



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES**

Trabajo de Fin de Máster Titulado:

**“CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL  
VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO  
BIOINDICADORES”**

Realizado por:

**ING. HERNAN VINICIO MOINA VELOZ.**

Director del proyecto:

**Susana Elizabeth Chamorro Arias, MSc.**

Como requisito para la obtención del título de:

**MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Quito, 15 de octubre de 2020.



# **CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

## **DECLARACIÓN JURAMENTADA**

Yo, HERNÁN VINICIO MOINA VELOZ, con cédula de identidad # 060326394-8, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este 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.



FIRMA

HERNÁN VINICIO MOINA VELOZ.

060326394-8

**CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN  
ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

**DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

**“CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN  
ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES”**

Realizado por:

**HERNÁN VINICIO MOINA VELOZ.**

Como requisito para la obtención del Título de: **MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Ha sido dirigido por la profesora

**SUSANA ELIZABETH CHAMORRO ARIAS.**

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



FIRMA

SUSANA ELIZABETH CHAMORRO ARIAS. MSC  
DIRECTORA

**CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN  
ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

**LOS PROFESORES INFORMANTES**

Los Profesores Informantes:

**JOSE GABRIEL SALAZAR, MSC**

**JUAN CARLOS NAVARRO, Ph.D.**

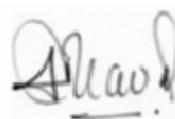
Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador



FIRMA  
Msc. JOSÉ SALAZAR.



FIRMA  
Dr. JUAN CARLOS NAVARRO

Quito, 15 de octubre de 2020.

# **CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de investigación está dedicado a Nelly Leonor, Mateo Sebastián, Fernanda

Salomé, Álvaro Paúl, Elizabeth y Piedad Raquel.

Además de mi Padre que desde el cielo me cuida.

# **CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

## **AGRADECIMIENTO**

Al Gran Arquitecto del Universo que siempre obra en mí en el tiempo perfecto, guiándome bendiciéndome y protegiéndome.

A todos los integrantes del CVA en especial a mi madre Nelly Leonor por su apoyo incondicional y a mi pequeño Mateo Sebastián quien me impulsa a seguir adelante con su sola presencia en mi vida.

A Susana Chamorro por su guía y paciencia al momento de dirigirme en esta investigación, al igual que a Jennifer.

A mis amigos con los cuales puede realizar esta maestría en especial a Dianita, Eliana y Edwin.

Finalmente, al TEAM CNLC SC&WM en especial a Cristian Jara, Zhang Xiang, Wu Zhe y Xing Le, por permitirme combinar mis estudios con las operaciones de perforación en el Bloque Tarapoa de Andes Petroleum.

# **CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

## **Resumen.**

La Reserva Ecológica Antisana se encuentra ubicada en la Cordillera Oriental de los Andes, a 50 Km al sureste de Quito, en la provincia de Napo, con un rango altitudinal de 1400 a 5758 m, y tienen una extensión de alrededor de 120000 Ha, La presente investigación tuvo como objeto evaluar la calidad de agua de los ríos de esta reserva, para lo cual se delimito tres zonas en base a las actividades que en cada una de ellas se realiza, así tenemos, la zona protegida en donde se ubican los puntos P1 - P2, la zona turística P3 - P4 y en la zona poblada P5 - P6.

Es por eso que se evaluaron parámetros bióticos (diatomeas) y abióticos (parámetros fisicoquímicos), para un estudio completo.

Los parámetros fisicoquímicos se los comparó con la normativa nacional vigente (TULSMA), obteniendo como resultado que todos los ríos se encuentran dentro de una clasificación “Muy buena” en cuanto a factores bióticos todos los ríos se encuentran en un estado “oligotrófico”.

Se realizó la identificación de diatomeas encontrándose un total de 181 especies resultantes de los 4 muestreos en los puntos establecidos, de las cuales 22 son especies indicadoras. El índice de ShannonWiener presenta que la diversidad está en rangos normales, pero con baja equitatividad.

Se encontró que los valores de amplitud ecológica “V” proporcionados por el programa OMNIDIA en el 50% de las especies indicadoras no obedecen a las abundancias relativas y absolutas que se encontró en esta investigación, por lo cual se tuvo que recalcular el valor de la amplitud ecológica “V” obteniéndose un IPS diferente al sugerido por el programa OMNIDIA.

Palabras clave; amplitud ecológica, diatomeas epilíticas, calidad de agua, índice trófico.

# **CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

## **Abstract.**

The Antisana Ecological Reserve is located in the Eastern Cordillera of the Andes, 50 km southeast of Quito, in the province of Napo, with an altitude range of 1400 to 5758 m, and has an area of around 120,000 Ha. The purpose of this research was to evaluate the water quality of the rivers of this reserve, for which three areas were delimited based on the activities that are carried out in each of them, thus we have, the protected area where the points are located P1 - P2, the tourist area P3 - P4 and in the populated area P5 - P6.

That is why biotic (diatoms) and abiotic (physicochemical parameters) parameters were evaluated for a complete study. The physicochemical parameters were compared with the current national regulations (TULSMA), obtaining as a result that all rivers are within a "Very good" classification in terms of biotic factors, all rivers are in an "oligotrophic" state.

Diatom identification was carried out, finding a total of 181 species resulting from the 4 samplings at the established points, of which 22 are indicator species. The ShannonWiener index shows that the diversity is in normal ranges, but with low equality.

It was found that the ecological amplitude values "V" provided by the OMNIDIA program in 50% of the indicator species do not obey the relative and absolute abundances found in this investigation, for which the value of the ecological breadth "V" obtaining a different IPS from the one suggested by the OMNIDIA program.

Keywords; ecological breadth, epilithic diatoms, water quality, trophic index.

# **CALIDAD DE AGUA EN LOS RÍOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

## **1. Introducción**

Los ecosistemas de alta montaña de los Andes del Norte de Ecuador son poseedores de altos niveles de biodiversidad y endemismo (Brooks et ál. 2006, Langhammer et ál. 2007, Mittermeier et ál. 1998), y son considerados como espacios culturales y económicos, debido a una variedad de atributos que poseen, entre ellos, la regulación de patrones bioclimáticos y físicos de la cordillera, los mismos que han influenciado en las prácticas y dinámicas de integración de las sociedades andinas abasteciéndolas de recursos naturales (Cuesta et al., 2012), en especial del recurso hídrico. En este sentido, es importante destacar que los ecosistemas acuáticos en zonas altoandinas son de gran importancia debido al rol que desempeñan, por el almacenamiento y regulación del agua derivada del deshielo de glaciares, las precipitaciones y las aguas subterráneas (Buytaert et al., 2006).

Sin embargo, dichos ecosistemas han sido fuertemente afectados debido al mal uso de suelo, especialmente por la expansión de la frontera agrícola, la quema de vegetación natural, y el sobrepastoreo (Cuesta et al., 2012), las mismas que a más de producir pérdidas en la biodiversidad y degradación del suelo, generan un deterioro en la captación y regulación del agua, de manera que el daño provocado en el ecosistema terrestre tiene una influencia directa en los ecosistemas acuáticos (Fausch et al., 2002, Steel et al., 2010). En este contexto, los ecosistemas acuáticos pueden sufrir graves afecciones en su calidad ecológica, la misma que consiste en la interrelación de componentes bióticos y abióticos, el suministro de energía, la química del agua, la estructura del hábitat y el régimen del caudal (Ordoñez M., 2011).

Ecuador al ser un país que se encuentra ampliamente irrigado por ríos exuberantes y copiosos y que en su mayoría nacen de la zona andina del país, se han constituido en fuentes fundamentales de agua para las poblaciones. En el caso específico de los Andes de la zona norte de Ecuador en la provincia de Pichincha, donde se encuentra ubicada la Reserva Ecológica Antisana, y de la cual se desprenden tres ríos importantes el Antisana, Jatunhuayco

## **CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

y Diguchi, pues abastecen aproximadamente a 279 mil personas del sur de Quito, teniendo este como antecedente, resulta necesario conocer la calidad de agua de estos tres afluentes, puesto que en su recorrido hasta llegar a los hogares sureños de Quito, pasan por zonas naturales, turísticas y populares y en cada una de ellas existen perturbaciones diferentes sean naturales o antrópicas que pueden alterar la calidad de agua de estos ríos.

Frente a esto, los estudios sobre calidad de agua buscan identificar las características de un cuerpo hídrico, las mismas que pueden ser determinadas a partir del análisis de variables fisicoquímicas y biológicas.

Los parámetros físicos determinan aspectos morfológicos del cuerpo hídrico, tales como la continuidad y el régimen hidrológico del río, en cuanto a los parámetros químicos, permiten conocer el DBO, OD, pH, conductividad, sólidos suspendidos, entre otros (Moreno, 2001).

Además, en el presente trabajo se enfatiza el estudio de organismos bioindicadores de ecosistemas. Según Gonzáles (2014), son organismos que tienen una sensibilidad marcada, la misma que genera una respuesta frente a cambios que se hayan producido en un sistema acuáticos ya sean por factores abióticos como bióticos, lo que permite cuantificar y calificar el nivel de contaminación presente en el área de estudio.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se hace principal énfasis en la identificación de diatomeas como bioindicadores de calidad de agua en los ríos de alta montaña, puesto que son organismos que presentan ciertos grados de sensibilidad de acuerdo a la especie y a los diferentes niveles de calidad de agua presentes en un cuerpo hídrico, esto se traduce en abundancia y riqueza poblacional. Además, son organismos que requieren un procesamiento sencillo y rentable (Lobo et al., 2016) lo que las hace idóneas para este tipo de evaluación.

Las diatomeas epilíticas, son organismos comúnmente empleados en estudios de calidad de agua que en su mayoría son desarrollados en sistemas lénticos (lagos, laguna,

## **CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

embalses) generando resultados satisfactorios (Michelutti et al., 2016) para ese tipo de ecosistemas. Sin embargo, en sistemas lóticos poco se sabe acerca del uso de diatomeas epilíticas como bioindicadores de ecosistemas (Castillejo et al., 2018). Por lo tanto a partir de la agrupación natural de las muestras colectadas en este estudio queremos intentar calcular los parámetros auto ecológicos de las especies y obtener un conocimiento claro acerca de la calidad de agua en sistemas lóticos de alta montaña usando diatomeas como bioindicadores.

