



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“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”**

Realizado por:

Katherine Jhoanna Rosero Córdova

Director del proyecto:

PhD Pablo Castillejo.

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERA BIOTECNÓLOGA

Quito 5 de Agosto 2016

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, KATHERINE JHOANNA ROSERO CORDOVA, con cédula de identidad numero: 172237763-5, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado de calificación profesional; y; que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el documento. A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Katherine Johanna Rosero Córdova

C.C.: 172237763-5

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“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. AÑO 2015-2016”**

Realizado por:

KATHERINE JHOANNA ROSERO CÓRDOVA

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA

Ha sido dirigido por el profesor

PhD. PABLO CASTILLEJO

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



PhD. Pablo Castillejo

DIRECTOR

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

SUSANA CHAMORRO ARIAS

FABIO VILLALBA

Después de revisar el trabajo presentado,

Lo han calificado como apto para su defensa oral ante

El tribunal examinador


SUSANA CHAMORRO ARIAS


FABIO VILLALBA

Quito, 5 de agosto de 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por concederme la fuerza, la salud y la sabiduría necesaria para poder superar todos los obstáculos que se me han presentado en la vida, y permitirme cumplir mis metas.

A mis padres, Juan Fco. Rosero y Cecilia Córdova por ser el pilar fundamental en mi vida y guiarme siempre por el camino correcto, a mi madre por su infinito amor, paciencia y por siempre creer en mí. A mi padre por enseñarme que con esfuerzo y perseverancia se pueden alcanzar grandes sueños.

Agradezco también a los profesores, que me han enseñado los conocimientos necesarios para poder desarrollar este trabajo, y que me han apoyado en todo momento.

Muchas gracias a todos.

Kathy Rosero



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

	.....	1
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES	.....	1
CAPITULO I	.....	3
1. INTRODUCCIÓN	.....	3
1.1. Descripción del proyecto	.....	3
1.2. Antecedentes	.....	5
1.3. Importancia del estudio	.....	7
1.4. Objetivo	.....	9
1.5. Características del sitio del proyecto.	.....	9
CAPITULO II	.....	11
2. MARCO TEÓRICO	.....	11
2.1. Estado actual del conocimiento científico	.....	11
2.2. Índices de Calidad	.....	13
2.3. Diatomeas	.....	17
2.4. Análisis de la constitución del Ecuador con respecto al medio ambiente	.....	20
CAPITULO III	.....	22
3. METODOLOGÍA	.....	22
3.1. Descripción del Área de Estudio	.....	22
3.2. Río Ambi	.....	22
3.3. Toma de muestras	.....	25
3.4. Procesamiento de muestras	.....	26
3.5. Fijación de muestras en placas permanentes.	.....	26
3.6. Microscopía óptica (MO): Captura y procesamiento de imagen.	.....	27

3.7. Medición de parámetros Fisicoquímicos:	28
3.8. Medición de los parámetros biológicos	30
3.9. Cálculo de la abundancia de especies.	30
3.10. Cálculo de valor trófico de especies.....	31
3.11. Cálculo del índice trófico de calidad de aguas.	31
CAPITULO IV	32
4. RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS	32
4.1. Resultados de la Abundancia de Especies.	32
4.4. Resultados de los valores tróficos de especies.....	44
5. IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE ESPECIES	50
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	63
CAPITULO V	64
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
5.1. CONCLUSIONES	64
5.2. RECOMENDACIONES.....	66
CAPÍTULO VI.....	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

Índice de Tablas

Tabla 1: Valoración indicativa del grado de contaminación utilizando coliformes.....	12
Tabla 2. Especies de Diatomeas encontradas en el cauce Alto.	34
Tabla 3. Especies de Diatomeas encontradas en el cauce medio del río Ambi.....	37
Tabla 4. Especies de Diatomeas encontradas en el cauce bajo del río Ambi.....	40
Tabla 5 clasificación de Especies Cauce Alto.....	43
Tabla 6 Clasificación de especies Cauce Medio	43
Tabla 7 Clasificación de especies Cauce Bajo	44
Tabla 8. Datos abióticos básicos tomados in situ y ex situ en los cauces alto, medio y bajo del río Ambi.	44
Tabla 9. Especies de diatomeas según los distintos grados de tolerancia	46

Tabla 10 Relación entre el Índice Biótico del agua (TWQI) y la calidad de agua.....	48
Tabla 11 Índice biótico de calidad de aguas basado en diatomeas Cauce Alto	48
Tabla 12 Índice biótico de calidad de aguas basado en diatomeas Cauce Medio.....	49
Tabla 13 Índice biótico de calidad de aguas basado en diatomeas Cauce Bajo.....	49

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Alto	35
Gráfico 2. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Alto ... ¡Error! Marcador no definido.	
Gráfico 3. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Alto	36
Gráfico 4. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Alto	40
Gráfico 5. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Alto	38
Gráfico 6. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Alto	38
Gráfico 7. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Medio.....	39
Gráfico 8. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Medio.....	39
Gráfico 9. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Medio.....	41
Gráfico 10. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Bajo.....	41
Gráfico 11. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Bajo.....	42

Índice de Fotografía

Fotografía 1. Montaje de placas permanentes	27
Fotografía 2: Espectrofotómetro, equipo para la determinación de Nitrógeno Amoniacal	29
Fotografía 3: Demanda química de oxígeno (DQO) viales TNTplus	29
Fotografía 4: Colocación de caldo de cultivo en cajas Petri	30

Índice de Fórmula

Fórmula 1. Abundancia de especies (AE):.....	30
Fórmula 2 Cálculo del Índice Biótico de calidad de aguas (IBCA):.....	30

Índice de abreviaturas

UFC:	unidades formadoras de colonias
DBO₅:	demanda biológica de oxígeno
COD:	carbono oxígeno disuelto
DQO:	demanda química de oxígeno
mg L:	miligramo por litro
Art:	artículo
IBCA:	índice biótico de calidad de aguas

RESUMEN

La contaminación de los recursos hídricos del Ecuador genera un impacto negativo para la salud humana y para el ambiente, también genera grandes problemas en el desarrollo económico y social de este país. Por lo tanto se requiere de un sistema de información que indique la calidad del agua, para diagnosticar posibles vertidos industriales o de aguas negras en el momento de su ejecución y de esta forma, gestionar eficientemente los recursos hídricos del Ecuador. El presente trabajo de Investigación tiene como objetivo establecer 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. Las diatomeas serán los microorganismos bioindicadores debido a que son organismos 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. 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. La investigación se centró en el río Ambi ubicado al norte del Ecuador en la provincia andina de Imbabura, ya que este río cuenta con distintos niveles de eutrofización.

Palabras Clave: Índice biótico, calidad de agua, diatomeas, organismos bioindicadores.

ABSTRACT:

The contamination of water resources generates a negative impact for human health and for the environment; it also causes huge issues in the economical and social development of the country. Therefore, an information system that indicates the quality of the water is required to diagnose possible industrial spills or sewage at the time of its execution and thus efficiently manage the water resources of Ecuador. The following research aims to establish a biotic index of water quality based on epilithic diatoms populations to determine the water quality of Andean rivers of Ecuador. Diatoms will be the bioindicators due to that they are abundant organisms in natural aquatic systems and excellent environmental quality sensors. In addition, when being attached to a fixed substrate such as stones or vegetable, are main points of monitoring during all the seasons of the year. This technique requires the classification and identification of the composition of the populations of diatoms and their association to other biotic and abiotic factors already established and universally used. The research focused on the Ambi River located at the north of Ecuador in the Andean province of Imbabura, since this river has different levels of eutrophication.

Key Words: Biotic index, Water quality, epilithic Diatoms, Bioindicators.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del proyecto

El presente proyecto de investigación representa una contribución en el establecimiento de nuevas bases para determinar la calidad de los recursos hídricos del Ecuador basado en el análisis y la identificación de poblaciones de diatomeas epilíticas debido a que son considerados como excelentes bioindicadores de la calidad de los ecosistemas acuáticos (Lobo *et al* 2014).

La contaminación de los sistemas fluviales representa un gran problema a nivel mundial, ya que altera negativamente las condiciones del agua de los mares, ríos, lagunas, generando un impacto negativo en la salud humana y en el ambiente. Por lo tanto, es necesario desarrollar herramientas eficaces para el seguimiento de los ríos (Rosa *et al.* 2000).

Actualmente para evaluar la calidad del agua se mide algunos parámetros asociados con los procesos de tratamiento de aguas y que sirven para determinar las características físicas, químicas y biológicas de las mismas (Coral, 2013).

Los parámetros de calidad más frecuentemente utilizados y al mismo tiempo más relevantes son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DBO), oxígeno disuelto, Carbono Orgánico Disuelto (COD), medición de compuestos del nitrógeno, fosforo, azufre, cloro, medición de pH y coliformes totales (UFC, col/ml) (MOPT, 1992).

Sin embargo a principios de los años 60, ante la necesidad de encontrar un método uniforme y consistente para dar a conocer la calidad del agua a la población de una manera accesible, se desarrollaron los índices de calidad, que son sistemas que permiten asignar un valor de calidad al medio a partir del análisis de varios parámetros. Estas herramientas son eficaces para el monitoreo ambiental, además que permiten resumir y simplificar datos complejos para una fácil interpretación de resultados (Reolón, 2010).

Reolón (2010) establece que entre los índices más utilizados a nivel mundial para estimar la calidad de agua son el índice ICA de la fundación de sanidad de los Estados

Unidos propuesto en 1970, el ICA de Dinus (1987) y el índice simplificado de la calidad del agua (ISQA) establecido en España en el año de 1982 y principalmente utilizado en Europa.

Algunos de los índices de calidad recientemente utilizados incluyen dentro de su estructura a organismos acuáticos indicadores como microalgas, invertebrados, peces, etc. Estos índices biológicos son muy utilizados en la mayoría de países en desarrollo debido a que los seres vivos poseen mayor sensibilidad y rapidez ante distintos contaminantes en comparación con los métodos tradicionales (Matcalfe, 1989).

Las diatomeas son algas unicelulares muy abundantes en todos los ecosistemas acuáticos y ampliamente utilizados como bioindicadores de las condiciones ambientales, particularmente en los ríos y arroyos debido a que el grado de tolerancia a la contaminación de las diatomeas permite determinar los niveles de polución orgánica del agua en los ríos (Wetzel, 2006).

Las aplicaciones de estos microorganismos unicelulares como bioindicadores van desde el control rutinario de la calidad del agua hasta la evaluación de impacto de la contaminación, debido a que estos organismos son muy perceptivos a las condiciones ambientales además de que crecen en cortos períodos de tiempo, respondiendo así rápidamente a los cambios químicos, físicos o factores biológicos. Por lo tanto, el análisis de la composición de sus comunidades proporciona un método sencillo para detectar cambios en el entorno debido a causas naturales o antropogénicas (Urrea *et al* 2009).

Algunas especies de este grupo como las diatomeas epilíticas se encuentran adheridas a sustratos fijos presentes en los ríos como piedras o vegetales, suponiendo un punto fijo de monitoreo durante todas las estaciones del año. Además son microorganismos muy sensibles a factores ambientales, como la contaminación, mientras que otros son muy tolerantes lo que permite inferir o asociar niveles de contaminación con estos organismos (Round, 1993). Por esta razón en el presente estudio serán utilizados como indicadores de la calidad de agua para establecer un índice biótico en el cual se deberá clasificar e identificar claramente las características morfológicas de cada especie (Wetzel, 2006).

1.2. Antecedentes

El agua constituye un recurso natural de gran importancia, en diversos aspectos como económico, cultural y científico. Actualmente estos ecosistemas están experimentando cambios en sus características afectando la biodiversidad y la calidad del agua por diversas actividades humanas (Lobo, 2014).

El agua conforma las tres cuartas partes de la superficie del planeta. Se considera a este recurso como prácticamente inagotable por que se encuentra accesible para todos los requerimientos de la humanidad, no obstante de toda esa cantidad solamente una pequeña parte puede sea aprovechada de manera directa, tomando en cuenta que el 96 % es agua salada, localizada principalmente en los océanos y mares; el 3% restante es dulce, y solamente el 1% se encuentra en estado líquido tales como lagos, ríos, lo que le hace fácilmente accesible al ser humano. Sin embargo esta cantidad de agua dulce está siendo deteriorada en su calidad, lo que dificulta la obtención del mismo para el mantenimiento del ser humano en general y para el soporte de las actividades agrícolas y técnicas (Coral, 2013).

Ante este análisis debemos considerar si el agua es abundante e inagotable, ya que para el consumo humano solo se cuenta con una pequeña parte de todo el recurso hídrico existente en nuestro planeta.

La calidad del puede verse afectada y modificada por las actividades antropogénicas desarrolladas cerca de los sistemas fluviales como, ríos, lagos, entre otros, provocan un impacto negativo en la salud humana y en los ecosistemas. La contaminación de los recursos hídricos del Ecuador como el vertido de sustancias químicas, orgánicas e industriales ocasionan cambios en las características físicas, químicas y biológicas del agua alterando el equilibrio ambiental (SENAGUA, 2012).

La importancia de contar con información de la calidad de agua ha llevado a realizar numerosos estudios en búsqueda de los índices que permitan una interpretación confiable del estado actual de los ecosistemas fluviales. A su vez se utilizan organismos indicadores para generar índices bióticos debido a que son considerados como excelentes sensores ambientales principalmente algas marinas como las diatomeas bentónicas y epilíticas (García 2012).

Durante el siglo XIX la microscopia era considerado como un pasatiempo para algunos científicos, encontraron un aspecto estético muy agradable a las diatomeas considerándolos como objetos de interesante observación (Wetzel, 2006).

La base de la taxonomía moderna se creó durante este período y muchos nombres propuestos por los autores tales como G. Ehrenberg y T. Kützing son ahora muy utilizados en la taxonomía moderna de diatomeas (Marsson 1908). La morfología de las diatomeas se basa en su estructura compuesta por sílice la cual confiere una gran resistencia frente a factores ambientales extremos, esta estructura permanece intacta incluso después de la muerte del organismo (Barber *et al.*, 1981).

Se estima que el número de especies existentes de diatomeas es de 200.000 y solo 15.000 especies han sido descritas, actualmente se conoce 350 géneros de los cuales 155 han sido extintos y solo se conoce su registro fósil (Mann *et al.*, 1999).

Las diatomeas son un grupo grande y diverso de algas unicelulares, que se distribuyen en todo el mundo en la mayoría de los sistemas acuáticos. Su importancia radica en la capacidad que poseen para registrar rápidamente los cambios en las características fisicoquímicas del agua (Lobo, 2014).

Son organismos muy sensibles a los cambios ambientales, y su composición y distribución puede estar influenciada por un número de factores hidrológicos, climáticos, fisicoquímicos y biológicos (Urrea *et al* 2009). Todas estas características hacen que estos organismos sean adecuados sensores naturales de la calidad ambiental de sistemas fluviales (Wetzel *et al*, 2006).

Los primeros estudios para evaluación de la calidad de aguas dulces utilizando diatomeas iniciaron en 1909 realizado por Kolkwitz y Marsson, a través de la introducción del sistema de saprobios el cual se basa en el reconocimiento y la clasificación de organismos indicadores de la contaminación orgánica (Lobo, 2007).

Según Sladeczek (1973) un sistema de saprofitos define como un sistema de organismos animales, plantas, algas, bacterias) que indican por su presencia, diferentes niveles de calidad de agua.

Estos estudios se han desarrollado principalmente para medir la contaminación orgánica del agua, los cuales se basan en estudios cuantitativos (abundancia de especies en cauces limpios hasta puntos de cauces muy contaminados) (Wetzel *et al*, 2006). Esta

clasificación es esencial para establecer índices de contaminación de las masas de agua, (Lobo *et al* 2004).

El índice biótico empleando diatomeas epilíticas más conocido y usado con frecuencia en Japón es el índice de Descy establecido en 1987, el cual ha sido desarrollado para el control de contaminación orgánica en los ríos japoneses (Watanabe *et al* 1998).

De manera similar se originan nuevos índices bióticos como el modelo Ziemann (1971,1991), el índice genérico de diatomeas descrita en 1988 (Rumeau e Coste 1988), el Índice Especifico de la sensibilidad para polución orgánica (SPI, Cemagref, 1982), índice de polución de diatomeas para eutrofización en Italia (EPI, Delluomo, 1996), índice saprobico Rott en Australia (Rott *et al.*, 1997) y el índice trófico de Schiefele e Kohmann propuesta en Alemania (Schiefele e Kohmann, 1993) (Lobo *et al*, 2014).

Todos estos sistemas utilizando diatomeas fueron satisfactorios para la evaluación de aguas y que actualmente siguen siendo utilizados para el biomonitoreo ambiental de los ríos. En la actualidad, las leyes establecidas en países desarrollados respecto a la calidad de agua establecen el uso de bioindicadores biológicos como microalgas, macroinvertebrados, etc. para evaluar la calidad de agua de ríos (Soler, *et al.* 2012). En cuanto al Ecuador no existen estudios relacionados a diatomeas como sensores medioambientales, a pesar de considerar a estos organismos como excelentes bioindicadores ambientales.

1.3. Importancia del estudio

El agua es un recurso natural de mayor importancia económica y social en el Ecuador, debido a que de este recurso depende el desarrollo de las actividades de la población; no obstante, estas actividades causan alteración y deterioro de la misma (Torres *et al*, 2009).

En el Ecuador el agua es fuente de producción y energía, por esta razón es necesario conocer sus características y sus particularidades para concientizar a la población y mejorar el desarrollo sostenible del agua, gestionar los recursos hídricos es una actividad prioritaria que debe realizarse a nivel de todo el país, para desarrollar estrategias de protección del agua (Barriga, 1991).

El presente estudio pionero contribuirá a establecer un índice biótico basado en diatomeas epilíticas para determinar la calidad de los ríos Andinos del Ecuador, con el fin de identificar el grado de contaminación orgánica en la que se encuentra un determinado río. También servirá de fuente de datos relacionados con las diatomeas del Ecuador.

Este estudio representa el primer trabajo en Ecuador que propone el uso de diatomeas epilíticas como indicadores biológicos de la calidad de agua de los ríos andinos. Se han realizado con anterioridad estudios relacionados con diatomeas como la investigación realizada por Torres *et al* propuesto en 1996 basada en la distribución de la densidad fitoplanctónica en una estación costera del Ecuador para determinar mensualmente la biomasa de fitoplancton en relación con la corriente del niño. Otro estudio similar asociado a fitoplancton para determinar corrientes marinas es el trabajo realizado por María Elena Tapia en el 2002 titulado estudio de la comunidad fitoplanctónica en el Estuario Interior de Esmeraldas también está asociado con estos organismos en cuanto a la abundancia y distribución de especies. Ninguno de estos trabajos contempla el uso específico de diatomeas epilíticas como bioindicadores de calidad de aguas de sistemas dulceacuícolas.

Este índice biótico es un método muy económico y apropiado para determinar la calidad de agua de los ríos Andinos debido a su alta capacidad para registrar rápidamente cambios en la composición fisicoquímica.

1.4. Objetivo

1.4.1. Objetivos Generales:

- Establecer un índice biótico para determinar la calidad del agua de los ríos andinos del Ecuador, basado en poblaciones de diatomeas epilíticas.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Conocer las especies de diatomeas epilíticas presentes en los ríos andinos del Ecuador
- Identificar patrones de distribución macro espacial de diatomeas a partir de la caracterización de poblaciones de especies.

1.5. Características del sitio del proyecto.

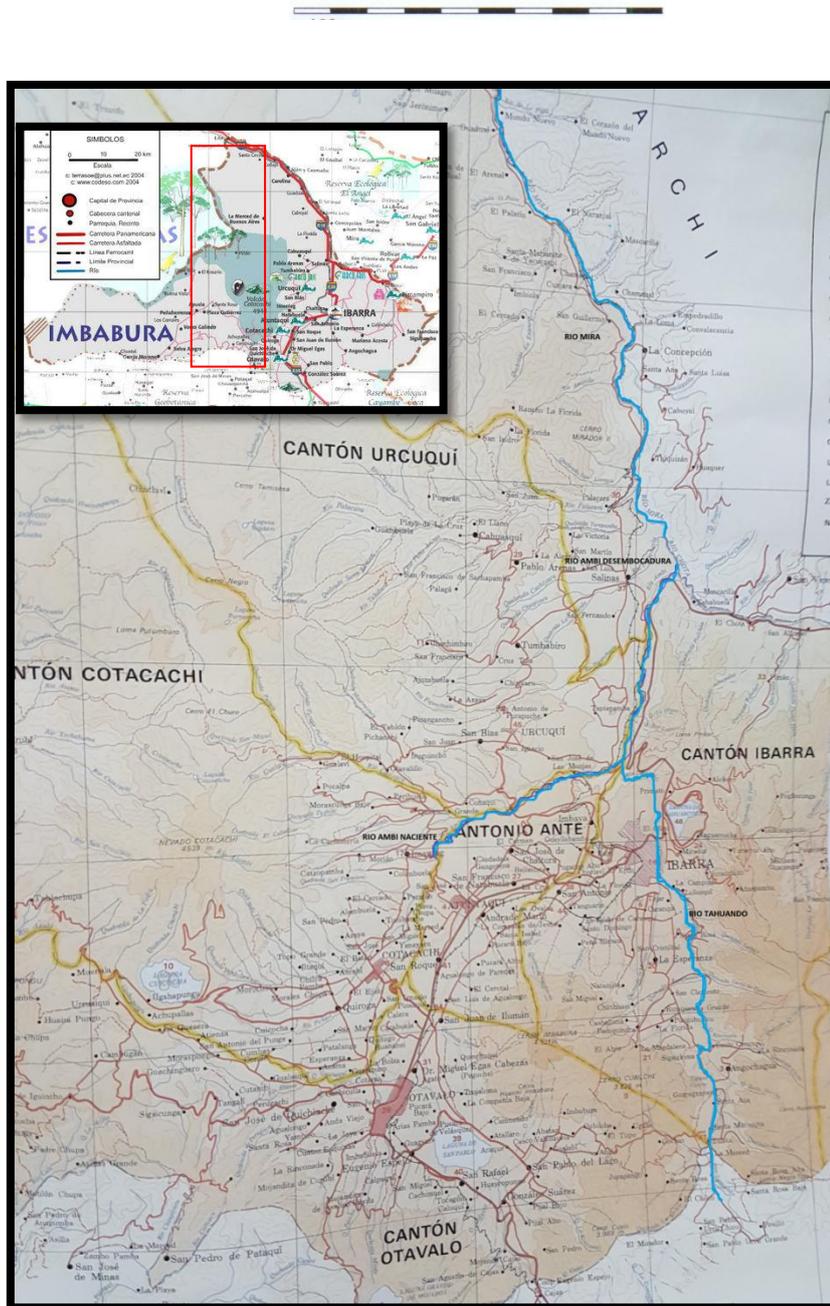
El presente estudio se llevó a cabo en el río Ambi ubicado al noreste del Ecuador en la provincia de Imbabura. El río Ambi posee un cauce de 2.500 litros por segundo, el área de drenaje del río tiene un área aproximada de 736 km² (Reascos 2015).

Una parte del cauce se encuentra en la región interandina mientras que otra parte del cauce se encuentra en la cordillera occidental de los Andes (Almeida, 2012). Se seleccionó este río ya que se presume que cuenta con diferentes niveles de eutrofización.

En cuanto a las condiciones fisicoquímicas del río Ambi se considera a la parte baja del cauce como altamente contaminado en particular con materia orgánica y bacterias, entre las cuales se han tipificado bacterias relacionadas con enfermedades gastrointestinales (Cabrera 2002)

El agua de la parte baja de la cuenca del Ambi es deficitaria. El uso del agua se distribuye de la siguiente manera: riego 59%, uso industrial 35 % y el 6% restante para uso doméstico (Proderena, 2013).

**Figura 1 Mapa de Imbabura
ECUADOR- ESCALA 1:500.000**



Fuente: (Prefectura de Imbabura, 2016).

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Estado actual del conocimiento científico

Actualmente para evaluar la calidad de aguas de los ríos se realiza monitoreo de los parámetros iniciales tales como parámetros físicos, químicos y biológicos. Según Coral (2013) señala que los parámetros físicos no son índices absolutos de contaminación y son aquellos que se pueden distinguir en el agua sin ayuda de técnicas específicas, es decir las características organolépticas. Los parámetros físicos más importantes son olor, color, turbidez, sólidos disueltos, temperatura y conductividad.

En cuanto a los parámetros químicos son muy importantes para definir la calidad de agua y son usados para identificar y cuantificar agentes que causan la contaminación. Los parámetros más frecuentemente utilizados son: pH, sólidos disueltos(mg/L), conductividad eléctrica (uS/cm) y mediciones de sales disueltas en el agua como Cloruros, Fluoruros, Fenoles, entre otros compuestos que pueden encontrarse de manera natural o artificial dependiendo del estado en la que se encuentre el agua (Coral, 2013).

Para determinar la calidad de agua se utiliza el parámetro de medición de la materia orgánica de compuestos presentes en las aguas contaminadas tales como compuestos nitrogenados (CHONS), grasas, aceites y carbohidratos (CHO). Los cuales se basan en la oxidación de la materia orgánica, midiendo la cantidad de oxidante consumido, o de los subproductos de la contaminación (MOPT, 1992).

La demanda Química de oxígeno DQO (mg/L), es el principal parámetro de control ambiental de aguas, ya que proporciona una idea exacta de los niveles de contaminación de los sistemas fluviales a través de la medición de la materia orgánica e inorgánica presente en el agua, susceptible de ser oxidada químicamente utilizando reactivos con alto poder oxidante (Coral, 2013).

La demanda Bioquímica de Oxígeno conocida como DBO₅ (mg/L) es un parámetro mediado por microorganismos, los cuales procesan la Materia Orgánica y producen CO₂ Y H₂O, la demanda bioquímica de oxígeno se mide mediante la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos para oxidar la materia orgánica, comúnmente este análisis se refiere a una incubación de 5 días (Tejero, 2001).

Sin embargo existen algunas limitaciones como: largos períodos de tiempo para la obtención de resultados, necesidad de pre tratamiento, disponibilidad de microorganismos aclimatados (Coral, 2013).

