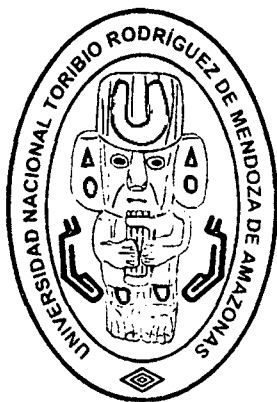


**UNIVERSIDAD NACIONAL
"TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE
AMAZONAS"**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**"USO DE DIATOMEAS (*Bacillariophyceae*) COMO
BIOINDICADORES PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD
DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO UTCUBAMBA,
AMAZONAS - PERÚ, 2014 - 2015".**

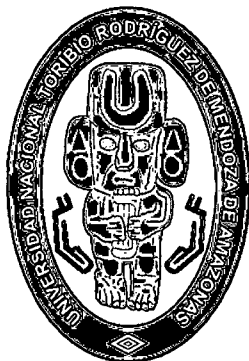
**TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORES:
Bach. Betty Karina GUZMAN VALQUI
Bach. Damaris LEIVA TAFUR**

**ASESOR:
Blgo. Fernando CORROTO DE LA FUENTE
CHACHAPOYAS - PERÚ**

2015

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE
AMAZONAS”**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**“USO DE DIATOMEAS (*Bacillariophyceae*) COMO
BIOINDICADORES PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD
DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO UTCUBAMBA,
AMAZONAS – PERÚ, 2014 - 2015”.**

**TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES:

**Bach. Betty Karina GUZMAN VALQUI
Bach. Damaris LEIVA TAFUR**

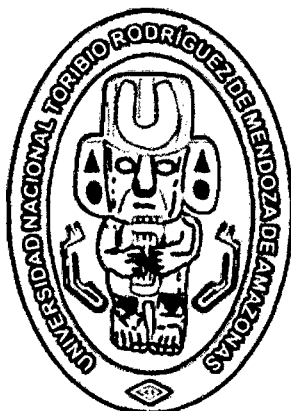
ASESOR:

**Blgo. Fernando CORROTO DE LA FUENTE
CHACHAPOYAS – PERÚ**

2015

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA”
DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“USO DE DIATOMEAS (*Bacillariophyceae*) COMO BIOINDICADORES PARA LA
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO
UTCUBAMBA, AMAZONAS – PERÚ, 2014 - 2015”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Bach. BETTY KARINA GUZMAN VALQUI

Bach. DAMARIS LEIVA TAFUR

ASESOR:

Blgo. FERNANDO CORROTO DE LA FUENTE

**CHACHAPOYAS – PERÚ
2015**

DEDICATORIA

A Dios por la vida y a mis padres por su incondicional apoyo, sacrificio y amor dedicado a lo largo de toda mi formación personal y profesional.

Betty Karina

A Dios por la existencia, a mi madre y familia por el respaldo y cariño brindado a lo largo de mi vida.

Damaris

AGRADECIMIENTO

Esta investigación se realizó como parte del proyecto “Desarrollo de Índices Biológicos para la Evaluación Espacio - Temporal de la Calidad Ecológica del Agua en la Cuenca del Río Utcubamba, Región Amazonas, Perú”; financiado por el Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad - FINCyT (Contrato N° 221-FINCyT-IA-2013) y ejecutado por el Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva - INDES-CES de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas - UNTRM.

A los profesores Elías Alberto Torres Armas y Fernando Corroto de la Fuente, por su orientación y apoyo para la realización de la presente investigación.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Ph.D. JOSE LUIS MAICELO QUINTANA

Rector

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Vicerrector Académico

Dra. MARIA NELLY LUJAN ESPINOZA

Vicerrector de Investigación

Lic. JOSÉ LUÍS QUISPE OSORIO

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR

Yo, Blgo. Fernando Corroto de la Fuente, identificado con Carnet de Extranjería N° 001023865, docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, asesor de la tesis:

“USO DE DIATOMEAS (*Bacillariophyceae*) COMO BIOINDICADORES PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO UTCUBAMBA, AMAZONAS – PERÚ, 2014 - 2015”

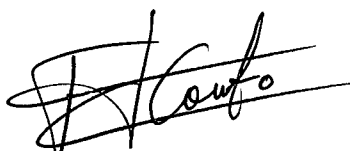
Presentado por las Bachilleres:

Bach. BETTY KARINA GUZMAN VALQUI

Bach. DAMARIS LEIVA TAFUR

Habiendo revisado el informe final de la tesis en mención doy la conformidad y el visto bueno para continuar con sus trámites correspondientes.

Chachapoyas, 19 de agosto del 2015.



Blgo. Fernando Corroto de la Fuente

Asesor de Tesis

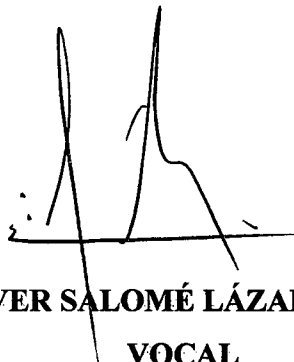
JURADO EVALUADOR



Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES
PRESIDENTE



Dra. CASTULA ALVARADO CHUQUI
SECRETARIA



Dr. EVER SALOMÉ LÁZARO BAZÁN
VOCAL

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS.....	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	v
JURADO EVALUADOR.....	vi
ÍNDICE.....	vii
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. MARCO TEÓRICO.....	3
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	11
2.1. Área de estudio.....	11
2.2. Diseño de investigación.....	13
2.3. Determinación de variables.....	13
2.4. Métodos, técnicas e instrumentos.....	15
2.5. Análisis de datos.....	16
III. RESULTADOS.....	18
3.1. Composición y abundancia de Diatomeas.....	18
3.2. Análisis de datos.....	24
IV. DISCUSIÓN.....	27
4.1. Características de la comunidad de diatomeas.....	27
V. CONCLUSIONES.....	30
VI. RECOMENDACIONES.....	31
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
ANEXOS.....	35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de las estaciones de muestreo en el cauce principal de la cuenca del río Utcubamba (Amazonas-Perú).	13
Tabla 2. Descripción de las estaciones de muestreo en los tributarios de la cuenca del río Utcubamba (Amazonas-Perú).	14
Tabla 3. Interpretación del Índice de Shannon & Wiener H'	17
Tabla 4. Relación taxonómica de Diatomeas encontradas en el río Utcubamba y sus tributarios en la época seca.	18
Tabla 5. Relación taxonómica de Diatomeas encontradas en el río Utcubamba y sus tributarios en la época húmeda.	21
Tabla 6. Clasificación del agua en la cuenca alta, media y baja del río Utcubamba según el índice de diversidad de Shannon – Wiener (H') para diatomeas.	24

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Flujo metodológico para la determinación de la calidad del agua de la cuenca del río Utcubamba usando Diatomeas. 11
- Figura 2.** Mapa de ubicación del área de estudio, Cuenca del Río Utcubamba (Amazonas – Perú). 12

RESUMEN

En la presente investigación se ha evaluado la calidad del agua de la cuenca del río Utcubamba en base a parámetros biológicos como es el uso de Diatomeas (*Bacillariophyceae*). Para ello, se realizaron dos muestreos, en época seca (octubre 2014) y húmeda (marzo 2015), en 43 estaciones de muestreo ubicadas a lo largo de la cuenca del río, situadas entre 386 (9386480N y 770597E) y 2 834 (9244491N y 191314E) m.s.n.m. dividiendo la cuenca en alta, media y baja de acuerdo al piso altitudinal donde se encuentran. Para dicha evaluación se usó como herramienta principal el Índice de diversidad de Shannon & Wiener (H') para Diatomeas.

Los resultados de la aplicación de los Índice de diversidad de Shannon & Wiener (H') indican que en la cuenca del río Utcubamba el agua presenta una Contaminación Moderada para el tramo alto de la misma, y una Contaminación Leve en los tramos medio y bajo, con valores que oscilan entre 1,981 y 2,533 bits cel⁻¹, durante la época seca. Para la época húmeda se registraron los mismos datos interpretativos pero con valores que varían de 1,890 y 2,004 bits cel⁻¹.

Palabras claves: Diatomeas, Índice de diversidad de Shannon & Wiener (H'), río Utcubamba.

ABSTRACT

In the present study we evaluated the water quality in the basin of the river Utcubamba based on biological parameters such as the use of diatoms (Bacillariophyceae). For this, two samples were taken in dry season (October 2014) and wet (March 2015), at 43 sampling stations located along the river basin, located between 386 (9386480N and 770597E) and 2834 (9244491N and 191314E) m dividing the watershed into high, medium and low altitude level according to where they are. For this evaluation was used as the main tool the index of Shannon & Wiener diversity (H') for diatoms.

The results of the application of the index of Shannon & Wiener diversity (H') indicate that in the basin of the Utcubamba River water pollution is moderately to the upper reaches of it, and Light Pollution in the middle and lower reaches with values ranging between 1,981 and 2,533 bits cel⁻¹, during the dry season. For the wet season but with the same interpretive data values ranging from 1,890 and 2,004 bits cel⁻¹ were recorded.

Keywords: Diatoms, diversity index Shannon & Wiener (H'), Utcubamba river.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

1.1.1. Planteamiento del Problema

El río Utcubamba, cuya cuenca constituye el más importante eje de ocupación humana de Amazonas; alberga las provincias de: Utcubamba, Bagua, Bongará, Chachapoyas y Luya. El valle del Utcubamba presenta una sucesión casi continua de paisajes naturales desde su curso superior hasta su curso inferior en donde la acción del hombre ha transformado profundamente el espacio geográfico e hidrológico, pues la práctica de actividades de producción como la agricultura y ganadería principalmente, han hecho que ésta sufra contaminación en sus aguas y por consiguiente la calidad de la misma se vea afectada, tema que hasta ahora no ha sido estudiado, lo que hace difícil poder ejercer un control adecuado para su gestión y manejo.

En la parte alta de la cuenca, en el distrito de Leymebamba, se practica una de las actividades que mayor daño causa a la cuenca, la ganadería, debido a prácticas de crianza convencional de animales como ganado vacuno y animales menores como ovejas, cerdos y otros, responsables de la contaminación orgánica del agua por las excretas. Los residuos líquidos y la materia orgánica resultante de las actividades ganaderas son una fuente importante de nitrógeno y consecuentemente de nitratos. Los efluentes o lixiviados originados en estas actividades suelen contener una gran cantidad de sólidos en suspensión (100, 000 mg/l en el caso de granja de cerdos), alta DBO₅ (10, 000 – 30, 000 mg/l) y altas concentraciones de coliformes fecales (Rodríguez, 2002).

Por otro lado, en la parte media de la cuenca en la provincia de Bongará y de manera específica en la ciudad de Pedro Ruiz existe una evidente contaminación de las aguas de la cuenca, procedente de aguas residuales domésticas y municipales, que son arrojadas directamente al agua de las corrientes tributarias de la cuenca, Ingenio, Asnac y Shíquite. Pues las 7 906 viviendas (INEI - Censo Nacional 2007: XI de Población y VI de Vivienda) que existen en el distrito arrojan sus aguas servidas a las corrientes de agua antes mencionadas.

Además, cabe señalar que en la parte baja de la cuenca, distrito de Bagua Grande, provincia de Utcubamba, la producción de arroz significa también una fuente de contaminación del agua, pues los diversos productos químicos que se aplican como los fertilizantes (NPK),

cuyas fuentes son la urea, P_2O_5 y K_2O , van a parar al agua por medio de procesos de lixiviación y escorrentía, principalmente. Todo ello como consecuencia de que en la provincia de Utcubamba se siembra, anualmente, alrededor de 36 102 ha de arroz, dicha cantidad, multiplicada por las toneladas empleadas de fertilizantes, supone una gran contaminación del recurso agua (Dirección de Información Agraria, 2013).

1.1.2. Formulación del Problema

¿Cuál es la calidad del agua del río Utcubamba usando Diatomeas como bioindicadores?

1.1.3. Justificación

En el Perú, las investigaciones ficológicas relacionadas con bioindicadores presentan un distanciamiento entre el estudio de las microalgas y sus parámetros ambientales, debido a que en estos últimos las microalgas son tomadas como referencia en la caracterización del agua y no son consideradas como influyentes en su distribución poblacional. Peor aún, no se considera a las microalgas como herramienta en la caracterización de un ambiente acuático. Tampoco hay una exigencia legal para su utilización, debido a que la Ley de Recursos Hídricos (Ley 29338), y los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua (D. S. 002-2008-MINAM) contemplan los análisis físicos, químicos y microbiológicos (bacterias y protozoarios parásitos) como los indicadores de la calidad del agua en ecosistemas acuáticos naturales (Calizaya *et al.*, 2013).