### **2. Hipótesis.**

- De acuerdo a la abundancia y riqueza de la población de diatomeas encontradas en cada una de las tres zonas de estudio de la Reserva Ecológica Antisana, se determina que la zona protegida es una zona oligotrófica, la zona turística es una zona mesotrófica y la zona poblada es una zona eutrófica.
- La amplitud ecológica de una especie que tienen una alta frecuencia tiene un valor de “V” menor.

### **3. Objetivos.**

#### **3.1. General.**

- Determinar la calidad de agua de los ríos de alta montaña de la Reserva Ecológica Antisana usando las diatomeas como bioindicadores.

#### **3.2. Específicos.**

- Determinar el nivel de eutrofización de las zonas: protegida, turística y poblada que son objeto de nuestro estudio, mediante la identificación y conteo de las diatomeas en cada uno de los 6 puntos de muestreo.
- Comparar los parámetros fisicoquímicos de cada uno de los puntos muestreados con la normativa TUSLMA de acuerdo a su uso.

## **CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

- Definir las diatomeas específicas de cada zona en estudio. en base a los parámetros fisicoquímicos.
- Contribuir con información de riqueza y abundancia de las diatomeas encontradas en la Reserva Ecológica Antisana para el área de Limnología de la Universidad Internacional SEK.

### **4. Materiales y Métodos.**

#### **4.1. Metodología de campo**

La Reserva Ecológica Antisana se encuentra ubicada en la Cordillera Oriental de los Andes, a 50 Km al sureste de Quito, en la provincia de Napo, con un rango altitudinal de 1400 a 5758 m, y tienen una extensión de alrededor de 120000 Ha. (MAE).

El área de estudio fue definida en tres zonas importantes en relación al tipo de disturbio presente en el lugar sea de origen natural o antrópico. De acuerdo a las actividades económicas que se producen en la reserva se determinaron tres zonas de muestreo. La primera zona se denominó protegida ya que en ésta no se realiza ningún tipo de actividad económica. En la segunda zona la principal actividad económica es el turismo. Finalmente, la tercera zona se encuentra fuera del área protegida y se denominó zona poblada. En cada uno de los sitios antes mencionados se tomaron 2 puntos y se realizó 4 muestreos por punto, estos puntos fueron seleccionados en base a una gradiente altitudinal, y se realizó el muestreo cada dos

# CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES

meses.

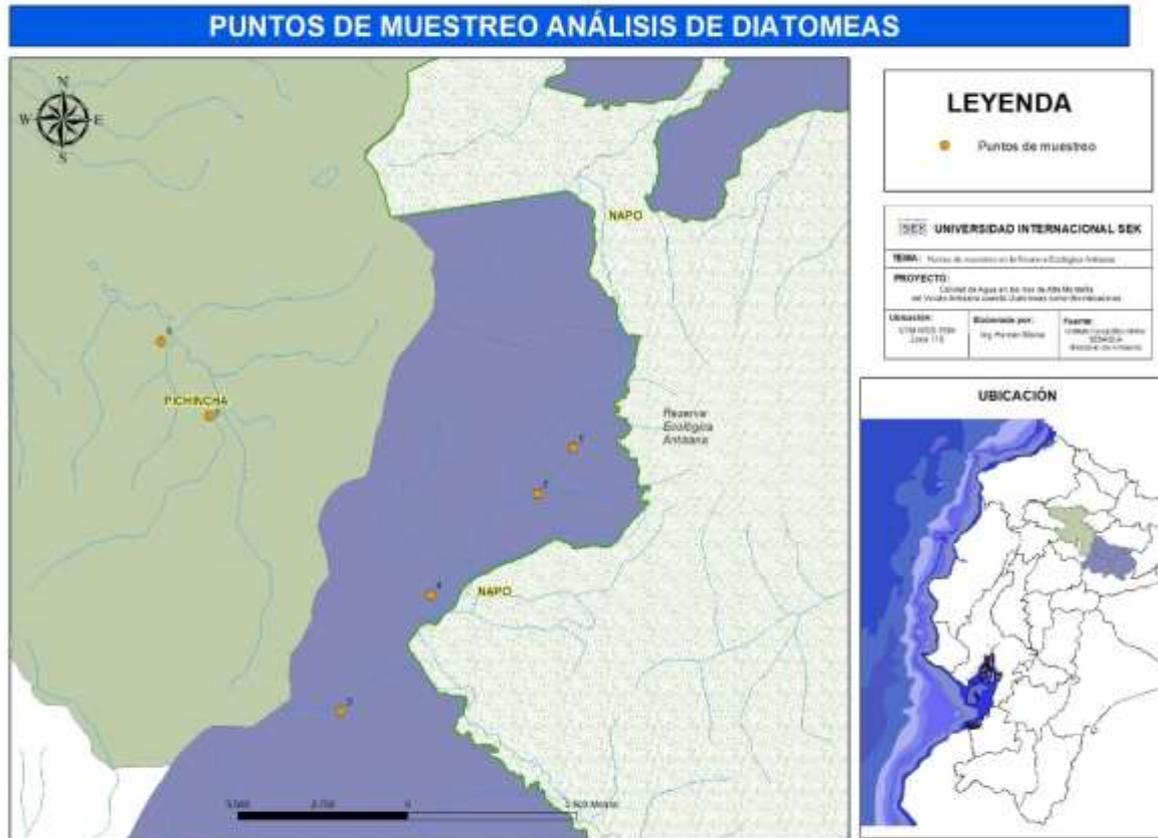


Fig 1 Localización de la Reserva Ecológica Antisana y sitios específicos de muestreo.

Mapa realizado por: Hernán Moina Veloz.

## CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES

---

Tabla 1 Información de los sitios de muestreo en la Reserva Ecológica Antisana

Zona	Sitio de Estudio	Estación de muestreo	Altura (msnm)	Coordenadas UTM (este; norte)
<b>Protegida</b>	Deshielo	Punto 1	4221	(812231; 9945249)
<b>Protegida</b>	Deshielo	Punto 2	4097	(811086; 9943739)
<b>Turística</b>	Río Diguchi	Punto 3	3931	(804701; 9936652)
<b>Turística</b>	Río Jatunhuayco	Punto 4	3942	(807622; 9940446)
<b>Poblada</b>	Río Puente	Punto 5	3668	(800458; 9946289)
<b>Poblada</b>	Río Hostería	Punto 6	3466	(798879; 9948725)

---

### 4.1.1. Muestreo variables ambientales

Con la ayuda de un multiparámetro HACH, se tomaron 10 variables ambientales in-situ en cada punto de muestreo, estas variables son: Temperatura del agua (T\*), Potencial hidrógeno (pH), Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Oxígeno disuelto (mg/L), Turbidez (NTU), Sólidos disueltos (TDS mg/L), DBO5 (mg/L), Alcalinidad (mg/L), Dureza total (mg/L) y Clorofila (Abs).

## **CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

### **4.1.2. Muestreo variables biológicas**

De agosto del 2018 a abril del 2019 se colectó muestras de diatomeas en las tres áreas protegida, turística y poblada siguiendo la metodología de Battarbee 1986; Battarbee et al. 2001; ECS2003; Blanco, Álvarez & Cejudo 2008 que consiste en obtener las diatomeas de muestras compuestas de la comunidad muestreada.

Tratamiento de muestra, montaje de láminas permanentes recuento taxonómico de diatomeas en microscopía óptica. El tratamiento de muestras consistió en eliminar la materia orgánica basándose, principalmente en el protocolo “European Committee for Standardization (ECS, 2003). El proceso consistió en añadir peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 30%) en muestras sin tratar en un baño maría a 90°C y ácido clorhídrico (HCl) a 37%.

La preparación de láminas permanentes se realizó basándose en los protocolos de (Battarbee 1986; Battarbee et al. 2001; ECS 2003; Blanco, Álvarez & Cejudo 2008) el cual consiste utilizar como medio de inclusión Naphrax® (I.R.=1,73). Para obtener la abundancia de especies, nos basamos en el protocolo de Blanco, 2010, que consiste en generar números aleatorios para recuentos en microscopía óptica de la lámina preparada bajo el aumento de 100x, registrando cada individuo encontrado hasta obtener 400 valvas.

El análisis taxonómico de las diatomeas se realizó basándose en la clasificación de Round et. al (1990), siempre que fuera posible, en el análisis de poblaciones.

La diversidad de diatomeas se analizó al microscopio óptico binocular EUROMEX equipado con contraste de fase, luz polarizada circular de contraste (DIC) y sistema de captura de imagen con cámara, modelo CMEX-PRO 18.

Las identificaciones se realizaron en el laboratorio de Limnología en la Universidad Internacional SEK y corroborado por el Laboratorio Diatomológico de la Universidad de León.

# **CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

## **4.2. Análisis de datos.**

Todas las especies de diatomeas fueron validadas en el programa OMNIDIA y se utilizó el IPS (Pollution Sensitivity Index) basados en “V” y “S”, para caracterizar a las especies presentes en los diferentes puntos de muestreo. Los valores de tolerancia o amplitud ecológica “V” pueden ser de 1 a 3, siendo 1 alta amplitud ecológica y 3 baja amplitud ecológica. Los valores de sensibilidad “S” van desde 1 baja sensibilidad hasta 5 alta sensibilidad, siendo así, las especies consideradas indicadoras tuvieron un IPS de V=3 y S=5, en este punto se recalculo el valor de “V” ya que para muchas especies de nuestro estudio no concordaba el “V” dado por el programa OMNIDIA, se planteó la hipótesis “la amplitud ecológica de una especie que tienen una alta frecuencia tiene un valor de “V” menor.