En cuanto a parámetros biológicos Coral (2013) afirma que para monitoreo de agua se utilizan índices de diversidad de especies como parámetro de calidad de aguas de ríos y lagos, el cual se basa en la tolerancia de especies a ciertos niveles de contaminación. Debido a que su presencia o ausencia pueden indicar las características fisicoquímicas del agua.

Los biólogos usan frecuentemente organismos bioindicadores de contaminación y también como generadores de tratamiento biológico de aguas. Los coliformes son un grupo bacteriano frecuentemente utilizados como indicadores de contaminación fecal mayormente los géneros *Escherichia* y *Aerobacter* son los más empleados. Los niveles recomendados de coliformes son:

Tabla 1: Valoración indicativa del grado de contaminación utilizando coliformes

Valoración	Agua	
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	Coliformes totales (NMP/100ml)
No contaminado	0%-20% > 200	0%-20% > 1000
Contaminación Media	41% - 60 % > 200	41% - 60 % > 1000
Contaminación Alta	61% - 100 % > 200	61% - 100 % > 1000

(Fuente: Garay *et al*, 2001).

Las técnicas tradicionales para determinar la calidad de aguas se basan en la utilización de los parámetros anteriormente descritos, la información que proporcionan es muy importante, pero estos métodos pueden no reflejar adecuadamente la calidad del agua debido a que los sistemas fluviales se encuentran en constante cambio (variación diaria de vertidos urbanos, clima, ciclos de producción industrial, etc.). Además, los parámetros químicos son incapaces de controlar todos los agentes contaminantes, debido a la aparición de nuevos

compuestos algunos de los cuales son difíciles de analizar mediante los métodos actuales (Tejero *et al*, 2001).

El factor económico se debe considerar para poder analizar la calidad de agua principalmente la de los ríos debido a su extenso cauce y a toda su cuenca hidrográfica mediante los métodos tradicionalmente utilizados es necesario un número considerable de muestras, así como valorar algunos parámetros en cada una de ellas. Todo esto supone un coste económico considerable (Coral, 2013)

Algunos países han dependido esencialmente de los parámetros fisicoquímicos para evaluar la calidad del agua para poder interpretar el grado de alteración de los sistemas acuáticos. Algunos de estos parámetros se basan exclusivamente en el análisis de las condiciones físicas y químicas. No obstante, los efectos de la contaminación se detectan si son dispuestos en el momento, es decir los resultados son puntuales y no revelan la evolución de un contaminante y su capacidad incidente en los sistemas acuáticos (Toro, et. al. 2003).

2.2. Índices de Calidad

Tomando en cuenta que los parámetros de control anteriormente descritos presentan algunas desventajas (Coral, 2013), se originan los índices de calidad de agua que surgen como una herramienta simple para la evaluación del recurso hídrico que consiste en la integración de uno o más parámetros que sirven como expresión de la calidad de agua (Torres *et al*).

Según Reolón director de la calidad ambiental de Buenos Aires Argentina en el 2010 estableció que los índices de calidad se clasifican según el parámetro de control utilizado.

Se destacan los siguientes:

- a) **Índices bióticos:** se basan en fauna acuática como microorganismos bentónicos o epilíticos, macroinvertebrados, peces, etc.
- b) **Índices hidromorfológicos:** se basan en el régimen hidrológico, la continuidad del río y sus condiciones morfológicas.

c) **Índices fisicoquímicos:** se basan en el conjunto de parámetros físicos y químicos para determinar el estado actual de los cuerpos de agua.

2.2.1. Índices Bióticos

La biomasa de algas se utiliza para el biomonitoreo de sistemas acuáticos, utilizando diatomeas por su sensibilidad a la contaminación. Al menos 18 índices bióticos basados en diatomeas se han desarrollado universalmente y se utilizan para evaluar los ambientes acuáticos son utilizados ampliamente en Europa principalmente en Francia (Coste *et al* 2005)

Para tratar de integrar todos los indicadores y presentar resultados de una forma más resumida y sencilla, se ha establecido en los últimos años la utilización de índices de calidad, cuyo objetivo es obtener un valor establecido que defina el estado de un río a partir de diferentes indicadores específicos. La ventaja de utilizar índices es que ofrece una sola cifra que puede ser directamente comparada con las condiciones de un río y determinar la calidad de agua (Lobo *et al* 2014).

Los índices bióticos se han desarrollado principalmente para medir la contaminación orgánica en el agua, con referencia a las diatomeas los índices se basan en estudios cuantitativos (abundancia relativa de especies o densidad poblacional) de los puntos de muestreo de los ríos que van desde el cauce limpio hasta el cauce más contaminado del río (Wetzel, 2006). A partir de estos datos se han desarrollado tablas con valores establecidos de la tolerancia de las diatomeas a factores ambientales como la contaminación, estas clasificaciones son esenciales para calcular los índices numéricos de la contaminación del agua como el índice Descy descrita en 1987 por Leclerq Descy y utilizado principalmente en Japón (Descy & Coste 1991).

Los ecosistemas acuáticos se enfrentan a muchos problemas de contaminación debido a la urbanización y el desarrollo rural. Recientemente, los estudios se han centrado en los efectos de la polución del agua (Lobo *et al* 2014).

En comunidades de diatomeas, Sin embargo, se sabe muy poco acerca sistemas fluviales del Ecuador, En este estudio, se determinó la distribución de diatomeas epilíticas y su relación con el medio ambiente.

Esta investigación se basa en los índices bióticos utilizando diatomeas epilíticas como bioindicadores ambientales, ya que se encuentran abundantemente en los sistemas acuáticos. Coral (2013) afirma que existen algunas ventajas de utilizar indicadores biológicos:

- a) Los seres vivos se comportan como analizadores continuos del estado del agua y gracias a ellos se puede detectar rápidamente cambios en la calidad de agua.
- b) El coste económico de la utilización de los organismos bioindicadores es relativamente bajo en comparación con los métodos fisicoquímicos.
- c) La recolección de muestras y su análisis es más sencillo que algunos métodos convencionales de monitoreo ambiental para la calidad de agua.

El concepto de indicador biológico se originó a través de Jhonson en 1993, definiendo lo siguiente:

Especie indicadora es una especie, o una asociación de especies que representa requerimientos específicos para un conjunto de variedades físicas y químicas, de tal forma que los cambios en la presencia o ausencia, número, morfología, fisiología, o comportamiento indicara las actuales condiciones fisicoquímicas de los sistemas fluviales.

Con relación a las diatomeas los índices bióticos de calidad de agua están basados en análisis cuantitativos (densidad y abundancia de especies). A partir de la investigación realizada por Lobo *et al.* (2004) numerosos estudios de índices de calidad de agua en Centroamérica y Sudamérica fueron realizados. El cual indica el grado de contaminación de un sistema fluvial de agua en Centroamérica y Sudamérica.

Actualmente se ha realizado estudios taxonómicos basados en diatomeas en Brasil por el Doctor Eduardo Lobo *et al.* En 1995 realizó un estudio basado en la diversidad de especies las cuales fueron analizadas y clasificadas para crear un índice biótico.

Lobo *et al* (1995) organiza a las diatomeas de acuerdo a la abundancia relativa de especies y a patrones de distribución expresados en forma numérica para evaluar la

contaminación en sistemas acuáticos. Cada especie es catalogada con un valor basado en la tolerancia de contaminación.

Johnson *et al* 1993 realiza un aporte científico para contribuir con el índice biótico desarrollando estudios basados en técnicas de detección del grado de eutrofización en los ríos.

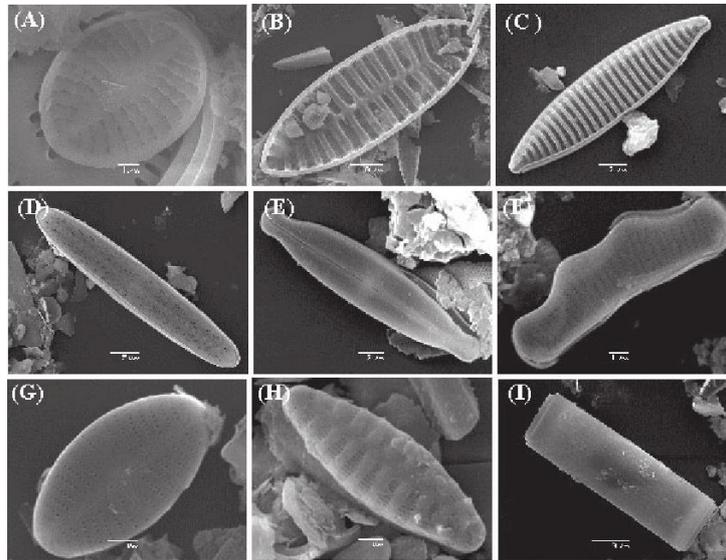
Determinaron zonas limpias libres de contaminación orgánica y zonas fuertemente contaminadas con carga orgánica. los autores reconocieron cuatro zonas de contaminación: Oligotrófico o zona de aguas puras no contaminadas, β -Mesosapróbica o zona levemente eutrofizada conocida también como zona de eutrofización débil, α - Mesosapróbica o zona moderadamente contaminada y zona eutrofizada o zona fuertemente contaminada.

Se entiende como eutrofización al excesivo acumulo de materia orgánica como plantas y algas debido al aumento de uno o más nutrientes. (Schindler 2006).

La eutrofización se produce de forma natural, sin embargo, las actividades humanas han acelerado la velocidad y el grado de eutrofización a través de descargas contaminantes a los afluentes hídricos que contienen altos niveles de nitrógeno y fosforo modificando el estado natural de los ecosistemas hídricos como los ríos (Carpenter, 1981).

Otra importante contribución en el estudio de diatomeas fue introducida por el científico Round en el año 1990 que utilizo la técnica de barrido electrónico, el cual se basa en colocar a la muestra una capa de carbono o una capa delgada de metales como el oro para inducir la conductividad, posteriormente se barre la superficie con electrones los cuales serán detectados mediante un detector de electroimanes, el cual es capaz de mostrar imágenes digitales en tres dimensiones este estudio ha permitido la observación de diferentes estructuras morfológicas de diatomeas que con el microscopio óptico no se podía observar.

Figura 2: Fotografías al microscopio electrónico de barrido de valvas de diatomeas encontradas en los sedimentos de los lagos andinos: (A) *Especie sp.* vista interna, (B) *Surirella linearis*, vista interna, (C) *Staurosira sp.*, vista externa, (D) *Caloneis sp*



Fuente: www.researchgate.net

Es importante señalar que Actualmente en el Ecuador no se ha realizado estudios asociados exclusivamente con diatomeas epilíticas para el monitoreo de la calidad de agua en los ríos, tomando en cuenta que este es un recurso que favorece el bienestar de la población y el crecimiento económico y social, el agua tiene un impacto positivo en la salud humana y en el medio ambiente. La falta de estudios relacionados con la calidad de agua en el Ecuador, es uno de los principales factores que impide el conocimiento de la biodiversidad y la sostenibilidad de los sistemas acuáticos.

2.3. Diatomeas

Las diatomeas son uno de los grupos más importantes que conforman la comunidad de fitoplancton de ambientes continentales. Juega un papel importante en los ecosistemas acuáticos ya que participan como el eslabón inicial en la cadena alimentaria, y sobre todo como productores primarios (Wetzel, 2006).

Son organismos unicelulares clasificados como algas, son caracterizados por presentar una pared inorgánica conocida como frústulo compuesta por sílice polimerizado ($\text{Si}_2 \text{nH}_2\text{O}$). El frústulo está dividido en dos partes llamadas valvas, una valva grande denominada hepiteca, y una valva más pequeña denominada hipoteca (Raven *et al.*, 1996)

Dentro de las principales características taxonómicas de estos organismos son sus estructuras de sílice internas que pueden estar formadas por crestas, estrías o poros y su estructura externa llamada heterovalvidade formada por el manto y las valvas (Cox, 1996).

Se dividen en dos grandes grupos diatomeas bentónicas las cuales viven en contacto con los sedimentos que se encuentran en el fondo de los ríos y diatomeas epilíticas que se encuentran adheridas a sustratos fijos en la superficie de los ríos, en este trabajo de investigación se utilizarán las diatomeas epilíticas debido a que se encuentran adheridas a sustratos como rocas, sedimentos, etc., suponiendo puntos fijos de monitoreo ambiental. Las diatomeas usan los pigmentos de clorofila para recoger la energía del sol a través de la fotosíntesis. También contienen pigmentos como fucoxantina y beta caroteno, los cuales proporcionan un característico color dorado (Wetzel *et al*, 2006).

Round (1990) argumenta que las células de las diatomeas almacenan energía de la fotosíntesis en forma de chrysolaminarin (un carbohidrato) y lípidos (grasas en forma de aceites). La alta producción de lípidos en muchas especies de diatomeas ha creado un gran interés en estos organismos como fuente de biocombustibles. De hecho, como una de las fuentes globales importantes de la fijación de carbono, las diatomeas son ya un biocombustible importante para las cadenas alimentarias acuáticas. Se estima que la actividad fotosintética de diatomeas produce entre 20 y 40% de oxígeno de la tierra. (Lobo *et al* 1995).

Normalmente el ciclo de vida de las diatomeas comprende dos fases principales: una fase vegetativa prolongada que puede durar meses u años y otra fase más corta que puede durar horas la cual incluye reproducción sexual (gametogénesis o fertilización) esta fase dará lugar a nuevos organismos (Chepurnov *et.*, 2004).

Estos microorganismos bioindicadores son uno de los grupos más diversos, tanto en ambientes marinos como dulceacuícolas, y están siendo utilizados efectivamente para evaluar la calidad de aguas continentales (Wojtal *et al* 2012). Un aporte científico confiable de diatomeas permite hacer diagnósticos fundamentados sobre el estado ecológico de los sistemas acuáticos, también permiten establecer programas de monitoreo ambiental. No

obstante, el interés por conocer y utilizar la flora de diatomeas para monitoreo de ríos, lagos y arroyos en países desarrollados (Novero *et al* 2011).

Figura 3: Imagen de una población de diatomeas encontradas en ríos Andinos del Ecuador, observadas a través de microscopio óptico



Fuente: tomada por Rosero, 2016.

2.3.1. Ventajas y Desventaja de la utilización de las diatomeas como indicadores de la calidad de agua.

De acuerdo con los resultados del científico Hallawell (1986), asegura que los invertebrados como las algas son ampliamente recomendados como parámetros en los índices de la calidad de aguas dulces ya que son organismos ubicuos y por tanto pueden ser afectados por el ambiente en muchos sistemas acuáticos, además de que su naturaleza básicamente sedentaria permite desviar los efectos perturbadores sobre la distribución espacial de las especies.

Por otro lado dentro de las algas, las más recomendables para establecer índices de calidad de agua son las diatomeas epilíticas (Round, 1991; Lobo *et al.*, 2006) y las razones establecidas son las siguientes:

- I. Las diatomeas son organismos cosmopolitas, que se encuentran adheridos a sustratos como rocas y sedimentos de ríos, desde la naciente hasta la desembocadura de sistemas acuáticos como los ríos.
- II. Algunas especies de diatomeas son muy sensibles a factores ambientales como la contaminación, mientras que otras especies son muy tolerantes.
- III. Pueden ser fácilmente recolectadas en grandes cantidades en pequeñas superficies.
- IV. Responden a los cambios ambientales en corto y largo plazo
- V. Son organismos formados por una estructura de sílice la cual otorga una alta resistencia a altas temperaturas y pH.

Las desventajas de la utilización de este grupo de organismos ha sido descrita por (Round, 1993), siendo las siguientes: la necesidad de un conocimiento profundo de la taxonomía de las especies y el problema de la identificación de especies inertes en placas permanentes, por lo tanto Gillet *et al.*, (2009) realizaron una investigación para analizar las diferencias entre células vivas y muertas de diatomeas, las cuales pueden influenciar en el biomonitoreo de calidad de aguas. Los autores llegaron a la conclusión de que no mostraron diferencias significativas de los recuentos entre las células vivas e inertes.

2.4. Análisis de la Constitución del Ecuador con respecto al medio ambiente

La Constitución del Ecuador con respecto a la conservación de los recursos naturales y al medio ambiente en el 2008 establece lo siguiente:

Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos:

Sección I. Mejorar la calidad y esperanza de vida, y aumentar las capacidades y potencialidades

De la población en el marco de los principios y derechos que establece la Constitución.

Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que Garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad Al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio Natural.

Art. 313.- El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, Precaución, prevención y eficiencia.

Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas, las Telecomunicaciones, los recursos naturales no renovables, el transporte y la refinación De hidrocarburos, la biodiversidad y el patrimonio genético, el espectro radioeléctrico y el Agua.

Art. 317.- Los recursos naturales no renovables pertenecen al patrimonio inalienable e Imprescriptible del Estado. En su gestión, el Estado priorizará la responsabilidad Intergeneracional, la conservación de la naturaleza, el cobro de regalías u otras Contribuciones no tributarias y de participaciones empresariales; y minimizará los Impactos negativos de carácter ambiental, cultural, social y económico.

El Estado fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el Incentivo de alianzas entre lo público y comunitario para la prestación de servicios.

El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano.

De acuerdo a las leyes establecidas por la Constitución Ecuatoriana y las atribuciones conferidas por los artículos relacionados a los recursos naturales y al medio ambiente es derecho de todos los ecuatorianos como ciudadanos o entidades públicas, a cumplir con las leyes para garantizar la gestión eficiente de los recursos naturales y conservar la naturaleza, manteniendo un ambiente sano y sustentable.

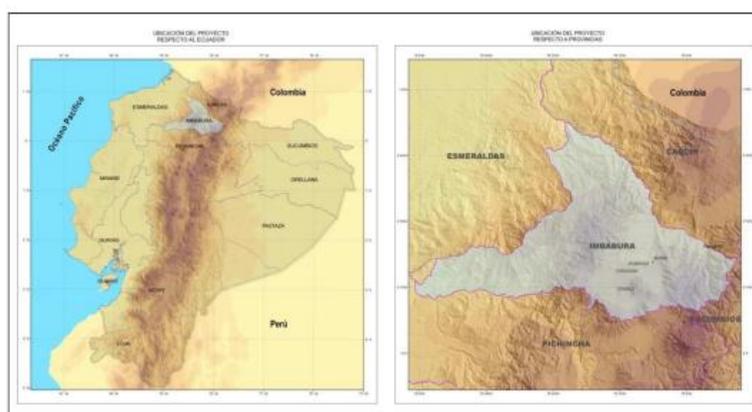
CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Descripción del Área de Estudio

El presente se realizó en la provincia de Imbabura que tiene una superficie de 4,608 Km², con una población de 450.135 habitantes, de acuerdo a los datos establecidos en la prefectura de Imbabura en el 2015. Limita al norte con la provincia del Carchi, al sur con la provincia de Pichincha, al este con la provincia de Sucumbíos y al Oeste con la provincia de Esmeraldas (Prefectura de Imbabura, 2015).

Figura 4: Mapa ubicación de la provincia de Imbabura



Fuente: Almeida, 2014.

3.2. Río Ambi

La investigación se realizó en el río Ambi posee un cauce de 2.500 litros por segundo, área de drenaje del río tiene un área aproximada de 736 km² (Reascos 2015). Se seleccionó este río ya que se presume que cuenta con diferentes niveles de eutrofización puesto que se encuentra sujeto a descargas continuas de aguas residuales y basura generadas por la población y por las diferentes industrias asentadas en la ribera del río según Reascos director de la junta de sistema de riego del Ecuador MAGAP (2015). Además el fácil acceso a cada punto de muestreo para la recolección de las muestras favorece en la investigación.

En cuanto a la calidad del agua en el nacimiento del río Ambi, el agua es de apariencia cristalina debido a que el cauce desciende desde el cerro Imbabura. En cuanto al cauce bajo o desembocadura del río, el agua tiene un color turbio marrón (Almeida, 2014).

En la investigación de campo también se observó que el cauce bajo del río Ambi es utilizado por los habitantes de esa zona para el lavado de ropa, además de descargas de basura y escombros al río (Figura 8).

Figura 5: Puntos de muestreo de los cauces del río Ambi.



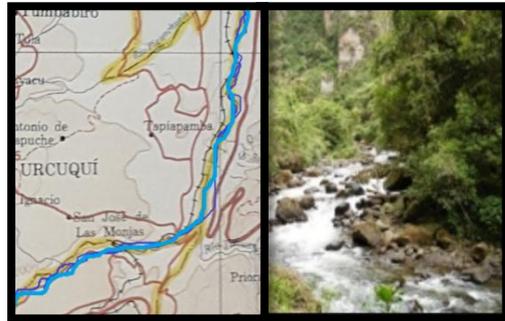
Fuente: Prefectura de Ibarra, 2016

Figura 6: Cauce alto o nacimiento del río Ambi



Fuente: Prefectura de Imbabura 2016; Rosero, 2016

Figura 7: Cauce medio rio Ambi.



Fuente: Prefectura de Imbabura 2016; Rosero, 2016

Figura 8: Cauce bajo o desembocadura del rio Ambi.



Fuente: (Prefectura de Imbabura, 2016; Rosero, 2016)

3.3. Toma de muestras

Los puntos de muestreo en el río Ambi se tomaron desde la desembocadura del río Ambi hasta el nacimiento del río. El primer punto del cauce alto o nacimiento del río donde se recolectó las muestras fue aproximadamente a 1000 metros del cerro Imbabura en el cantón Antonio Ante de la provincia de Imbabura sus coordenadas geográficas fueron las siguientes 0°24'25.4"N 78°17'21.1"W.

El segundo punto del cauce medio del río donde se tomaron las muestras fue en el cantón Urququí de provincia de Imbabura sus coordenadas geográficas fueron las siguientes 0°22'38.2"N 78°11'39.4"W.

El tercer punto del cauce bajo o desembocadura del río donde se tomaron las muestras se tomó a 100 metros antes del río Chota (afluente donde desemboca el río Ambi) sus coordenadas geográficas fueron las siguientes 0°24'05.2"N 78°08'03.2"W.

Las muestras del material fitoplanctónico fueron recolectadas de cada punto descrito anteriormente desde el 16 de Octubre del 2015 hasta el 26 de Marzo del 2016 con una frecuencia de muestreo de dos meses, en períodos climáticos templado-secos con el fin de evitar condiciones hidrológicas extremas que puedan interferir con nuestra investigación.

Las muestras de diatomeas se tomaron de rocas completamente sumergidas en el agua, aproximadamente de 20 a 30 cm de diámetro. Las cuales fueron raspadas con ayuda de un cepillo. La fijación y preservación de las muestras se hicieron inmediatamente con el fin de evitar contaminación (Lobo *et al.*, 2010).

Se midieron parámetros fisicoquímicos y biológicos como temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, Coliformes totales, Nitrógeno amoniacal (NH₃-N), demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO₅) en el campo y en el laboratorio de las muestras de agua de cada punto para establecer una relación entre las diatomeas epilíticas presentes en cada tramo del río y los factores ambientales.

3.4. Procesamiento de muestras

Una vez que se recolectó el material de las rocas se tomaron 10 ml de la muestra y se colocó en un tubo de ensayo al cual se añadió agua destilada, seguido por la centrifugación del material, luego se desechó el sobrenadante y se añadió 6mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) con ayuda de una pipeta tocando la pared del tubo de ensayo, posteriormente se colocó la muestra a hervir por aproximadamente 60 minutos en un vaso de precipitación con pequeños fragmentos de porcelana para evitar el riesgo de quebrar los tubos por el burbujeo del agua. Se dejó enfriar.

A continuación se añadió 0,8 gramos de dicromato de potasio en cada tubo ($K_2Cr_2O_7$) y se calentó a 90 grados centígrados por aproximadamente 60 minutos. Se dejó reposar por 24 horas para continuar con el tratamiento. Luego se centrifugó la muestra a 3000 rpm por dos minutos para retirar el dicromato potásico, se descartó el sobrenadante en un recipiente de desechos tóxicos, posteriormente se añadió agua destilada a la muestra y se realizó esta operación hasta que la muestra este completamente transparente.

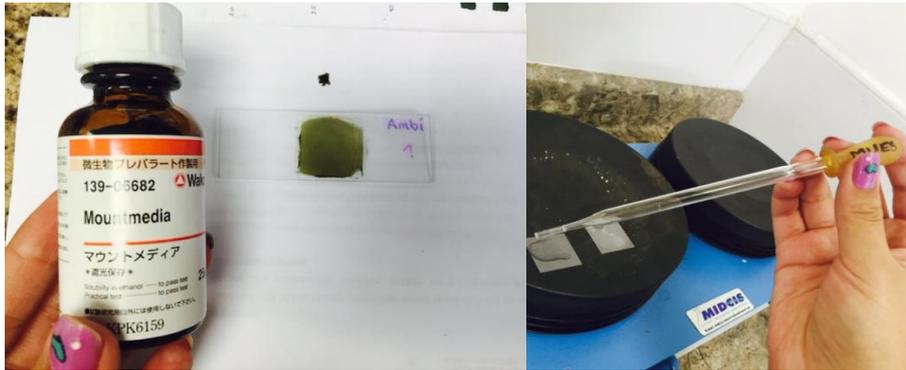
Se colocó la muestra en tubos más pequeños previamente etiquetados y se añadió 2 mL de ácido clorhídrico (HCL) para remover la materia orgánica, luego se colocó la muestra a hervir por aproximadamente 60 minutos. Se dejó enfriar. Posteriormente se descartó el sobrenadante en un recipiente de desechos tóxicos y se añadió agua destilada al sedimento para llevar nuevamente a centrifugación a 3000 rpm durante 2 minutos, se realizó esta la operación con el objetivo de retirar todo el HCL de las muestras (Lobo *et al.*, 2010).

3.5. Fijación de muestras en placas permanentes.

Para la fijación de la muestra se tomó un cubreobjetos (18 x 18mm) y se colocó en la plancha de calentamiento, se añadió unas gotas de la muestra de diatomeas con ayuda de una pipeta Pasteur, luego se añadió 2 a 3 gotas de agua destilada para homogenizar la muestra, también se añadió algunas gotas de etanol al 70 % para que toda la muestra quede esparcida y no se formen acumulaciones de diatomeas (Round, 1993), posteriormente se esperó hasta el secado completo del cubreobjetos en la plancha de calentamiento a una temperatura aproximada de 80 grados centígrados, evitando la ebullición de las muestras.

