 40µm - Ancho: 10µm
21	<i>Navicula cryptotenella</i> . Krammer & Lange-Bertalot (1985)	Largo: 24µm - Ancho: 6µm
22	<i>Navicula tripunctata</i> . (Müller) Bory	Largo: 48µm - Ancho: 8µm
23	<i>Navicula cincta</i> . Ehrenberg (1861)	Largo: 18µm - Ancho: 5µm
24	<i>Nitzchia archibaldii</i>	Largo: 23µm - Ancho: 3µm
25	<i>Nitzchia amphibia</i> .Grunow (1862)	Largo: 22µm - Ancho: 6µm
26	<i>Nitzchia palea</i> .(Kützing) Smith	Largo: 24µm - Ancho: 6µm
27	<i>Nitzchia</i> sp.	Largo: 10µm - Ancho: 3µm
28	<i>Nitzschia subtilis</i> . Kützing (1880)	Largo: 61µm - Ancho: 4µm
29	<i>Nitzschia inconspicua</i> .Grunow (1862)	Largo: 8µm - Ancho: 3µm
30	<i>Nitzchia fonticola</i> . Grunow (1881)	Largo: 12µm - Ancho: 3µm
31	<i>Nitzchia communis</i> . Rabenhorst (1860)	Largo: 24µm - Ancho: 4µm
32	<i>Nitzchia umbonata</i> . Lange-Bertalot (1978)	Largo: 25µm - Ancho: 5µm
33	<i>Pinnularia</i> sp.	Largo: 35µm - Ancho: 9µm
34	<i>Platessa hustedtii</i> . Lange-Bertalot (2004)	Largo: 7µm - Ancho: 5µm
35	<i>Sellaphora auldreekie</i> . Mann et al. (2004)	Largo: 24µm - Ancho: 8µm
36	<i>Tabellaria flocculosa</i> . Kützing (1844)	Largo: 17µm - Ancho: 8µm





## ANEXO H. HOJA DE VIDA DEL AUTOR

### CURRICULUM VITAE

#### 1.- DATOS PERSONALES



APELLIDOS: ACOSTA GRANDA  
NOMBRES: VICTOR DANIEL  
CEDULA DE CIUDADANÍA: 055001436-9  
LUGAR Y FECHA DE NACIMIENTO: SALCEDO, 03 DE MARZO DE 1995  
DIRECCIÓN DOMICILIARIA: SANTA ANA - SALCEDO  
NÚMEROS TELEFÓNICOS: 0995969147  
E-MAIL: [danielacosta.3@hotmail.com](mailto:danielacosta.3@hotmail.com)

#### 2.- ESTUDIOS REALIZADOS

NIVEL	TITULO OBTENIDO	FECHA DE REGISTRO EN EL SENESCYT
SEGUNDO	TÉCNICO INDUSTRIAL: ESPECIALIZACION: ELECTROMECAÁNICA AUTOMOTRIZ	10 DE JULIO DEL 2012
TERCER	INGENIERO AMBIENTAL	13 DE AGOSTO DEL 2018

#### 3.- EXPERIENCIA LABORAL

- ❖ Director de Marketing y Ventas. Corporación Educativa CENEPCI. Mayo 2015-Febrero 2018.
- ❖ Ayudante de Laboratorio de Investigación, Química y Procesos. Universidad Internacional SEK. Marzo 2018 – Agosto 2018.

#### 4.- CERTIFICADOS

- VII Asamblea General de REDCCA, Red Ecuatoriana de Carreras en Ciencias Ambientales, realizada en la ciudad de Latacunga julio18, 2014.

## ANEXO I. HOJA DE VIDA DEL TUTOR

### CURRICULUM VITAE

#### 1.- DATOS PERSONALES



APELLIDOS: CLAVIJO CEVALLOS  
NOMBRES: MANUEL PATRICIO  
CEDULA DE CIUDADANÍA: 0501444582  
LUGAR Y FECHA DE NACIMIENTO: SALCEDO, 24 DE SEPTIEMBRE DE 1965

DIRECCIÓN DOMICILIARIA: CIUDADELA LAS ACACIAS – FICOA – AMBATO.

NÚMEROS TELEFÓNICOS: 032824577 – 0992050541

E-MAIL: patricio\_clavijo2005@yahoo.com

[manuel.clavijo@utc.edu.ec](mailto:manuel.clavijo@utc.edu.ec)

#### 2.- ESTUDIOS REALIZADOS

NIVEL	TITULO OBTENIDO	FECHA DE REGISTRO EN EL SENESCYT	CÓDIGO DE REGISTRO SENESCYT
TERCER	LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN ESPECIALIDAD BIOLOGÍA Y QUÍMICA	3 DE AGOSTO DEL 1992	1010-02-142218
CUARTO	MASTER EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN PLANEAMIENTO DE INSTITUCIONES DE EDUCACIÓN SUPERIOR	03 DE JUNIO DEL 2003	1020-03-399385
CUARTO	DIPLOMADO SUPERIOR EN NUEVAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN Y SU APLICACIÓN EN LA PRACTICA DOCENTE ECUATORIANA	19 DE OCTUBRE DEL 2007	1008-07-668233
CUARTO	MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL	03 DE JUNIO 2017	1020-03-399385

### **3.- EXPERIENCIA LABORAL**

- ❖ Asistente Científico del Área de Plantas Terrestres – Estación Científica Charles Darwin- Galápagos. 1991.
- ❖ Asistente de cátedra de Microbiología y Zoología. Universidad Técnica de Ambato. Febrero 1992 - 1993.
- ❖ Ayudante de Laboratorio de Microbiología y Biotecnología. Universidad Técnica de Ambato. Febrero 1992 - 1993.
- ❖ Técnico de Laboratorio Pedagógico. Instituto Tecnológico “Pelileo”. Enero 1995 – 1999.
- ❖ Gerente del laboratorio de larvas de camarón “CEGAL”. Prov. De El Oro. 1999-2001.
- ❖ Docente de la Universidad Técnica de Cotopaxi – Desde Abril 2001 hasta la actualidad
- ❖ Coordinador Nacional de Ciencias Experimentales del Proyecto de Nuevo Bachillerato Ecuatoriano – Ministerio de Educación. 2010.