Para determinar la influencia de los parámetros fisicoquímicos en la comunidad de diatomeas, se realizó el análisis de correspondencia canónico (ACC), la similitud y diferencia entre los puntos de muestreo se observó con el análisis Clúster, para lo que es diversidad se usó el Índice de Shannon Wiener (H) y también Equidad de Pielou (J).

## **5. Resultados:**

### **5.1. Parámetros Fisicoquímicos.**

Estado Trófico hace referencia a la relación entre el estado de nutrientes en un lago y el crecimiento de la materia orgánica en el mismo. (Roldan, 2008). El nitrógeno, así como el fósforo contribuyen a la eutrofización, la clasificación del estado trófico normalmente se basa en el nutriente que representa una limitación. En la mayor parte de los casos, el factor de limitación es el fósforo. (Lobo et al., 2015). Siendo así y basados en los valores promedios obtenidos, como resultado en las tres zonas de investigación tenemos oligotrofia, ya que estos valores oscilan entre 0.0 – 0.05 para Nitritos (mg/L), 0.0 – 0.01 Nitratos (mg/L) y < 0.027 fósforo Total (mg/L). Las bajas concentraciones de nitritos encontradas en las tres zonas de

## CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES

investigación pueden estar relacionadas con los bajos niveles de oxígeno disuelto registrados, lo cual pudo no favorecer la oxidación de los nitritos, que de esta manera no dan paso a la formación de nitratos.

Todas las concentraciones medidas fueron bajas, lo que posiblemente se explica porque los nitratos se absorben y utilizan directamente por parte de las algas y de la vegetación acuática para sintetizar proteínas (Sze, 1993; Roldán & Ramírez, 2008).

Dicho esto, se realizó un análisis de cada una de las zonas y se comparó con los parámetros establecidos en la normativa del TULSMA libro VI anexo 1, que es Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua.

**Zona protegida.** La tabla 2 presenta los promedios de los parámetros fisicoquímicos que se pudieron comparar con lo que indica la normativa del TULSMA libro VI anexo 1, Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua, Tabla # 3 haciendo referencia a los “Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario”.

Tabla 2 Evaluación de parámetros de la zona protegida en base al TULSMA.

	<i>MESES</i>	<i>Punto de toma de muestra - Muestreo</i>	<i>Temperatura °C</i>	<i>pH</i>	<i>Oxígeno disuelto (mg/L)</i>
<b>ZONA PROTEGIDA</b>	Agosto	P1-1	8,49	6,3	6,4
	Noviembre	P1-2	5,22	8,05	1,43
	Enero	P1-3	8,27	8,43	0,82
	Abril	P1-4	9,51	5,61	1,62
	Agosto	P2-1	13,64	6,8	6,69
	Noviembre	P2-2	11,6	8,49	12,1
	Enero	P2-3	13,49	9,06	10,21
	Abril	P2-4	11,9	5,8	1,56
		<b>Promedio Zona Protegida</b>		10,27	7,32
<b>TULSMA</b>	TABLA 3. Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario.		>3	6,5-9	no menor a 6
			CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE

## CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES

**Zona Turística.** La tabla 3 contrasta los promedios de los parámetros fisicoquímicos de la zona turística con lo que indica la normativa del TULSMA libro VI anexo 1, Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua, Tabla # 1 haciendo referencia a los “Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional”.

Tabla 3 Evaluación de parámetros de la zona turística en base al TULSMA.

	<i>MESES</i>	<i>Punto de toma de muestra - Muestreo</i>	<i>Temperatura °C</i>	<i>pH</i>	<i>Oxígeno disuelto (mg/L)</i>	<i>Turbidez (NTU)</i>	<i>Sólidos Disueltos</i>	<i>DBO (mg/L)</i>	<i>Dureza total (mg/l)</i>
<b>ZONA TURISTICA</b>	Agosto	P3-1	9,28	6,8	7,17	6	88	5,73	75
	Noviembre	P3-2	8,99	6,8	6,19	2	41	5,73	75
	Enero	P3-3	8,27	7,1	0	2	52	6,7	75
	Abril	P3-4	9,86	4,9	1,81	15	56	3,81	75
	Agosto	P4-1	11,35	7,6	7,2	6	110	4,1	150
	Noviembre	P4-2	14,39	7	8,42	5	110	3,66	300
	Enero	P4-3	10,15	7,5	4,95	3	110	6,58	150
	Abril	P4-4	11,90	5,8	1,56	2	114,00	4,10	150
	<b>Promedio Zona Turística</b>			10,52	6,7	4,66	5	85,13	5,05
<b>TULSMA</b>	TABLA 1. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.		>3	6-9	no menor a 6	100	1000	2	500
			CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE

Esta zona comprende los puntos P3 y P4 que corresponden a los ríos Diguchi y Jatunhuayco, en donde observamos a más del Oxígeno disuelto que la DBO no cumplen con los parámetros establecidos por el TULSMA, debido a que en el sector tenemos mayor presencia de flora y fauna que pueden contribuir con la cantidad de materia orgánica

## CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES

biodegradable, estos parámetros puede ser corregidos con un tratamiento convencional, como así ocurre ya que de estos puntos se capta el agua para una gran parte de la población del sur de Quito.

**Zona Poblada.** En la tabla 4 se muestran los promedios de los parámetros fisicoquímicos de la zona poblada comparados con la normativa del TULSMA libro VI anexo 1, Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua, Tabla # 6 que hace referencia a los “Criterios de calidad admisible para aguas de uso agrícola”.

Tabla 4 Evaluación de parámetros de la zona poblada en base al TULSMA.

	<i>MESES</i>	<i>Punto de toma de muestra – Muestreo</i>	<i>pH</i>	<i>Oxígeno disuelto (mg/L)</i>	<i>Sólidos Disueltos</i>
<b>ZONA POBLADA</b>	Agosto	P5-1	7,8	8,65	100
	Noviembre	P5-2	7,06	6,18	57
	Enero	P5-3	8,06	10,16	113
	Abril	P5-4	5,72	1,6	108
	Agosto	P6-1	7,2	6,33	128
	Noviembre	P6-2	7,77	6,45	83
	Enero	P6-3	7,32	6,2	90
	Abril	P6-4	7,07	6,47	98
	<b>Promedio Zona Poblada</b>			7,25	6,505
<b>TULSMA</b>	TABLA 6. Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola		6-9	no menor a 6	3000
			<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>

### 5.2. Índices de biodiversidad.

Un total de 181 especies se registraron en los 6 puntos de muestreo (ANEXO 1), siendo *Nitzschia soratensis* E.A.Morales & M.L.Vis con 2161 individuos la especie más abundante en la comunidad, seguidos de *Navicula lanceolata* (C.Agardh) Kützing, *Melosira varians* C.Agardh, *Fragilaria vaucheriae* (Kützing) J.B.Petersen y *Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki. Los datos del total de especies fueron analizados en el programa PAST, para cada una de las zonas de estudio, determinándose la riqueza (S), el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H), y la equidad (J).

## CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES

Tabla 5 Diversidad de Shannon Wiener, Equidad de Pielou y Riqueza de las zonas de muestreo en ríos de Reserva Ecológica Antisana.

	<i>Zona protegida</i>	<i>Zona Turística</i>	<i>Zona poblada</i>
<i>Riqueza (S)</i>	127	97	69
<i>Shannon (H)</i>	3,359	2,98	2,432
<i>Equidad (J)</i>	0,6934	0,6513	0,5745

La tabla 5 nos indica que la zona protegida tiene mayor riqueza y diversidad que las zonas turística y poblada ya que en la zona protegida tenemos 127 especies que es mucho mayor que las 97 especies de la zona turística y 69 especies de la zona poblada, en cuanto al índice de equidad que representa el grado de distribución refiriéndose a la abundancia de especies de diatomeas encontradas en las tres zonas podemos ver que la zona protegida y la turística no difieren significativamente a diferencia de la zona poblada que presenta una distribución de la abundancia menor.

### 5.3. Análisis de Correspondencia Canónico ACC.

Este análisis compara las variables ambientales y variables biológicas de una matriz de datos, utilizando Bray Curtis como métrica de distancia.

Del total de especies encontradas se determinó las abundancias totales y las abundancias relativas, descartándose las especies que tenían abundancias relativas con valores menores a los que indica la norma. Todos los taxones que representan una abundancia relativa menor que 5% (es decir, dos diatomeas de 400), son eliminados sistemáticamente. Se considera que el efecto producido por más de dos individuos de un taxón asociado es más peligroso que si considerásemos que fuese en realidad una contaminación de la muestra (Blanco et al., 2013).

En la gráfica, se observan que la zona protegida está representada por los puntos amarillos, la zona turística por los puntos verdes y la zona poblada por los puntos tomates., por la ubicación única de la zona poblada dentro del cuadrante I del plano nos indica que tiene



# CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES

## 5.4. Análisis Clúster de los puntos de muestreo.

El clúster se lo realizó en base a una matriz de abundancias de las especies y los puntos de muestreo, obteniendo como resultado tres grupos de similitud de abundancia de los puntos muestreados, el primer grupo entre el P5-1 y P1-1 con un núcleo de similitud dilatado, que puede obedecer a que comparten especies generalistas como las *Achnanthis minutissimum*, *Cocconeis euglypta*, *Fragilaria gracilis* que son consideradas como especies generalistas dentro de este estudio, una segunda agrupación bastante amplia que va desde el P1-3 hasta P4-3 con núcleos de similitud más próximos, que considero se debe a que comparten especies generalistas así especialistas *Adlafia suchtlandtii*, *Frustulia bahlsii*, *Pinnularia borealis var. borealis*, además de que comparten parámetros fisicoquímicos similares como la temperatura, el pH y oxígeno disuelto, por su proximidad y la tercera agrupación que se extiende desde P1-3 hasta P3-2 que comparten tres núcleos de similitud moderados de abundancia de las especies encontradas *Nitzschia sublinearis*, *Frankophila similioides* y por su proximidad también comparten parámetros fisicoquímicos parecidos.