Después del secado el cubreobjetos se invirtió y se colocó en un portaobjetos que contiene una pequeña gota de Naphrax, que es un medio de montaje con un alto índice de refracción, el portaobjetos se colocó sobre la plancha de calentamiento hasta la evaporación completa del Naphrax, finalmente se etiquetó las placas. (Lobo *et al.*, 2010).

Fotografía 1. Montaje de placas permanentes

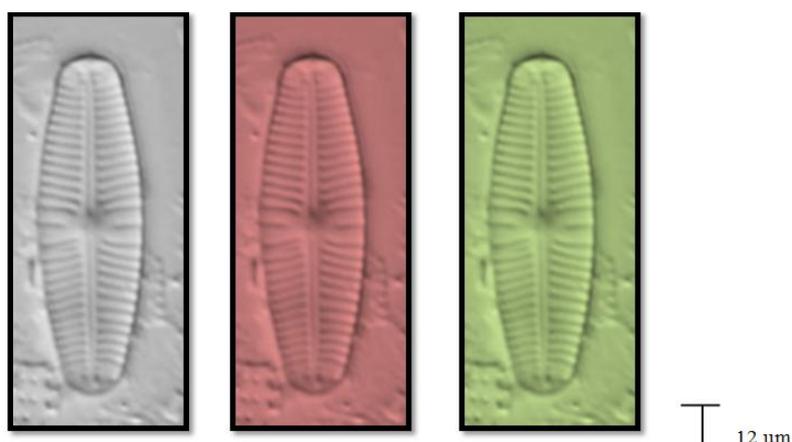


Realizado por: Kathy Rosero, 2016.

3.6. Microscopía óptica (MO): Captura y procesamiento de imagen.

Para examinar las placas permanentes se utilizó el microscopio binocular Olympus equipado con una cámara digital, también se utilizó el software Applied Vision 4 (Ken-A-Vision digital). Se registró las medidas de longitud y el número de especies de diatomeas. Para el formato y edición de imágenes se utilizó el software Adobe Photoshop CS © (Adobe Systems Incorporated) tomadas las imágenes se tomaron con el lente (100x).

Figura 9: *Diatomea Geissleria Schoenfeldii* con su medida, tomada desde microscopio Olympus por el software Applied Vision 4



Realizado por Rosero, 2016

3.7. Medición de parámetros Fisicoquímicos:

Para medir el pH, la conductividad, temperatura y oxígeno disuelto de cada muestra se realizó con ayuda de un medidor multiparametro portátil HQ40d de HACH, el cual se conecta con sondas que reconocen automáticamente el parámetro que se está midiendo en el agua.

Se determinó el Nitrógeno disuelto en el agua en forma de amoníaco con ayuda del espectrofotómetro y el programa de HACH 2400 *N Ammonia Nessler*, cuya longitud de onda a 425 nm fue seleccionado automáticamente. Se prepararon las muestras en celdas de 25 ml y para la muestra blanco se utilizó agua destilada. Luego se adicionó tres gotas de estabilizador mineral. Posteriormente se añadió tres gotas de agente dispersante Alcohol Polivinil a cada muestra y se mezcló suavemente. Por último se colocó un mililitro del reactivo de Nessler a las muestras y se mezcló para homogenizar la solución. Se presionó el botón STAR TIME para comenzar con la reacción la cual se realizó en aproximadamente 1 minuto. Los resultados se observaron en la pantalla en unidades de mg/L de Nitrógeno Amoniacal.

Fotografía 2: Espectrofotómetro, equipo para la determinación de Nitrógeno Amoniacal



Realizado por: Kathy Rosero, 2016

Para realizar la demanda bioquímica de Oxígeno (DBO_5) se tomó 400 ml de cada muestra de agua de cada cauce del río y se saturó con oxígeno utilizando una bomba de aire. Luego 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.

Para medir la demanda química de oxígeno de las muestras (DQO) se realizó mediante el método de digestión por reactor, con el uso de viales TNTplus. Método 8000 de HACH. Rango: 20-1500 mg/l DQO (HACH® Company, 2016).

Fotografía 3: Demanda química de oxígeno (DQO) viales TNTplus



Realizado por Kathy Rosero, 2016

3.8. Medición de los parámetros biológicos

Para medir los coliformes totales presentes en los cauces del río Ambi se realizó un cultivo bacteriano utilizando BBL Endo Agar, el cual es muy utilizado como base para la detección de organismos coliformes. Se añadió 20 gramos de Endo Agar en 500 mililitros de agua destilada caliente y se agitó para mezclar el material. Para realizar el cultivo microbiano se utilizó placas Petri en las cuales se vertió el caldo de cultivo caliente y previamente esterilizado. Se tomó 200 microlitros de cada muestra de cauce alto, medio y bajo y se colocó en el Endo Agar gelificado con ayuda de un aza de cultivo. Las muestras se incubaron a 37 grados centígrados durante 24 horas.

Fotografía 4: Colocación de caldo de cultivo en cajas Petri



Realizado por: Kathy Rosero, 2016.

3.9. Cálculo de la abundancia de especies.

Para calcular las especies más abundantes de cada cauce se utilizó un microscopio Olympus. Fueron identificados y cuantificados los organismos para obtener una población de manera significativa, se contaron 600 valvas estimándose la abundancia relativa de cada taxón en la muestra.

Se utilizó la fórmula descrita por Leighton *et al*, 1986:

Fórmula 1. Abundancia de especies (AE):

$$Abundancia\ de\ especies\ (AE) = \frac{número\ de\ especies}{número\ de\ individuos}$$

A partir de los datos cuantitativos se calculó la diversidad de especies utilizando la fórmula 1.

3.10. Cálculo de valor trófico de especies.

Para calcular el valor trófico de cada especie se basó en un sistema preliminar propuesto por Lobo *et al.* (1996) 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 los valores de la DBO₅, teniendo en cuenta el grado de tolerancia de cada especie a la eutrofización.

3.11. Cálculo del índice biótico de calidad de aguas.

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 formula descrita a continuación:

Fórmula 2. Cálculo del Índice Biótico de calidad de aguas adaptado de Pantle y Buck (1955):

$$IBCA = \frac{\sum (vt \cdot h)}{\sum h}$$

En donde

vt= valor trófico de especies

h= abundancia relativa de especies

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

El índice trófico de calidad de aguas se estableció mediante la determinación de las especies abundantes de cada cauce del río (Tabla 2). La abundancia de cada una de las especies asociada a la DBO₅ nos sirvió para asignar un valor trófico a cada una de ellas, como se explica en el apartado 4.4. La eutrofización de cada cauce del río se determinó mediante la medición de factores abióticos tales como DBO₅, DQO, cuantificación de nitrógeno amoniacal y conteo de coliformes totales (Tabla 5).

Previamente al establecimiento de especies abundantes, se realizó la clasificación taxonómica de todas las especies de diatomeas epilíticas encontradas en los diferentes tramos del río como se muestra en el apartado 5 utilizando la siguiente bibliografía: (Iconografía Diatomologica de los Andes (2006); Diatoms of Uruguay (2000); Tropical Diatoms of South America (2010); Diatomeas Epilíticas en Sistemas Loticos Subtropicales de Brasil (2014).

4.1. Resultados de la Abundancia de Especies.

El análisis cuantitativo y la identificación de los taxones se realizaron mediante las siguientes referencias bibliográficas: Hustedt (1930); Bourrelly (1968); Germain (1981); Krammer et Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a); Lange-Bertalot et Krammer (1989) y Lobo *et al* en el 2014.

Se consideró una especie como abundante cuando su número fue superior a la razón entre el número de diatomeas totales dividido entre el número de especies que aparecieron en la muestra (Tabla 2, 3 y 4), según Leighton *et al*, 1986. Por lo tanto para el cauce alto se consideró un valor superior a 27, para el cauce medio un valor superior a 50 , y para el cauce bajo un valor superior a 66.

Durante el período de Octubre del 2015 hasta Marzo del 2016 se recolectaron muestras de diatomeas con una frecuencia de dos meses.

En los gráficos 1 a 12 se muestran el número de especies por cada tramo de río en los diferentes meses de recolección de muestras.

4.1.1 Resultado de abundancia de Especies cauce Alto.

Las especies de mayor abundancia en los meses de Octubre del 2015 a Marzo del 2016 fueron: *Luticola goeppertiana*, *Gomphonema lagenula*, *Adlafia muscora*, *Mastogera patens*, *Nitzschia amphibia*, *Navicula symmetrica*, *Amphipleura lindheimeri*.

Tabla 2. Especies de Diatomeas encontradas en el cauce Alto.

CAUCE ALTO	16/OCT/15	22/DIC/15	20/FEB/16	26/MAR/16	No.totalde individuos	Abundancia de spp. %
<i>Luticola goeppertiana</i>	44	50	42	24	40	6,66
<i>Gomphonema lagenula</i>	68	76	56	58	65	10,75
<i>Adlafia muscora</i>	44	40	54	66	51	8,5
<i>Mastogera patens</i>	16	34	30	64	36	6
<i>Nitzschia amphibia</i>	50	54	46	62	53	8,83
<i>Gomphonema pseudoaugur</i>	12	10	10	18	13	2,13
<i>Diatomea curvada</i>	30	26	36	6	24	4,14
<i>Cocconeis lineata</i>	12	10	4	8	9	1,41
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	8	4	14	6	8	1,33
<i>Encyonema minutum</i>	24	22	18	28	23	3,8
<i>Navicula cryptotenella</i>	4		14	4	3	0,91
<i>F. guayanensis spp. E.</i>	28	14	24	---	17	2,75
<i>H. bacillariophyta</i>	24	22	18	32	24	4
<i>Nitzschia linearis</i>	8	6	20	14	12	2
<i>Navicula vandamii</i>	22	24	34	26	27	4,41
<i>Diatomea curvada</i>	2	4	----	2	2	0,33
<i>Nitzschia palea</i>	6	10	8	8	8	1,33
<i>Navicula symmetrica</i>	60	54	46	66	57	9,41
<i>Amphipleura lindheimeri</i>	68	70	60	46	61	10,16
<i>Nitzschia amphibia</i>	24	30	22	20	24	4
<i>Gomphonea cf gracile</i>	24	19	23	22	22	3,66
<i>Nitzschia incospicua</i>	22	21	21	19	21	3,45
Núm. total de individuos	600	600	600	600	600	
Núm. total de especies	22	21	21	21		100

Realizado por: Katherine Rosero, 2016

Gráfico 1. Análisis de abundancia de especies del cauce Alto de Octubre 2015

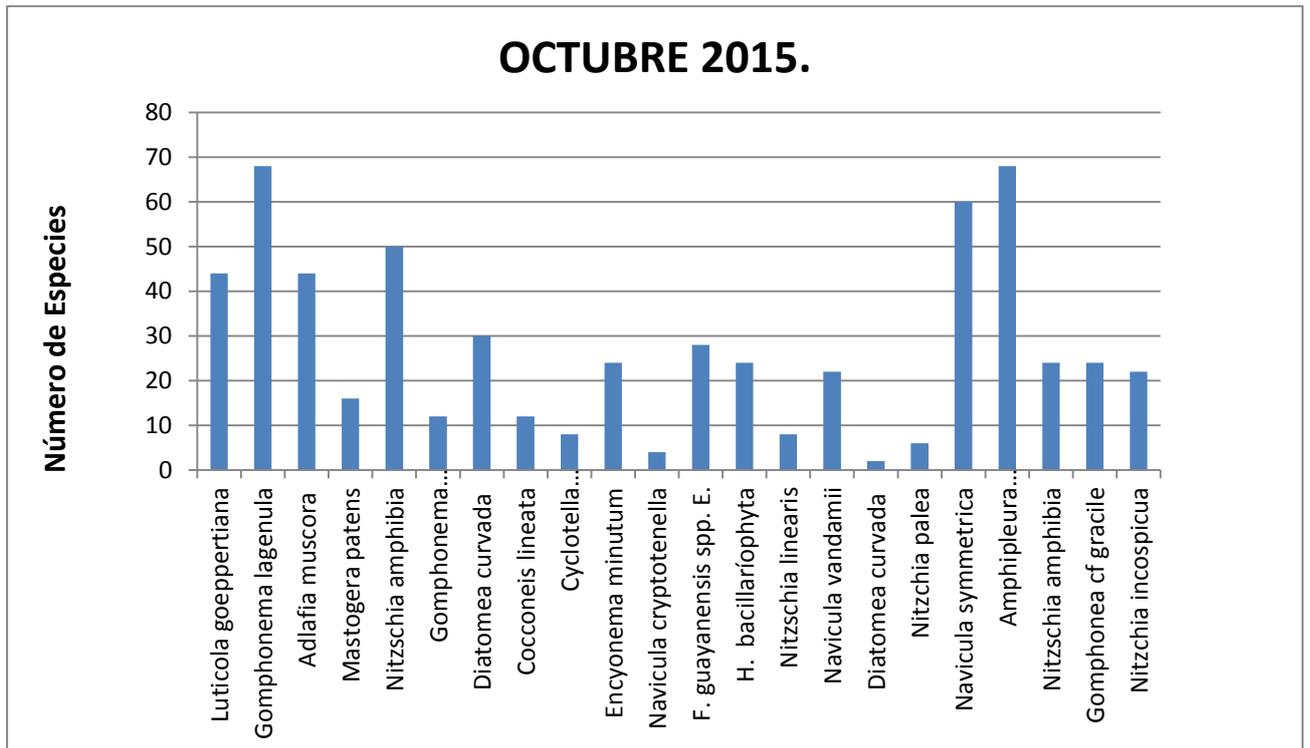


Gráfico 2. Análisis de abundancia de especies del cauce Alto de Diciembre 2015.

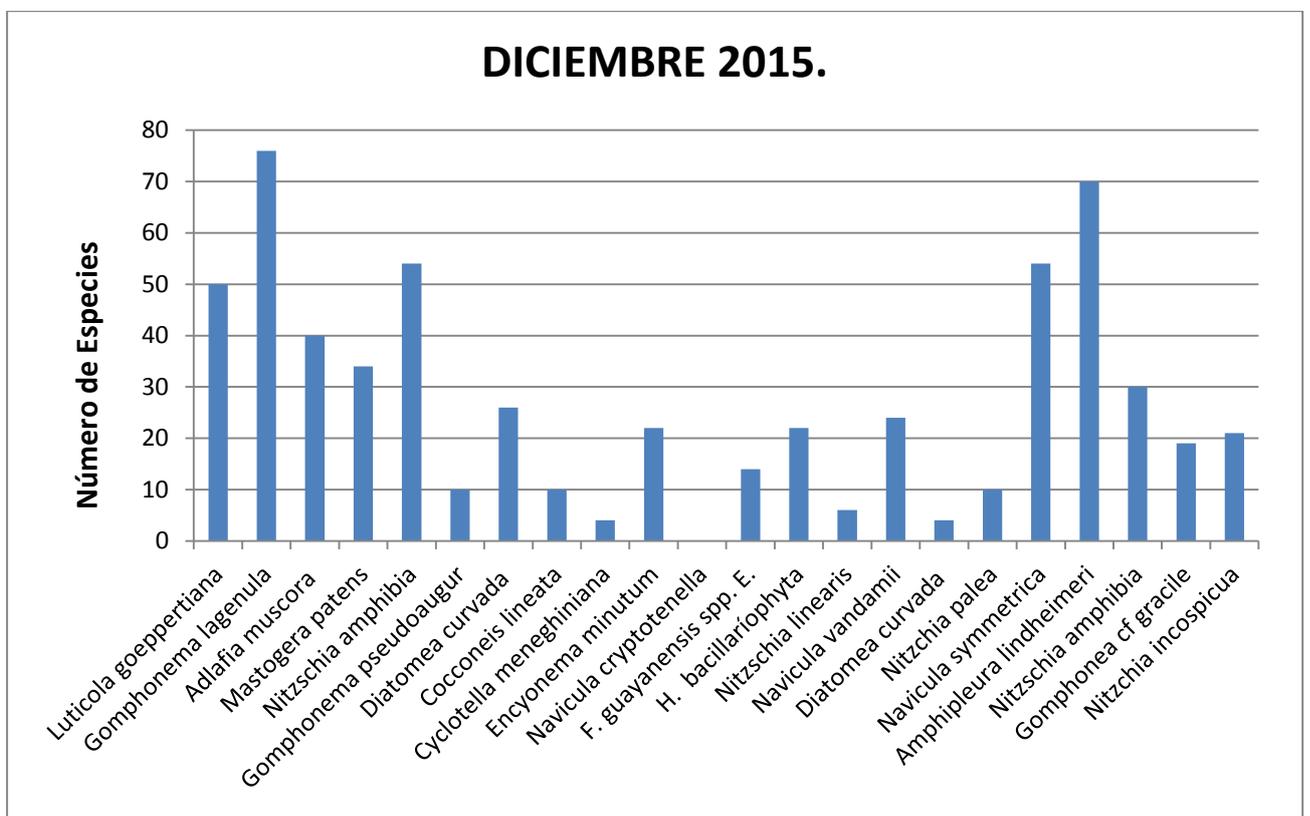


Gráfico 3. Análisis de abundancia de especies del cauce Alto Febrero 2016.

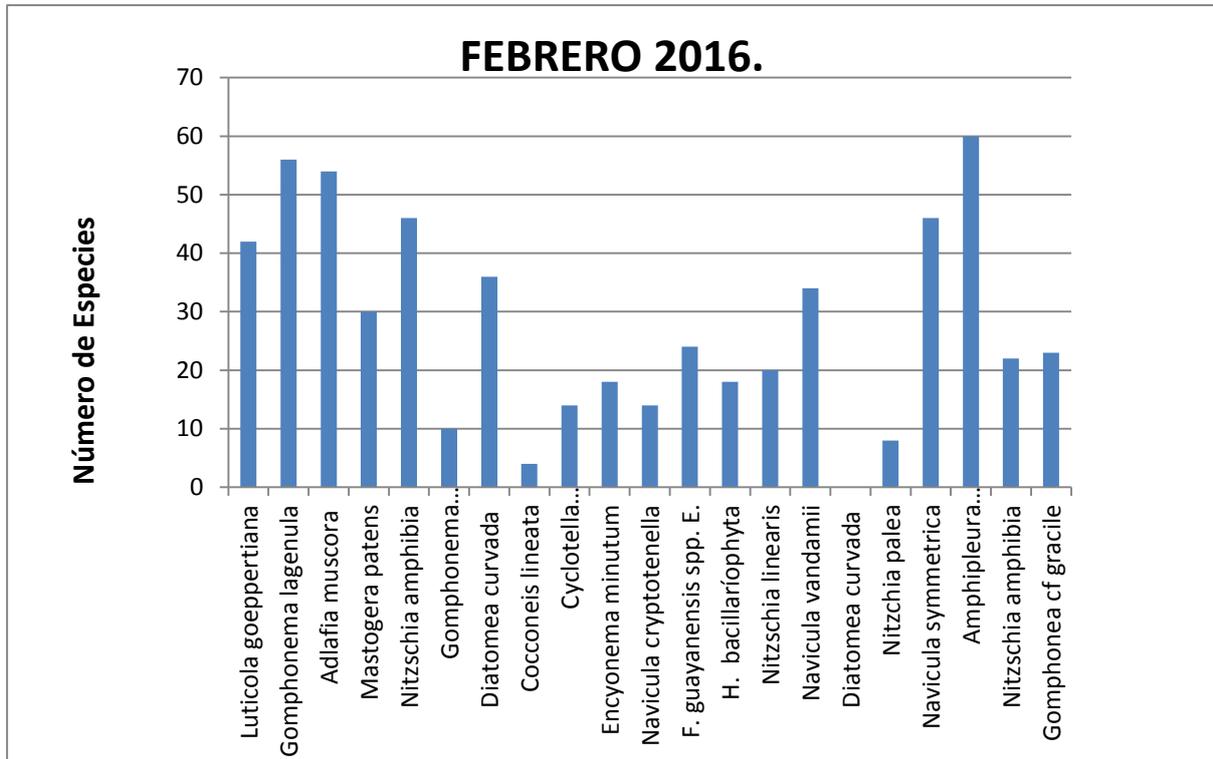
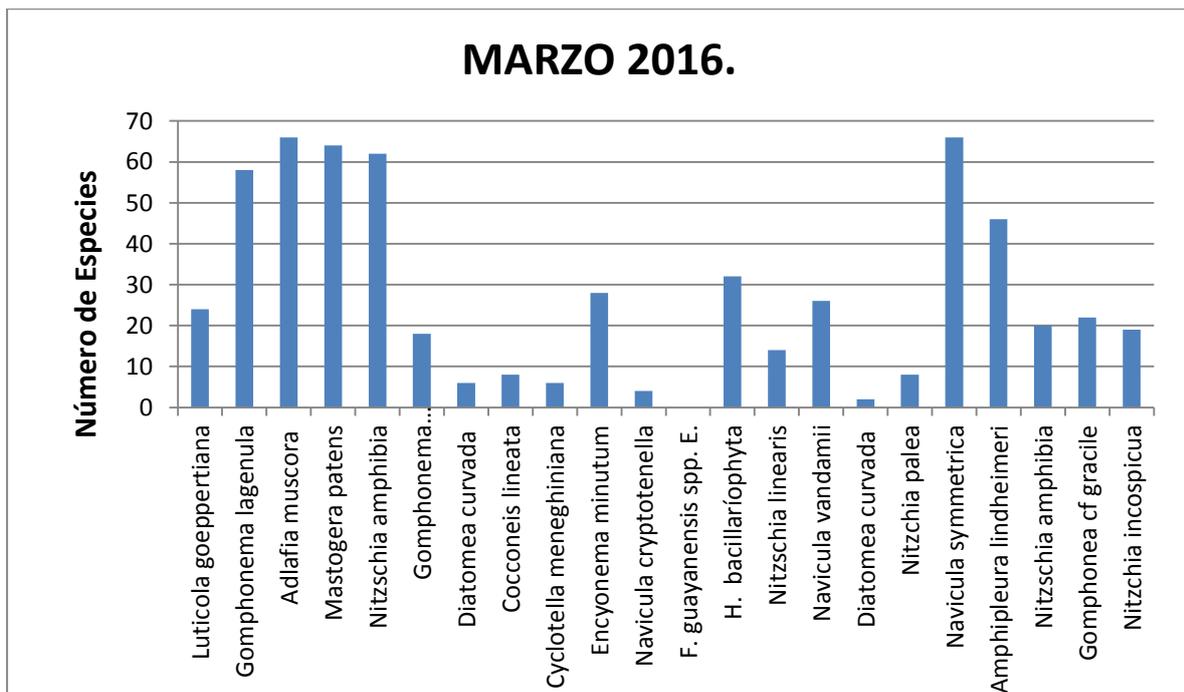


Gráfico 4. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Alto Marzo 2016.



4.1.2 Resultados de especies abundantes del Cauce Medio.

Las especies más abundantes en el cauce Medio en los meses Octubre del 2015 a Febrero del 2016 fueron las siguientes: *Diatomea curvada*, *Nitzschia amphibia*, *Frustulia. Guayanensis spp. Ecuatoriana*, *Nitzschia incospicua*.

Tabla 3. Especies de Diatomeas encontradas en el cauce medio del río Ambi

CAUCE MEDIO	16/OCT/15	22/DIC/15	20/FEB/16	26/MAR/16	No.totalde individuos	Abundancia de spp. %
<i>Luticola goeppertiana</i>	42	44	38	55	45	7,458
<i>Nitzschia palea</i>	31	33	31	28	31	5,125
<i>Gom. aff. pseudoaugur</i>	33	35	32	33	33	5,542
<i>Navicula vandamii</i>	39	45	33	26	34	5,958
<i>Diatomea curvada</i>	88	96	88	64	84	14,000
<i>Geissleria punctifera</i>	42	43	35	28	37	6,167
<i>Nitzschia amphibia</i>	74	72	52	66	66	11,000
<i>Navicula cryptotenella</i>	48	44	37	50	45	7,458
<i>H. bacillariophyta</i>	34	30	90	40	49	8,083
<i>F. guayanensis spp. E</i>	80	82	84	90	84	14,000
<i>Gomphonema lagenula</i>	25	20	16	30	23	3,792
<i>Nitzschia incospicua</i>	64	56	64	90	69	11,417
Núm. total de individuos	600	600	600	600	600	
Núm. total de especies	12	12	12	12	---	100

Realizado por: Katherine Rosero, 2016

Gráfico 5. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Medio Octubre 2015.

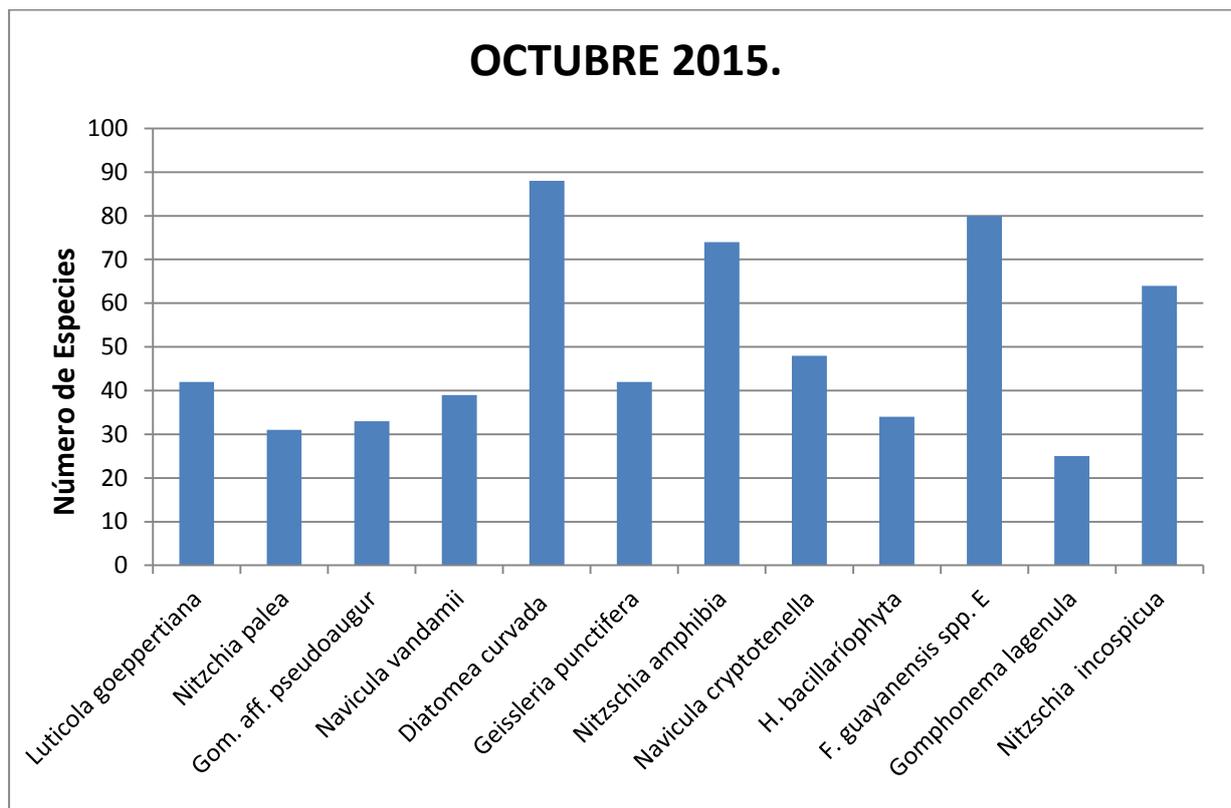


Gráfico 6. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Alto Diciembre 2015.