El Departamento de Amazonas se encuentra ubicado en el Nororiente del país, donde encontramos al río Utcubamba cuyas fuentes colectoras provienen de las provincias de Chachapoyas, Luya y Utcubamba, formando en su curso inferior el valle de Bagua. A lo largo del tiempo el incremento de la población asentada en la cuenca del río Utcubamba y la intensificación de las actividades que estas desarrollan cotidianamente, han ido alterando las condiciones naturales que presentaba la cuenca, lo que ha provocado que su calidad vaya disminuyendo como consecuencia directa de la contaminación por el vertimiento de aguas negras, residuos sólidos, contaminación difusa por plaguicidas y agroquímicos; así mismo la influencia del cambio climático también ha intervenido variando a su vez las características fisicoquímicas y biológicas del agua (García *et al.*, 2011).

La calidad del agua actual, influye sobre la salud, producción de alimentos, educación, etc. reduciendo en consecuencia la calidad de vida de la población, situación que conlleva a

plantearse diversas alternativas que controlen o reduzcan la degradación del recurso, sin embargo la inexistencia de información referida a las características que presenta la cuenca es un factor limitante en la búsqueda de soluciones.

Como parte de la recopilación de información que permita definir las condiciones actuales y la calidad del agua de la cuenca de río Utcubamba resulta de suma importancia la utilización de bioindicadores como son las algas fitobentónicas, y dentro de este grupo, las diatomeas, por poseer un lugar destacado gracias a una serie de características que las convierten en organismos idóneos tal como: su alta diversidad, ciclos vitales cortos, facilidad de muestreo, sensibilidad a la contaminación y parámetros físico-químicos, apoyada de su alta distribución a nivel mundial (Confederación Hidrográfica del Duero, 2010).

1.1.4. Objetivos

a. Objetivo general:

- Determinar la calidad del agua del río Utcubamba, mediante la utilización de diatomeas como bioindicadores.

b. Objetivos específicos:

- Registrar la riqueza de especies de diatomeas.
- Conocer la abundancia de especies de diatomeas.
- Aplicar el Índice de diversidad de Shannon – Wiener.

1.2. MARCO TEÓRICO

1.2.1. Antecedentes

A nivel internacional las investigaciones relacionadas con la utilización de diatomeas para la determinación de la calidad de agua son muy amplias especialmente en el continente europeo, y en algunos países como parte de la legislación para el control de la calidad del agua en sus principales cuencas. Dentro de los estudios más resaltantes a nivel internacional se encuentra el estudio para evaluar la calidad del agua en los ríos principales y embalses de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá mediante la identificación y análisis de diatomeas, en particular las Diatomeas Elípticas como indicadores biológicos del estado de los sistemas acuáticos. La comunidad de diatomeas para los ríos en todo el estudio estuvo integrada por ciento cuarenta y seis (146) especies, de las cuales sesenta y cinco (65) se

presentaron en el río Pequení; setenta (70), en el río Chagres, y setenta y nueve (79), en los ríos Boquerón y Gatún respectivamente. En el río Trinidad se registraron noventa y dos (92) especies, y ciento diez (110) en el río Ciri Grande. Estas especies son, en su mayoría, epilíticas, rafideas y arrafideas. Los resultados de la calidad biológica de las aguas de cabecera de los ríos han revelado que en la mitad de ellos la calidad del agua es buena o apropiada (ríos Boquerón, Chagres y Gatún), mientras que la otra mitad (ríos Trinidad, Ciri Grande y Pequení), registra una calidad moderada (Soler *et al.*, 2012). Otro de los estudios más resaltante es el del Río Lerma en México donde la taxa encontrada es de 178 que corresponden a 50 géneros, dentro de ellos el género *Nitzschia* y *Navicula* resultaron con la mayor tasa de diversidad, también aplicaron el índice de polusensibilidad para determinar la calidad del agua en sitios sujetos a distintos rangos de contaminación (Segura – García *et al.*, 2012).

Otro estudio relacionado con la utilización de diatomeas, es el estudio para determinar la calidad y disponibilidad de las aguas de la subcuenca del Río Viejo en Nicaragua. La investigación encontró un total de 71 (marzo 2010) y 68 taxa (enero 2011) de diatomeas bénticas, con aporte y distribución variable en sus diferentes partes (alta: 51 taxa – 53 taxa; media: 20 taxa – 27 taxa y baja: 50 taxa – 43 taxa), donde la zona menos diversa es la parte media. Siendo los géneros con mayor aporte a la riqueza de especies (*Nitzschia*, *Navicula* y *Achnanthes*) son utilizados como indicadores de la contaminación del medio acuático; *Nitzschia* tiene afinidad a aguas salobres, orgánicamente contaminadas, ricas en nutrientes y pobres en oxígeno, *Navicula* es tolerante a medios contaminados, mientras que *Achnanthes* es común en aguas con alto contenido de oxígeno y pueden resistir eventos de disturbio. Los resultados indican que la calidad de las aguas en las tres partes de la subcuenca es variable, ubicándose dentro del rango de calidad que van desde un estado de polución moderada a fuerte. El sitio El Coloncito, se distingue por su condición de aguas fuerte a muy fuertemente polutas. Aguas débilmente polutas se reportan en el 2010, en los sitios El Jordán (parte alta) y Río Grande (parte baja) y para el 2011, se menciona solamente al Lago de Apanás (Hernandez *et al.*, 2013).

A nivel de Sudamérica, en Colombia se han desarrollado estudios relacionados con el uso de diatomeas en veinte ríos de la cuenca alta y media del Río Bogotá (Cundinamarca, Colombia) se estudió la relación entre algunas variables físicas, químicas e hidrológicas con la comunidad de diatomeas perifíticas. Mediante un Análisis de Correspondencia Canónica

se estableció que el pH, el fósforo reactivo soluble, el nitrógeno total y la conductividad fueron las variables que determinaron la comunidad de diatomeas. Finalmente, se propone un modelo de regresión y calibración para inferir los valores de las variables significativas a partir de la estructura de la comunidad (Rivera & Días, 2004). También se desarrolló otro estudio posterior en un río de alta montaña de la cordillera oriental de los Andes colombianos, río Tota, durante diciembre de 2006 a octubre 2007. Se estableció que en todas las estaciones existen diferencias significativas en la diversidad de Shannon, además la relación de la varianza de las especies con las variables ambientales permitió establecer cinco grupos de especies; especies de aguas con alto caudal y conductividad: *Diadsmis contenta*, *Planothidium lanceolata*, *Tabellaria flocculosa*, *Nitzschia sp.*, *Navicula leptostriata*, *N. phyllepta*, *Luticola goepertiana* y *Fragilaria rumpens*; especies asociadas a bajas concentraciones de fósforo: *Fragilaria vaucheriae*, *Encyonema minuta*, *E. silesiaca*, *Nitzschia dissipata*, *Navicula rhynchocephala* y *Frustulia vulgaris*; especies asociadas con altas concentraciones de nitrógeno total y bajos valores de conductividad y caudal: *Epithemia sorex*, *Navicula cryptocephala*, *Gomphonema pseudoaugur*, *G. gracile*, *G. clavatum*, *Surirella angusta*, *Melosira varians* y *Nitzschia sp.*; especies asociadas a altas concentraciones de fosfato: *Navicula capitatoradiata* y *Rhopalodia brevissonii*, y especies asociadas con alta concentración de amonio y valores mayores de pH: *Navicula schoroeterii*, *N. minima*, *N. gregaria*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Reimeria sinuata*, *Cocconeis placentula* y *Gomphonema parvulum* (Pedraza & Donato, 2011).

A nivel nacional se presenta un estudio para evaluar la calidad del agua en la cuenca del río Locumba, Tacna – Perú. Tras el análisis del Índice de Diversidad de Shannon, que es considerado un buen indicador del impacto que ejerce el ambiente sobre las diatomeas, se formula una escala de valores de diversidad para cada nivel de contaminación, que van de 0 a 4 bits cél-1, en donde de 0 – 1 bits cél-1 existe una contaminación severa, entre 1 – 2 bits cél-1 moderada, entre 2 – 3 bits cél-1 es leve y entre 3 – 4 bits cél-1 la contaminación es imperceptible. Teniendo en cuenta esta escala, los valores bajos de diversidad (0,24 a 1 bits cel-1) obtenidos desde PL (estación del puente Locumba) hasta PP (estación del puente Panamericana) indicaron contaminación severa. En tanto que desde SA (estación del río Salado) hasta YL (estación del río Ilabaya) se encontró contaminación de moderada a leve (1,09 a 2,12 bits-1), y en TA (estación del arroyo Tacalaya) hallamos un ecosistema levemente alterado debido a la carga de nutrientes (Calizaya *et al.*, 2013).

Otro estudio relacionado, es el Estado ecológico del río Sendamal (Cajamarca), en el que se registró para las épocas seca y húmeda del año 2012, 62 especies repartidas en 14 Familias, correspondientes a 9 órdenes, tales como *Melosirales*, *Tabellariales*, *Fragilariales*, *Achnanthes*, *Thalassiosiphysales*, *Naviculales*, *Cymbellales*, *Bacillariales* y *Surirellales*; de los cuales los órdenes *Naviculales* y *Cymbellales* fueron los más abundantes, y tras el análisis del índice de diversidad se Shannon & Wiener H' para especies de diatomeas, se determinó que el agua presenta una Contaminación “Imperceptible” y “Leve”, con valores que varían de 2.423 y 3.300 bits cel⁻¹ (Alarcón *et al.*, 2012).

A nivel regional existe un estudio donde se evaluó la calidad ecológica del río Utcubamba en relación a parámetros fisicoquímicos y biológicos, en la investigación se identificaron 18 especies de diatomeas distribuidas en 7 estaciones de muestreo. Donde la incorporación de materia orgánica y consecuentemente la modificación del pH propiciaron las condiciones adecuadas para el desarrollo de organismos indicadores de contaminación, tal es el caso de la presencia de algunas especies más frecuentes como *Cymbella sp.*, *Melosira varians* y la *Synedra ulna*. Después de analizar los diferentes parámetros fisicoquímicos y biológicos y realizar la determinación cuantitativa de la importancia ambiental, utilizando criterios de naturaleza, intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, sinergia acumulación, efecto, periodicidad y recuperabilidad; se encontró que dentro de los valores +/- 52 a 272, la calidad ecológica del río Utcubamba es de -178, lo que indica que las actividades antropogénicas están impactando negativamente (García *et al.*, 2011).

1.2.2. Base teórica

a) Evaluación biológica de la calidad del agua

Al evaluar la calidad de las aguas mediante el estudio de la composición y estructura de comunidades de organismos surge el término de calidad biológica. Esta tiene unas características naturales que permiten desarrollar comunidades de organismos que son propios. Los organismos vivos que habitan en los cursos de agua presentan adaptaciones evolutivas a condiciones ambientales, y unos límites de tolerancia a las diferentes alteraciones de las mismas. Estos límites de tolerancia varían, y así, frente a una determinada alteración se encuentran organismos “sensibles” que no soportan las nuevas condiciones impuestas, comportándose como “intolerantes”, mientras que otros, que son “tolerantes” no se ven afectados. Si la perturbación llega a un nivel letal para los intolerantes, estos mueren

y su lugar es ocupado por comunidades de organismos tolerantes. Del mismo modo, aun cuando la perturbación no sobrepase el umbral letal, los organismos intolerantes abandonan la zona alterada, con lo cual dejan espacio libre que puede ser colonizado por organismos tolerantes. De modo que, variaciones inesperadas en la composición y estructura de las comunidades de organismos vivos de los ríos pueden interpretarse como signos evidentes de algún tipo de contaminación (Alba-Tercedor, 1996).

b) Bioindicadores

Es aquel organismo que nos permite cuantificar y calificar el nivel y la evolución de la contaminación presente en un determinado ecosistema, gracias a su sensibilidad diferencial a diversas sustancias contaminantes. Entre los principales bioindicadores tenemos a las algas fitobentónicas, y dentro de este grupo las diatomeas las cuales, gracias a una serie de características que las convierten en organismos idóneos para su uso como indicadores ecológicos. El uso de las comunidades de diatomeas para el establecimiento de la calidad biológica del medio en que se desarrollan es un método relativamente reciente, en comparación con el estudio de otras comunidades bióticas para este fin, que se remonta a casi un siglo (Arango *et al.*, 2008).

c) Diatomeas

Son algas microscópicas, unicelulares y eucariotas, compuestas en un 60% de sílice (SiO_2), ya que la célula se encuentra protegida por un caparazón silicio llamado frústulo que le confiere gran dureza y resistencia. El frústulo se compone de dos mitades que encajan entre sí, llamadas tecas, la superior (epiteca) es siempre mayor y envuelve parcialmente a la inferior (hipoteca). Cada teca está formada por una valva (respectivamente epi- e hipovalva) y un cingulo (epi- e hipocingulo). En la valva se desarrollan toda una serie de ornamentaciones que permiten la identificación taxonómica. Longitudinalmente, en muchas especies la valva está atravesada por un delgado surco llamado rafe, que atraviesa la teca hasta el protoplasto. La locomoción de las células es posible gracias a la hendidura del rafe, ya que bajo ella se halla un orgánulo en forma de cinta, formado por fibrillas, que puede contraerse rítmicamente. Este orgánulo provoca la secreción en los poros terminales de una sustancia adhesiva que se desplaza a través de la hendidura. Perpendiculares al rafe, se encuentran varias series de líneas de perforaciones llamadas areolas, la sucesión de éstas en cada línea forma una estría (Confederación hidrográfica del Duero, 2010).