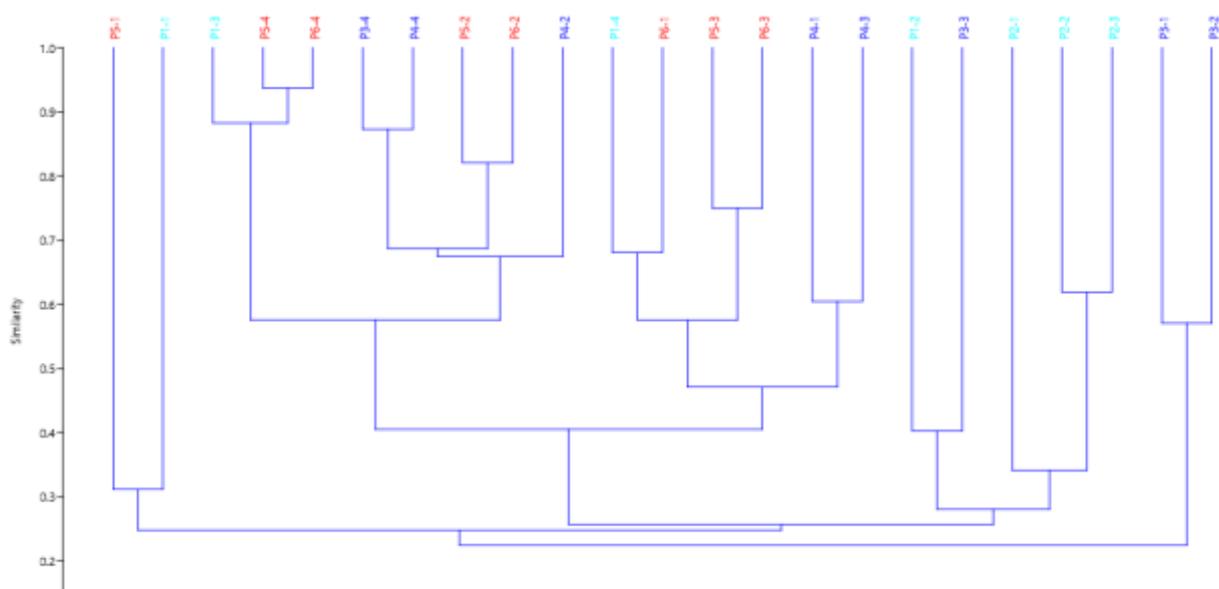


Fig 3 Análisis Cluster Abundancia – Puntos de muestreo.

## **CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

### **5.5. Especies Indicadoras.**

Las especies de diatomeas que son específicas de ciertas áreas o puntos de muestreo y que obedecen a ciertas características particulares de este hábitat se las conocen como especies indicadoras. En el caso de este trabajo de investigación se tomó en cuenta los valores de “V” (tolerancia) y “S” (óptimo) del Índice de Polusensibilidad Específica (IPS) validadas en el programa OMNIDIA para caracterizar a las especies presentes en las tres zonas de estudio y así conocer su ecología. Es importante destacar que el programa OMNIDIA obedece a limnología en gran parte europea, lo cual se puso en evidencia en esta investigación ya que los valores asignados de “V” mediante OMNIDIA para ciertas especies no correspondía con la realidad que mostraban las abundancias relativas y absolutas de las especies encontradas en las zonas de investigación en la Reserva Ecológica Antisana.

Se recalculó los valores de la amplitud ecológica “V” que se ajuste a la realidad limnológica de nuestro estudio, para lo cual realizamos una matriz de presencia – ausencia de las especies encontradas en los puntos de muestreo, siendo 0 la ausencia y 1 la presencia y usamos la siguiente fórmula:

$$V = 3 - \left( \frac{\sum P * 3}{TM} \right)$$

Donde:

3 = Índice de proporcionalidad inversa basado en el valor máximo de la amplitud ecológica (V=3).

P = Presencia de la especie.

TM = Número total de muestras.

Se aplica una correlación entre la ocurrencia de las especies y el valor de “V” recalculado teniendo como resultado una significancia P= 0,0001 que es menor a 0,05 lo que

## CALIDAD DE AGUA EN LOS RÍOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES

nos permite aceptar la hipótesis nula que en este caso es: “la amplitud ecológica de una especie que tienen una alta frecuencia tiene un valor de “V” menor”.

Con los nuevos valores de “V” recalculados y “S” dados por OMNIDIA clasificamos las especies que cumplían con V=3 (corta amplitud ecológica) y S=5 (alta sensibilidad).

Tabla 6 Especies Indicadoras de los Ríos de Reserva Ecológica Antisana.

ESPECIES INDICADORAS DE LA RESERVA ECOLÓGICA ANTISANA					PROTEGIDA								TURISTICA				POBLADA												
ESPECIES	V OMNIDIA	V CALCULADO	S	CÓDIGOS	P1-1	P1-2	P1-3	P1-4	P2-1	P2-2	P2-3	P2-4	P3-1	P3-2	P3-3	P3-4	P4-1	P4-2	P4-3	P4-4	P5-1	P5-2	P5-3	P5-4	P6-1	P6-2	P6-3	P6-4	
<i>Adlafia suchtlandtii</i>	1	2,6	5	ADFS	1		1						1																
<i>Encyonema elginense</i>	3	2,9	5	EELG		1																							
<i>Diploneis subovalis</i>	2	2,9	4,5	DSBO												1													1
<i>Encyonema schneideri</i>	2,4	2,9	4,9	ESND	1																								
<i>Eunotia mucophila</i>	2	2,9	5	EMUC																						1		1	
<i>Eunotia veneris</i>	2	2,9	5	EVEN																			1					1	
<i>Frankophila similioides</i>	2,7	2,8	4,8	FKSI															1		1								1
<i>Frustulia bahlsii</i>	2,7	2,8	4,6	FBAH	1								1							1									1
<i>Gomphonema clavatum</i>	1	2,8	5	GCLA						1			1																
<i>Navicula angusta</i>	3	2,9	5	NAAN		1																							
<i>Navicula radiosa</i>	2	2,6	5	NRAD		1			1																				
<i>Nitzschia sublinearis</i>	2	2,5	5	NSBL										1							1		1				1		
<i>Pinnularia acrosphaeria</i>	3	2,9	5	PACR					1																				
<i>Pinnularia borealis var. borealis</i>	3	2,8	5	PBOR		1																							
<i>Pinnularia tirolensis</i>	1	2,9	5	PTIR				1																					
<i>Planothidium biporum</i>	1	2,9	4,6	PLBI		1																							
<i>Psammothidium germainii</i>	2	2,9	5	PGER										1															
<i>Epithemia gibba</i>	3	2,6	5	EGBA	1				1	1																			
<i>Surirella elegans</i>	3	2,9	5	SELE				1																					
<i>Tabellaria flocculosa</i>	1	2,8	5	TFLO																				1					

La tabla 6 nos indica las especies indicadoras para las tres zonas estudiadas en la Reserva Ecológica Antisana, se puede observar la presencia de ciertas especies que son características de ciertas zonas en particular y de otras especies que están presentes en dos zonas contiguas.

### 6. Discusión.

Para definir la calidad de agua de los ríos de la Reserva Ecológica Antisana se tuvieron en cuenta dos métodos de análisis. El primero consistió en determinar las características fisicoquímicas del agua y el segundo en relacionar la presencia de especies de diatomeas bio indicadoras con el estado trófico de los cuerpos de agua estudiados.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos estamos en capacidad de rechazar la hipótesis planteada, ya que las bajas concentraciones de nitratos,

## **CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

nitritos y fosforo son clara evidencia del estado oligotrófico de las tres zonas que fueron estudiadas.

Analizando en forma individual cada uno de los parámetros fisicoquímicos y comparándolos con lo establecido por la normativa del TULSMA se observa que casi todos los parámetros cumplen, excepto los relacionados con el oxígeno, ya sea para uso recreacional como en el caso de la zona protegida (Tabla 2), para consumo humano en la zona turística (Tabla 3) y para uso agrícola en el caso de la zona poblada (Tabla 3), en esta zona el oxígeno disuelto ya llega a cumplir con la normativa.

Parámetros como el oxígeno disuelto que es fundamental para el desarrollo de los organismos y para la degradación de la materia orgánica, las zonas protegida y turística tuvieron valores menores a los 6 mg L<sup>-1</sup>. Esta baja oxigenación del sistema puede deberse en buena parte a que en estas zonas no existe un proceso de fotosíntesis o de existirlo es mínimo (García & Cruz, 2013).

La turbidez es un parámetro que varía mucho, dentro de la zona protegida los valores de turbidez son altos en especialmente en el punto P1 donde tenemos valores desde 144 NTU hasta 257 NTU esto se debe al origen volcánico del suelo y partículas suspendidas que arrastra el deshielo.

Con respecto a la conductividad podemos ver que tiene un comportamiento creciente ya que en el P1 tenemos valores de 1  $\mu$ S/cm, hasta 255  $\mu$ S/cm en el P6, y esto es lógico si tomamos en cuenta que la conductividad es producida por los electrolitos disueltos en el agua y en ella influyen: terreno drenado, composición mineralógica, tiempo de contacto, gases disueltos, pH y todo lo que afecte a la solubilidad de sales (Catalán 2002).

El total de especies que fueron encontradas en las tres zonas de estudio fue de 181, dentro de la zona protegida se obtuvo una riqueza de 127, la riqueza de la zona turística fue de 97 y en la zona poblada tuvimos una riqueza de 69.

## **CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

Se hizo una evaluación en base a un clúster para analizar la similitud dándonos como resultado tres grupos de similitud de abundancia de los puntos muestreados, como se observa en la Figura 3, a pesar de que existe una similitud entre los muestreos, pero es baja la presentada a nivel de los puntos P3 al P6.

Fuimos muy exigente al momento de determinar las especies indicadoras para cada una de las zonas de estudio, partiendo de un IPS muy selectivo en donde solo se escogió a las especies que tenían un valor de amplitud ecológica “V” >2,5 y una sensibilidad “S” >4,5.