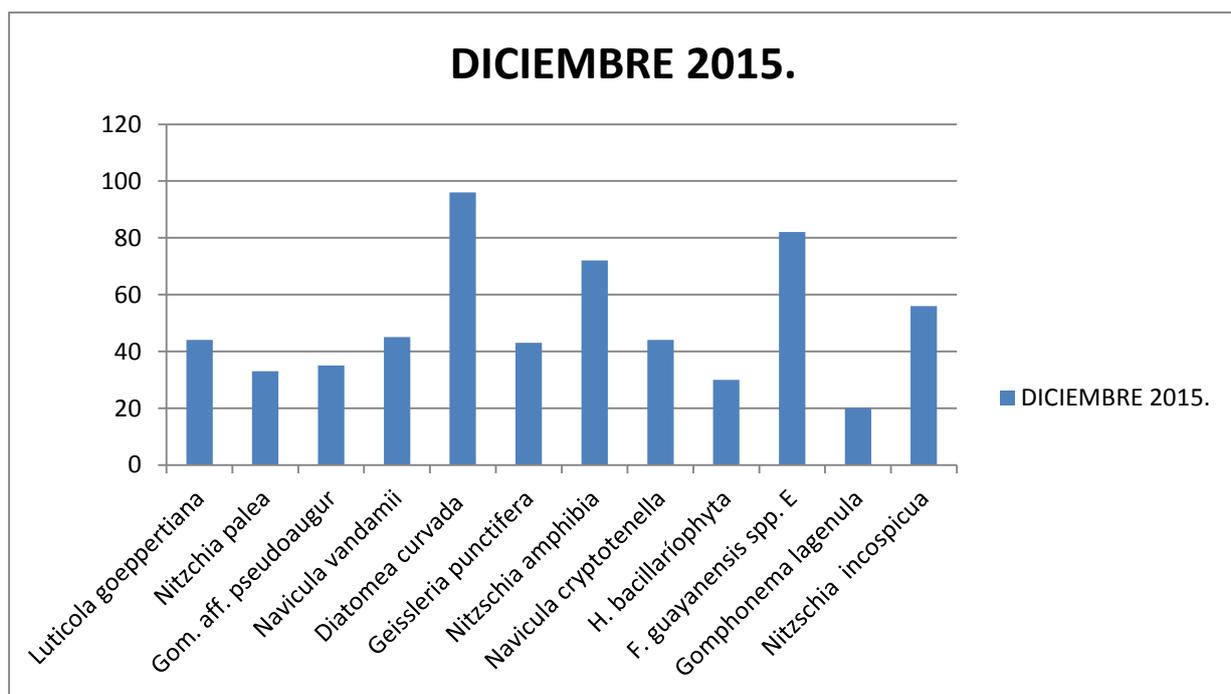


Gráfico 7. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Medio Febrero 2016

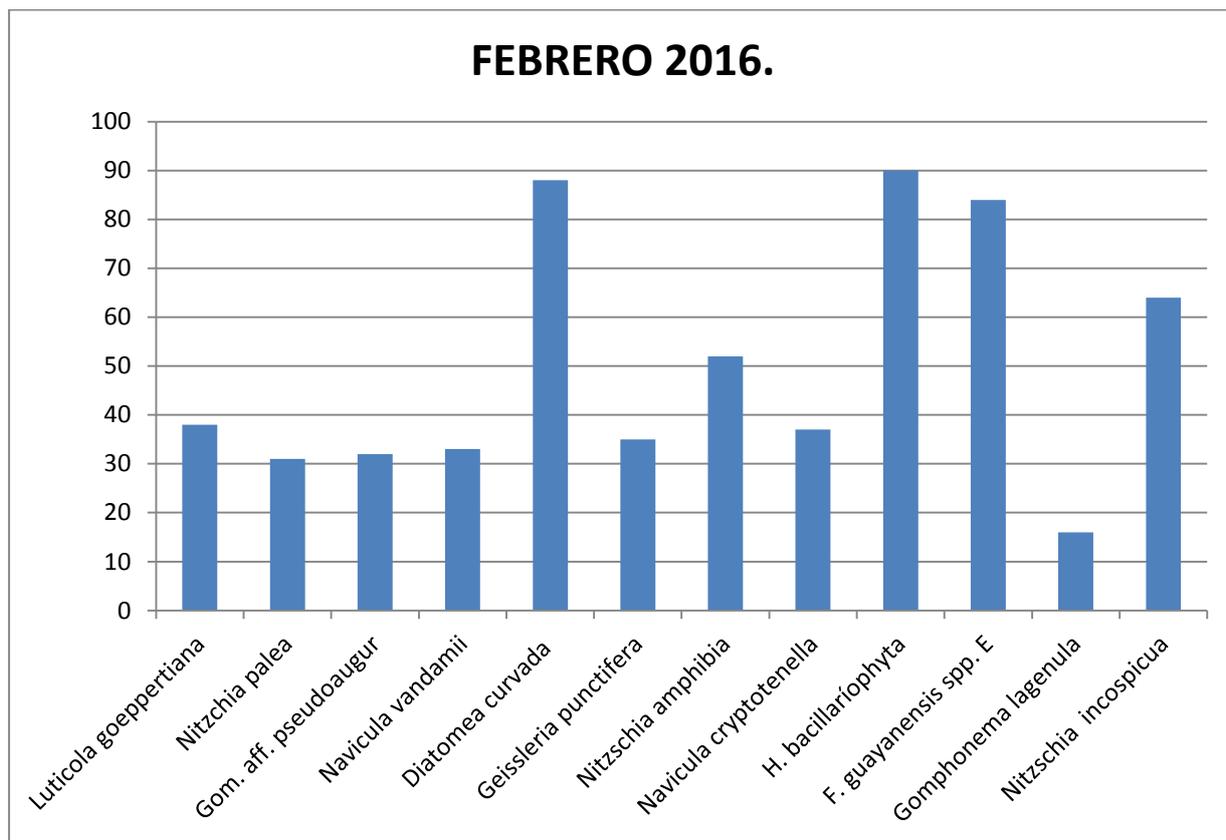
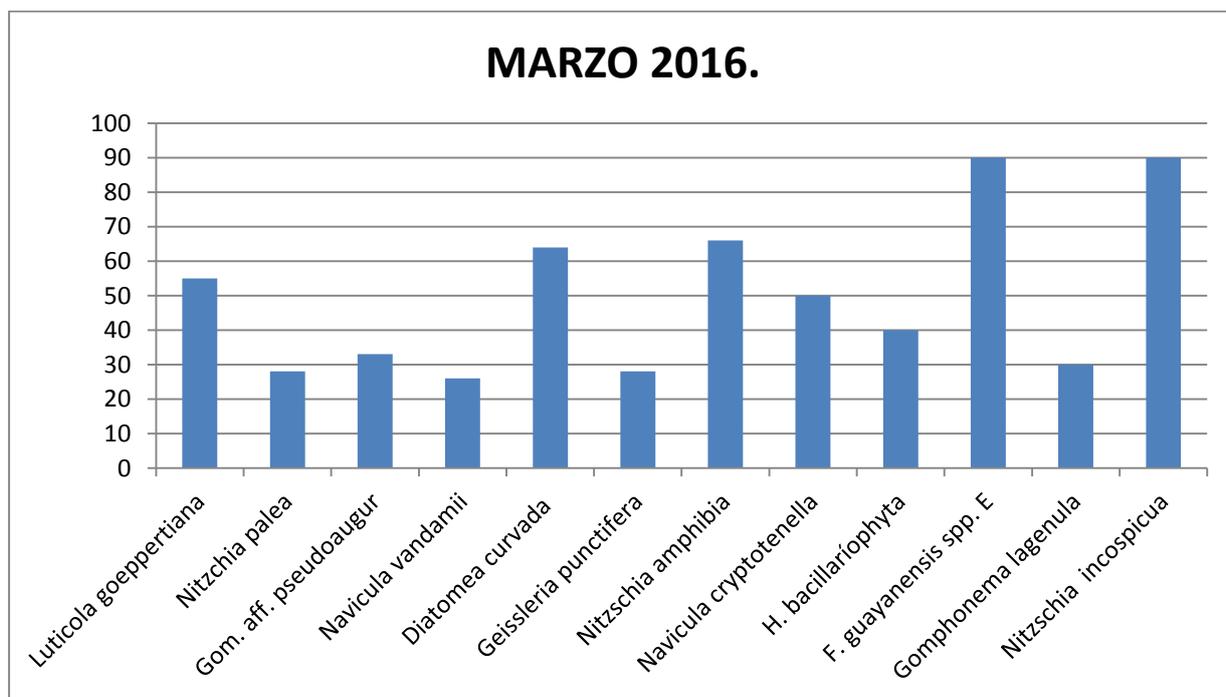


Gráfico 8. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Medio Marzo 2016.



4.1.3 Resultados de especies abundantes Cauce Bajo.

Las especies abundantes en el cauce Bajo en los meses Octubre del 2015 a Febrero del 2016 fueron las siguientes *Luticola Goepfertiana*, *Nitzschia incospicua*, *Nitzschia linearis*.

Tabla 4. Especies de Diatomeas encontradas en el cauce bajo del río Ambi

CAUCE BAJO	16/OCT/15	22/DIC/15	20/FEB/16	26/MAR/16	No. total de individuos	Abundancia de spp. %
<i>Lutic. goepfertiana</i>	190	173	156	172	173	28,79
<i>Nitzschia Palea</i>	57	28	34	30	37	6,21
<i>Nitzschia linearis</i>	65	59	66	71	65	10,88
<i>Navicula rostellata</i>	55	65	60	59	60	9,96
<i>Gomph. lagenula</i>	27	34	38	35	34	5,58
<i>Sellaph. auldreekie</i>	57	65	70	59	63	10,46
<i>Nitzschia incospicua</i>	100	120	112	107	110	18,29
<i>G. parvulum</i>	30	32	41	39	36	5,92
<i>Nitzschia amphibia</i>	19	24	23	28	24	3,92
Núm. total de individuos	600	600	600	600		
Núm. total de especies	9	9	9	9	600	100

Realizado por: Katherine Rosero, 2016

Gráfico 9. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Bajo Octubre del 2015.

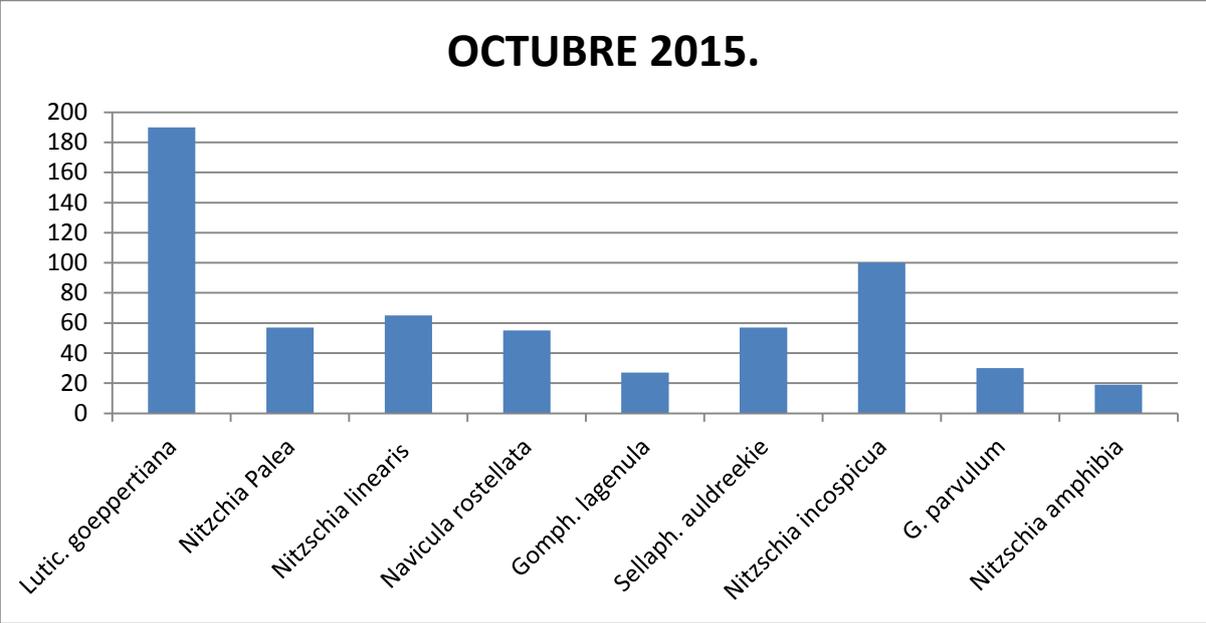


Gráfico 10. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Bajo Diciembre 2015.

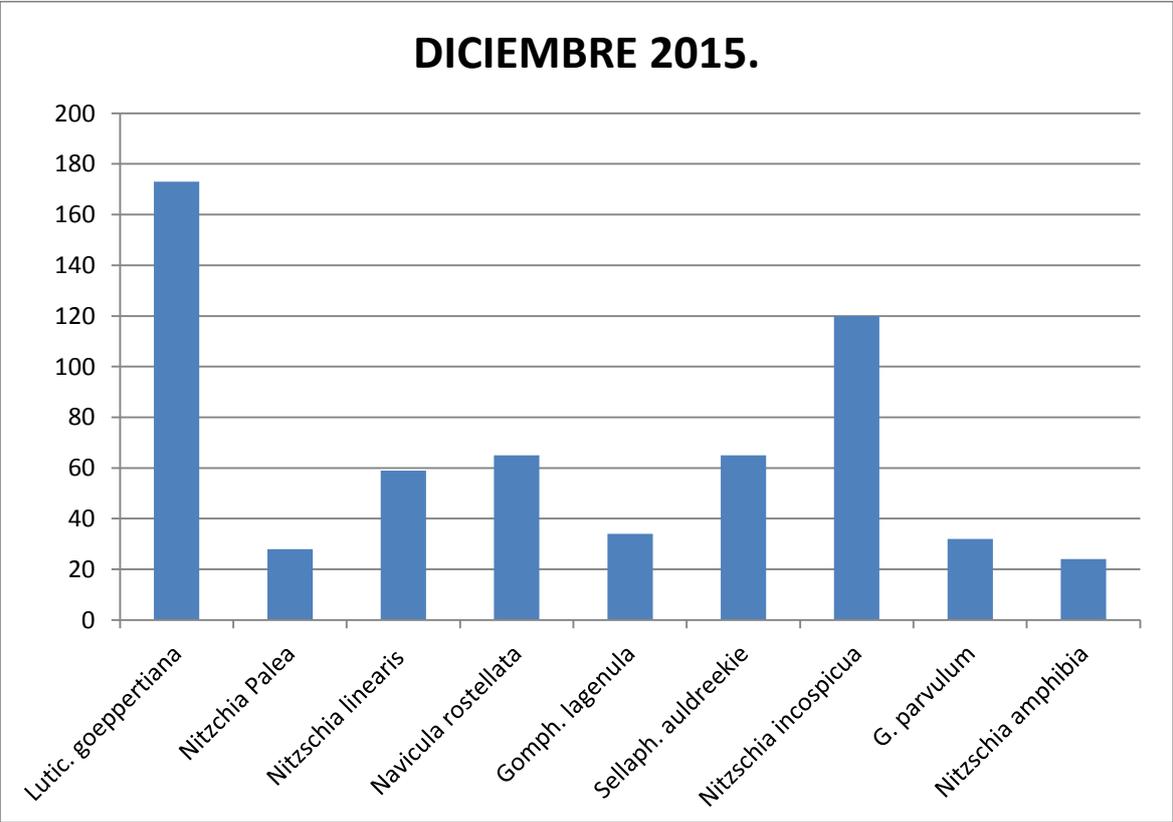


Gráfico 11. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Bajo Febrero del 2016

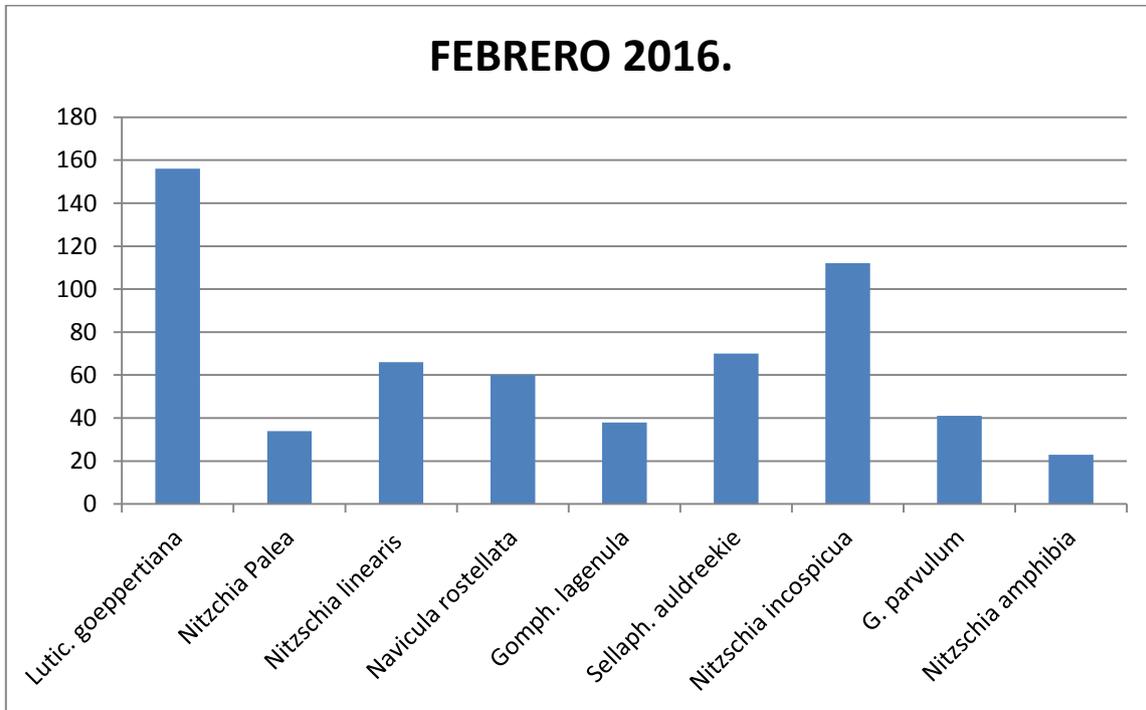


Gráfico 12. Análisis estadístico abundancia de especies del cauce Bajo Marzo 2016.

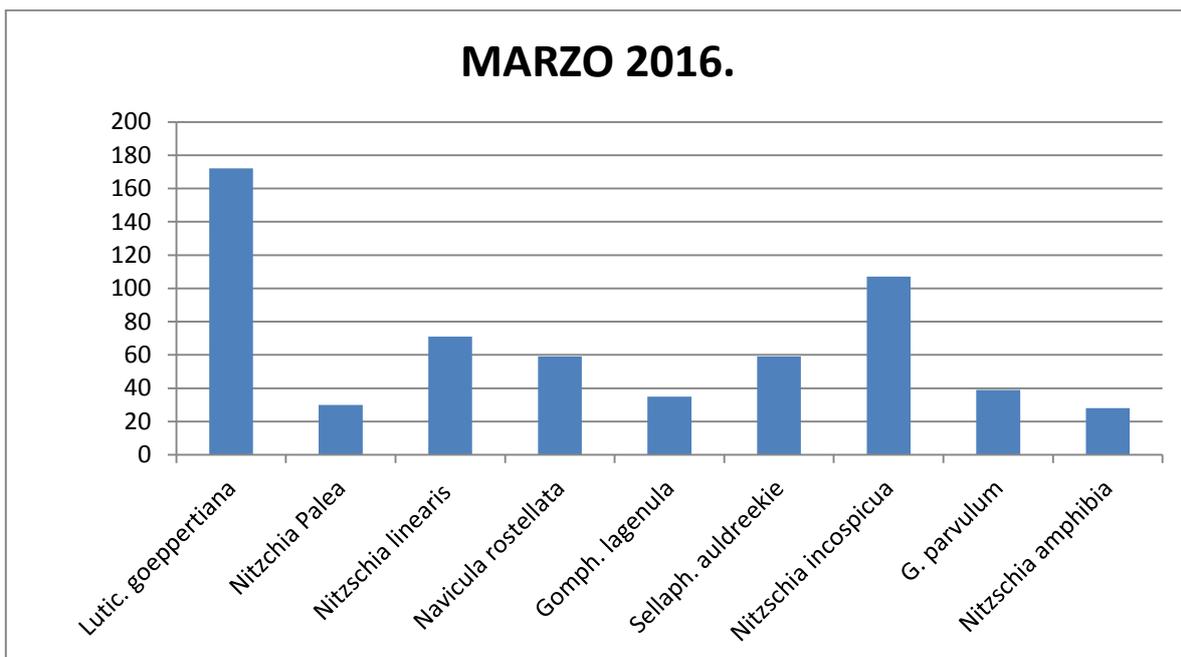


Tabla 5 clasificación de Especies Cauce Alto

CAUCE ALTO	
Especies no excluyentes	Especies Excluyentes
<i>Luticola goeppertiana</i>	<i>Adafla Muscora</i>
<i>Gomphonema lagenula</i>	<i>Amphipleura lindheimeri</i>
<i>Mastogera patens</i>	<i>Cocconeis lineata,</i>
<i>Nitzschia amphibia</i>	<i>Cyclotella meneghiana</i>
<i>Gomphonema pseudoaugur</i>	<i>Encyonema minutum</i>
<i>Diatomea curvada</i>	<i>Gomphonema cf gracile</i>
<i>Cocconeis lineata</i>	<i>Navicula symmetrica</i>
<i>Navicula cryptotenella</i>	
<i>F. guayanensis spp. E.</i>	
<i>H. bacillariophyta</i>	
<i>Nitzschia linearis</i>	
<i>Navicula vandamii</i>	
<i>Diatomea curvada</i>	
<i>Nitzschia palea</i>	
<i>Nitzschia amphibia</i>	
<i>Gomphonea cf gracile</i>	
<i>Nitzschia incospicua</i>	

Fuente: Rosero 2016.

Tabla 6 Clasificación de especies Cauce Medio

CAUCE MEDIO
<i>Luticola goeppertiana</i>
<i>Nitzschia palea</i>
<i>Gom. aff. pseudoaugur</i>
<i>Navicula vandamii</i>
<i>Diatomea curvada</i>
<i>Geissleria punctifera</i>
<i>Nitzschia amphibia</i>
<i>Navicula cryptotenella</i>
<i>H. bacillariophyta</i>
<i>F. guayanensis spp. E</i>
<i>Gomphonema lagenula</i>
<i>Nitzschia incospicua</i>

Fuente: Rosero 2016.

Tabla 7 Clasificación de especies Cauce Bajo

CAUCE BAJO	
Especies no exclusivas	Especies exclusivas
<i>Luticola. goeppertiana</i>	
<i>Nitzchia Palea</i>	
<i>Gomphonema lagenula</i>	<i>Sellaphora auldreekie</i>
<i>Nitzschia incospicua</i>	<i>Navicula rostellata</i>
<i>Nitzschia amphibia</i>	<i>Gomphonema parvulum</i>
<i>Nitzschia linearis</i>	

Fuente: Rosero 2016.

4.2. Resultados de Variables Fisicoquímicas.

Tabla 8. Datos abióticos básicos tomados *in situ* y *ex situ* en los cauces alto, medio y bajo del río Ambi.

Cauce	Alto	Medio.	Bajo
pH	7,06	7,18	8,8
Temperatura °C)	17	20,4	22,9
Oxígeno disuelto (mg L⁻¹)	9,8	8,44	6,6
Conductividad (μ S cm⁻¹)	81,9	70	22,1
Nitrógeno Total NH₃.N (mg L)	0,61	0.78	1,55
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) mg/L	6,1	15,1	22,3
Demanda Química de Oxígeno (DQO)mg/L	192	72	18

Realizado por: Katherine Rosero, 2016

Las variables fisicoquímicas medidas en el río Ambi (Tabla 5) nos indican que son aguas de carácter neutro a ligeramente básico, con un rango de pH de 7,06 a 8,8.

La conductividad es muy baja en la desembocadura del río, típica de aguas poco mineralizadas, mientras que en el cauce alto se observó un alto índice de mineralización con un valor de 81,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$, debido a que el agua baja del cerro Imbabura.

El porcentaje de oxígeno varía entre 6,6 y 9,8 mg/L, observándose altos índices de oxigenación en el cauce alto debido a la corriente rápida de agua. En el cauce bajo del río se observó que el porcentaje de oxígeno es menor con respecto al cauce alto y medio. Con estos resultados podemos deducir que la calidad de agua del cauce alto del río es buena mientras que la del cauce bajo está más eutrofizada.

La temperatura en el cauce alto es de 17 grados centígrados debido a que se recolecto la muestra a 1000 metros del cerro Imbabura (4600 msnm) y del cauce bajo de 22 grados centígrados.

El nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) nos indica una degradación parcial de la materia orgánica producida por bacterias. El exceso de Nitrógeno provoca un crecimiento de materia orgánica, siendo uno de los factores determinantes en el proceso de eutrofización del agua. La reglamentación española del agua (2000) afirma que el amoniaco es un componente no deseable en el agua y establece como valor orientativo de calidad 0,05 mg/L y como valor límite tolerable de 0,5 mg/L.

En el cauce alto del río Ambi se observó un valor de 0,5 mg/L de nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) el cual indica disminución del crecimiento bacteriano, mientras que en el cauce medio y bajo los valores oscilan entre 0,78 y 1,5 mg/L. se determinó que en cauce bajo existe mayores niveles de eutrofización debido a la gran cantidad de nitrógeno amoniacal.

4.3 Resultados del valor Trófico de Especies

El valor trófico de cada especie se calculó utilizando el porcentaje de abundancia y los valores de DBO₅ que correlacionan la calidad de agua con los niveles de eutrofización en cada tramo del río. Se asignó el valor de 1 a las especies menos tolerantes a la eutrofización, es decir, a las especies abundantes (número de especie abundante > número de especies/número de individuos) en las aguas no eutrofizadas (DBO₅ = 6,1 mg/L) y el valor de 4 a las especies muy tolerantes a la eutrofización, es decir, las especies abundantes en los tramos más eutrofizados del río (DBO₅ = 22,3 mg/L), adaptado de Lobo *et al.* (2004). Los valores tróficos de 2,5 se asignaron a las especies abundantes en el tramo medio del río (DBO₅ = 15 mg/L), En algunos casos, se detectaron especies abundantes en los diferentes tramos del río, por lo que se le asignó un valor trófico asociado al tramo del río donde fuesen más abundante

**Tabla 9. Especies de diatomeas según los distintos grados de tolerancia
A la eutrofización (vt= valor trófico)**

ESPECIE	VALOR TRÓFICO "vt"
<i>Adlafia muscora</i>	1
<i>Amphipleura lindheimeri</i>	1
<i>Cocconeis lineata</i>	1
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	1
<i>Diatomea curvada</i>	2,5
<i>Encyonema minutum</i>	1
<i>Frustulia guayanensis spp.</i>	
<i>Ecuadoriana</i>	2,5
<i>Gomphonema lagenula</i>	1
<i>Gomphonema parvulum</i>	4
<i>Hantzschia bacillarióphyta</i>	2,5
<i>Luticola goeppertiana</i>	4
<i>Mastogera patens</i>	1
<i>Navicula cryptotenella</i>	2,5
<i>Navicula rostellata</i>	4
<i>Gomphonea cf gracile</i>	1
<i>Navicula symmetrica</i>	1

<i>Navicula vandamii</i>	1
<i>Nitzchia incospicua</i>	4
<i>Geissleria punctifera</i>	2,5
<i>Nitzia palea</i>	4
<i>Gomphonema aff. Pseudoaugur</i>	2,5
<i>Nitzschia amphibia</i>	2,5
<i>Nitzschia linearis</i>	4
<i>Sellaphora auldreekie</i>	4

Fuente: Kathy Rosero, 2016

El índice incorpora un total de 24 especies, 8 especies abundantes en el cauce alto, por lo tanto poco tolerantes a la eutrofización o muy sensibles, 7 especies abundantes en el cauce medio y 9 especies abundantes en el cauce bajo, por lo tanto tolerantes a la eutrofización. Cuatro de las especies del cauce alto se encuentran exclusivamente en este tramo del río, por lo que se deduce que son buenos bioindicadores de aguas limpias y oxigenadas (Tabla 2).

4.4. Resultados del Índice Biótico de Calidad de Aguas (IBCA):

A partir de los resultados obtenidos de abundancia de especies y teniendo como criterio el valor trófico de cada especie según los distintos grados de tolerancia a la eutrofización atribuyendo valores de 1, 2.5 y 4 correspondientes a cada nivel de eutrofización definidos como bajo, medio y alto respectivamente. Utilizando estos datos se puede calcular el índice trófico de calidad de aguas:

$$IBCA = \frac{\sum (vt \cdot h)}{\sum h}$$

Donde vt es el valor trófico de cada especie y h es el porcentaje relativo de especies (abundancia) de cada una de las especies de la muestra. Los valores de la TWQI varían entre 1 a 4 en los sistemas fluviales.

Tabla 10 Relación entre el Índice Biótico del agua (TWQI) y la calidad de agua.

TWQI	Niveles de Contaminación
1,0 - 1,5	Oligotrófico (contaminación despreciable)
1,5 - 2,5	β -mesotrófico (contaminación moderada)
2,5 - 3,5	α -meso trófico (contaminación fuerte)
3,5 - 4,0	Eutrófico (contaminación excesiva)

Fuente: Índice Biótico de la calidad de Aguas Lobo *et al.* (2004)

Con los datos obtenidos de abundancia relativa de especies, valor trófico y Empleando la fórmula 2 Finalmente establecemos el Índice biótico de la calidad de aguas utilizando diatomeas epilíticas.

4.5. Establecimiento del Índice Biótico de calidad de Aguas.

Tabla 11 Índice biótico de calidad de aguas basado en diatomeas Cauce Alto

E. Abundantes Cauce Alto	vt: Valor trófico	h: abundancia %
<i>Luticola goeppertiana</i>	4	6,66
<i>Gomphonema lagenula</i>	1	10,75
<i>Adlafia muscora</i>	1	8,5
<i>Mastogera patens</i>	1	6
<i>Nitzschia amphibia</i>	2,5	8,83
<i>Navicula symmetrica</i>	1	9,41
<i>Amphipleura lindheimeri</i>	1	10,16
IBCA CAUCE ALTO	1, 5	

Fuente: Rosero, 2016

Tabla 12 Índice biótico de calidad de aguas basado en diatomeas Cauce Medio.

E. Abundantes Cauce Medio	Valor trófico	h: abundancia %
<i>Diatomea curvada</i>	2,5	14
<i>Nitzschia amphibia</i>	2,5	11
<i>F. guayanensis spp. E</i>	2,5	14
<i>Nitzschia incospicua</i>	4	11,41
IBCA CAUCE MEDIO	2,8	

Fuente: Rosero, 2016

Tabla 13 Índice biótico de calidad de aguas basado en diatomeas Cauce Bajo

E. Abundantes Cauce Bajo	Valor trófico	h: abundancia %
<i>Luticola goeppertiana</i>	4	28,79
<i>Nitzschia linearis</i>	4	10,88
<i>Nitzschia incospicua</i>	4	18,29
IBCA CAUCE BAJO	4	

Fuente: Rosero, 2016

5. IDENTIFICACIÓN TAXONÓMICA DE ESPECIES

Adafia muscora:



┆ l: 25 um a: 7 um

Descripción: *Adafia muscora* se caracteriza por una valva interior linear en forma nodular, sus extremos son lanceolados esféricos. Posee estrías radiales rectas.

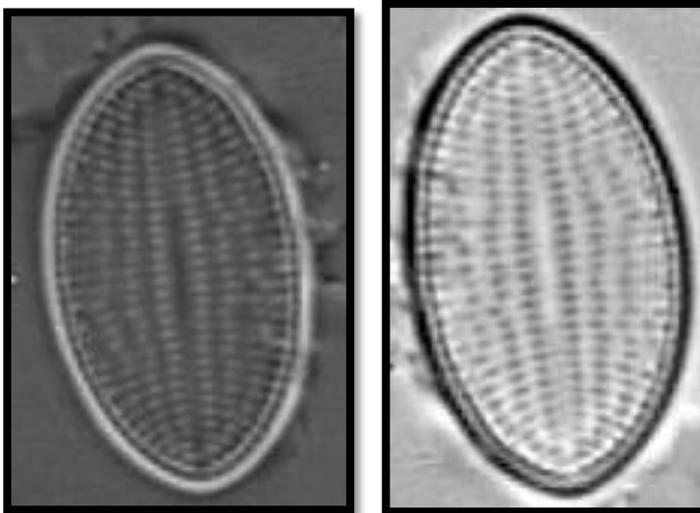
Amphipleura lindheimeri



l: 50 um a:5 um

Descripción: *Amphipleura lindheimeri* caracterizada por una valva externa linear lanceoladas angosta. Sus vértices se acortan en los extremos, una estría linear está presente a través de toda la valva

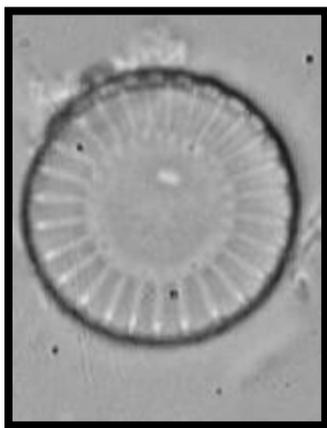
Cocconeis lineata



l: 45 um a: 10 um

Descripción: valva elíptica relativamente redonda, posee un anillo interno que esta junto a la valva exterior. Sus estrías son en forma de líneas pequeñas situados en toda la valva interna.

Cyclotella meneghiniana



l: 25 um a:10 um

Descripción: a valva tiene un centro circular liso y un anillo marginal de estrías rectas radiales distribuidas por todo el margen de la valva

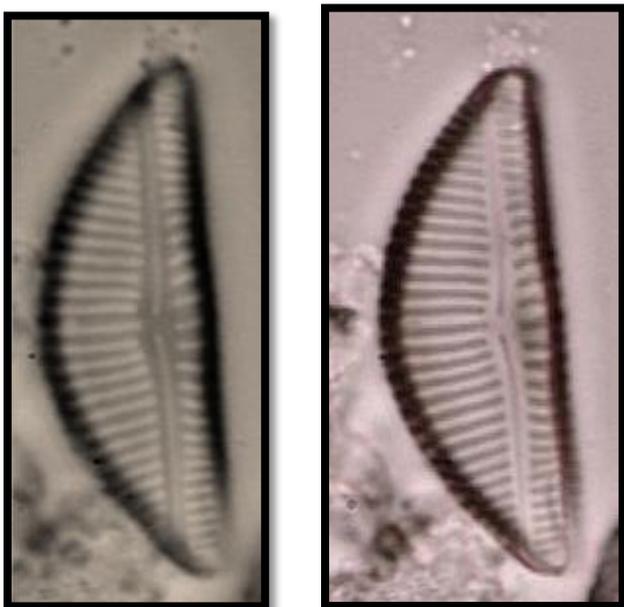
Diatomea curvada



l: 17 um a: 4 um

Descripción: Una valva estrecha rectangular curvada en la parte media inferior. Posee un margen de estrías formado por líneas rectas situado a lo largo de toda la valva.

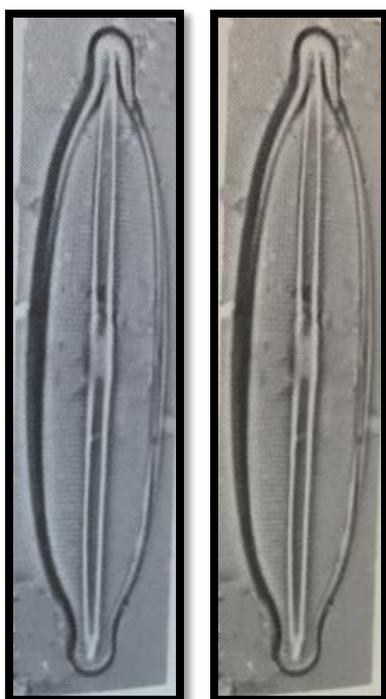
Encyonema minutum



┌
l: 27 um a: 6,5 um

Descripción: el margen de la valva dorsal está ligeramente arqueado, mientras que el margen ventral es lineal. Los ápices de la valva están ampliamente redondeados y se estrechan en los extremos. Posee estriás lineales. En el centro se encuentra una estriá alargada extendida por toda la valva

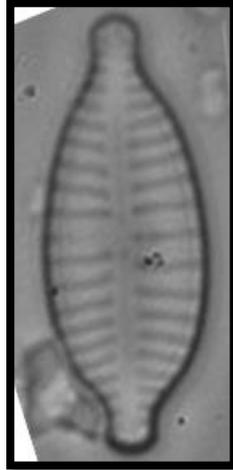
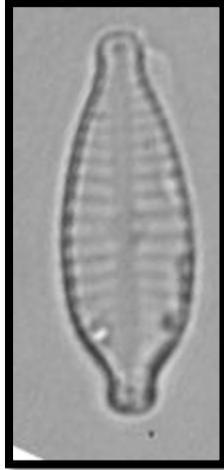
Frustulia guayanensis spp. Ecuatoriana



┌
l: 30 um a: 5 um

Descripción: Valva lanceolada con extremos delgados redondeados posee una estría perpendicular que pasa por el centro de toda la valva.

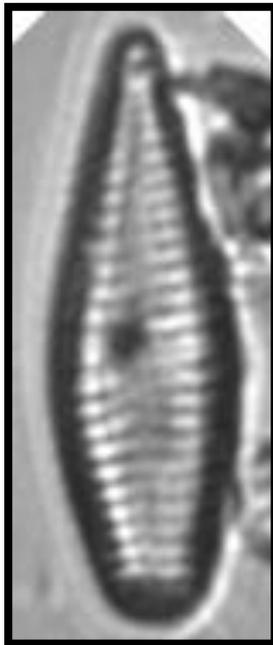
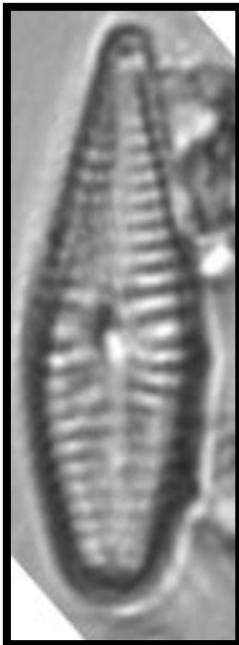
Gomphonema lagenula



┌
l:20 um a: 6 um

Descripción: la valva es elíptica sus extremos se estrechan ligeramente y son redondos. Sus estrías son líneas rectas

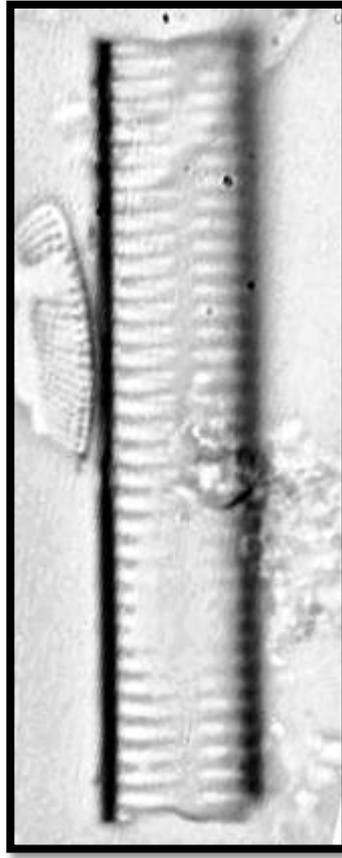
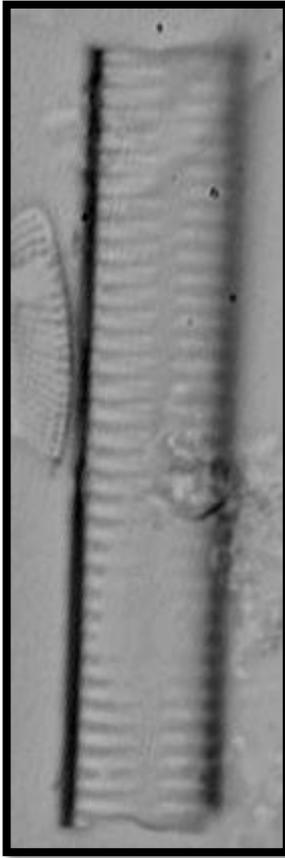
Gomphonema parvulum



┌
l:25um a:6 um

Descripción: Valva lanceolada su extremo inferior es más ancho que su extremo superior, posee estrías lineares.

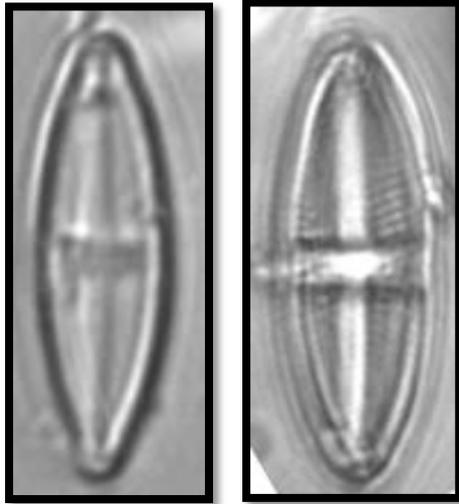
Hantzschia bacillarióphyta



┌
└ **l: 100 um a:15 um**

Descripción: La valva es rectangular larga. Posee estrias lineares rectas divididas en dos líneas situadas en toda la valva interna.

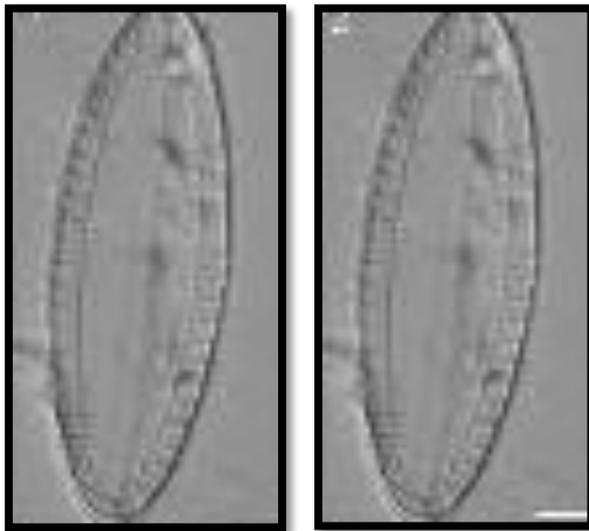
Luticola goeppertiana



┆
l: 30 um a: 7um

Descripción: Valva lanceolada con vértices redondos, la zona central de la valva se ensancha hacia afuera ligeramente, compuesta por poros como estrías. En el centro de la valva se observa una forma de cruz.

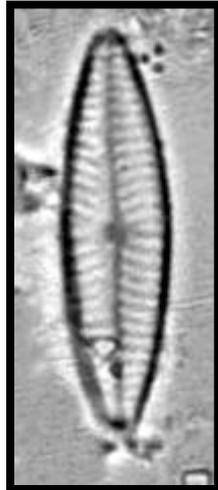
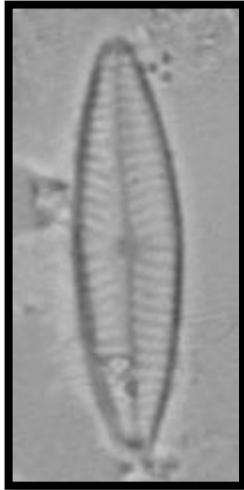
Mastogloia patens



┆
l: 20 um a: 5um

Descripción: Valva lanceolada redonda sin vértices posee un margen de estrías de líneas pequeñas.

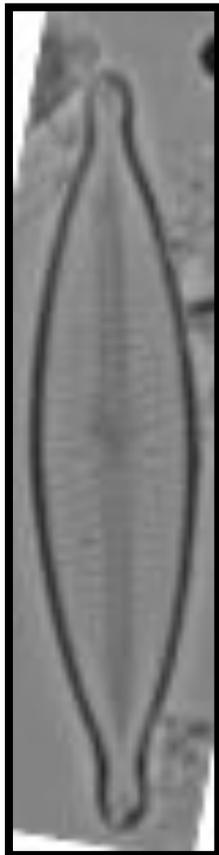
Navicula cryptotenella



l: 24 um a: 5.8 um

Descripción: la valva lanceolada con vértices redondos las estrías son radiales paralelas que salen desde el centro de la valva.

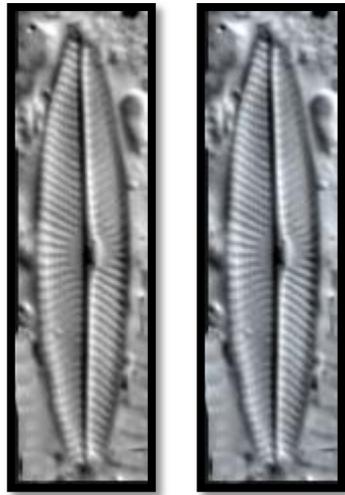
Navicula rostellata



l: 35 um a: 8 um

Descripción: valva lineal ligeramente lanceolada, ápices extremos largos y estrechos con terminales redondeados, el nódulo central se expande de forma asimétrica. Las estrías nacen desde el centro ubicadas en paralelo

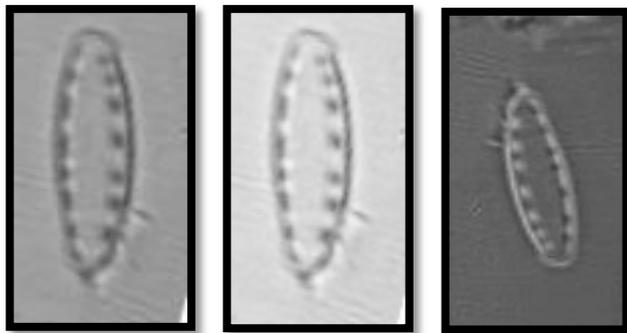
Navicula symmetrica



┌
l: 30 um a: 5 um

Descripción: la valva es linear epilíticas, la zona central se redondea de forma asimétrica. Las estrías son líneas radiales que salen desde el centro.

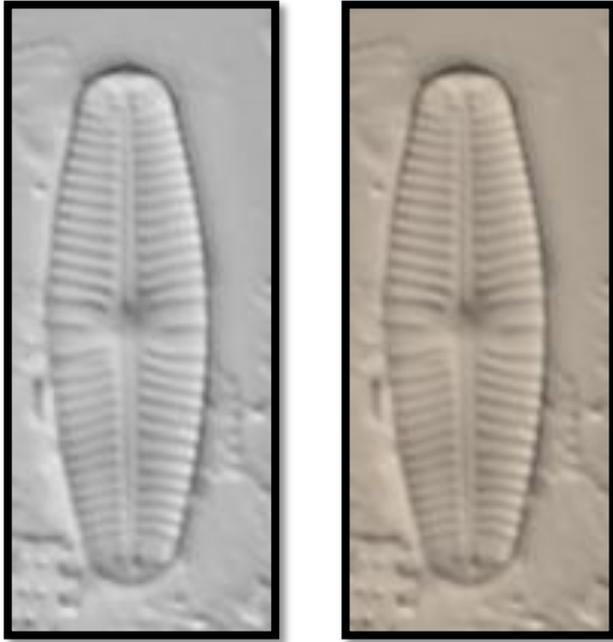
Nitzchia incospicua



┌
l: 10 um a: 2um

Descripción: valva epilíticas con vértices redondeados, las estrías son paralelas situados alrededor de toda la valva.

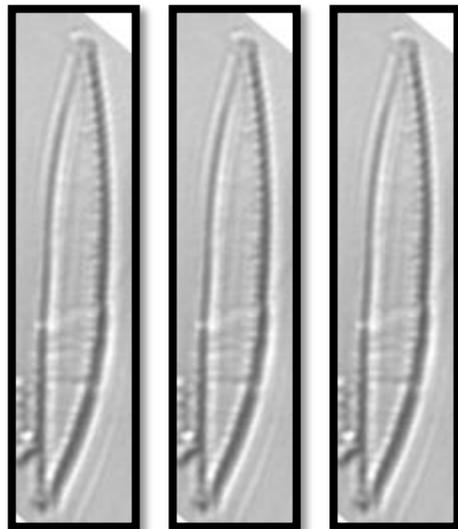
Geissleria punctifera



┌ l: 25 um a: 6um

Descripción: valva lanceolada con extremos redondos, las estrías son lineales en la zona central está formada por una estría corta a cada lado de la valva

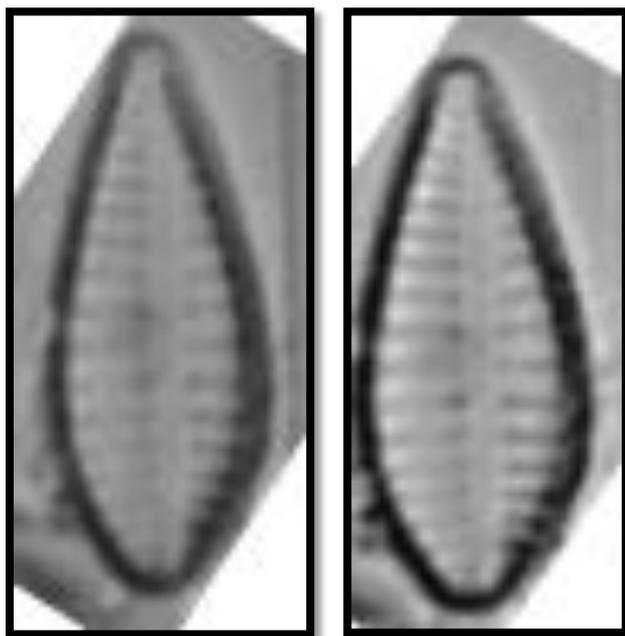
Nitzia palea



┌ l:16 um a: 4um

Descripción: valva lanceolada con ápices angostos en los extremos. Estrías en forma de líneas pequeñas en un lado de la valva.

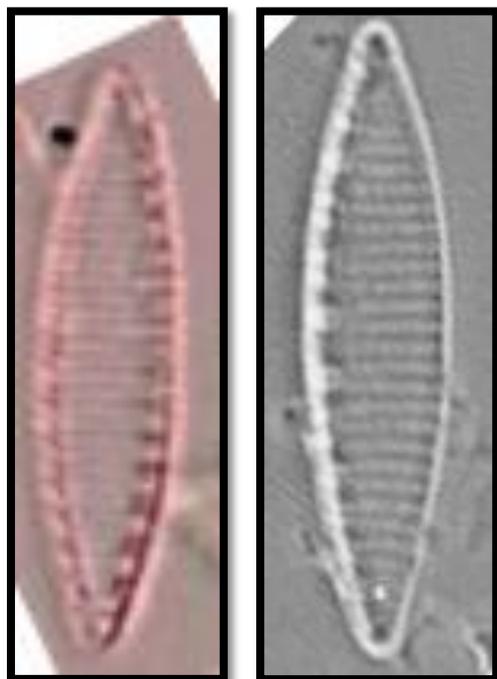
Gomphonema aff. Pseudoaugur



┆
l: 27 um a: 8 um

Descripción: valva lanceolada extremo inferior más ancho que el extremo superior estrías lineales situados en toda la superficie valvular.