Ventajas de las Diatomeas como bioindicadores:

Según la Confederación hidrográfica del Duero (2010), el uso de diatomeas como indicadores de la calidad del agua en sistemas fluviales presenta diversas ventajas como las siguientes:

- **Ubicuidad:** Las diatomeas pueden estar presentes en prácticamente todos los sistemas acuáticos, desarrollándose en una gran variedad de formas vitales (planctónicas, coloniales, perifíticas, etc.), por lo que pueden ser empleadas como bioindicadores virtualmente en todo ecosistema en el que el agua forme parte del biotopo.
- **Cosmopolitanismo:** La distribución de las diatomeas es prácticamente mundial, hallándose desde los polos hasta las regiones desérticas, tanto en aguas dulces como en mares, aguas salobres, termales e hipersalinas, bajo un amplio rango de condiciones ambientales.
- **Bajo grado de endemismo:** Existe una gran mayoría de especies que aparecen con abundancia en todo el planeta, de forma que muchos índices diatomológicos tienen aplicabilidad universal, lo que permite estudios comparativos entre regiones diferentes, que en otros casos son inviables.
- **Sensibilidad:** Las diatomeas, al formar parte de los productores primarios en los sistemas acuáticos, son altamente sensibles a los cambios en la naturaleza química del medio, en particular a la concentración de nutrientes (P, N, Si) y a la presencia de contaminantes. Al estar constantemente en contacto con el agua, reaccionan de forma altamente específica a las alteraciones ambientales de los ecosistemas en los que se desarrollan.
- **Diversidad:** Sólo en las aguas dulces existen decenas de miles de especies, subespecies, variedades y formas descritas, cada una de ellas con sus propios rangos de tolerancia frente a una gran variedad de factores ambientales.
- **Precisión estadística:** Los índices diatomológicos más usuales se basan en la identificación de un mínimo de 400 individuos por muestra. Esto hace que el error cometido en la estimación de la composición de la comunidad sea inferior al 10% en todos los casos, lo que supone una mayor fiabilidad y precisión de estos métodos desde el punto de vista estadístico.
- **Ciclos vitales:** Las diatomeas presentan ciclos vitales cortos y homogéneos y, al ser microorganismos unicelulares, se reproducen con rapidez en respuesta inmediata a eventuales cambios en condiciones del medio. La composición de la comunidad de

diatomeas en cada punto integra, por tanto, la calidad biológica del agua durante determinados periodos de tiempo, y no sólo la condición puntual que reflejaría un análisis físico-químico.

- **Facilidad de muestreo:** Las diatomeas pueden muestrearse en cualquier tramo fluvial, sobre una gran variedad de sustratos (sin que esto condicione significativamente la naturaleza de la comunidad de diatomeas) tanto naturales como artificiales, con un esfuerzo en tiempo y material mínimos.
- **Facilidad de tratamiento, procesado y almacenaje:** El tratamiento necesario para la obtención de preparaciones microscópicas es relativamente sencillo y barato.
- **Estudios temporales:** Al contrario que otros organismos, las diatomeas, más específicamente los frústulos o cubiertas silíceas, sobre los que se basa su taxonomía, son prácticamente inalterables en el tiempo y se pueden recuperar en estado fósil o subfósil de estratos y sedimentos fluviales y lacustres. Adicionalmente, son virtualmente los únicos bioindicadores recuperables sobre los cantos rodados de cauces secos y temporales, muy frecuentes en cuencas hidrográficas bajo bioclima mediterráneo.

d) Índice de Shannon & Wiener (H')

Uno de los índices más utilizados para cuantificar la biodiversidad específica es el de Shannon, también conocido como Shannon - Wiener. El índice refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa (Pla, 2006).

Este índice da un reflejo de la variabilidad específica y relacionada de la riqueza de especies; por lo general se fundamenta en el hecho de que la diversidad de especies disminuye conforme aumenta la contaminación, aunque cuando el grado de contaminación no indica riesgos para los organismos sino un ambiente con un alto grado de eutrofización, los valores de diversidad suelen ser altos debido a la disponibilidad de nutrientes. El análisis del índice de Shannon – Wiener, es considerado un buen indicador del impacto que ejerce el ambiente sobre las diatomeas (Calizaya *et al.*, 2013).

Este índice es usado ampliamente en ecología y otras ciencias similares para medir la biodiversidad. Este índice se representa normalmente como H' y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 1 y 5 (Zamora, 2009).

La fórmula del índice de Shannon es la siguiente:

$$H' = - \sum (p_i) (\ln p_i)$$

Donde:

p_i = proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i) se halla de la siguiente manera:

$$p_i = n_i/N$$

Donde:

n_i = número de individuos por especie.

N = número total de individuos en la muestra.

$\ln p_i$ = Logaritmo natural de la abundancia relativa.

De esta forma, el índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (riqueza de especies), y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (abundancia).

1.2.3. Variables de estudio

Variable dependiente:

- Calidad de agua.

Variable independiente:

- Diversidad de especies de diatomeas.
- Estaciones de muestreo.

1.2.4. Hipótesis

El uso de diatomeas como bioindicadores permitió determinar el estado de la calidad del agua del río Utcubamba.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Para la determinación de la calidad del agua de la cuenca del río Utcubamba usando Diatomeas, la metodología usada se resumió y se presenta en el siguiente diagrama de flujo (Figura 1):

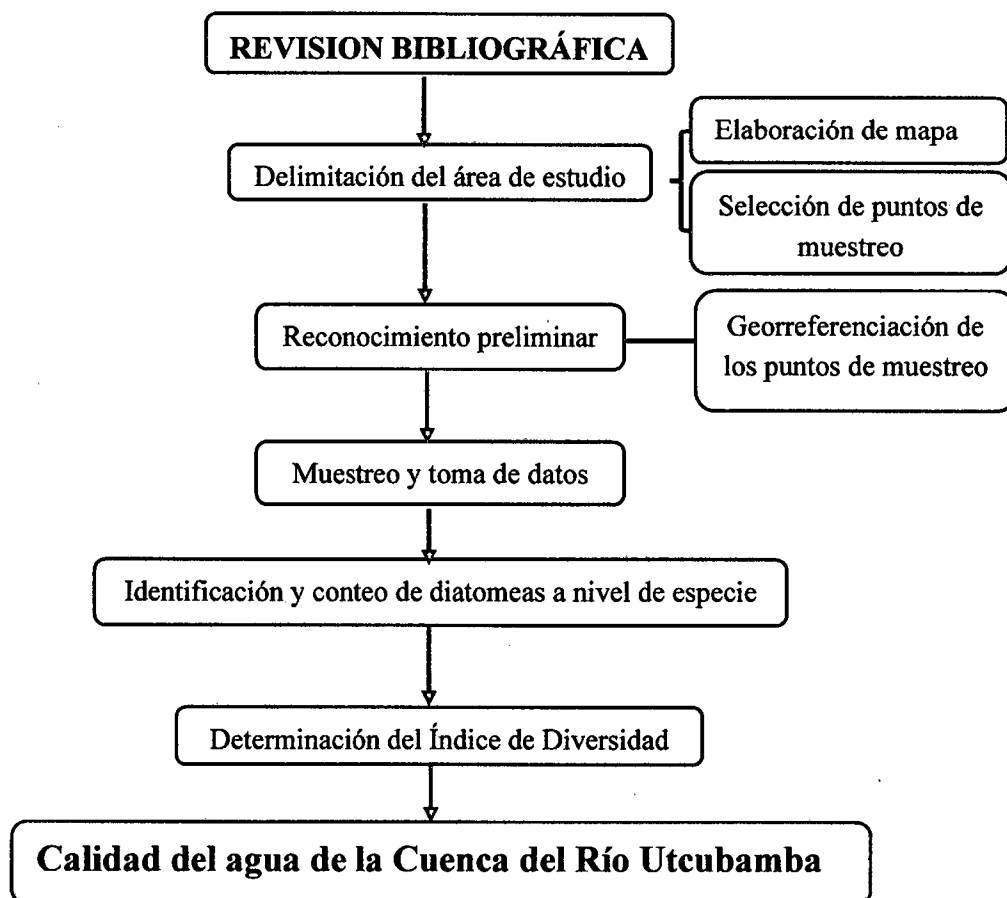


Figura 1. Flujo metodológico para la determinación de la calidad del agua de la cuenca del río Utcubamba usando diatomeas.

2.1. Área de estudio

El estudio se realizó en toda la cuenca del río Utcubamba, es decir la cuenca baja, media y alta, entre los 381 y 2834 msnm. El río Utcubamba recorre en dirección S-N desde sus nacientes y es tributario del río Marañón por la margen derecha. Su recorrido atraviesa las provincias de Bagua, Utcubamba, Bongará, Luya y Chachapoyas. Siendo el área total de toda la cuenca de 644, 317 ha lo que representa el 15, 32 % del territorio de la Región Amazonas (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, 2010).

2.2. Diseño de investigación

Se usó el diseño de un solo grupo con pre y pos prueba o en línea, cuyo esquema es el siguiente:

$$M: 0_1 \xrightarrow{X} 0_2$$

Donde:

M: Muestra: Cuenca del río Utcubamba.

0₁: Estación de muestreo.

0₂: Estación de muestreo después del tratamiento.

X: Tratamiento.

2.3. Determinación de variables

a. Estaciones de muestreo

Se definieron 43 estaciones de muestreo ubicadas a lo largo de la cuenca de acuerdo a Prat *et al.* (2012), las cuales fueron georreferenciadas según el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) (Datum WGS 84, Zona 17 y 18 Sur). De las 43 estaciones 25 estuvieron ubicadas en el cauce principal (Tabla 1) y las 18 restantes se ubicaron en sus tributarios (Tabla 2).

Tabla 1. Descripción de las estaciones de muestreo en el cauce principal de la cuenca del río Utcubamba (Amazonas-Perú).

Estación de muestreo	Nivel de cuenca	Coordenadas UTM		Elevación (m.s.n.m.)	Zona
		Norte	Este		
PTO-01	Alta	9244491	191314	2834	18S
PTO-03	Alta	9250136	189827	2580	18S
PTO-05	Alta	9259119	190593	2066	18S
PTO-07	Media	9266972	188771	1902	18S
PTO-08	Media	9275844	187094	1867	18S
PTO-10	Media	9283138	183292	1756	18S
PTO-12	Media	9290884	181327	1703	18S
PTO-14	Media	9296932	176233	1662	18S
PTO-16	Media	9304499	174691	1618	18S
PTO-18	Media	9309919	177125	1620	18S

Estación de muestreo	Nivel de cuenca	Coordenadas UTM		Elevación (m.s.n.m.)	Zona
		Norte	Este		
PTO-19	Media	9321683	179419	1397	18S
PTO-21	Media	9327803	177821	1351	18S
PTO-23	Media	9334637	172685	1294	18S
PTO-25	Media	9343914	169410	1166	18S
PTO-26	Media	9345368	828792	1088	17S
PTO-28	Baja	9344811	818635	726	17S
PTO-29	Baja	9348337	811692	572	17S
PTO-31	Baja	9353644	806087	503	17S
PTO-34	Baja	9358580	798306	441	17S
PTO-35	Baja	9360931	790926	463	17S
PTO-36	Baja	9364567	783400	437	17S
PTO-38	Baja	9369598	778579	374	17S
PTO-39	Baja	9374298	774833	397	17S
PTO-42	Baja	9377478	769797	407	17S
PTO-43	Baja	9386480	770597	386	17S

Tabla 2. Descripción de las estaciones de muestreo en los tributarios de la cuenca del río Utcubamba (Amazonas-Perú).