### **4.- CARGOS DESEMPEÑADOS**

- ❖ Gerente de Producción y Comercialización del Grupo Camaronero CEGAL, Prov. Del Oro. Enero 1999 - 2001
- ❖ Docente de la Universidad Técnica de Cotopaxi – Desde abril 2001 – 2017.
- ❖ Docente del Colegio “HUAMBALO” – Prov. del Tungurahua. Abril 2001- 2012.
- ❖ Vicerrector del Colegio “HUAMBALO” – Prov. del Tungurahua. Agosto 2003 – 2009.
- ❖ Primer Vocal de Consejo Directivo del Colegio Nacional “HUAMBALO” 2003-2005, 2007-2009.
- ❖ Director de la Carrera de Ingeniería en Medio Ambiente de la UTC desde octubre 2016.

### **5.- PONENCIAS**

- Ponente en las XV Jornadas Nacionales de Biología Guayaquil.
- Ponente en el Seminario Científico Internacional de Medio Ambiente. 2017

### **6.- SEMINARIOS DICTADOS**

- Expositor en el Seminario de Diseño de Tesis – Cotopaxi - 2005
- Expositor en Curso Teórico – Práctico de Educación para la Salud - Tungurahua - Huambalo febrero 2009.
- Expositor en el Tercer Foro Ambiental sobre la Influencia de Virus AH1N1 y su relación con el Medio Ambiente – U.T.C. – Latacunga junio 2009.
- Expositor en el Seminario de “Diseño de Tesis”. Colegio de Ingenieros Agrónomos de Cotopaxi.- UTC. Latacunga septiembre 2005.
- Facilitador en el Taller sobre el Nuevo Bachillerato Unificado Ecuatoriano, Universidad Nacional de Loja. Loja 2011.

## **7.- PROYECTOS REALIZADOS**

- Bioanálisis, aislamiento e identificación de Micorrizas Arbusculares (MA) en el sistema radicular en Rosas de exportación en Blooming Rose Farm, Salcedo Cotopaxi.
- Diseño de un Proyecto Pedagógico Ambiental y su aplicación en la Escuela de Educación Básica Juan Abel Echeverría de la Parroquia San Buenaventura, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi.
- Tratamiento de Aguas residuales procedentes del camal municipal de Francisco de Orellana, provincia de Orellana mediante la utilización de Humedales Artificiales.
- Diseño de una planta de tratamiento de agua para consumo humano en el Centro de Experimentación y Producción Salache (CEYPSA) de la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).
- Utilización de tres tipos de bioles a tres concentraciones en el cultivo de *Pisum sativum* en Planchaloma, Toacaso, Latacunga.
- Diseño de una Plan de Manejo de desechos de la Base Aérea FAE de la ciudad de Latacunga. 2012.
- Elaboración de biocombustibles a partir del Agave americana, con tres tipos de fermentos a dos temperaturas. 2013.
- Desarrollo de un biofiltro a partir de la cáscara de plátano en la empresa Waterfood en la provincia de Orellana. 2014
- Análisis de cultivo de patatas con lixiviados del relleno sanitario del cantón Salcedo. 2015
- Aislamiento de bacterias remediadoras en aguas residuales, cantón Pujili. 2015.
- Aislamiento de bacterias sulforremediadoras en tuberías petroleras. 2015
- Estudio biológico del Parque Nacional Llanganates, sector Provincia de Cotopaxi, 2016
- Estudio biótico en el Rio Ambi, 2016
- Estudio Biótico del Relleno Sanitario en el Cantón Salcedo. Salcedo mayo 2008.
- Director y Asesor de Tesis de la U. A. CAREN. UTC, a nivel de Pregrado y Posgrado

## **8.- ARTÍCULOS**

- UNIVERSIDAD Y SECTOR PRODUCTIVO - Revista ALMA MATER N° 3 – Universidad Técnica de Cotopaxi – Latacunga septiembre 1998.
- LA SINERGIA INSTITUCIONAL - Revista ALMA MATER N° 4 – Universidad Técnica de Cotopaxi – Latacunga junio 1999.
- Compilaciones Teóricas y Prácticas sobre: QUÍMICA GENERAL, QUÍMICA ORGÁNICA, BIOQUÍMICA, QUÍMICA ANALÍTICA, BIOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA, GENÉTICA, ÁREAS NATURALES DEL ECUADOR, BIOTECNOLOGÍA.

M.Sc. Patricio Clavijo Cevallos



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

## CENTRO DE IDIOMAS

### AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del Proyecto de Investigación al Idioma Inglés presentado por el Sr. Egresado **ACOSTA GRANDA VÍCTOR DANIEL** de la Carrera de Ingeniería de Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, cuyo título **“IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES DE DIATOMEAS EPILÍTICAS ASOCIADAS A DIFERENTES NIVELES DE CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO CUTUCHI EN LA PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO MARZO - MAYO 2018”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, **Agosto del 2018**

Atentamente,

**Lcdo. Collaguazo Vega Wilmer Patricio Mg.**  
**C.I. 172241757-1**  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**