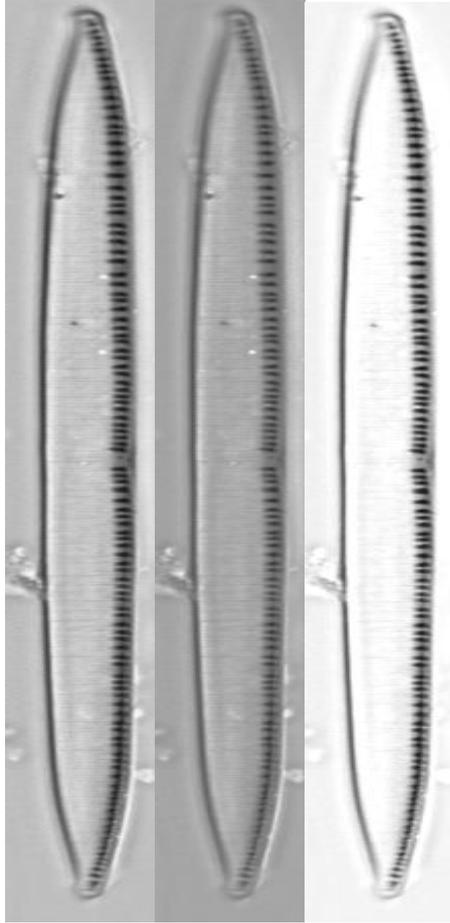
Nitzschia amphibia



┆
l; 30 um a; 4um

Descripción: valva lanceolada las estrías son líneas uniformes paralelas ubicadas de extremo a extremo de toda la valva.

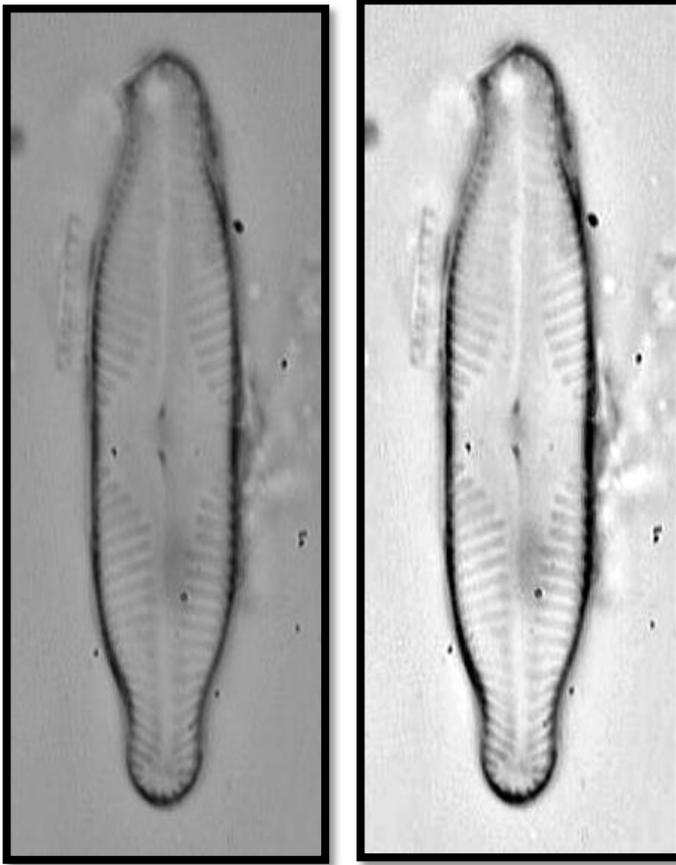
Nitzschia linearis



┌
l: 75 um a: 5 um

Descripción: Valva rectangular larga. El extremo de los vértices es redondo. Las estrías son líneas pequeñas en un lado de la valva.

Sellaphora auldreekie



┌
| l: 30 um a:7 um

Descripción: valva epilíticas grande y extremos redondeados estrías lineares en el centro que se ubican en forma de polígono.

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Este estudio representa uno de los escasos trabajos realizados empleando diatomeas como bioindicadores ambientales para determinar la calidad de aguas de los ríos del Ecuador. Aunque existe un estudio de “Caracterización química y biológica de sistemas hídricos en la provincia de Los Ríos”, realizado por Revelo *et al* (2012), éste relaciona varios organismos fitoplanctónicos en general, incluyendo diatomeas no epilíticas, con los factores abióticos tomados en los ríos como turbidez, oxígeno disuelto y sólidos en suspensión.

El uso de las diatomeas epilíticas permite conocer el estado actual de cada zona y de todo el río Ambi. Existen variaciones temporales y espaciales de las especies de diatomeas epilíticas que se relacionan con los parámetros fisicoquímicos y ambientales como son la presencia de materia orgánica, oxígeno disuelto, pH y temperatura.

Las especies dominantes en los cauces con altos índices de contaminación son *Luticola goeppertiana*, *Nitzschia amphibia* y *Nitzschia palea* considerándolos como altamente tolerantes a la contaminación orgánica identificadas en la zona baja del río Ambi. Estos datos corroboran los resultados obtenidos por Lobo *et al* (2010), quien afirma que *Nitzschia linearis*, *Navicula rostellata* y *Gomphonema parvulum* son especies clasificadas como altamente tolerantes a la eutrofización en su investigación científica: *Diatomeas Epilíticas como indicadores de la Calidad de Aguas de Ríos Subtropicales de Brasil*.

Las especies que se encontraron en todos los tramos del río Ambi desde la naciente hasta la desembocadura del río fueron *Luticola goeppertiana*, *Nitzschia palea*, *Gomphonema lagenula*, siendo clasificadas estas especies como cosmopolitas en este trabajo. Estos resultados coinciden con los trabajos realizados por KOBAYASI e MAYAMA, (1989); LANGE-BERTALOT (1979), quienes argumentan que *Luticola goeppertiana* y *Nitzschia palea* son especies cosmopolitas ampliamente reconocidos por su alta tolerancia a polución orgánica, frecuentemente encontradas en aguas ricas en nutrientes y bajas concentraciones de oxígeno disuelto. Cabe destacar que otros autores como Krammer *et al.* (1988) afirman que *Nitzschia palea* representa un amplio intervalo de tolerancia a la contaminación orgánica.

Es posible relacionar parámetros ambientales con la distribución de diatomeas por lo que este trabajo de investigación puede ser utilizado para determinar la calidad de aguas de otros ríos presentes en la región andina del Ecuador.

CAPÍTULO V

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Las especies *Luticola goeppertiana*, *Gomphonema lagenula*, *Adlafia muscora*, *Mastogera patens*, *Nitzschia amphibia*, *Navicula symmetrica*, *Amphipleura lindheimeri* muestran una baja tolerancia a la eutrofización.
- Las especies *Adafla Muscora*, *Amphipleura lindheimeri*, *Cocconeis lineata*, *Cyclotella meneghiana*, *Encyonema minutum*, *Gomphonema cf gracile* y *Navicula symmetrica* son bioindicadoras de buena calidad de aguas.
- Las especies *Diatomea curvada*, *Nitzschia amphibia*, *Frustulia guayanensis spp. Ecuadoriana*, *Nitzschia incospicua*, son bioindicadoras de aguas levemente eutrofizadas.
- Las especies *Luticola Goeppertiana*, *Nitzschia incospicua*, *Nitzschia linearis* son bioindicadores de aguas altamente eutrofizadas.
- Las especies *Nitzschia linearis*, *Sellaphora auldreekie*, *Navicula rostellata* y *Gomphonema parvulum* son muy tolerantes a la eutrofización
- La especies *Nitzschia. Palea*, *Nitzschia incospicua* y *Luticola Goeppertiana* son especies cosmopolitas.

- El cauce limpio presenta una mayor abundancia de especies en relación con el medio y el bajo.
- En el río Ambi existen especies no abundantes que aún no han sido descritas en la bibliografía científica de diatomeas.
- El nacimiento del río Ambi la calidad de agua es buena, mientras que el cauce medio del río Ambi presentan una calidad de aguas moderada. El cauce bajo del río presenta altos niveles de eutrofización debido a la actividad antropogénica.
- Los valores tróficos asignados de la mayoría de las diatomeas epilíticas catalogadas como abundantes recolectadas en este proyecto de investigación coinciden con los valores asignados a estas mismas especies en otros trabajos descritos en la literatura.
- La metodología utilizada e implementada es válida para la observación de diatomeas epilíticas de los ríos andinos.
- Este índice biótico de calidad de aguas puede ser aplicado para otros ríos Andinos del Ecuador.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con este análisis de muestras para de esta manera aumentar la base de datos con el fin de proporcionar mayor número de los resultados y poder realizar correlaciones con la información generada.
- Durante la realización del trabajo de campo es necesario tomar las debidas precauciones de seguridad, para evitar accidentes para lo cual se debe utilizar botas de lluvia y guantes para la toma de muestras del río.
- Se recomienda el muestreo periódico de cada punto del cauce del río durante aproximadamente 1 año para evitar las fluctuaciones que los factores ambientales puedan ocasionar en los sistemas acuáticos.
- Usar el equipo de protección personal y realizar tener precaución al colocar los ácidos en las muestras, se debe este procedimiento en la campana de extracción, debido a que son compuestos volátiles altamente corrosivos perjudiciales para la salud.
- Los residuos obtenidos del procesamiento de las muestras deben ser almacenados en un recipiente previamente etiquetado para su posterior descarga, debido a que es necesario cumplir con los procedimientos de manejo y almacenamiento establecidos.
- Es importante que las muestras de agua de los ríos sean analizadas lo antes posible para evitar perturbaciones en las características iniciales del agua.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA BETANCOUR. (2014). *Una revisión de la evaluación de la calidad de agua de os ríos de la provincia de Imbabura* (Trabajo de Fin de Titulación). UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA, Loja Ecuador. Recuperado a partir de Área de Biología.
- BARBER, H. G., HAWORTH, E. (1981). Guide to the Morphology of the Diatoms Frustule. *Scientific Publication*, n: 44, 112 p. <http://doi.org/10.2307/3225822>
- BARRIGA, R. (1991). *Lista de Vertebrados del Ecuador. Peces de agua dulce* (Trabajo de Titulación). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. Recuperado a partir de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6769>
- CABRERA W. (2002). *Propuesta de Manejo del río Ambi* (propuesta de tesis de grado de ingeniero agroforestal). UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL, Quito-Ecuador.
- CHEPURNOV, V., MANN, D., SABEE K., VYVERMAN, W. (2004). *experimental studies on sexual reproduction in diatoms*. (91a ed., Vol. international review of cytology). London.
- CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. (2008). Ciudad Alfaro: Asamblea Constituyente.

- CORAL. (2013). *Evaluación y Control de la contaminación de aguas residuales* (Universidad Internacional SEK, Vol. Tomo 5). Quito-Ecuador.
- COSTE, M. ; TISON, J. ; DELMAS, F. (2005). Flores diatomiques des cours d'eau : proposition de valeurs limites du Bon Etat pour l'IPS et l'IBD. *CemoaPublications*, (Irstea), 77 p.
- COX, E. (1996). Identification of Freshwater Diatoms from live material. *Chapman and Hall*, 33(London), 158 p.
- DESCY AND M. COSTE. (1991). A test of methods for assessing water quality based on diatoms. *ResearchGate*, 55 p. <http://doi.org/10750-006-0262-5>
- *HACH PROCEDURE* (2014). (No 1800. HACH PROGRAM: 2400 n.). United States.
- FRANCO, GERSON. (2010). Availability of water for health and life. What everyone should know. *Diciembre 2010, Vol. 77*(Num. 6), 270.
- GARCIA. (2012). *PROPUESTA DE ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA PARA ECOSISTEMAS HÍDRICOS DE CHILE* (Tesis Doctoral). UNIVERSIDAD DE CHILE FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS, Santiago de Chile. Recuperado a partir de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112367/cf-garcia>
- HELLAWELL , J. (1986). *Biological Indicators of Fresh Water Pollution and Environmental Management* (Vol. 34). New York.

- HUSTEDT, F. (1930). *bacillariophyta* (Jena, Vol. 34). Alemania.
- JHONSON, R., WIEDERHOLM, T., ROSENBERG, D. (1993). *Fresh water biomonitoring using individual organisms, population, and species assemblages of benthic macroinvertebrates* (Chapmann, Vol. VOL. 2). London.
- KRAMMER, K., LARGE-BERTALOT. (1986). *Bacillariophyceae , Naviculaceae, band Subwasserflora* (MOLLEHAUR). Alemania.
- LEIGHTON A., LELAND, H., PORTERS, S.. (1986). Distribucion of benthic algae in the upper Illinois River basin in relation to geology and land use, *44(279)*, 301 p.
- LOBO., E. (2007). UTILIZACION DE LAS DIATOMEAS (BACILLARIOPHYCEAE) PARA LA EVALUACION DE LA CALIDAD DE AGUAS DE RÍOS (Vol. 1, p. 308 p.). Presentado en Criteríos fundamentales para resolver problemas de resistencia de materiales, UNIVERSIDAD SIMON BOLIVAR., Caracas-Venezuela: Equinoccio. <http://doi.org/968115-010>
- LOBO, E. WETZEL. (2014). *Diatomaceas Epilíticas como Indicadores Da Qualidade Da Agua Em Sistemas Loticos Subtropicais E Temperados Brasileiros* (1ra ed., Vol. Vol. 579.8). Santa Cruz de Brasil: EDUNISC.
- LOBO, E., WETZEL, C., ECTOR , L., KATOH, K., BLANCO, S., MAYAMA, S. (2010). *Response of epilithic diatom community to environmental gradients in subtropical tempere brazilian rivers* (Vol. (2)). Brazil: faseo.
- MANN, D. (1999). The Species concept in diatoms, *Vol 38.(Issue 6)*, 437 p. <http://doi.org/10.2216/i0031>
- MELCALFE, J. (s/f). *Biological Water Quality Assessment of Running Waters Based on Macroinvertebrate Communities* (1ra ed.). Europe: History Status.

- MOPT. (1992). Guías metodológicas para la elaboración de estudios de impacto ambiental. CENTRO DE PUBLICACIONES. Recuperado a partir de Atlas Nacional de España
- PREFECTURA DE IMBABURA. (2016). Ibarra-Ecuador.
- PRODERENA. (2013). *Propuesta del Plan de Manejo Racional del Uso del Agua* (p. 134 P.). Quito-Ecuador.
- RAVEN P., EVERT , R., EICHHORN, S. (1996). *Biología Vegetal. ED, RÍO, Koogan*, 261 p.
- REASCOS. (2015). Imbabura: buscan medidas para controlar contaminación del río Ambi. En ARCA. Ibarra-Ecuador. Recuperado a partir de <http://www.agricultura.gob.ec/imbabura-buscan-medidas-para-controlar-contaminacion-del-rio-ambi>
- REOLON. (2010). PROGRAMA DE FORMACIÓN IBEROAMERICANO EN MATERIA DE AGUAS. En *Área Temática 3.3. Calidad de las Aguas* (p. 77 p.). Buenos Aires- Argentina: MVOTMA. Recuperado a partir de www.DINAMA.GUB.UY
- REVELO W., PRADO M., CASTRO R., BUCHELI R., CALDERON., MACIAS P. (2012). caracterización química y biológica de sistemas hídricos en la provincia de Los Ríos-Ecuador. Instituto Nacional de Pesca, Vol. 7((2)).
- ROSA, G. M PETRY, T CARLESSO. (2000). *Disponibilidad, Eficiencia y Racionalidad en la utilización De Los Recursos Hídricos*. Brasil: Ciencia y Ambiente.
- ROUND, F., CRAWFORD, M., MANN, D. (1990). *The diatoms. Cambridge*, 7(University Press), 747 p.
- SCHINDLER. (2006). Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Knowledge Project, the nature education* (10).

- SLÁDECEK., V. (1973). System of Water Quality from the Biological Point of View, 7, 218 p.
- TAPIA ELENA. (2002). Estudio de la comunidad Fitoplanctonica en el Estuario Interior de Esmeraldas, Ecuador. *acta oceanográfica del pacifico*, VOL.12 ((1)).
- TEJERO MONZÓN. (2000). *Problemas de ingeniería sanitaria y ambiental*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- TORO J. KUROSAWUA E. (2003). *Diagnóstico de la calidad del agua en sistemas loticos utilizando diatomeas y macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores Río Maipo* (CEA). Santiago de Chile: SOCIEDAD CHILENA HIDRAULICA.
Recuperado a partir de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd20/ríomaipo.pdf>
- TORRES GLADYS. (1996). DISTRIBUCION DE LA DENSIDAD FITOPLANCTONICA EN UNA ESTACION FIJA COSTERA, LA LIBERTAD-ECUADOR. *acta oceanográfica del pacifico*, Vol. 8((1)).
- TORRES, P. CRUZ., C. PATINO. (2009). WATER QUALITY INDEX IN SURFACE SOURCES USED IN WATER PRODUCTION FOR HUMAN CONSUMPTION. A CRITICAL REVIEW. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8, NaN, pp. 79–94, 150 p. <http://doi.org/1692-3324>
- URREA, G., SABATER, S. (2009). *Epilithic diatoms assemblages and their relationship to environmental characteristics in an agricultural watershed*. Brasil: Guadiana River.
- WATANABE, T., ASAI, K. (1992). *Simulation of organic water pollution using highly prevailing diatoms taxa*. Japón: Anomoeoneis.

- WETZEL, C. E. (2011). *Biodiversidade e distribuição espacial de diatomáceas (Bacillariophyceae) na bacia hidrográfica do Río Negro*. UNIVERSIDAD DE BRASIL, SAO PAULO.
- ESCOBAR RAMIREZ. (1990). *La contaminación de las aguas continentales de Bolivia, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Panamá, Perú y Venezuela* (Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y Alimentación, Vol. No 8). Roma: FAO.
- SUBMERSED VEGETATION. (1991). *The American Naturalist*, 118, 383.
- SENAGUA. (2012). *INFORME DE GESTIÓN 2012 SECRETARÍA NACIONAL DEL AGUA* (p. 29). Quito-Ecuador. Recuperado a partir de <http://www.agua.gob.ec/wpSENAGUA-2012.pdf>

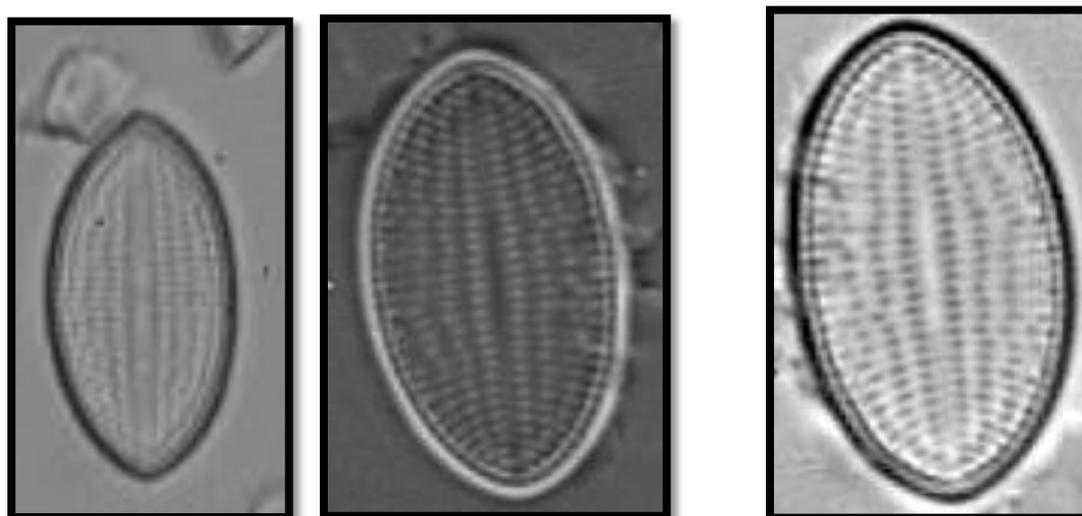
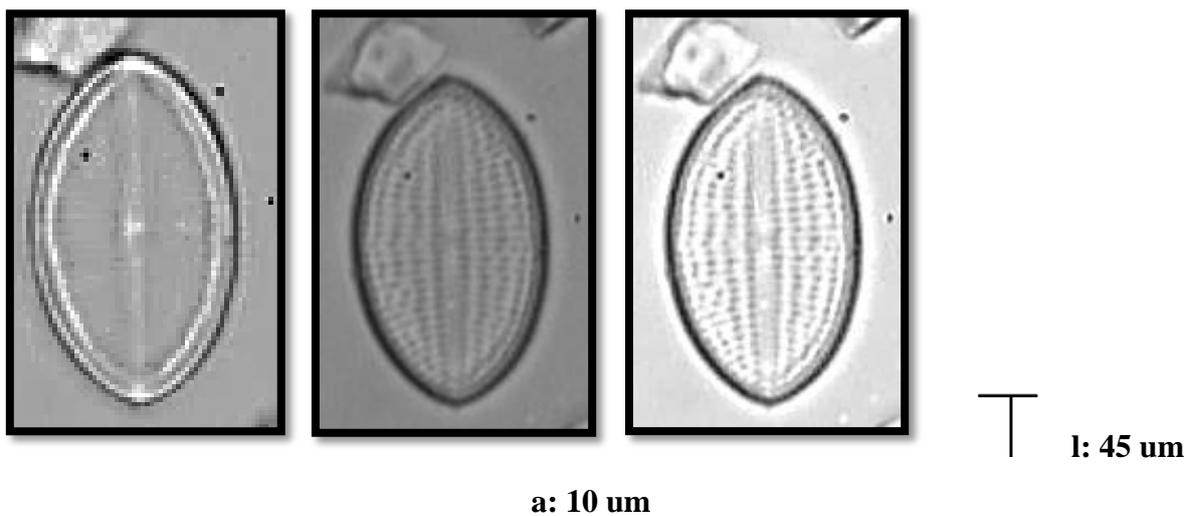
ANEXOS

Especies Descritas en el río Ambi del Ecuador:

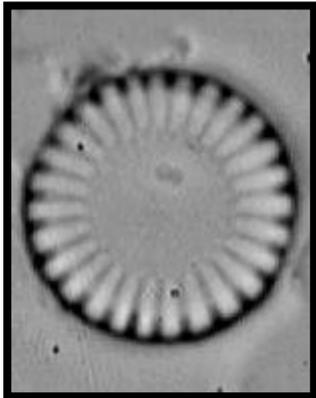
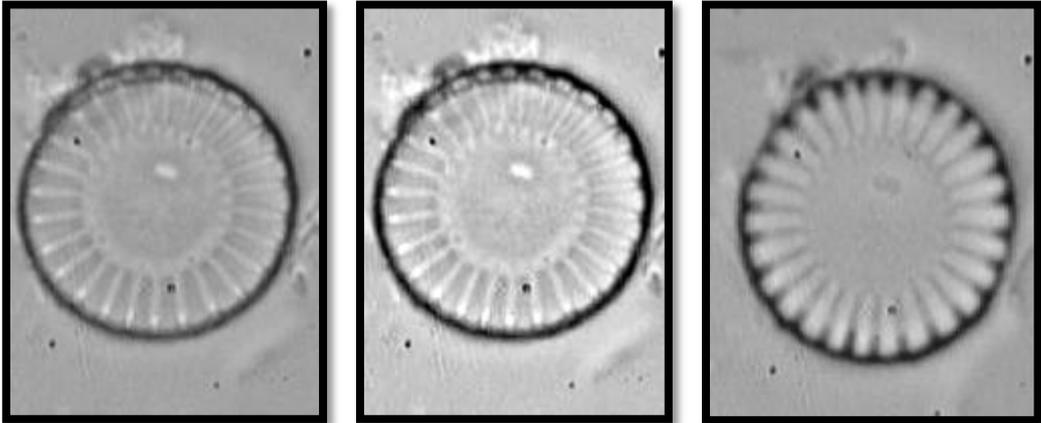
Fotos tomadas con microscopio optico Olympus por Katherine Rosero, 2016.