Estación de muestreo	Nivel de cuenca	Coordenadas UTM		Elevación (m.s.n.m.)	Zona
		Norte	Este		
PTO-02	Alta	9245787	190722	2824	18S
PTO-04	Alta	9251159	189487	2541	18S
PTO-06	Alta	9263417	190005	2013	18S
PTO-09	Media	9282885	184119	1833	18S
PTO-11	Media	9284554	182917	1772	18S
PTO-13	Media	9296434	176570	1654	18S
PTO-15	Media	9302748	174453	1721	18S
PTO-17	Media	9305556	174385	1633	18S
PTO-20	Media	9324485	180706	1367	18S

Estación de muestreo	Nivel de cuenca	Coordenadas UTM		Elevación (m.s.n.m.)	Zona
		Norte	Este		
PTO-22	Media	9329627	177464	1369	18S
PTO-24	Media	9343016	170424	1234	18S
PTO-27	Baja	9344877	823821	880	17S
PTO-30	Baja	9347792	811403	586	17S
PTO-32	Baja	9357482	804079	590	17S
PTO-33	Baja	9350165	801090	742	17S
PTO-37	Baja	9356510	779944	668	17S
PTO-40	Baja	9365509	784479	381	17S
PTO-41	Baja	9378549	782878	692	17S

b. Período de muestreo

El período de muestreo se dividió en dos etapas determinadas a partir del conocimiento del calendario de lluvias. La primera, correspondiente a la época seca (junio - noviembre), se desarrolló durante el mes de Octubre del año 2014; la segunda, correspondiente a la época húmeda (diciembre - mayo), se desarrolló durante todo el mes de Marzo del año 2015.

2.4. Métodos, técnicas e instrumentos

Por cada estación de muestreo se colectaron de cinco piedras sumergidas de 10 – 20 cm y ubicadas en zonas bien iluminadas y con corriente constante. La superficie de estas piedras fue cepillada en área aproximada de 20 cm², completando un área total de 100 cm². El cepillo conteniendo la muestra rica en diatomeas epilíticas se introdujo en un frasco con tapa hermética conteniendo 50 ml de agua de río. Al frasco conteniendo la muestra de diatomeas se le adicionó seis gotas de glicerina para evitar el rompimiento de los frústulos y cinco gotas de Solución Tamponada de Formaldehído (HCHO) al 4 % para la conservación de la muestra (Anexo 07).

Los frascos se etiquetaron y transportaron en frío hacia el laboratorio dejándolos en reposo por un periodo de 24 o 48 horas. Transcurrido el tiempo, se eliminó el sobrenadante y del contenido restante se tomó 10 ml de muestra, la misma que fue sometida a un proceso de

oxidación con peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30 %, 20 ml a 90 °C durante tres horas para limpiar los frústulos y facilitar la identificación.

Culminado este proceso, se dejó enfriar y se adicionó tres gotas de ácido clorhídrico (HCl) (3M) para eliminar carbonatos presentes en la muestra. Posteriormente las muestras fueron colocadas en tubos de centrifuga, aforados a 15 ml con agua destilada, para ser centrifugadas a 30 RPM (revoluciones por minuto) durante tres minutos. La muestra ya procesada se depositó en frascos pequeños agregando a cada uno de ellos tres gotas de Solución Tamponada de Formaldehído (HCHO) al 4 % que se conservaron en las incubadoras a una temperatura de 4 °C (Anexo 08).

El montaje definitivo consistió en colocar 1ml de muestra procesada en una cámara de conteo Sedgwick- Rafter, se dejó reposar cinco minutos para permitir que las células se depositen en el fondo de la cámara y se examinó a una magnificación inicial de 20X y luego de 40X en el Microscopio (Anexo 08). Antes de iniciar el recuento, se observó detenidamente toda la extensión de la cámara para identificar las principales especies presentes en la muestra, comprobando que los organismos se dispersen al azar a través del área de conteo y no se encuentren restringidos en una región en particular.

Por último, utilizando la información de la Confederación Hidrográfica del Duero (2010), Soler (2012) y de la Universidad Nacional Autónoma de México (2012) se llevó a cabo la identificación de las diatomeas a nivel de especie.

2.5. Análisis de datos

Se hizo el conteo y se determinó los parámetros comunitarios como densidad ($ind/100cm^2$) y abundancia relativa (%) de cada especie por cada estación de muestreo; así mismo se calculó el índice de diversidad de Shannon & Wiener (H').

La calidad del agua se determinó mediante los valores de diversidad de especies de diatomeas (Índice de Shannon & Wiener H'), según el siguiente patrón establecido por Lobo & Kobayasi (1990).

Tabla 3. Interpretación del Índice de Shannon & Wiener H'

Índice de Diversidad de Shannon H'	CALIDAD DEL AGUA
3 – 4 bits cel⁻¹	Contaminación imperceptible <input type="radio"/>
2 – 3 bits cel⁻¹	Contaminación leve <input type="radio"/>
1 – 2 bits cel⁻¹	Contaminación moderada <input type="radio"/>
0 – 1 bits cel⁻¹	Contaminación severa <input type="radio"/>

Como segunda parte del análisis de datos se utilizó el software estadístico SPSS versión 15, con el cual se determinó las diferencias significativas para los niveles de cuenca en ambas épocas.

III. RESULTADOS

3.1. Composición y abundancia de Diatomeas

En la época seca se encontraron 102 especies (Tabla N° 4), repartidas en 22 familias, correspondientes a 25 géneros. Por otro lado, en la época húmeda, se encontraron un total de 69 especies (Tabla N° 5), repartidas en 18 familias, correspondientes a 20 géneros.

Tabla 4. Relación taxonómica de diatomeas encontradas en el río Utcubamba y sus tributarios en la época seca.

Familia	Género	Especie	Densidad (ind/100cm ²)	Abundancia Relativa (pi) (%)
<i>Achnanthidiaceae</i>	<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthes catenata</i>	25	0.03
		<i>Achnanthes exigua</i>	5	0.01
		<i>Achnanthes minutissimum</i>	8197	10.38
		<i>Achnanthes sp.</i>	1056	1.39
<i>Amphipleuraceae</i>	<i>Amphipleura</i>	<i>Amphipleura lindheimeri</i>	15	0.02
	<i>Frustulia</i>	<i>Frustulia rhomboides</i> var. <i>crassinervia</i>	1	0.00
		<i>Frustulia saxonica</i>	15	0.02
		<i>Frustulia sp.</i>	6	0.01
		<i>Frustulia vulgaris</i>	50	0.07
<i>Bacillariaceae</i>	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia umbonata</i>	2	0.00
		<i>Nitzschia acidoclinata</i>	60	0.08
		<i>Nitzschia apitellata</i>	3	0.00
		<i>Nitzschia frustulum</i>	1182	1.56
		<i>Nitzschia lineares</i>	286	0.38
		<i>Nitzschia media</i>	2463	3.25
		<i>Nitzschia nana</i>	1	0.00
		<i>Nitzschia palea</i>	2988	3.95
		<i>Nitzschia prolongata</i>	35	0.05
		<i>Nitzschia sp.</i>	107	0.14
		<i>Nitzschia terrestris</i>	3	0.00
	<i>Tryblionella</i>	<i>Tryblionella debilis</i>	511	0.67
<i>Catenulaceae</i>	<i>Amphora</i>	<i>Amphora acutiuscula</i>	301	0.40
		<i>Amphora lybica</i>	74	0.10
		<i>Amphora meridionalis</i>	438	0.58
		<i>Amphora montana</i>	6	0.01
		<i>Amphora pediculus</i>	89	0.12
		<i>Amphora veneta</i>	21	0.03

Familia	Género	Especie	Densidad (ind/100cm²)	Abundancia Relativa (pi) (%)
<i>Cocconeidaceae</i>	<i>Cocconeis</i>	<i>Cocconeis euglypta</i>	5405	7.14
		<i>Cocconeis lineata</i>	57	0.08
<i>Cymbellaceae</i>	<i>Cymbella</i>	<i>Cymbella excisa</i>	56	0.07
		<i>Cymbella tumida</i>	1714	2.26
		<i>Cymbella hustedii</i>	7	0.01
		<i>Cymbella minuta</i>	1	0.00
		<i>Cymbella prostata</i>	89	0.12
		<i>Cymbella silesiaca</i>	3540	4.68
		<i>Cymbella sp.</i>	2	0.00
		<i>Cymbella ventricosa</i>	1	0.00
		<i>Diadesmidaceae</i>	<i>Luticola</i>	<i>Luticola sp.</i>
<i>Eunotiaceae</i>	<i>Eunotia</i>	<i>Eunotia exigua</i>	3	0.00
<i>Fragilariaceae</i>	<i>Diatoma</i>	<i>Diatomea vulgare</i>	8	0.01
	<i>Fragilaria</i>	<i>Fragilaria arcus</i>	541	0.71
		<i>Fragilaria brevistriata</i>	3	0.00
		<i>Fragilaria capucina</i>	1	0.00
		<i>Fragilaria capucina var. vaucheriae</i>	1	0.00
		<i>Fragilaria construens</i>	1719	2.27
		<i>Fragilaria crotonensis</i>	2	0.00
		<i>Fragilaria goulardii</i>	57	0.08
		<i>Fragilaria polonica</i>	50	0.07
		<i>Fragilaria pulchella</i>	12	0.02
		<i>Fragilaria rumpens</i>	73	0.10
		<i>Fragilaria sp.</i>	440	0.58
		<i>Fragilaria ulna</i>	2432	3.21
		<i>Gomphonemataceae</i>	<i>Gomphonema</i>	<i>Gomphonema rombicum</i>
<i>Gomphonema abbreviata</i>	2			0.00
<i>Gomphonema acuminatum</i>	7			0.01
<i>Gomphonema augur var. turris</i>	189			0.25
<i>Gomphonema clavatum</i>	1			0.00
<i>Gomphonema gracile</i>	15			0.02
<i>Gomphonema grovei</i>	891			1.18
<i>Gomphonema insignifine</i>	1			0.00

Familia	Género	Especie	Densidad (ind/100cm²)	Abundancia Relativa (pi) (%)
		<i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>lagenula</i>	704	0.93
		<i>Gomphonema minisculum</i>	1	0.00
		<i>Gomphonema minutum</i>	25	0.03
		<i>Gomphonema olivaceum</i>	9	0.01
		<i>Gomphonema parvulum</i>	238	0.31
		<i>Gomphonema pumilum</i> var. <i>rigidum</i>	6828	9.02
		<i>Gomphonema</i> sp.	9	0.01
		<i>Gomphonema truncatum</i>	26	0.03
<i>Melosiraceae</i>	<i>Melosira</i>	<i>Melosira varians</i>	1405	1.86
<i>Naviculaceae</i>	<i>Navicula</i>	<i>Navicula amphiceropsis</i>	539	0.71
		<i>Navicula capitatoradiata</i>	4244	5.61
		<i>Navicula cryptcephala</i>	1	0.00
		<i>Navicula cryptotenella</i>	3	0.00
		<i>Navicula decussis</i>	2	0.00
		<i>Navicula elginensis</i> var. <i>elginensis</i>	83	0.11
		<i>Navicula erifuga</i>	1644	2.17
		<i>Navicula gregaria</i>	466	0.62
		<i>Navicula lanceolata</i>	212	0.28
		<i>Navicula notha</i>	3	0.00
		<i>Navicula</i> sp.	5	0.01
		<i>Navicula tripunctata</i>	2	0.00
		<i>Navicula trivialis</i>	1804	2.38
<i>Navicula veneta</i>	212	0.28		
<i>Opalodiaceae</i>	<i>Epithemia</i>	<i>Epithemia sorex</i>	4	0.01
		<i>Epithemia</i> sp.	3	0.00
<i>Pinnulariaceae</i>	<i>Caloneis</i>	<i>Caloneis bacillum</i>	25	0.03
<i>Pleurosigmataceae</i>	<i>Gyrosigma</i>	<i>Gyrosigma acuminatum</i>	4	0.01
		<i>Gyrosigma scalpoides</i>	46	0.06

Familia	Género	Especie	Densidad (ind/100cm ²)	Abundancia Relativa (pi) (%)
		<i>Gyrosigma sp.</i>	49	0.06
<i>Pinnulariaceae</i>	<i>Pinnularia</i>	<i>Pinnularia borealis</i>	537	0.71
		<i>Pinnularia braunii</i>	150	0.20
		<i>Pinnularia butantanum</i>	1	0.00
		<i>Pinnularia kneuckerii</i>	681	0.90
		<i>Pinnularia sp.</i>	6	0.01
<i>Rhoicospheniaceae</i>	<i>Rhoicosphenia</i>	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	2602	3.44
<i>Sellaphoraceae</i>	<i>Sellaphora</i>	<i>Sellaphora pulchra</i>	1	0.00
<i>Surirellaceae</i>	<i>Surirella</i>	<i>Surirella angusta</i>	360	0.48
		<i>Surirella brebissonii</i>	637	0.84
		<i>Surirella sp.</i>	1	0.00
<i>Stephanodiscaceae</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Cyclotella sp.</i>	10	0.01
<i>Tabellariaceae</i>	<i>Tabellaria</i>	<i>Tambellaria flocculosa</i>	105	0.14
<i>Tauroneidaceae</i>	<i>Stauroneis</i>	<i>Stauroneis japonica</i>	3	0.00
TOTAL			75714	100.00 %

Tabla 5. Relación taxonómica de diatomeas encontradas en el río Utcubamba y sus tributarios en la época húmeda.