Dentro de la zona protegida que comprende a los puntos P1 y P2 del deshielo tenemos especies indicadoras particulares como *Encyonema elginense*, (V=2,9 S=5), *Encyonema schneideri*, (V=2,9 – S=4,9) que son características de arroyos claros, pequeños y poco profundos de regiones montañosas del mundo con taxones cosmopolitas (Morales, 2007), que justamente corresponde con la descripción del lugar donde fueron halladas. *Navicula angusta*, son indicadoras de aguas de calidad muy buena (Ector, 1992; Prygiel & Coste, 2000), con un IPS de V=2,9 S=5. *Pinnularia acrosphaeria*, especie característica de cuerpos de agua con pH neutro su IPS es V=2,9 S=5 *Pinnularia tirolensis*, con un IPS V=2,9 S=5. *Surirella elegans*, son características de aguas limpias y con un bajo contenido de materia orgánica, V=2,9 S=5 (De la parra, 2017). Es importante indicar que los valores de “V” de estas especies indicadoras coinciden entre las que arroja el OMNIDIA y el valor de “V” que recalculamos.

En lo que corresponde a especies indicadoras de la zona turística donde tenemos los puntos P3 y P4 encontramos una especie particular *Psammothidium germainii*, que se encuentran en cuerpos de agua de conductividad moderada (Muller, 2004), V=2,9 S=5, el valor de V en este caso difiere ya que el OMNIDIA nos da un V=2.

En la zona poblada donde tenemos los puntos P5 y P6 en donde encontramos *Eunotia mucophila* V=2,9 S=5, *Eunotia veneris*, V=2,9 S=5, este género indica bajo contenido de

## **CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

iones, pH ácidos y oligotrofia (Sala et al., 2002). *Tabellaria flocculosa*, especie que se presenta en la mayoría de las lagunas de Sierra con altos contenidos de sílice,  $V=2,8$   $S=5$ , esta especie también difiere del valor de  $V=1$  que arroja el OMNIDIA.

También tenemos especies indicadoras que se encuentran en dos zonas contiguas como *Frustulia bahlsii*,  $V=2,8$   $S=4,6$ . *Navicula radiosa*,  $V=2,6$   $S=5$ , esta especie también difiere del  $V=2$  dado por OMNIDIA.

### **7. Conclusiones.**

- Los ríos de alta montaña de la Reserva Ecológica Antisana analizados mediante los seis puntos de muestreo que se encuentran dentro de las tres zonas delimitadas para nuestro estudio se encuentran dentro de la clasificación de oligotrófica es decir que no presentan contaminación, por lo cual la hipótesis planteada inicialmente se rechaza.
- Los parámetros físicos químicos basándose en el TULSMA, cumplen con la normativa, excepto en lo que respecta a oxígeno disuelto y DBO, pero que pueden ser corregidos mediante tratamiento convencional de potabilización de agua.
- Se definió las especies indicadoras para cada zona de estudio, las cuales equivalen al 12,15% del total de especies encontradas, de estas el 50% coinciden con el IPS que nos proporciona el programa OMNIDIA, en otro 50% de especies indicadoras se encontró diferencias de IPS para ciertas especies.
- Se contribuyó con los estudios limnológicos de la Universidad al determinar que el valor de la abundancia ecológica de ciertas especies no coincide con los valores proporcionados por el programa OMNIDIA.

## **CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

### **8. Recomendaciones.**

- Continuar con este tipo de investigaciones para evaluar las diferencias que existe entre los valores de IPS que nos proporciona el programa OMNIDIA, con los valores de IPS que podemos determinar en base a la amplitud ecológica de las especies que tenemos en los ecosistemas de Ecuador.
- Implementar análisis microbiológicos para relacionarlos con las variables de DBO y determinar la existencia de algún tipo de relación.
- Verificar el factor de corrección de las fotografías tomadas en el microscopio, especialmente si se usa equipos o laptops diferentes, ya que la escala puede variar y esto dificulta la investigación en el momento de la identificación y conteo de las especies.

# CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES

## 9. Bibliografía

J. Catalán Lafuente. (2002). Química del Agua. Ed. Alonso S.A., Madrid (2002).

Blanco, S., Cejudo-Figueiras, C., Álvarez-Blanco, I., van Donk, E., M. Gross, E., Hansson, L.-A., ... Bécares, E. (2013). Epiphytic Diatoms along Environmental Gradients in Western European Shallow Lakes. *Clean Soil Air Water*, 41, 1–7. Retrieved from <file:///C:/Users/Nicky/Downloads/Blanco-clen201200630-online.pdf>

Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure. G., Deckers, J. y Hofstede, R. 2006a. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews* 79:53-72.

Brooks TM, Mittermeier RA, da Fonseca GAB, Gerlach J, Hoffmann M, Lamoreux JF, Mittermeier CG, Pilgrim JD, Rodrigues ASL. (2006). Global Biodiversity Conservation Priorities. *Science* 313: 58-61.

Castillejo, P., Chamorro, S., Paz, L., Heinrich, C., Carrillo, I., Salazar, J. G., Lobo, E. A. (2018). Response of epilithic diatom communities to environmental gradients along an Ecuadorian Andean River. *Comptes Rendus - Biologies*. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2018.03.008>

Cuesta F., Bustamante M., Becerra MT., Postigo J., Peralvo J. (Eds.) 2012. Panorama andino de cambio climático: Vulnerabilidad y adaptación en los Andes Tropicales. CONDESAN, SGCAN, Lima.

## **CALIDAD DE AGUA EN LOS RÍOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

De la parra-Guerra<sup>1</sup> A\* M.Sc, García-Alzate<sup>1</sup> C Ph.D, Rodelo-Soto<sup>1</sup> K M.Sc, Gutiérrez-Moreno<sup>1</sup> L M.Sc. 2017. Composición y estructura fitoperifítica de la cuenca media y baja del río Cesar, departamento Cesar-Colombia. Universidad del Atlántico. Facultad de Ciencias Básicas. Programa Maestría en Biología.

ECTOR, L. 1992. Control de la calidad biológica de las aguas superficiales en la red de afluentes de Galicia-costa mediante diatomeas benticas. En: ' Calidad del agua en las estaciones de aforo de los ríos de Galicia. Años hidrológicos 1989-90, ' 1990-91. Fundación Empresa Universidad Gallega ' (FEUGA). 76-157. Consellería de Ordenación do ' Territorio e Obras Públicas, Xunta de Galicia (ed.). ' Santiago de Compostela.

Fausch, KD., Torgersen, CV., Baxter, Li, HW. 2002. Landscapes to Riverscapes: Bridging the Gap between Research and Conservation of Stream Fishes *BioScience* 52:483-498.

García, B.D., Cruz, A.S. 2013. Propuesta de un plan de manejo ambiental del humedal El Salitre, Bogotá D.C. (Tesis de especialistas). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá

Guzmán-Arias, I., & Calvo-Alvarado, J. (2012). Planificación del recurso hídrico en América Latina y el Caribe *Planning Water Resources in Latin America and the Caribbean*. *Tecnología En Marcha*, 26(1), 16.

Langhammer PF, et al. (2007). Identification and Gap Analysis of Key Biodiversity Areas: Targets for Comprehensive Protected Area Systems. Gland, Switzerland.: IUCN.

## **CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

Lobo, Eduardo A., Carla Giselda Heinrich, Marilia Schuch, Adriana Düpont, Adilson Ben da

Costa, Carlos Eduardo Wetze, L. E. (2016). Índice Trofico de calidad de agua. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53).

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Blanco, S. (2010). Generador de números aleatorios para recuentos en microscopía óptica. *Algas*, (Excel 2003), 30–31.

Michelutti, N., Lemmen, J. L., Cooke, C. A., Hobbs, W. O., Wolfe, A. P., Kurek, J., & Smol, J. P. (2016). Assessing the effects of climate and volcanism on diatom and chironomid assemblages in an Andean lake near Quito, Ecuador. *Journal of Limnology*, 75(2), 275–286.

<https://doi.org/10.4081/jlimnol.2015.1323>

Mittermeier, R. A., Myers, N., Thomsen, J. B., Da Fonseca, G. A. B. y Olivieri, S. 1998. Biodiversity Hotspots and Major Tropical Wilderness Areas: Approaches to Setting Conservation Priorities. *Conservation Biology* 12:516-520.

Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *M&T - Manuales Y Tesis SEA*, 1, 84. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103709>

Ordoñez M., 2011. Influencia del uso de suelo y la cobertura vegetal natural en la integridad ecológica de los ríos altoandinos al noreste del Ecuador.

## **CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

Steel, E., Hughes, R., Fullerton, A., Schmutz, S., Young, J., Fukushima, M., Muhar, S.,

Poppe, M., Feist, B., Trautwein, C. 2010. Are We Meeting the Challenges of Landscape-Scale Riverine Research? A Review. *Living Reviews in Landscape Research* 4:1-60.

Roldán, G., Ramírez, J. 2008. *Fundamentos de limnología neotropical* (2da ed). Medellín: Editorial Universidad de Antioquia

Sze, P. 1993. *A biology of the algae* (2nd ed.). Dubuque: Wm. C. Brown Publishers.