Río Mira cauce alto:

Cocconeis lineata

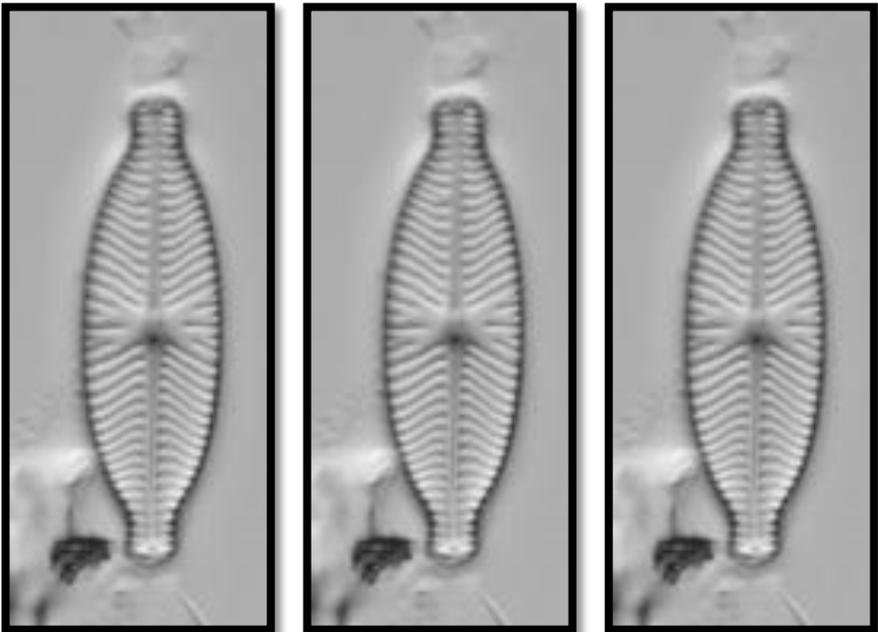


Cyclotella meneghiniana



└ l: 25 um a:10 um

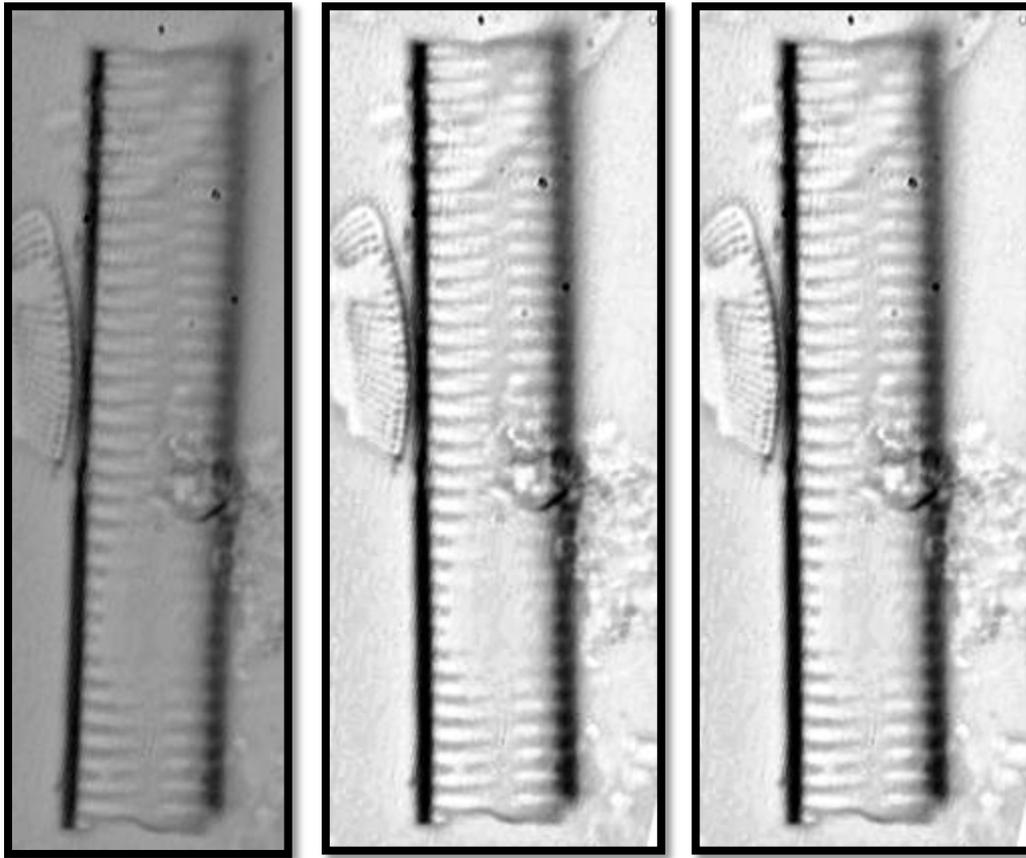
Geissleria decussis



└ l:10 um a:7

um

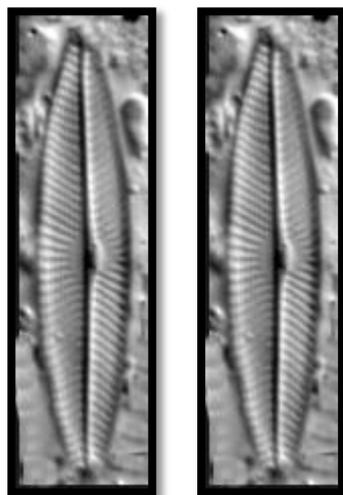
Hantzschia bacillariophyta



100 um a:15 um

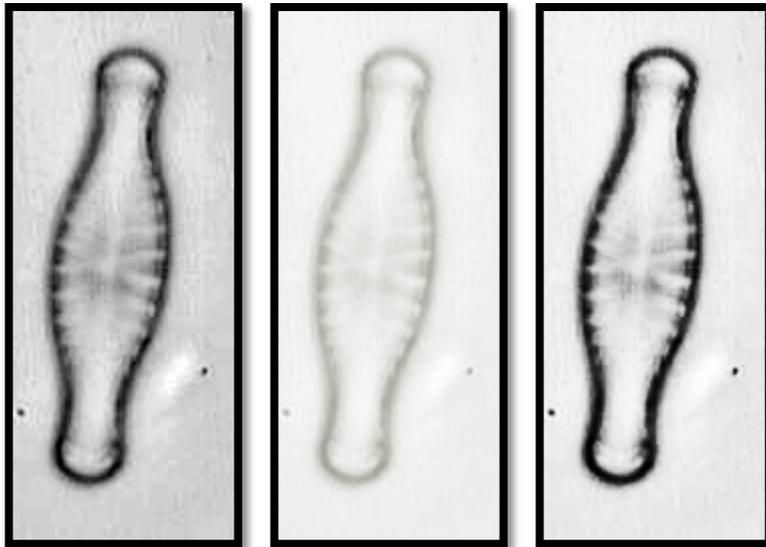
└ l:
l:

Navicula symmetrica



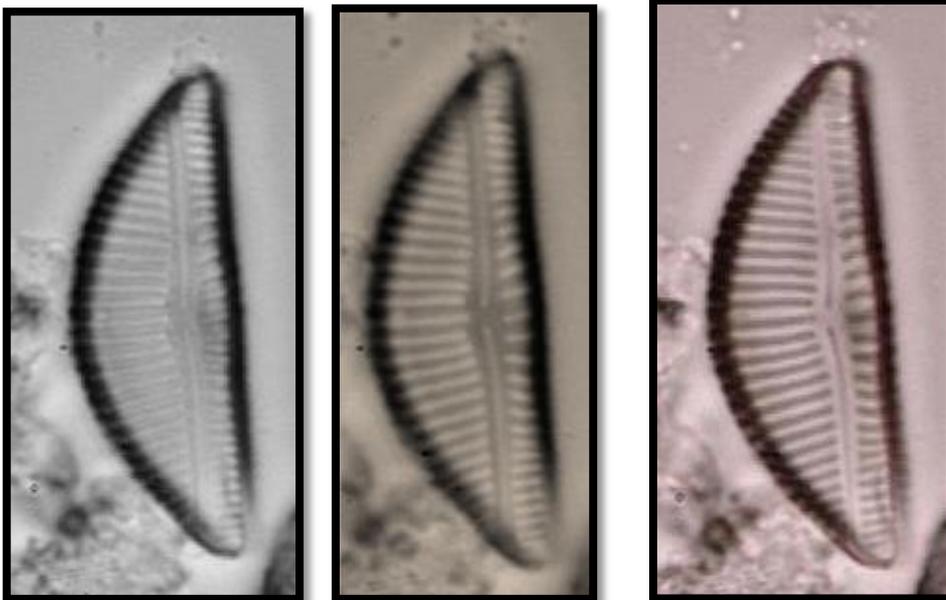
└ l:
l: 30 um a: 5 um

Especie no identificada.



└ 10 um

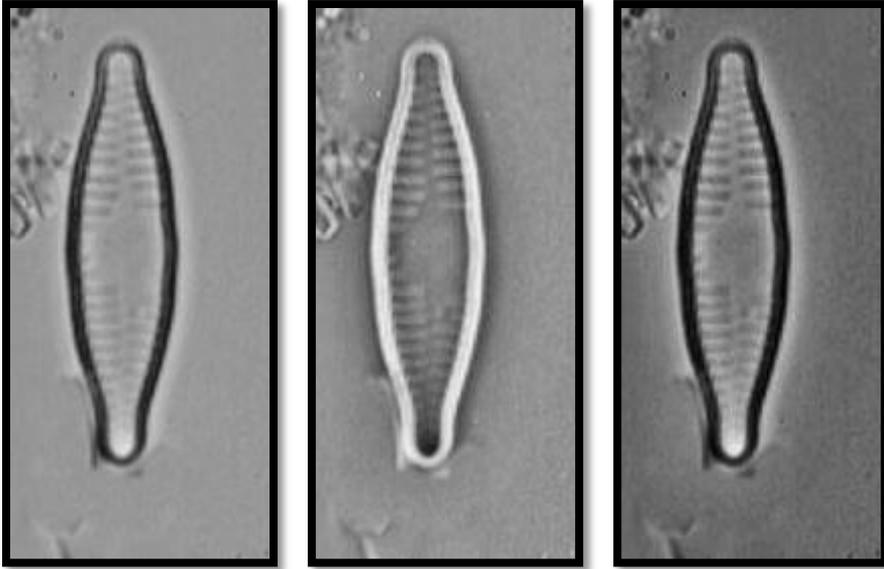
Encyonema minutum



└ l: 27 um

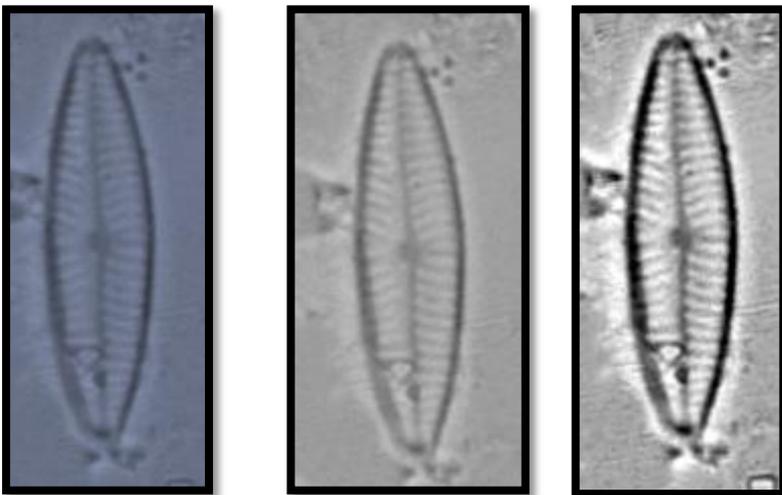
a: 6,5 um

Navicula gregaria



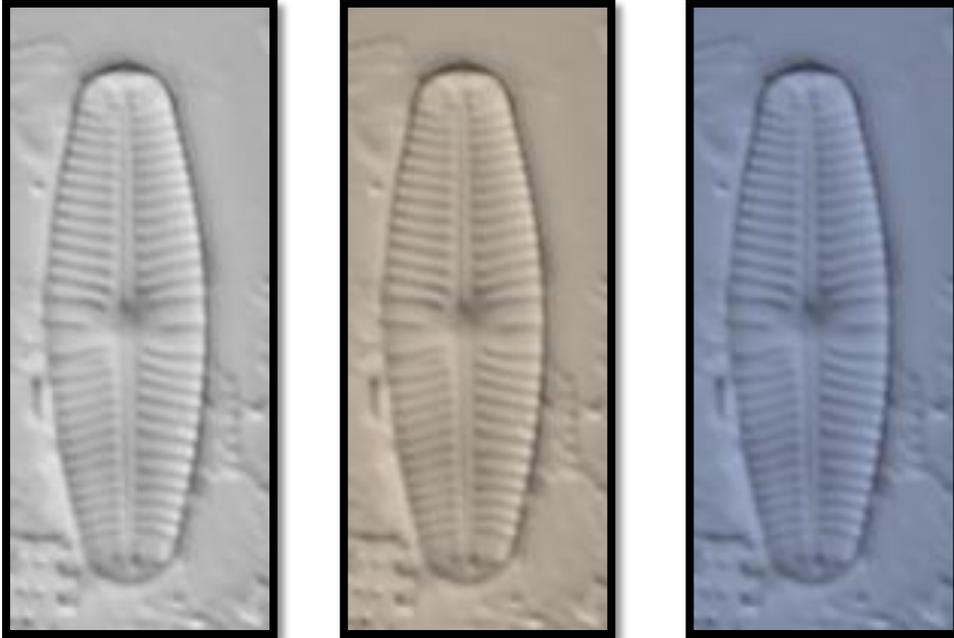
└ 10 um 4um

Navicula cryptotenella



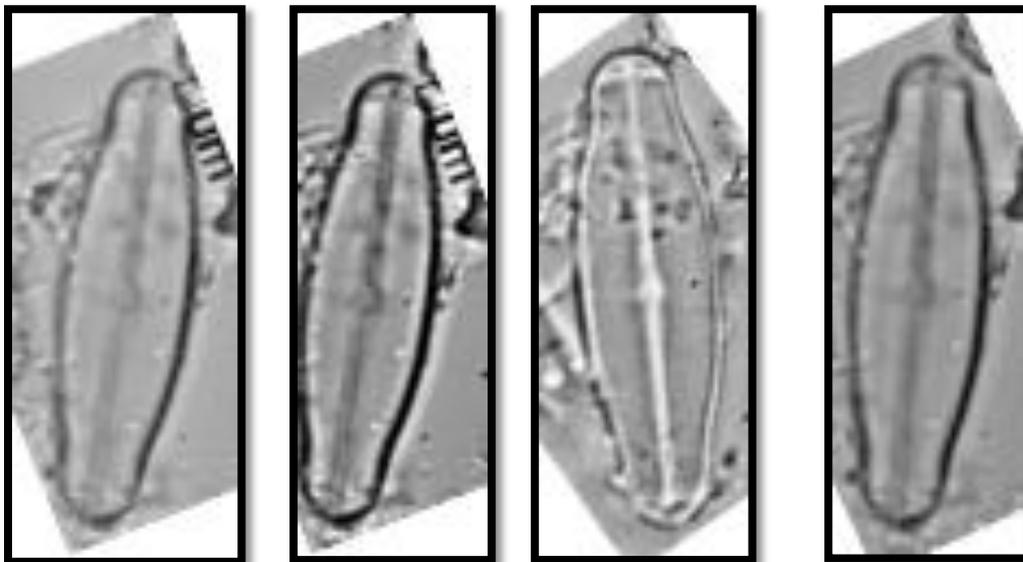
└ 15 um 3um

Geissleria Punctifera



l: 25 um a: 6um

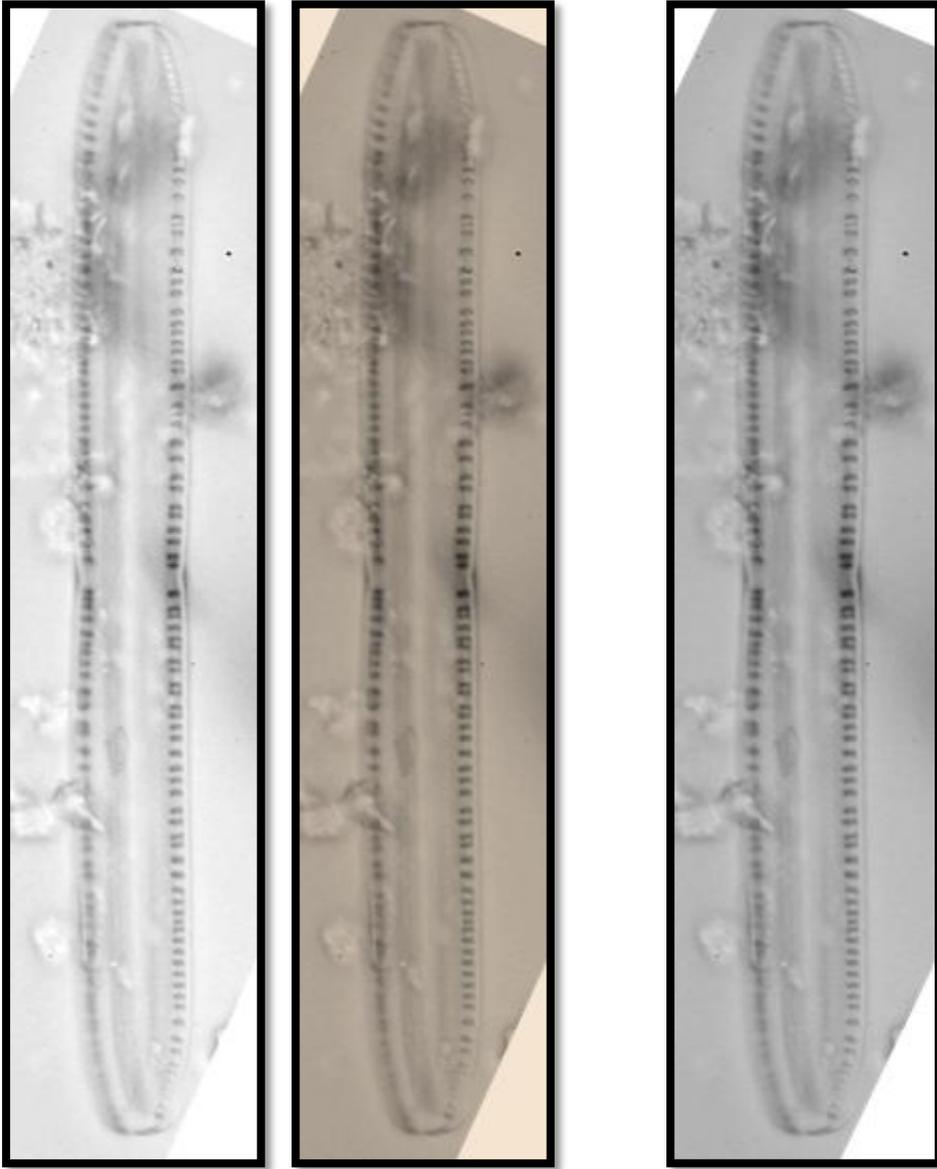
Adlafia Muscora



l: 25

um a: 7 um

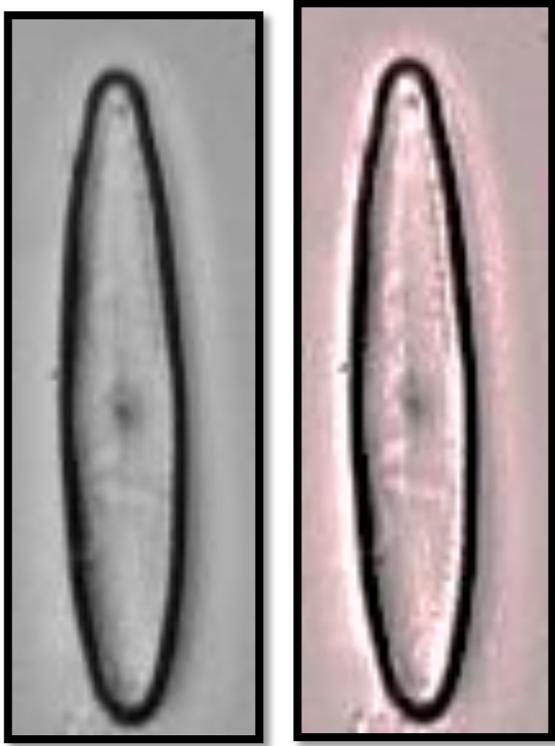
Nitzschia longissima (Brebisson)