Familia	Género	Especie	Densidad (ind/100cm ²)	Abundancia Relativa (pi) (%)
<i>Achnanthidiaceae</i>	<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthes catenata</i>	36	0.08
		<i>Achnanthes minutissimum</i>	11227	26.27
		<i>Achnanthes sp.</i>	925	2.16
<i>Amphipleuraceae</i>	<i>Frustulia</i>	<i>Frustulia saxonica</i>	90	0.21
		<i>Frustulia sp.</i>	9	0.02
		<i>Frustulia vulgaris</i>	135	0.32
<i>Bacillariaceae</i>	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia frustulum</i>	851	1.99
		<i>Nitzschia lineares</i>	346	0.81
		<i>Nitzschia media</i>	3283	7.68
		<i>Nitzschia palea</i>	9043	21.16
		<i>Nitzschia sp.</i>	31	0.07
	<i>Tryblionella</i>	<i>Tryblionella debilis</i>	395	0.92
<i>Catenulaceae</i>	<i>Amphora</i>	<i>Amphora sp.</i>	3	0.01
		<i>Amphora lybica</i>	4	0.01
		<i>Amphora meridionalis</i>	194	0.45

Familia	Género	Especie	Densidad (ind/100cm ²)	Abundancia Relativa (pi) (%)
		<i>Amphora montana</i>	1	0.00
		<i>Amphora pediculus</i>	30	0.07
		<i>Amphora veneta</i>	8	0.02
<i>Cocconeidaceae</i>	<i>Cocconeis</i>	<i>Cocconeis euglypta</i>	997	2.33
<i>Cymbellaceae</i>	<i>Cymbella</i>	<i>Cymbella excisa</i>	19	0.04
		<i>Cymbella silesiaca</i>	572	1.34
		<i>Cymbella tumida</i>	550	1.29
		<i>Cymbella ventricosa</i>	1	0.00
<i>Diadesmidaceae</i>	<i>Luticola</i>	<i>Luticola sp.</i>	1	0.00
<i>Fragilariaceae</i>	<i>Diatoma</i>	<i>Diatomea vulgare</i>	4	0.00
		<i>Diatomea masodon</i>	6	0.00
	<i>Fragilaria</i>	<i>Fragilaria arcus</i>	623	1.46
		<i>Fragilaria construens</i>	139	0.33
		<i>Fragilaria crotonensis</i>	4	0.01
		<i>Fragilaria goulardii</i>	10	0.02
		<i>Fragilaria polonica</i>	36	0.08
		<i>Fragilaria ulna</i>	317	0.74
		<i>Fragilaria rumpens</i>	22	0.05
		<i>Fragilaria sp.</i>	346	0.81
<i>Gomphonemataceae</i>	<i>Gomphonema</i>	<i>Gomphonema acuminatum</i>	7	0.02
		<i>Gomphonema grovei</i>	124	0.29
		<i>Gomphonema insignifine</i>	34	0.08
		<i>Gomphonema minutum</i>	16	0.04
		<i>Gomphonema sp.</i>	5	0.01
		<i>Gomphonema pumilum var. rigidum</i>	1227	2.87
		<i>Gomphonema truncatum</i>	108	0.25
		<i>Gomphonema lagenula</i>	154	0.36
		<i>Gomphonema rhombicum</i>	3136	7.34
		<i>Gomphonema olivaceum</i>	158	0.37
		<i>Gomphonema ventricosum</i>	30	0.07
<i>Melosiraceae</i>	<i>Melosira</i>	<i>Melosira varians</i>	508	1.19
<i>Naviculaceae</i>	<i>Navicula</i>	<i>Navicula amphiceropsis</i>	74	0.17
		<i>Navicula capitatoradiata</i>	697	1.63

Familia	Género	Especie	Densidad (ind/100cm ²)	Abundancia Relativa (pi) (%)
		<i>Navicula elginensis</i> <i>var. elginensis</i>	16	0.04
		<i>Navicula erifuga</i>	44	0.10
		<i>Navicula gregaria</i>	140	0.33
		<i>Navicula lanceolata</i>	2383	5.58
		<i>Navicula notha</i>	2	0.00
		<i>Navicula sp.</i>	1	0.00
		<i>Navicula trivialis</i>	654	1.53
<i>Pinnulariaceae</i>	<i>Caloneis</i>	<i>Caloneis bacillum</i>	5	0.01
<i>Pleurosigmataceae</i>	<i>Gyrosigma</i>	<i>Gyrosigma scalproides</i>	72	0.17
		<i>Gyrosigma sp.</i>	69	0.16
<i>Pinnulariaceae</i>	<i>Pinnularia</i>	<i>Pinnularia borealis</i>	151	0.35
		<i>Pinnularia kneuckerii</i>	47	0.11
<i>Rhoicospheniaceae</i>	<i>Rhoicosphenia</i>	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	790	1.85
<i>Sellaphoraceae</i>	<i>Sellaphora</i>	<i>Sellaphora pulchra</i>	2	0.00
<i>Surirellaceae</i>	<i>Surirella</i>	<i>Surirella angusta</i>	302	0.71
		<i>Surirella brebissonii</i>	1197	2.80
<i>Stephanodiscaceae</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Cyclotella sp.</i>	1	0.00
<i>Tabellariaceae</i>	<i>Tabellaria</i>	<i>Tambellaria flocculosa</i>	122	0.29
<i>Tauroneidaceae</i>	<i>Stauroneis</i>	<i>Stauroneis japonica</i>	1	0.00
		<i>Stauroneis anceps</i>	193	0.45
TOTAL			42730	100.00 %

En la época seca, fue posible encontrar especies *cosmopolitas*, es decir, que estuvieran presentes en las diferentes estaciones de muestreo pertenecientes los tres niveles de cuenca, tal es el caso de: *Achnanthes minutissimum* y *Gomphonema rombicum*, no obstante, especies como: *Amphipleura lindheimeri* y *Epithemia sorex* se restringieron sólo a dos estaciones de muestreo de la parte baja de la cuenca.

En la época húmeda se registraron especies ampliamente distribuidas pues se encontraron en las diferentes estaciones de muestreo; así se menciona a *Nitzschia media*, *Nitzschia palea*, *Achnanthes minutissimum* y *Gomphonema rombicum*; mientras que *Sellaphora pulchra*, *Navicula notha*, *Gomphonema parvulum* y *Gomphonema lagenula* se han encontrado sólo en una estación de muestreo.

Un dato que llamó la atención fue el alto número de taxa (especies) encontradas en este estudio en total, correspondiendo la mayor parte de esta riqueza (102 especies) a la época seca sobre (69 especies) de la época húmeda.

3.2. Análisis de datos

3.2.1. Índice de Shannon – Wiener (H')

El análisis del índice de Shannon – Wiener, es considerado un buen indicador del impacto que ejerce el ambiente sobre las diatomeas. En este se sugiere una escala de valores de diversidad para cada nivel de contaminación, que van de 0 a 4 bits cél-1, en donde valores comprendidos entre 0 – 1 bit cél-1 denotan una contaminación severa; entre 1 – 2 bits cél-1 la contaminación es moderada; entre 2 – 3 bits cél-1 es leve, y entre 3 – 4 bits cél-1 la contaminación es imperceptible. Teniendo en cuenta esta escala, los valores de diversidad de 1,981 bits cél-1, 2,302 bits cél-1, 2,533 bits cél-1 obtenidos en la parte alta, media y baja de la cuenca respectivamente para la época seca, que demuestran contaminación moderada y leve. Para la época húmeda tenemos 1,890 bits cél-1, 2,402 bits cél-1, 2,004 bits cél-1 que también demuestran contaminación moderada y leve en los tres niveles de cuenca.

Tabla 6. Clasificación del agua en la cuenca alta, media y baja del río Utcubamba según el índice de diversidad de Shannon – Wiener (H') para diatomeas.

Nivel de Cuenca	Época seca	Época húmeda
Cuenca Alta	1,981 ○	1,890 ○
Cuenca Media	2,302 ●	2,402 ●
Cuenca Baja	2,533 ●	2,004 ●

3.2.2. Pruebas paramétricas

En el análisis de datos se involucró inicialmente la determinación de supuestos como normalidad con la prueba de Kolmogorov - Smirnov y homogeneidad con la prueba de Homogeneidad de Varianzas y por último se determinó la significación entre niveles de cuenca.

Determinación de diferencia significativa para los niveles de cuenca

a. Para la época seca (Anexo 04):

La normalidad de los datos en la época seca para los niveles de cuenca alta, media y baja son significativos (> 0.05) lo que determina que los datos son normales.

La varianza para los niveles de cuenca alta, media y baja resultan relativamente similares significativos (>0.1), por lo que se cumple la homogeneidad de varianzas. Posteriormente se hizo un análisis de varianza para determinar si existe diferencia significativa entre los niveles de cuenca, a partir de la comparación de promedios múltiples.

La comparación de promedios múltiples determina que entre los niveles de la Cuenca de río Utcubamba existe una diferencia significativa o al menos una resulta diferente, para determinar qué nivel de cuenca resulta diferente se hizo el análisis de Subconjuntos Homogéneos.

De los dos grupos homogéneos la prueba de Tukey define a la parte baja como la que presenta mayor diversidad con mayor diferencia significativa ($p < 0.05$), mientras que los niveles de cuenca alta y media presenta un promedio homogéneo con diferencia no significativa ($p < 0.05$).

b. Para la época húmeda (Anexo 05):

La normalidad de los datos para los niveles de cuenca alta, media y baja de la cuenca los valores son significativos (> 0.05) lo que determina que los datos son normales.

La varianza para los grupos alta, media y baja resultan relativamente similares y significativos (>0.1), por lo que se cumple la homogeneidad de varianzas.

Posteriormente se hizo un análisis de varianza para determinar si existe diferencia significativa entre los niveles de cuenca, a partir de la comparación de promedios múltiples.

La comparación de promedios múltiples determina que entre los niveles de la Cuenca de río existe una diferencia significativa o al menos una resulta diferente, para determinar qué nivel de cuenca resulta diferente se hizo el análisis de Subconjuntos Homogéneos.

De los dos grupos homogéneos la prueba de Duncan define a la parte media como la que presenta mayor diversidad con una diferencia significativa ($p < 0.05$), mientras que los

niveles de cuenca baja y alta presenta un promedio homogéneo con diferencia no significativa ($p < 0.05$).

IV. DISCUSIÓN

4.1. Características de la comunidad de diatomeas

En la presente investigación, de la evaluación de diatomeas a nivel de cuenca hidrográfica se registraron 22 familias, correspondientes a 25 géneros, expresadas en 110 especies de diatomeas, el resultado obtenido es relativamente bajo, a comparación a lo encontrado en otros lugares, como las 178 especies encontradas por (Segura - García *et al.*, 2012) en el río Lerma, México, a las 123 especies encontradas en el Río Tota en Colombia (Pedraza & Donato, 2011), o las 146 especies encontradas en la Cuenca Hidrográfica de Panamá (Soler *et al.*, 2012); sin embargo supera a las 71 especies encontradas en el mes de marzo y 68 en enero en la Subcuenca del Río Viejo en Nicaragua (Hernandez *et al.*, 2013), a las 57 especies encontradas en la Cuenca alta y media del río Bogotá, Colombia (Rivera & Díaz, 2004) y a nivel nacional a las 77 taxas encontradas por (Calizaya *et al.*, 2013) en el río Locumba ubicado en Tacna al norte del Perú, e incluso las 62 especies repartidas en 14 familias encontrada por Alarcón (2014) en el río Sendamal, Cajamarca el 2014 y a nivel regional supera a las 18 especies encontradas en 7 puntos de muestreo a lo largo de la cuenca de Utcubamba por (García *et al.*, 2011).