### **10. Índice de tablas.**

Tabla 1 Información de los sitios de muestreo en la Reserva Ecológica Antisana.....	15
Tabla 2 Evaluación de parámetros de la zona protegida en base al TULSMA.....	18
Tabla 3 Evaluación de parámetros de la zona turística en base al TULSMA.....	19
Tabla 4 Evaluación de parámetros de la zona poblada en base al TULSMA. ....	20
Tabla 5 Diversidad de Shannon Wiener, Equidad de Pielou y Riqueza de las zonas de muestreo en ríos de Reserva Ecológica Antisana.....	21
Tabla 6 Especies Indicadoras de los Ríos de Reserva Ecológica Antisana. ....	25

### **11. Índice de Figuras.**

Fig 1 Localización de la Reserva Ecológica Antisana y sitios específicos de muestreo. ....	14
Fig 2 Análisis Canónico de Correspondencia Variables ambientales – variables biológicas.22	
Fig 3 Análisis Cluster Abundancia – Puntos de muestreo. ....	23

# CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES

## 12. Índice de contenido.

1. Introducción .....	10
2. Hipótesis.....	12
3. Objetivos. ....	12
3.1. General.....	12
4. Materiales y Métodos.....	13
4.1. Metodología de campo.....	13
4.1.1. Muestreo variables ambientales.....	15
4.1.2. Muestreo variables biológicas .....	16
4.2. Análisis de datos. ....	17
5. Resultados: .....	17
5.1. Parámetros Físicoquímicos.....	17
5.2. Índices de biodiversidad. ....	20
5.3. Análisis de Correspondencia Canónico ACC.....	21
5.4. Análisis Clúster de los puntos de muestreo. ....	23
5.5. Especies Indicadoras.....	24
6. Discusión.....	25
7. Conclusiones.....	28
8. Recomendaciones.....	29
9. Bibliografía.....	30
10. Índice de tablas.....	33
11. Índice de Figuras.....	33
12. Índice de contenido.....	34
13. Anexos.....	35

**CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

**13. Anexos.**

**ANEXO 1. Índices de Biodiversidad.**

	<b>ESPECIES REA</b>	<b>V (OMNIDIA)</b>	<b>V (CALCULADO)</b>	<b>S</b>
1	<i>Achnantheidium minutissimum</i>	1	0,4	5
2	<i>Adlafia suchtlandtii</i>	1	2,6	5
3	<i>Amphora copulata</i>	2	2,9	4
4	<i>Aulacoseira sp1</i>	1,4	2,8	3,8
5	<i>Bacillaria sp1</i>	3	2,4	2
6	<i>Chamaepinnularia sp1</i>	1	2,9	5
7	<i>Cocconeis euglypta</i>	1	0,6	3,6
8	<i>Cocconeis placentula var. placentula</i>	1	2,6	4
9	<i>Cyclotella sp1</i>	1,7	2,9	3,7
10	<i>Cymbella sp1</i>	2,6	2,9	4,7
11	<i>Cymbella tumida</i>	3	2,8	3
12	<i>Encyonema elginense</i>	3	2,9	5
13	<i>Cymbopleura sp1</i>	2	2,9	5
14	<i>Humidophila contenta</i>	4	2,9	1
15	<i>Diatoma moniliformis</i>	2	2,8	4
16	<i>Diploneis subovalis</i>	2	2,9	4,5
17	<i>Encyonema minutum</i>	2	0,9	5
18	<i>Encyonema schneideri</i>	2,4	2,9	4,9
19	<i>Encyonema silesiacum</i>	2	1,5	5
20	<i>Encyonema silesiacum var. altensis</i>	2,4	2,3	4,9
21	<i>Encyonema silesiacum var. excisa</i>	2,4	2,4	4,9
22	<i>Encyonema silesiacum var. ventriformis</i>	2	2,1	5
23	<i>Encyonema sp1</i>	2,4	2,9	4,9
24	<i>Encyonema sp10</i>	2,4	2,9	4,9
25	<i>Encyonema sp2</i>	2,4	2,9	4,9
26	<i>Encyonema sp3</i>	2,4	2,9	4,9
27	<i>Encyonema sp4</i>	2,4	2,6	4,9
28	<i>Encyonema sp5</i>	2,4	2,9	4,9
29	<i>Encyonema sp6</i>	2,4	2,9	4,9
30	<i>Encyonema sp7</i>	2,4	2,9	4,9
31	<i>Encyonema sp8</i>	2,4	2,9	4,9
32	<i>Encyonema sp9</i>	2,4	2,9	4,9
33	<i>Encyonema ventricosum</i>	1	2,5	4
34	<i>Encyonopsis sp1</i>	1	2,9	5
35	<i>Epithemia adnata</i>	3	2,6	4
36	<i>Eunotia andinofrequens</i>	2,3	2,4	4,8
37	<i>Eunotia mucophila</i>	2	2,9	5
38	<i>Eunotia sp1</i>	2,3	2,9	4,8
39	<i>Eunotia veneris</i>	2	2,9	5

**CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

40	<i>Fragilaria candidagilae</i>	1,7	0,6	3,6
41	<i>Fragilaria gracilis</i>	1	1,0	4,8
42	<i>Ulnaria lanceolata</i>	2	2,6	3,5
43	<i>Fragilaria rinoi</i>	1,7	2,8	3,6
44	<i>Fragilaria sp1</i>	1,7	2,9	3,6
45	<i>Fragilaria sp2</i>	1,7	2,9	3,6
46	<i>Fragilaria sp3</i>	1,7	2,9	3,6
47	<i>Fragilaria tenera</i>	2	2,4	4
48	<i>Fragilaria vaucheriae</i>	1	0,1	3,4
49	<i>Frankophila similioides</i>	2,7	2,9	4,8
50	<i>Frustulia bahlsii</i>	2,7	1,0	4,6
51	<i>Frustulia sp1</i>	2,7	2,9	4,8
52	<i>Frustulia sp2</i>	2,7	2,9	4,8
53	<i>Frustulia sp3</i>	2,7	2,8	4,8
54	<i>Frustulia vulgaris</i>	3	2,5	4
55	<i>Gomphonema angustatum</i>	1	2,6	3
56	<i>Gomphonema aquaeminalis</i>	1,9	2,8	3,6
57	<i>Gomphonema pala</i>	1	2,6	4
58	<i>Gomphonema cf. occultum</i>	1	2,9	5
59	<i>Gomphonema clavatum</i>	1	2,8	5
60	<i>Gomphonema gracile</i>	1	2,5	4,2
61	<i>Gomphonema italicum</i>	1	2,3	4
62	<i>Gomphonema occultum</i>	1	2,1	5
63	<i>Gomphonema parvulum</i>	1	2,4	2
64	<i>Gomphonema pumilum var. rigidum</i>	1	1,1	3,5
65	<i>Gomphonema punae</i>	1,9	1,1	3,6
66	<i>Gomphonema saprophilum</i>	1	2,9	2
67	<i>Gomphonema sp1</i>	1,9	2,9	3,6
68	<i>Gomphonema sp2</i>	1,9	2,9	3,6
69	<i>Gomphonema sp3</i>	1,9	2,9	3,6
70	<i>Gomphonema sp4</i>	1,9	2,8	3,6
71	<i>Gomphonema sp5</i>	1,9	2,9	3,6
72	<i>Gomphonema subangustatum</i>	1,9	2,0	3,6
73	<i>Halamphora normanii</i>	3	2,9	4,2
74	<i>Halamphora sp1</i>	2	2,9	2,6
75	<i>Halamphora veneta</i>	2	2,8	1
76	<i>Hannaea arcus</i>	2	0,8	5
77	<i>Hantzschia abundans</i>	2	2,9	1,2
78	<i>Nitzschia palea</i>	3	2,9	1
79	<i>Lemnicola hungarica</i>	3	2,6	2
80	<i>Luticola andina</i>	2,1	2,9	2,9
81	<i>Luticola goeppertiana</i>	2	2,8	2
82	<i>Luticola sp1</i>	2,1	2,9	2,9
83	<i>Luticola sp2</i>	2,1	2,9	2,9
84	<i>Luticola sp3</i>	2,1	2,9	2,9

**CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

85	<i>Luticola sp4</i>	2,1	2,8	2,9
86	<i>Luticola sp5</i>	2,1	2,9	2,9
87	<i>Luticola sp6</i>	2,1	2,9	2,9
88	<i>Mayamaea lacunolaciniata</i>	1	2,6	2
89	<i>Mayamaea sp1</i>	1	2,9	2
90	<i>Melosira varians</i>	1	0,3	4
91	<i>Navicula angusta</i>	3	2,9	5
92	<i>Navicula cryptocephala</i>	2	1,8	3,5
93	<i>Navicula gregaria</i>	1	0,8	3,4
94	<i>Navicula lanceolata</i>	1	0,5	3,8
95	<i>Navicula radiosa</i>	2	2,6	5
96	<i>Navicula recens</i>	2	2,5	2,8
97	<i>Navicula sp1</i>	1,9	2,9	3,4
98	<i>Navicula sp2</i>	1,9	2,9	3,4
99	<i>Navicula sp3</i>	1,9	2,8	3,4
100	<i>Navicula sp4</i>	1,9	2,9	3,4
101	<i>Navicula simulata</i>	2	2,9	3
102	<i>Navicula tripunctata</i>	2	1,8	4,4
103	<i>Nitzschia alpina</i>	2	2,1	5
104	<i>Nitzschia amphibia</i>	2	2,8	2
105	<i>Nitzschia capitellata var. tenuirostris</i>	2	2,9	1
106	<i>Nitzschia cf. frustulum</i>	2	2,9	1
107	<i>Nitzschia communis</i>	3	2,9	1
108	<i>Nitzschia dissipata</i>	3	1,4	4
109	<i>Nitzschia frustulum</i>	2	2,5	1
110	<i>Nitzschia gracilis</i>	2	2,9	3
111	<i>Nitzschia hadriatica</i>	2,3	2,9	1
112	<i>Nitzschia inconspicua</i>	1	2,8	2,8
113	<i>Nitzschia liebethruthii</i>	1	2,9	2
114	<i>Nitzschia linearis</i>	2	1,5	3
115	<i>Nitzschia microcephala</i>	3	2,9	1
116	<i>Nitzschia oberheimiana</i>	2,3	2,5	1
117	<i>Nitzschia oligotrphenta</i>	2,3	2,9	1
118	<i>Nitzschia ovalis</i>	3	2,9	2
119	<i>Nitzschia palea</i>	3	1,5	1
120	<i>Nitzschia palea var. debilis</i>	1	2,9	3
121	<i>Nitzschia paleacea</i>	1	1,0	2,5
122	<i>Nitzschia paleaeformis</i>	2	1,0	3
123	<i>Nitzschia recta</i>	2	2,5	3
124	<i>Nitzschia soratensis</i>	1	0,1	3
125	<i>Nitzschia sp1</i>	2,3	2,9	1
126	<i>Nitzschia sp2</i>	2,3	2,9	1
127	<i>Nitzschia sp3</i>	2,3	2,8	1
128	<i>Nitzschia sp4</i>	2,3	2,8	1
129	<i>Nitzschia sp5</i>	2,3	2,9	1

**CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

130	<i>Nitzschia sp6</i>	2,3	2,9	1
131	<i>Nitzschia sp7</i>	2,3	2,9	1
132	<i>Nitzschia subacicularis</i>	3	2,6	3
133	<i>Nitzschia sublinearis</i>	2	2,5	5
134	<i>Nupela sp1</i>	2	2,9	5
135	<i>Diatoma mesodon</i>	3	2,1	5
136	<i>Pinnularia acrosphaeria</i>	3	2,9	5
137	<i>Pinnularia borealis var. borealis</i>	3	2,8	5
138	<i>Pinnularia microstauron</i>	3	2,9	2,5
139	<i>Pinnularia sp1</i>	3	2,9	5
140	<i>Pinnularia sp10</i>	3	2,9	5
141	<i>Pinnularia sp2</i>	3	2,9	5
142	<i>Pinnularia sp3</i>	3	2,9	5
143	<i>Pinnularia sp4</i>	3	2,9	5
144	<i>Pinnularia sp5</i>	3	2,9	5
145	<i>Pinnularia sp6</i>	3	2,9	5
146	<i>Pinnularia sp7</i>	3	2,9	5
147	<i>Pinnularia sp8</i>	3	2,9	5
148	<i>Pinnularia sp9</i>	3	2,9	5
149	<i>Pinnularia tirolensis</i>	1	2,9	5
150	<i>Planothidium biporumum</i>	1	2,9	4,6
151	<i>Planothidium frequentissimum</i>	1	2,4	3,4
152	<i>Planothidium haynaldii</i>	1	2,9	4
153	<i>Planothidium lanceolatum</i>	1	0,6	4,6
154	<i>Planothidium minutissimum</i>	1	1,5	4
155	<i>Planothidium rostratum</i>	1	2,3	4,4
156	<i>Planothidium sp1</i>	1	2,9	4
157	<i>Planothidium sp2</i>	1	2,9	4
158	<i>Psammothidium germainii</i>	2	2,9	5
159	<i>Reimeria sinuata</i>	1	0,8	4,8
160	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	1	0,3	4
161	<i>Epithemia gibba</i>	3	2,6	5
162	<i>Rhopalodia sp1</i>	2,9	2,9	4,3
163	<i>Sellaphora atomoides</i>	1,7	1,4	2,8
164	<i>Sellaphora pupula</i>	2	2,6	2,6
165	<i>Sellaphora saugerresii</i>	2	2,8	1,5
166	<i>Sellaphora sp1</i>	1,7	2,8	2,8
167	<i>Stauroneis acidobionta</i>	2,1	2,8	3,1
168	<i>Stauroneis sp1</i>	2,1	2,9	3,7
169	<i>Pseudostaurosira laucensis var. laucensis</i>	1	2,9	2,9
170	<i>Staurosira sp1</i>	1	2,9	3,9
171	<i>Staurosira sp2</i>	1	2,9	3,9
172	<i>Stenopterobia krammeri</i>	2	2,9	4,3
173	<i>Surirella elegans</i>	3	2,9	5

**CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN  
ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

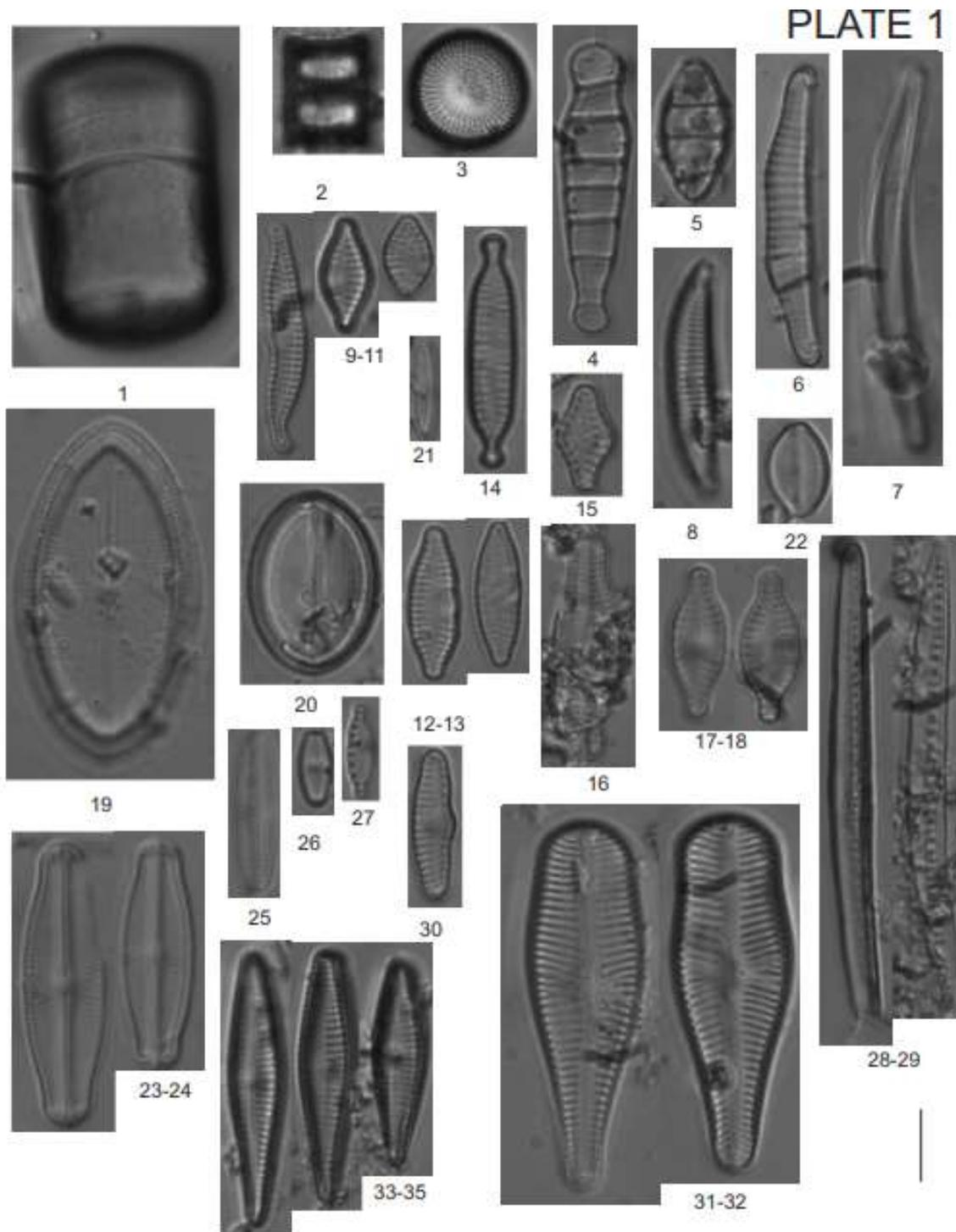
174	<i>Surirella ovalis</i>	2	2,9	2
175	<i>Surirella sp1</i>	2,2	2,9	3,6
176	<i>Surirella sp2</i>	2,2	2,9	3,6
177	<i>Tabellaria flocculosa</i>	1	2,9	5
178	<i>Ulnaria danica</i>	1	2,3	4
179	<i>Ulnaria sp1</i>	1,7	2,9	3,7
180	<i>Ulnaria sp2</i>	1,7	2,9	3,7
181	<i>Ulnaria ulna</i>	1	1,6	3

**ANEXO 2. Parámetros Físicoquímicos.**

Mes	Código	Temperatur	pH	Conductivid		Turbidez	Nitrito	Nitrito	Fósforo	Sólidos	DBO	Alcalinidad	Dureza total	Clorofila
		a °C		ad	disuelto									
agosto	P1-1	8,49	6,3	7	6,4	218	0	0	0,1	3	-	0	0	-
noviembre	P1-2	5,22	8,05	6	1,43	163	0	0	0,1	3	5,63	40	0	0,12
enero	P1-3	8,27	8,43	4	0,82	144	0	0	0,1	2	6,6	120	150	1,01
abril	P1-4	9,51	5,61	1	1,62	257	0	0	0,1	1	2,35	40	25	0,2
agosto	P2-1	13,6	6,8	289	6,69	1,64	0	0	0,1	145	-	120	150	-
noviembre	P2-2	11,6	8,49	207	12,1	0,85	0	0	0,1	104	5,34	80	150	0,02
enero	P2-3	13,5	9,06	213	10,2	0,98	0	0	0,1	107	3,81	80	150	0,49
agosto	P3-1	9,28	6,8	176	7,17	6,15	0	0	0,1	88	-	85	75	-
noviembre	P3-2	8,99	6,8	81	6,19	2,3	0	0	0,1	41	5,73	80	75	0,04
enero	P3-3	8,27	7,09	105	0	2,47	0	0	0,1	52	6,7	80	75	0,31
abril	P3-4	9,86	4,9	112	1,81	14,6	0	0	0,1	56	3,81	40	75	0,14
agosto	P4-1	11,4	7,6	221	7,2	5,8	0	0	0,1	110	-	100	150	-
noviembre	P4-2	14,4	7,02	220	8,42	4,6	0	0	0,1	110	3,66	120	300	0,01
enero	P4-3	10,2	7,49	228	4,95	2,89	0	0	0,1	110	6,58	120	150	0,341
abril	P4-4	11,9	5,8	229	1,56	2,31	0	0	0,1	114	4,1	180	150	0,06
agosto	P5-1	11,6	7,8	233	8,65	2,24	0	0	0,1	100	-	0	0	-
noviembre	P5-2	10,5	7,06	114	6,18	2,72	0	0	0,1	57	5,39	40	0	0,07
enero	P5-3	14,9	8,06	227	10,2	2,65	0	0	0,1	113	6,59	80	75	0,290
abril	P5-4	12,4	5,72	215	1,6	1,69	0	0	0,1	108	4,6	40	75	0,04
agosto	P6-1	14,5	7,2	255	6,33	8,84	0	0	0,1	128	-	120	150	-
noviembre	P6-2	11,4	7,77	166	6,45	11,4	0	0	0,1	83	4,94	120	150	0,04
enero	P6-3	11,2	7,32	180	6,2	13	0	0	0,1	90	6,64	120	150	0,5
abril	P6-4	11,9	7,07	180	6,47	1,35	0	0	0,1	98	4,7	120	150	0,07