um a 12 um

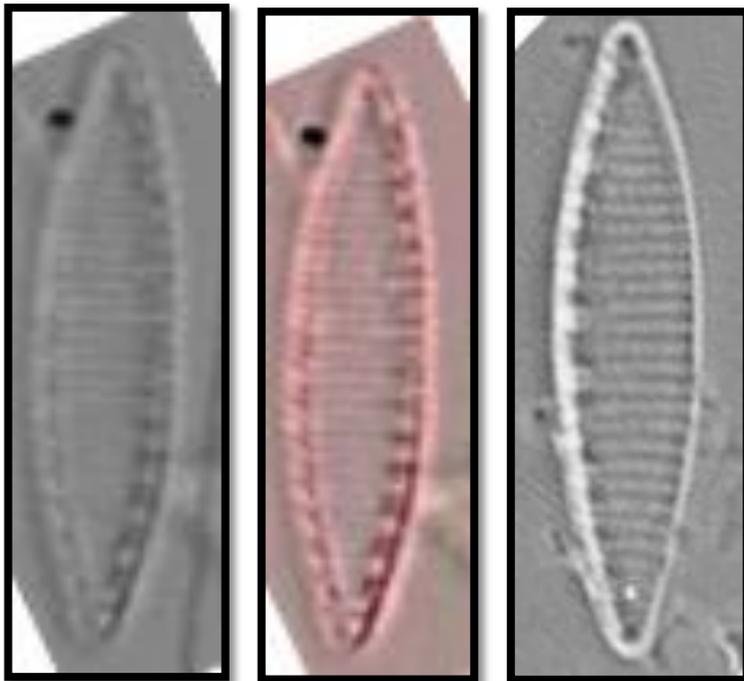
└ 1: 150

Amphipleura lindheimeri



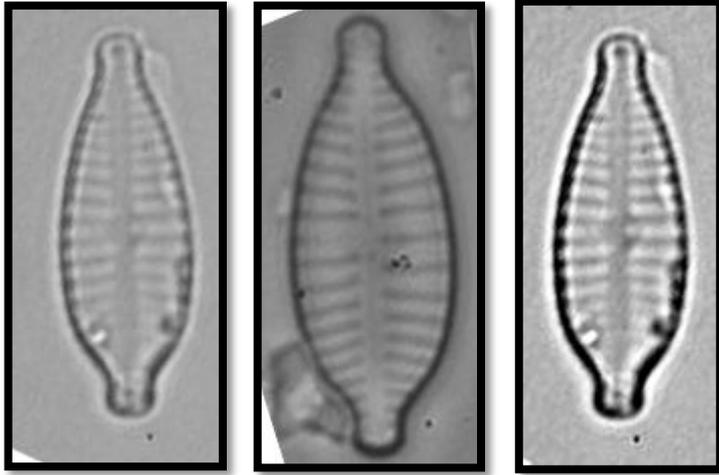
┌ 1: 50 um a:5 um

Nitzschia amphibia



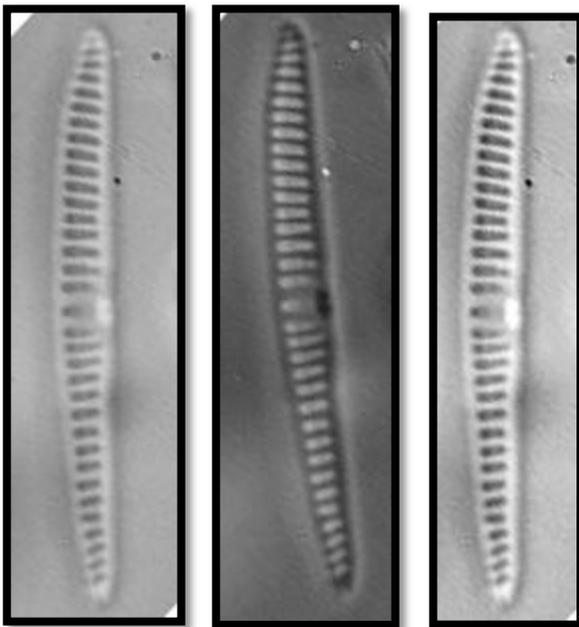
┌ 10 um

Gomphonema lagenula



T 10um

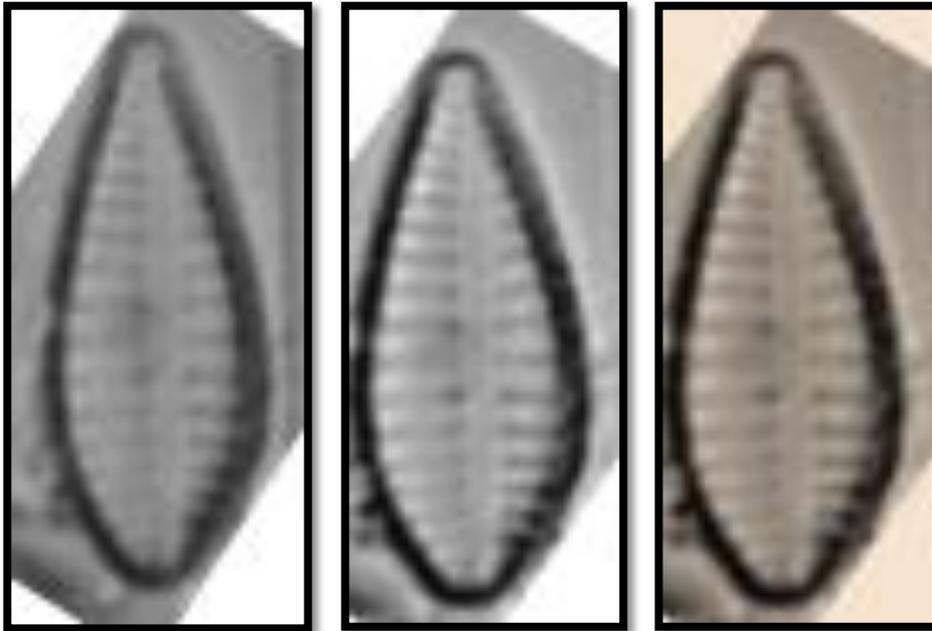
Especie no identificada



T l: 30um a: 2 um

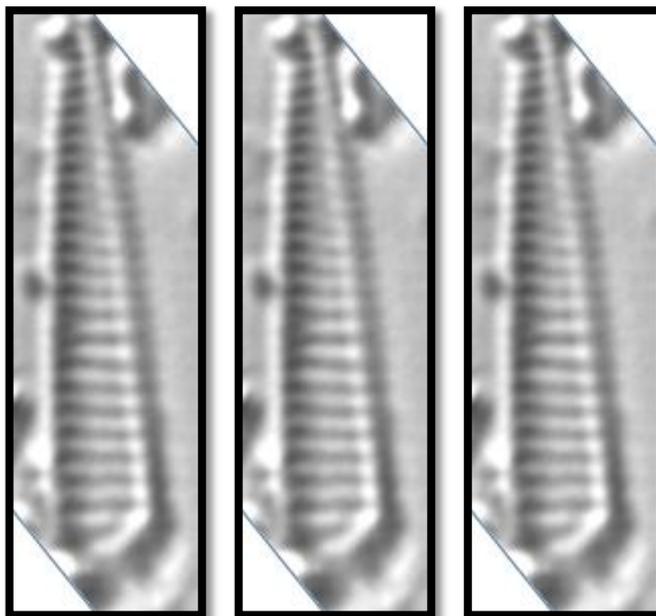
Cauce medio ambi

Gophonema aff pseudoaugur



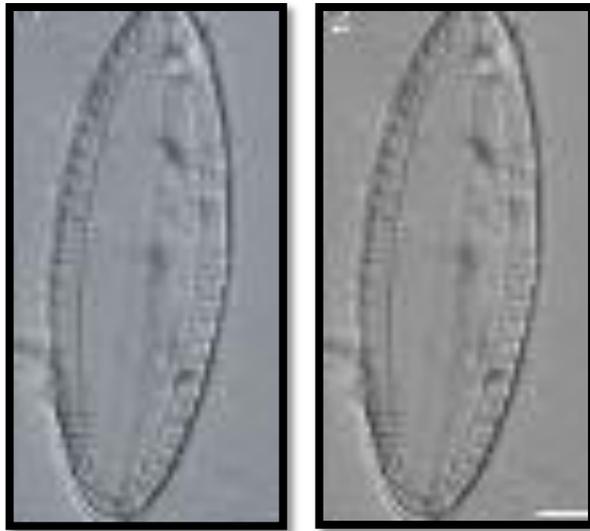
└ 10 um

Especie no identificada



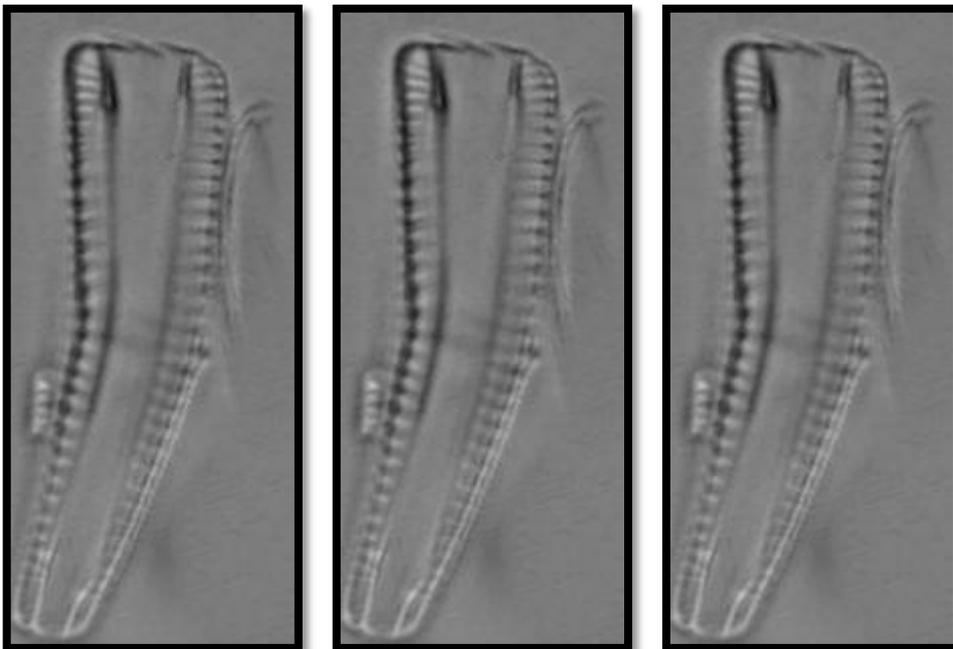
└ 10 um

Mastogera patens



┌
| 10 um

Diatomea Curvada



┌
| *l*: 17 um

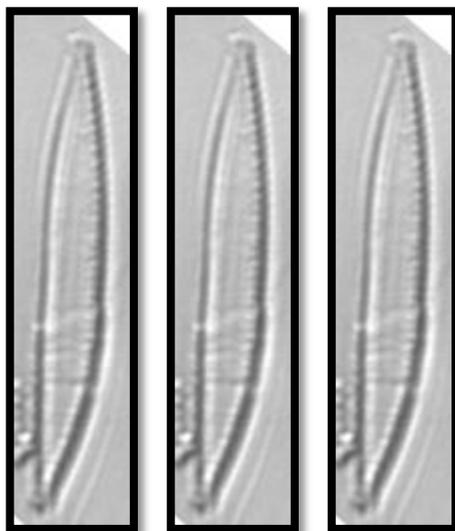
a: 4 um

Especie no identificada



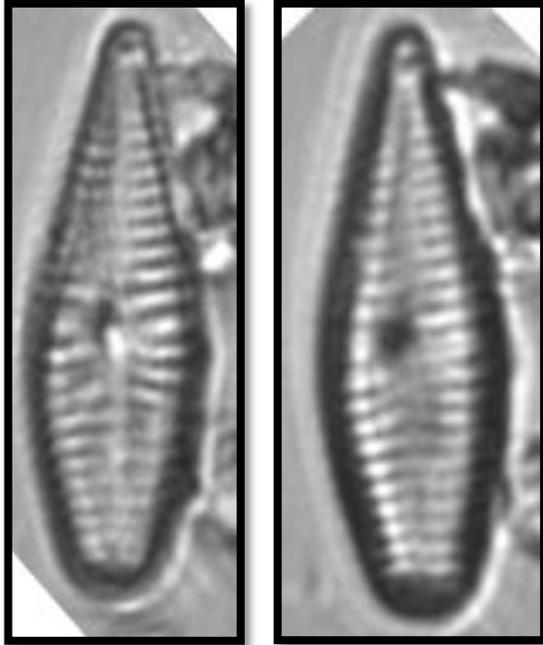
└ 10 um

Nitzia palea



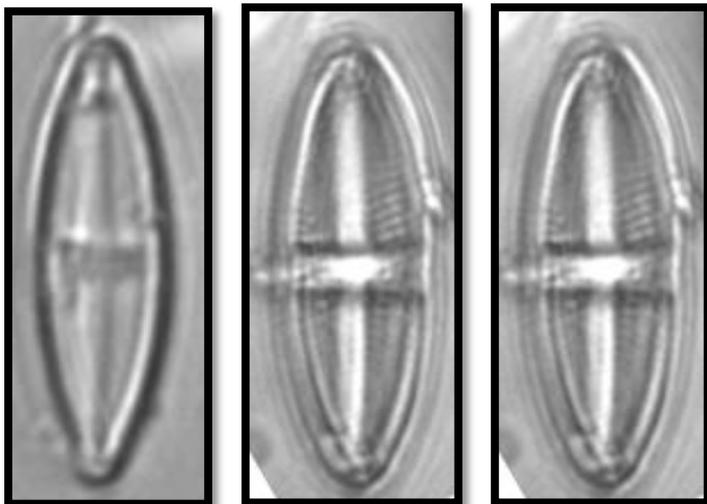
└ 10 um

Gomphonema parvulum



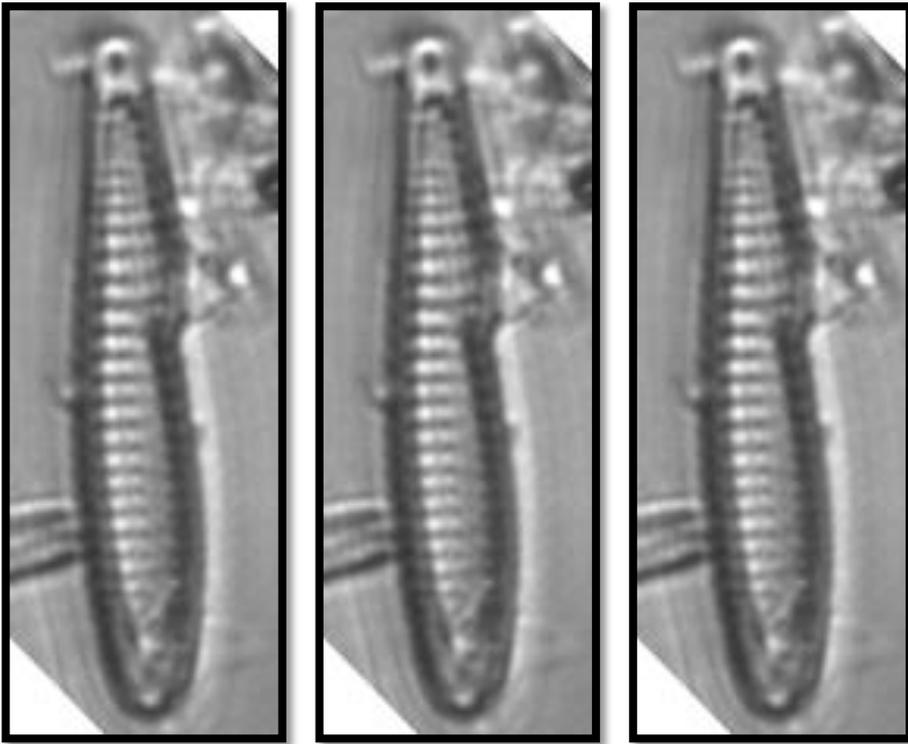
└ *l: 25um a: 6um*

Luticola goeppertiana



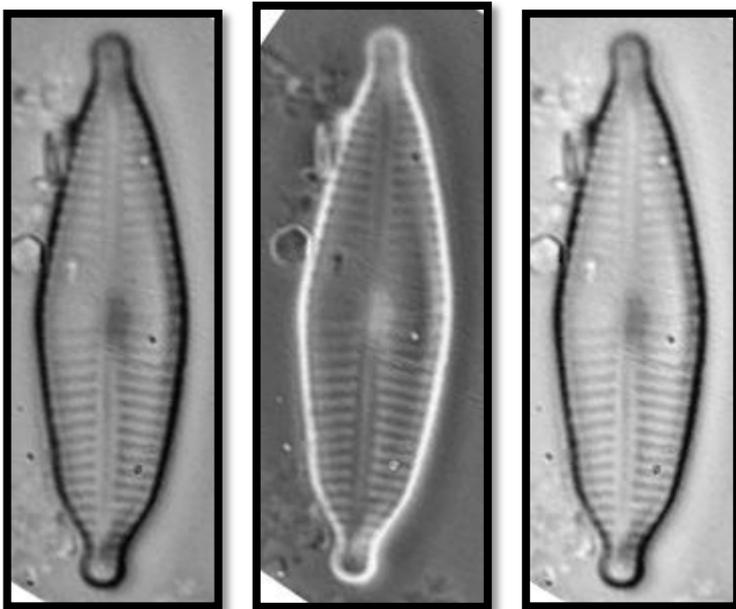
└ *l: 30um a: 7um*

Especie no identificada



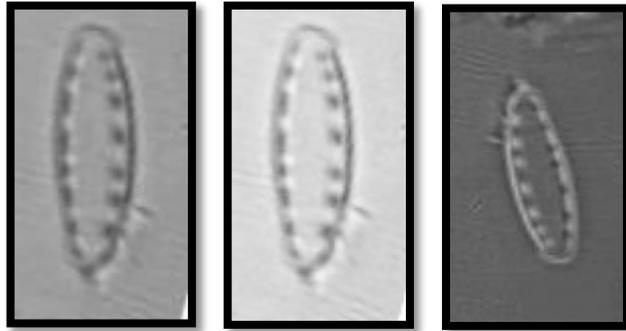
└ 10 um

Gomphonema lagenula



└ 10 um

Nitzchia inconspicua



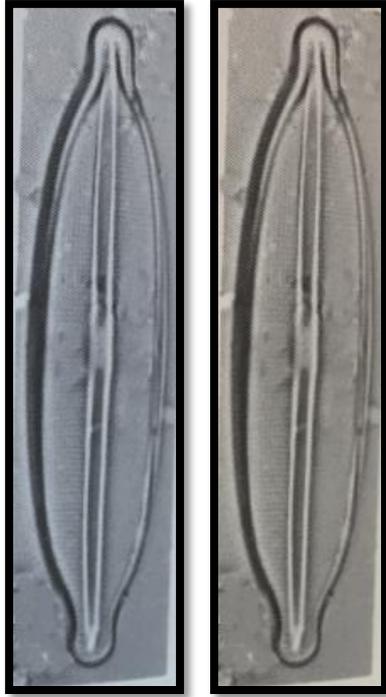
T 10 um

Amphipleura lindheimeri



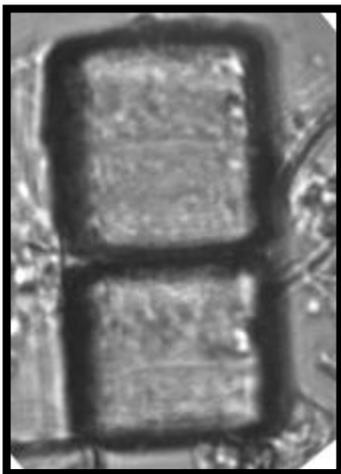
T 10 um

Frustulia guayanensis spp. ecuadoriana



┌
l: 30 um a: 5 um

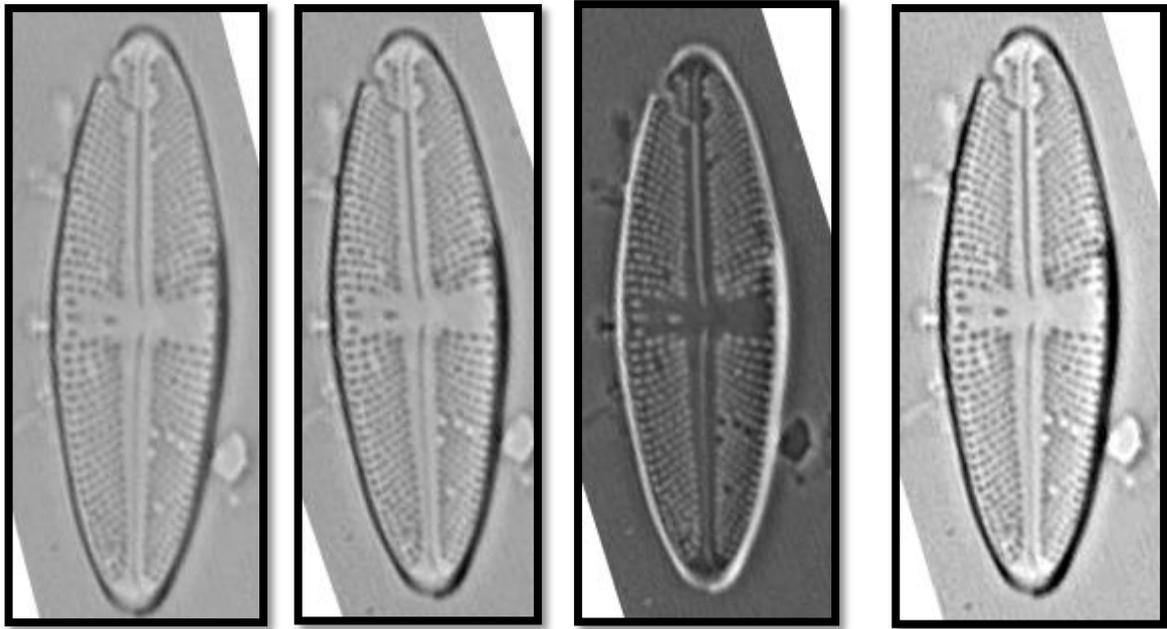
Melariosia varians



┌
l: 10 um a: 6, 7 um

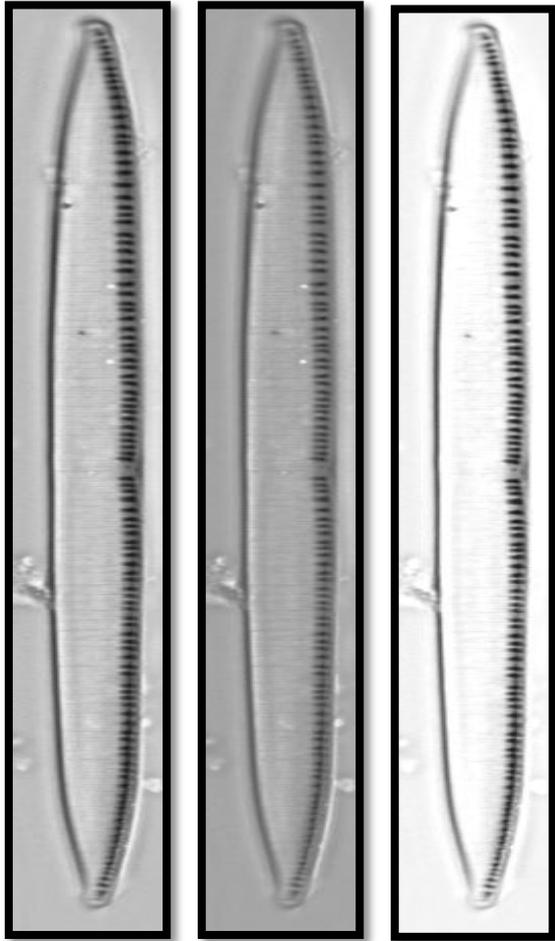
Río Ambi cauce bajo

Litucola goeppertiana



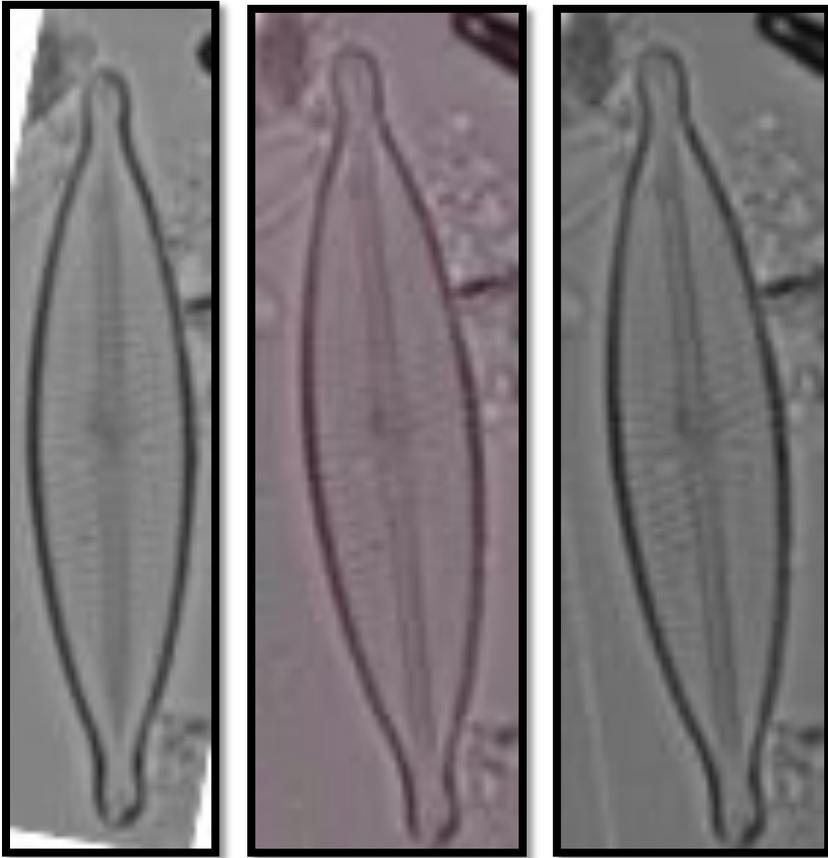
T
l: 30 um a: 7um

Nitzschia linearis



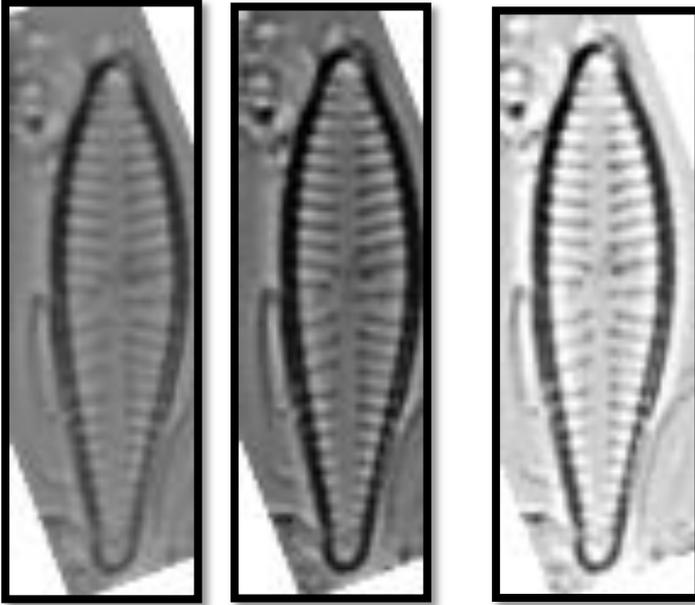
l: 75 um a: 5 um

Navicula rostellata



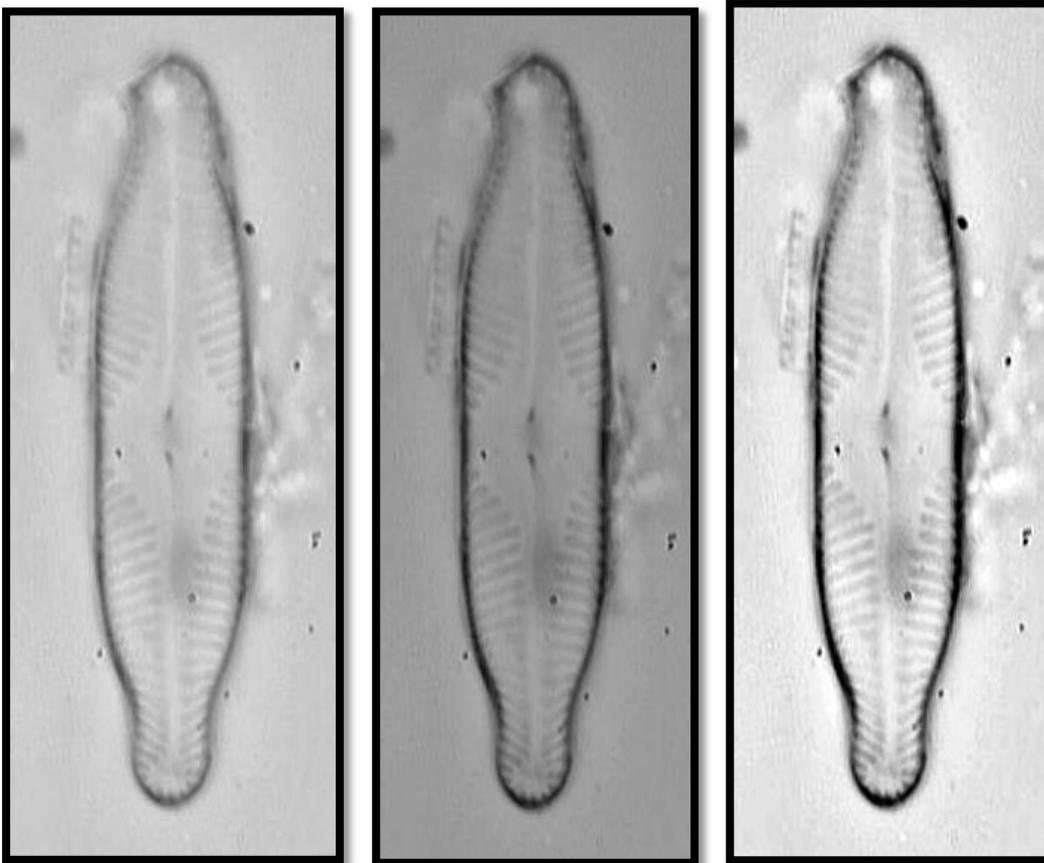
T
l: 35 um a: 8 um

Gomphonema parvulum



T
l:25um a:6 um

Sellaphora auldreekie



T
l: 30 um a:7 um

ANEXO B

PLANTILLA DE IDENTIFICACION PARA PLACAS FIJAS DE DIATOMEAS

AMBI- 1	AMBI- 2	AMBI- 3	AMBI- 4
CAUCE	CAUCE	CAUCE	CAUCE
ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
PROYECTO DIATOMEA S	PROYECTO DIATOMEA S	PROYECTO DIATOMEA S	PROYECTO DIATOMEA S
KATHY ROSERO 16/OCT/15	KATHY ROSERO 22/DIC/15	KATHY ROSERO 20/FEB/16	KATHY ROSERO 26/MAR/16
Imbabura	Imbabura	Imbabura	Imbabura

AMBI- 1	AMBI- 2	AMBI- 3	AMBI- 4
CAUCE	CAUCE	CAUCE	CAUCE
MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
PROYECTO DIATOMEA S	PROYECTO DIATOMEA S	PROYECTO DIATOMEA S	PROYECTO DIATOMEA S
KATHY ROSERO 16/OCT/15	KATHY ROSERO 22/DIC/15	KATHY ROSERO 20/FEB/16	KATHY ROSERO 26/MAR/16
Imbabura	Imbabura	Imbabura	Imbabura

AMBI- 1	AMBI- 2	AMBI- 3	AMBI- 4
CAUCE	CAUCE	CAUCE	CAUCE
BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
PROYECTO DIATOMEA S	PROYECTO DIATOMEA S	PROYECTO DIATOMEA S	PROYECTO DIATOMEA S
KATHY ROSERO 16/OCT/15	KATHY ROSERO 22/DIC/15	KATHY ROSERO 20/FEB/16	KATHY ROSERO 26/MAR/16
Imbabura	Imbabura	Imbabura	Imbabura

ANEXO C

PLANTILLA DE INFORMACIÓN DE PLACAS FIJAS DE DIATOMEAS

Slide nº AMBI 1	Sample Nº 1	Date: 16/OCT/15
Locality: río Ambi provincia de Imbabura zona del cauce alto o naciente del río		
		Collected by: Kathy Rosero
Mounted in: Pleurax	By: Kathy Rosero	
Taxa observed: análisis cuantitativo		

Slide nº AMBI 2	Sample Nº 2	Date: 22/DIC/15
Locality: río Ambi provincia de Imbabura zona del cauce medio del río.		
		Collected by: Kathy Rosero
Mounted in: Pleurax	By: Kathy Rosero	
Taxa observed: análisis cuantitativo		

Slide nº AMBI 3	Sample Nº 3	Date: 20/FEB/16
Locality: Río Ambi provincia de Imbabura zona del cauce bajo o desembocadura del río.		
		Collected by: Kathy Rosero
Mounted in: Pleurax	By: Kathy Rosero	
Taxa observed: análisis cuantitativo		

Slide n° AMBI 4	Sample N° 4	Date: 26/MAR/16
Locality: Río Ambi provincia de Imbabura zona del cauce bajo o desembocadura del río.		
		Collected by: Kathy Rosero
Mounted in: Pleurax	By: Kathy Rosero	
Taxa observed: análisis cuantitativo		