De la evaluación por épocas estacionales, algo que llamó la atención fue el alto número de taxa encontrados en este estudio (110 en total), correspondiendo la mayor parte de esta riqueza a la época seca, y principalmente en la parte baja de la cuenca. Este resultado puede estar asociado a una variable de orden físico, pues de acuerdo a Valcárcel (2011), en los períodos secos un ambiente más estable proporciona una mejor estructura de la comunidad. Analizando este aspecto desde la variable altitudinal, puede constatarse lo que Jacobsen (2003) encontró en ríos de Ecuador en los cuales la mayor riqueza estaba en las zonas bajas (400 m de altitud).

Las diatomeas al ser productores primarios, como tales responden a las variaciones de nutrientes en el agua; algunas pueden comportarse como organismos heterotróficos cuando existe un aumento de materia orgánica, presentando cambios en su composición que, en algunos casos suponen la disminución de la diversidad, y el aumento de biomasa; de forma que cuando la masa de agua se eutrofiza los sustratos aparecen recubiertos de patinas verdes, estas características permitieron que las diatomeas estudiadas a lo largo de los puntos de muestreo de la cuenca del río Utcubamba, fueran sometidas a evaluación de los parámetros

comunitarios como riqueza específica e índice de diversidad de Shannon & Wiener (H), siendo el más utilizado para predecir las condiciones de calidad de los ecosistemas acuáticos (Licursi & Gomez, 2003).

Este considera que la diversidad refleja las diferencias en las abundancias de las diferentes especies, en gran medida la organización espacial de la comunidad y el grado de contaminación del medio; así también proporcionan información valiosa de la condición del ecosistema acuático y el establecimiento de una adecuada confiable línea base como referencia; los valores elevados de diversidad, estarían representando ecosistemas altamente organizados y una mayor complejidad estructural de la taxocenosis y, por consecuencia, una mayor estabilidad y menor alteración por contaminación, mientras que los valores bajos de diversidad se han asociado con un aumento de las condiciones tróficas del sistema (Margalef, 1983), o también podría significar que la comunidad se encuentra en una etapa transicional representada por los valores máximos y mínimos de diversidad, lo cual denotaría cierto grado de inestabilidad o alternancia de especies (principalmente dominantes y codominantes) en la comunidad de diatomeas epilíticas (Licursi & Gómez, 2003).

Para el área de estudio, se ha encontrado que el índice de diversidad de Shannon & Wiener varía de 1,981 a 2,533 bits - 1 para la época seca mientras que para la época húmeda va de 1,890 a 2,004 bits - 1, el análisis de los resultados obtenidos del índice de diversidad de Shannon caracteriza a la cuenca con un grado de contaminación leve de acuerdo al patrón establecido por (Lobo & Kobayasi, 1990), sin embargo en el análisis de comparaciones múltiples por niveles de cuenca la prueba de Tukey define en la época seca a la parte baja como aquella que presenta el mayor índice de diversidad y en la época húmeda la prueba de Duncan a la parte media, esta caracterización tiene en cuenta los 18 puntos de muestreo en tributarios y 25 puntos de muestreo en el cauce principal teniendo en cuenta que el índice de diversidad para los tributarios en ambas épocas se presenta como leve y la variación de índice de moderado a severo se presenta en puntos del cauce principal, esta variación se hace extensiva en los tres niveles de la cuenca, presentándose de manera más notoria en la parte media y baja.

El análisis a nivel de predominancia de especies permite mencionar a: *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *Achnanthes minutissimum*, *Cymbella tumida*, *Cymbella silesiaca*, *Nitzschia media*, *Navicula erifuga* que se hacen presentes de manera predominantes para los tres

niveles de cuenca, *Gomphonema rhombicum* y *Achnanthes minutissimum* se encontraron solo en la parte media y baja de la cuenca. Otras de las especies que causaron interés es *Amphipleura lindheimeri*, *Epithemia sorex*, *Sellaphora pulchra*, *Navicula notha*, *Gomphonema parvulum* y *Gomphonema lagenula* cuyo hábitat se reduce a la parte baja de la cuenca, la predominancia de especies se deben al estado del hábitat o las condiciones de polución que se establecen a lo largo de la cuenca.

De acuerdo a los resultados alcanzados podemos reconocer que el empleo de las diatomeas resulta apropiado para la evaluación y monitoreo de la calidad del agua de los efluentes hídricos superficiales de nuestra región, ya que se suministran información complementaria, siendo indicadoras de polución a corto término comparadas con otro tipo de indicadores biológicos. Por otro lado el análisis detallado de las poblaciones permite advertir la presencia de factores de estrés ambiental a partir de la observación de deformaciones de las valvas (Licursi & Gómez, 2003). De igual manera la taxa recopilada permitirá llevar un control y monitoreo continuo sobre los puntos estudiados, y realizar estudios posteriores de fluctuación de diversidad por diversos impactos sobre el recurso.

V. CONCLUSIONES

- A partir del análisis de Diatomeas encontradas y la aplicación del índice de diversidad de Shannon & Wiener (H') para estas, se determinó a la cuenca alta, media y baja del río Utcubamba con una “Contaminación moderada a leve” en ambas épocas (seca y húmeda).
- A nivel de la cuenca del río Utcubamba y los efluentes que lo conforman, se encontraron 110 especies, repartidas en 22 familias, 25 géneros.
- La mayor riqueza de especies en la cuenca del río Utcubamba para la época seca se presentó en la parte baja de la cuenca y para la época húmeda en la parte media. Lo que denota su resiliencia frente a la perturbación
- La época con mayor riqueza de especies (taxa) fue la época seca, demostrando que los periodos secos, significa un ambiente más estable el cual proporciona una mejor estructura de la comunidad de especies.
- Las especies más predominantes en la cuenca fueron *Achnanthes minutissimum* y *Gomphonema rhombicum* tanto en la época seca y húmeda.
- Mediante la evaluación de biológicos, se ha determinado que la calidad del agua de la cuenca del río Utcubamba y los efluentes que lo conforman presentan contaminación orgánica, que se va incrementado en la parte media y baja de la cuenca.

VI. RECOMENDACIONES

- Ampliar los estudios de diagnóstico de calidad de agua en la región teniendo en cuenta el avance de diversas actividades productivas y los impactos ambientales que estas provocarán.
- Aplicar políticas que ordenen la actividad agrícola y ganadera en cuanto al uso de la tierra y el agua para afectar lo menos posible su cantidad y calidad. Además de limitar el uso de agroquímicos con la asistencia de profesionales calificados.
- Orientar a las autoridades locales para una gestión adecuada en el tratamiento de las aguas residuales domésticas, para disminuir el impacto de las mismas sobre el recurso hídrico.
- Realizar mayores estudios respecto a la taxonomía y el grado de respuesta frente a eventos de contaminación de las especies algales de diatomeas (*Bacillariophyceae*).

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, N. (2014). Estado ecológico del río Sendamal (Sorochuco y Huasmín). Tesis para optar el grado académico de Maestra en Gestión Ambiental. Universidad Nacional de Trujillo (UNT). Trujillo – Perú. 108p.
- Alba-Tercedor, J. (1996). Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA) 2: 203 – 213.
- Arango, M., Álvarez L., Arango G., Torres O., y Asmed de Jesús M. (2008). Calidad del agua de las quebradas la Cristalina y la Risaralda, San Luis, Antioquia. Revista EIA. 9:121-141.
- Calizaya J., Avendaño M. y Delgado I. (2013). Evaluación de la calidad Fluvial con Diatomeas (*Bacillariophyceae*), una experiencia en Tacna, Perú. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, 30: 58-63.
- Castellanos, L. & J. Donato. (2008). Biovolumen y Sucesión de Diatomeas Bénticas. En: J.C. Donato (Ed.). Ecología de un río de montaña de los Andes Colombianos (río Tota, Boyacá). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Bogotá: 127-144.
- Confederación Hidrográfica del Duero. (2010). Guía de las diatomeas de la cuenca del Duero. España: Valladolid. Celarayn. 5: 11-201.
- Dirección de información agraria Amazonas. Ministerio de Agricultura. 2013.
- García, F., Torres, J. y Vergara, S. (2011). Calidad ecológica del agua del río Utcubamba en relación a parámetros fisicoquímicos y biológicos. Amazonas - Perú. Revista de investigación científica Sciendo. 3: 12-21.
- Hernández, S., Salvatierra T. y Varela R. (2013). Indicadores biológicos de calidad de las aguas superficiales de la subcuenca del *Río Viejo*, utilizando Fitobentos (Diatomeas) y Macroinvertebrados Acuáticos (MIA). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN). Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAM). Nicaragua: Managua. Eula. 10 (3):9-11.

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP). (2010). Hidrografía, informe temático. Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Amazonas, convenio entre el IIAP y el Gobierno Regional de Amazonas. Iquitos – Perú.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) - Censo Nacional 2007: XI de Población y VI de Vivienda. Lima, Perú.

Jacobsen, D. (2003). Altitudinal changes in diversity of macroinvertebrate from small streams in the Ecuadorian Andes. Arch. Hydrobiol. Vol. 158, 2, p. 145-167.

Licursi, M. & Gómez, N. (2003). Aplicación de índice biótico en la evaluación de la calidad del agua en sistemas lóticos de la llanura pampeana argentina a partir del empleo de diatomeas. *Biología Acuática* N° 21. Diatomeas y Macroinvertebrados Bentónicos en el monitoreo de sistemas lóticos Bonaerenses. Instituto de Limnología. UNLP-CONICET. ISSN. 1668-4869.

Lobo E. & H. Kobayasi. (1990). Shannon's diversity index applied to some freshwater diatom assemblages in the Sakama River System (Kamagawa Pref, Japan) and its use as an indicator of water quality. *Jpn J phycol (Sorui)* 1190; 38: 229-43.

Margalef, R. (1983). *Limnología*. Barcela: Ed. Omega. Vol. 6:234-324.

Pedraza E. y Donato J. (2011). Diversidad y distribución de diatomeas en un arroyo de montaña de los Andes Colombianos. *Caldasia* 33(1):177-191.

Pla, L. (2006). Biodiversidad: inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. Venezuela. *Revista científica Interciencia*. 31: 583- 590.

Prat, N., Rieradevall, M. y Fortuño, P. (2012). Metodología F. E. M. para la evaluación del estado ecológico de los ríos mediterráneos. Universidad de Barcelona. Departamento de Ecología. España. 44pp.

Rivera, C. y Díaz, C. (2004). Grandes taxones de fitobentos y su relación con la hidrología, física y química de pequeños ríos andinos. *Universitas Scientiarum.*; Vol.9 (1):75-86.

- Rodríguez, C. (2002). Residuos Ganaderos. Cursos de Introducción a la Producción Animal. Facultad de Agronomía y Veterinaria (FAV), Universidad de Río Cuarto (UNRC). Argentina. *Revista Argentina de Producción Animal*.7:3-5.
- Segura-García V., Cantoral-Uriza, E., Israde, I. and Maidana, N. (2012). Epilithic diatoms (Bacillariophyceae) as indicators of water quality in the Upper Lerma River, Mexico. *Hidrobiológica* 22(1): 16-27.
- Soler, A., Pérez, M., Aguilar, E. y Villarreal, I. (2012). Diatomeas del canal de Panamá, Bioindicadores y otros estudios pioneros. Panamá: ACP. *Revista de Investigación de la Universidad de Panamá Scientia*. 23(2): 27-34.
- Taylor, J., Prygiel, A., Vosloo, P. & Rensburg, L. (2007). Can diatom-based pollution indices be used for biomonitoring in South Africa? A case study of the Crocodile West and Marico water management area. *Hydrobiologia* 592: 455-464.
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2012). Flora del valle de Tehuacan – Cuicatlan, Fascículo 102. *Bacillariophyta* Hustedt. México.10:102-230.
- Valcárcel R., (2011). Evaluación de la degradación de ecosistemas dulceacuícolas en la cuenca baja del río Utcubamba mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos. TESIS para optar el título profesional de Biólogo con mención en Hidrobiología y Pesquería. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú: 48 – 50.
- Zamora, H. (2009). El índice BMWP y la Evaluación biológica de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos epicontinentales naturales de Colombia. *Eco –Ambiental*. Colombia. *Boletín Científico-Centro de Museos de Historia Natural*. 13 (2): 89-105.