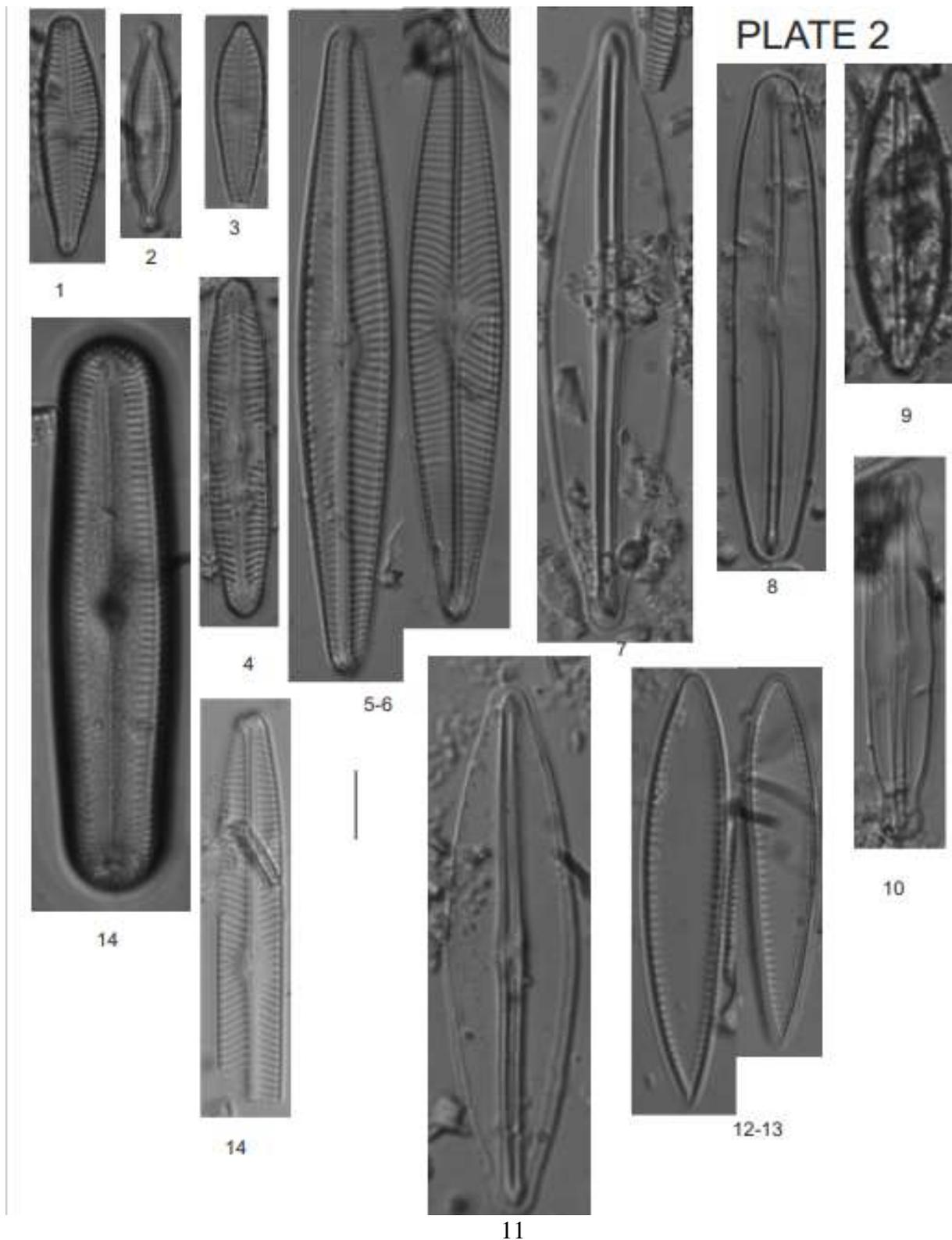
**CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**

**ANEXO 3. Especies Indicadoras.**



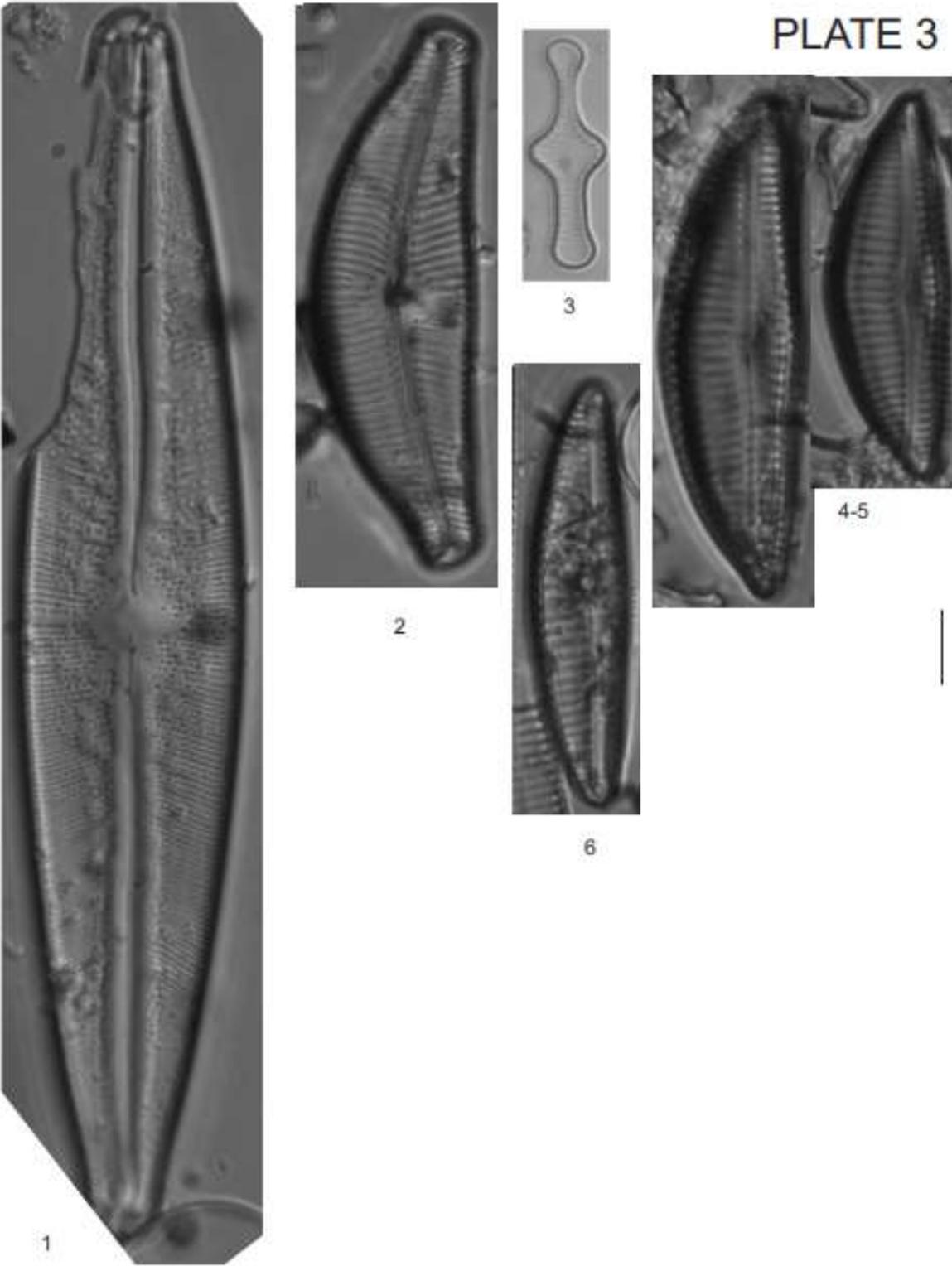
*1 Melosira varians; 2 Aulacoseira sp1; 3 Orthoseira roseana; 4 Diatoma moniliformis; 5 Diatoma mesodon; 6 Eunotia andinofrequens; 7 Eunotia mucophila; 8 Eunotia veneris; 9-11 Fragilaria vaucheriae; 12-13 Fragilaria rinoi; 14 Fragilaria candidagilae; 15 Staurosira sp1; 16 Planothidium biporomum; 17-18 Planothidium rostratum 19 Cocconeis euglypta; 20 Cocconeis placentula var.placentula; 21 Adlafia suchlandtii; 22 Psammothidium germainii; 23-24 Sellaphora pupula; 25 Sellaphora sp1; 26 Sellaphora atomoides; Nitzschia microcephala; 28-29 Bacillaria sp1; 30 Reimeira sinuata; 31-32 Gomphonema italicum; 33-35 Gomphonema gracile.*

**CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**



***1 Gomphonema punae; 2 Gomphonema exilissimum; 3 Gomphonema angustatum; 4 Pinnularia tirolensis; 5-6 Navicula radiosa; 7 Frustulia sp3; 8 Frustulia vulgaris; 9 Frustulia sp2; 10 Frustulia sp1; 11 Frustulia balhsii; 12-13 Surirella elegans; 14 Pinnularia acrosphaeria; 15 Navicula angusta***

**CALIDAD DE AGUA EN LOS RIOS DE ALTA MONTAÑA DEL VOLCAN ANTISANA USANDO A LAS DIATOMEAS COMO BIOINDICADORES**



*1 Stauroneis sp1; 2 Cymbella turgida; 3 Tabellaria flocculosa; 4-5 Encyonema elginense; 6 Encyonema schneideri.*