ANEXOS

ANEXO 01. Matriz de recolección de datos para la identificación de especies de diatomeas.

Especie	Punto de muestreo N° (1...43)																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
<i>Amphora lybica</i>																															
<i>Amphora meridionalis</i>																															
<i>Amphora pediculus</i>																															
<i>Achnanthes minutissima</i>																															
<i>Achnanthes sp.</i>																															
<i>Caloneis bacillum</i>																															
<i>Cocconeis euglypta</i>																															
<i>Cocconeis lineata</i>																															
<i>Cymbella silesiaca</i>																															
<i>Cymbella excisa</i>																															
<i>Cymbella tumida</i>																															
<i>Diatomea vulgare</i>																															
<i>Gyrosigma scalproides</i>																															
<i>Fragilaria rumpens</i>																															
<i>Fragilaria sp.</i>																															
<i>Fragilaria construens</i>																															
<i>Fragilaria goulardi</i>																															
<i>Fragilaria ulna</i>																															
<i>Melosira varians</i>																															
<i>Navicula gregaria</i>																															
<i>Navicula lanceolata</i>																															
<i>Navicula erifuga</i>																															
<i>Navicula capitatoradiata</i>																															
<i>Nitzschia frustulum</i>																															
<i>Nitzschia media</i>																															
<i>Nitzschia palea var. Debillis</i>																															
<i>Nitzschia palea</i>																															
<i>Nitzschia acidoclinata</i>																															
<i>Fragilaria polonica</i>																															
<i>Pinnularia kneuckerii</i>																															

ANEXO 02. Cuadro de resultados del Índice de Shannon & Wiener para la época seca 2014.

PUNTOS DE MUESTREO	CUENCA	ÍNDICE DE SHANNON & WIENER H'	CALIDAD DEL AGUA
PTO-01	ALTA	1. 71816425	Contaminación moderada
PTO-02			
PTO-03		1. 80481603	Contaminación moderada
PTO-04		1. 43218710	Contaminación moderada
PTO-05			
PTO-06			
PTO-07	MEDIA		
PTO-08			
PTO-09		1. 10377738	Contaminación moderada
PTO-10			
PTO-11		1. 94941940	Contaminación moderada
PTO-12			
PTO-13		1. 92108352	Contaminación moderada
PTO-14			
PTO-15			
PTO-16			
PTO-17			
PTO-18			
PTO-19			
PTO-20			
PTO-21			
PTO-22		1. 74757276	Contaminación moderada
PTO-23		1. 77406201	Contaminación moderada
PTO-24			
PTO-25			
PTO-26			
PTO-27	BAJA		
PTO-28		1. 0450582	Contaminación imperceptible
PTO-29			
PTO-30			
PTO-31			
PTO-32			
PTO-33			
PTO-34			
PTO-35			
PTO-36			
PTO-37			
PTO-38			

PUNTOS DE MUESTREO	CUENCA	ÍNDICE DE SHANNON & WIENER H'	CALIDAD DEL AGUA
PTO-39			
PTO-40		1. 99188423	Contaminación moderada
PTO-41			
PTO-42			
PTO-43			

ANEXO 03. Cuadro de resultados del Índice de Shannon & Wiener para la época húmeda 2015.

PUNTOS DE MUESTREO	CUENCA	ÍNDICE DE SHANNON & WIENER H'	CALIDAD DEL AGUA
PTO-01	ALTA	1, 67486264	Contaminación moderada
PTO-02			
PTO-03			
PTO-04		0. 96265817	Contaminación severa
PTO-05		1. 99394637	Contaminación moderada
PTO-06			
PTO-07	MEDIA		
PTO-08			
PTO-09		3. 43281781	Contaminación imperceptible
PTO-10			
PTO-11			
PTO-12			
PTO-13		1. 76097548	Contaminación moderada
PTO-14			
PTO-15			
PTO-16			
PTO-17		1. 36057987	Contaminación moderada
PTO-18			
PTO-19			
PTO-20			
PTO-21			
PTO-22	1. 75097435	Contaminación moderada	
PTO-23			
PTO-24	1. 79447722	Contaminación leve	
PTO-25	1. 91137121	Contaminación moderada	
PTO-26			
PTO-27	BAJA		
PTO-28			
PTO-29			
PTO-30			
PTO-31			
PTO-32		1. 87001853	Contaminación moderada
PTO-33		*	No se pudo muestrear
PTO-34		*	No se pudo muestrear
PTO-35		1. 55958116	Contaminación moderada
PTO-36		*	No se pudo muestrear
PTO-37		*	No se pudo muestrear
PTO-38		1. 94012736	Contaminación moderada

PUNTOS DE MUESTREO	CUENCA	ÍNDICE DE SHANNON & WIENER H'	CALIDAD DEL AGUA
PTO-39		1. 95612509	Contaminación moderada
PTO-40		1. 72973253	Contaminación moderada
PTO-41			
PTO-42		0. 90025605	Contaminación severa
PTO-43		*	No se pudo muestrear

ANEXO 04. Diferencia significativa para los niveles de cuenca- Época seca.

Tabla 7. Prueba de Kolmogorov - Smirnov para una muestra.

Niveles de Cuenca del río Utcubamba	Prueba de Kolmogorov-Smirnov		Índice de diversidad de Shannon
Alta	N		6
	Parámetros normales(a,b)	Media	1.9810450083
		Desviación típica	0.39143298512
	Z de Kolmogorov-Smirnov		0.426
	Sig. asintót. (bilateral)		0.994(*)
Media	N		20
	Parámetros normales(a,b)	Media	2.3020786560
		Desviación típica	0.43666609493
	Z de Kolmogorov-Smirnov		0.658
	Sig. asintót. (bilateral)		0.780(*)
Baja	N		17
	Parámetros normales(a,b)	Media	2.5325136953
		Desviación típica	0.34588156459
	Z de Kolmogorov-Smirnov		0.562
	Sig. asintót. (bilateral)		0.910(*)

(*)Diferencia significativa.

Tabla 8. Prueba de homogeneidad de varianzas.

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
0.264	2	40	0.770 (*)

(*)Diferencia significativa.

Tabla 9. Pruebas de los efectos inter-sujetos.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Cuenca de río Utcubamba	1.429	2	0.714	4.534	0.017(*)
Error	6.303	40	0.158		

(*)Diferencia significativa.

Tabla 10. Subconjuntos homogéneos.

Cuenca del río Utcubamba		N	Subconjunto	
			2	1
DHS de	Alta	6	1.9810450083	
Tukey	Media	20	2.3020786560	2.3020786560
(a,b,c)	Baja	17		2.5325136953
	Significación		0.156	0.374(*)
Duncan	Alta	6	1.9810450083	
(a,b,c)	Media	20	2.3020786560	2.3020786560
	Baja	17		2.5325136953
	Significación		0.066	0.183

(*)Diferencia significativa.

ANEXO 05. Diferencia significativa para los niveles de cuenca- Época húmeda.

Tabla 11. Prueba de Kolmogorov - Smirnov para una muestra.

Niveles de Cuenca del río Utcubamba	Prueba de Kolmogorov – Smirnov		Índice de diversidad de Shannon - Época húmeda
Alta	N		6
	Parámetros normales(a,b)	Media	1.8902878267
		Desviación típica	0.51223594440
	Z de Kolmogorov-Smirnov		0.605
	Sig. asintót. (bilateral)		(*) 0.858
Media	N		20
	Parámetros normales(a,b)	Media	2.4018707175
		Desviación típica	0.49618525384
	Z de Kolmogorov-Smirnov		0.608
	Sig. asintót. (bilateral)		(*) 0.854
Baja	N		17
	Parámetros normales(a,b)	Media	2.0037619324
		Desviación típica	0.39167079881
	Z de Kolmogorov-Smirnov		0.825
	Sig. asintót. (bilateral)		(*) 0.504

(*)Diferencia significativa.

Tabla 12. Prueba de homogeneidad de varianzas

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
1.276	2	40	0.290 (*)

(*)Diferencia significativa.

Tabla 13. Pruebas de los efectos inter-sujetos.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Cuenca de Río Utcubamba	2.014	2	1.007	4.770	0.014 (*)
Error	8.444	40	0.211		

(*)Diferencia significativa.

Tabla 14. Subconjuntos homogéneos.

Cuenca del río Utcubamba		N	Subconjunto	
			2	1
DHS de Tukey(a,b,c)	Alta	6	1.8902878267	
	Baja	17	2.0037619324	2.0037619324
	Media	20		2.4018707175
	Significación		0.833	0.120
Duncan(a,b,c)	Alta	6	1.8902878267(a)	
	Baja	17	2.0037619324(a)	
	Media	20		2.4018707175(b)
	Significación		0.568	1.000(*)

(*)Diferencia significativa.

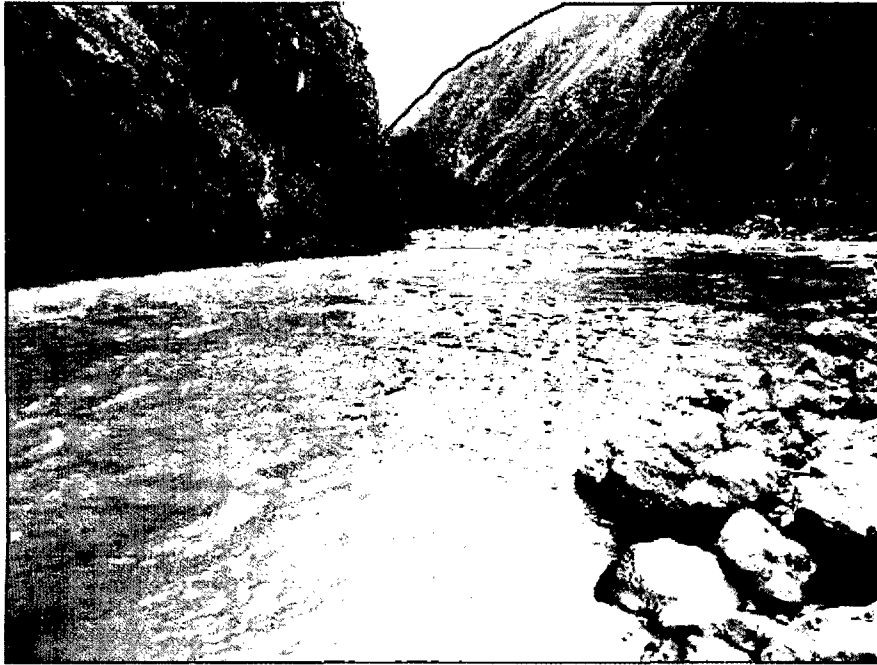
ANEXO 06. Fotografías de algunas estaciones de muestreo.



Fotografía 01. Estación de muestreo 1, cauce principal, cuenca alta.



Fotografía 02. Estación de muestreo 2, tributario, cuenca alta.



Fotografía 03. Estación de muestreo 21, cauce principal, cuenca media.



Fotografía 04. Estación de muestreo 22, tributario, cuenca media.



Fotografía 05. Estación de muestreo 41, tributario, cuenca baja.



Fotografía 06. Estación de muestreo 43, Cauce principal, cuenca baja.

ANEXO 07. Fotografías del trabajo de campo.



Fotografía 07. Colecta de 5 a 10 piedras sumergidas de 10 – 20 cm y ubicadas en zonas bien iluminadas y con corriente constante.



Fotografía 08. Extracción del sustrato mediante el cepillado en un frasco con tapa hermética conteniendo 50ml de agua de río.



Fotografía 09. Conservación de la muestra con formaldehído y glicerina para evitar la ruptura de valvas.



Fotografía 10. Traslado de la muestra hasta laboratorio en una fuente fría (cooler).

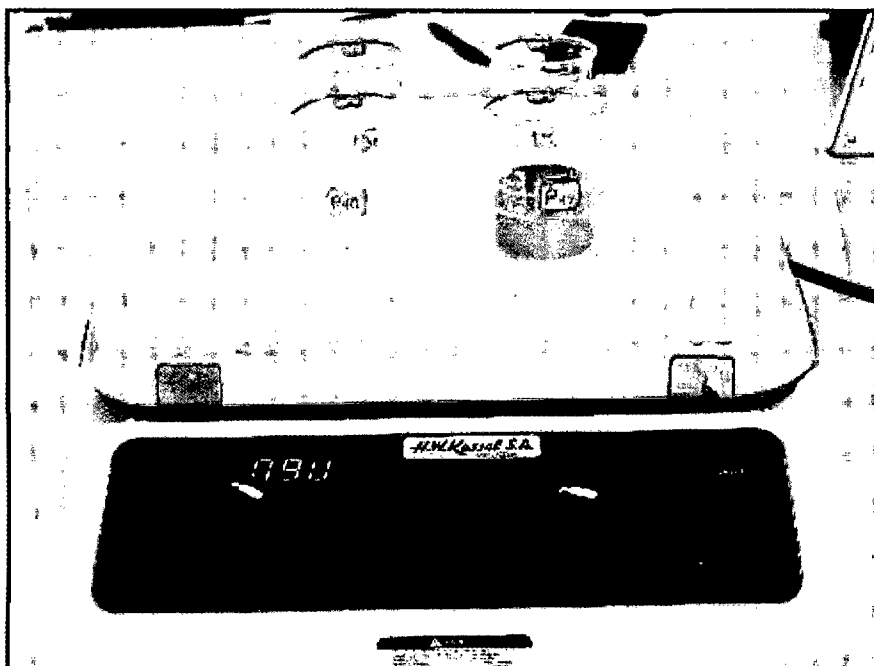
ANEXO 08. Fotografías del trabajo en laboratorio.



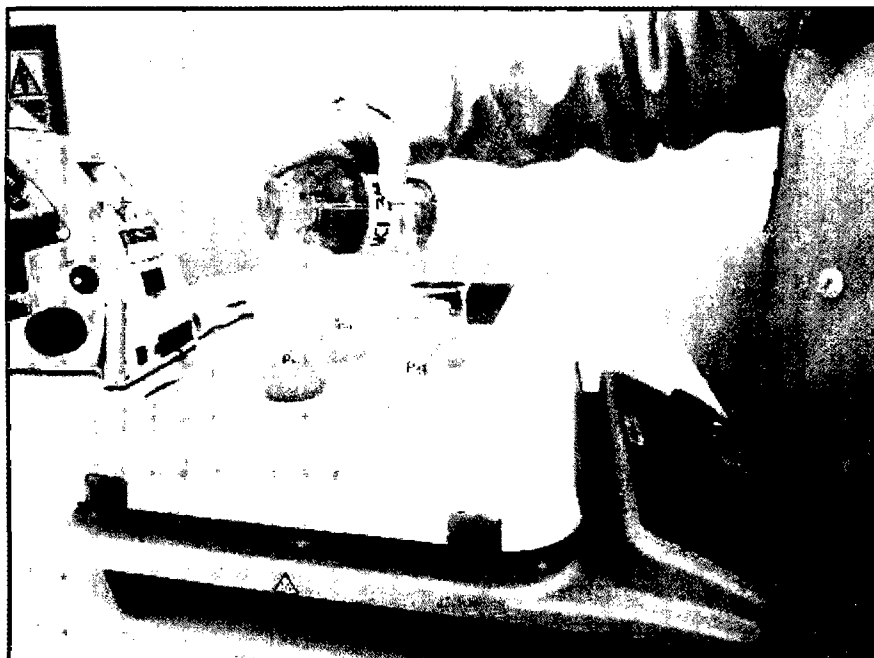
Fotografía 11. Extracción de 10ml de muestra para su tratamiento.



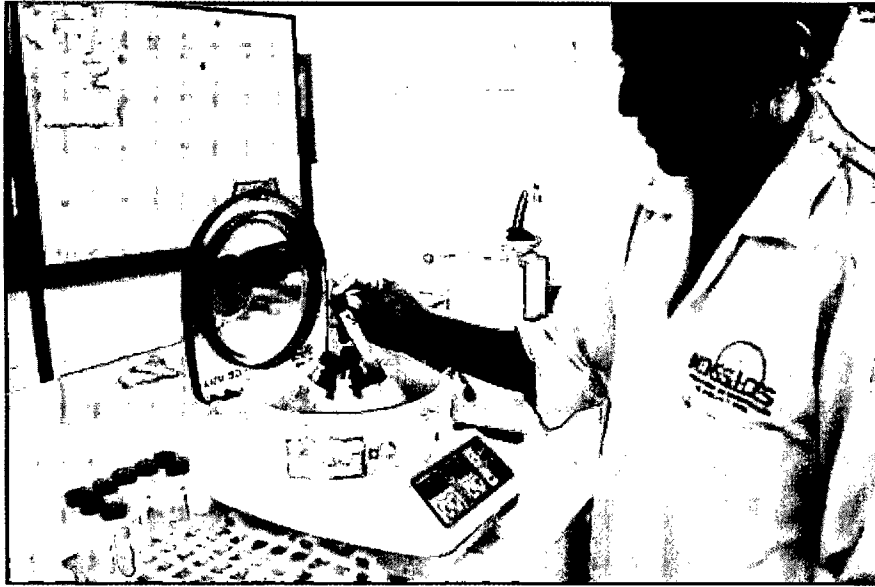
Fotografía 12. Adición de 20ml de peróxido de hidrógeno a la muestra.



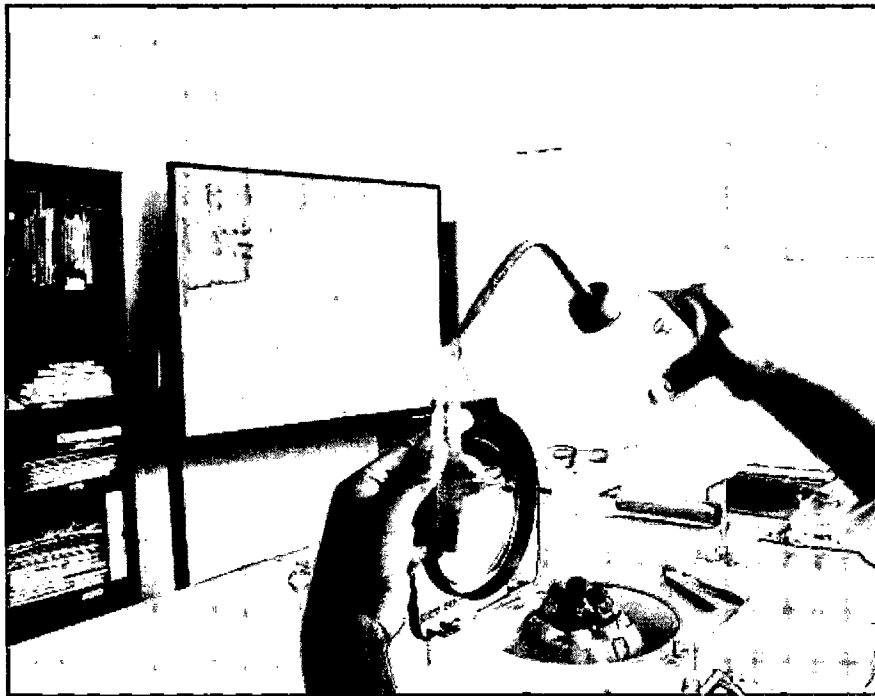
Fotografía 13. La muestra es sometida a ebullición por 3 horas a 90°C.



Fotografía 14. Adición de 3 gotas de Ácido clorhídrico (HCL).



Fotografía 15. Centrifugación de la muestra.



Fotografía 16. Lavado de la muestra con agua destilada y aforo a 15ml.



Fotografía 17.- Adición de 3 gotas de formaldehído a las muestras procesadas.



Fotografía 18. Conservación de las muestras procesadas en incubadora.

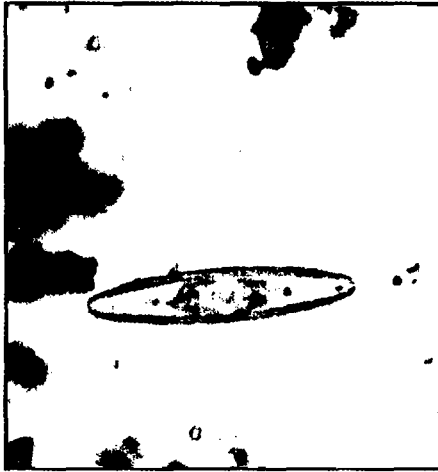


Fotografía 19. Montaje definitivo de la muestra en la Cámara de Sedgewick Rafter.



Fotografía 20. Observación en el microscopio e identificación taxonómica.

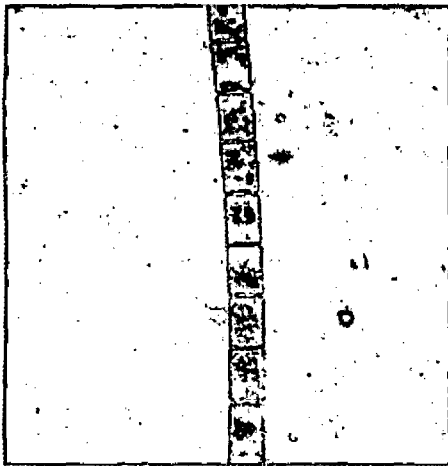
ANEXO 09. Algunos géneros de diatomeas encontradas en el área de estudio.



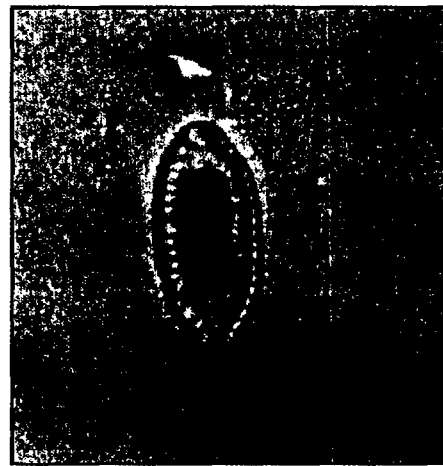
Fotografía 21. *G. Frustulia*.



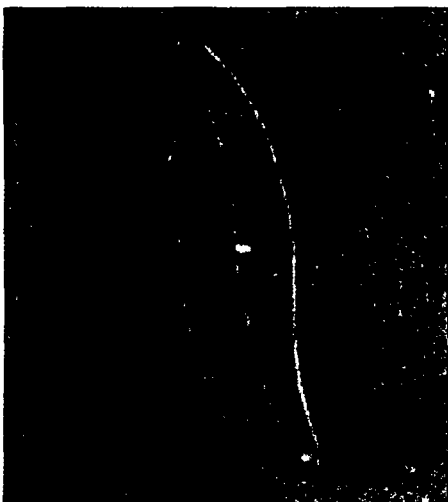
Fotografía 22. *G. Fragilaria*.



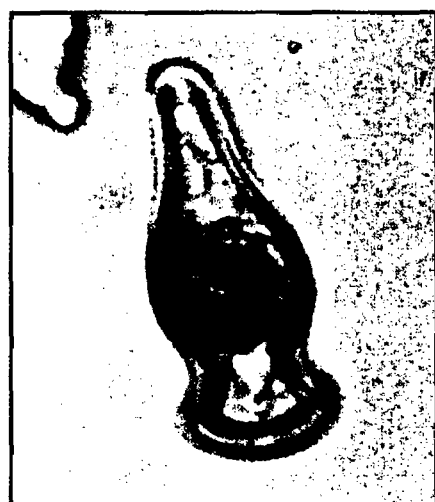
Fotografía 23. *G. Melosira*.



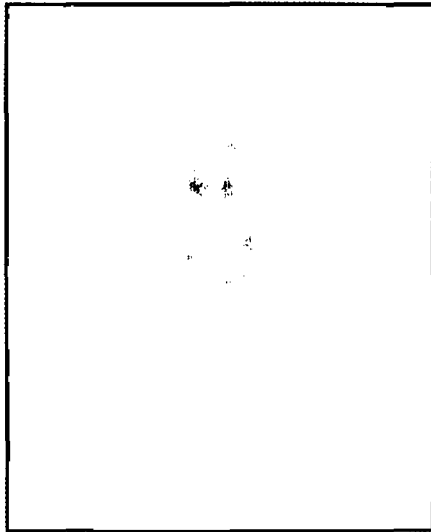
Fotografía 24. *G. Diatomea*.



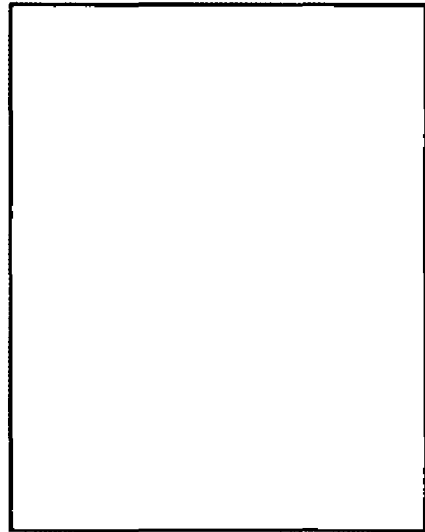
Fotografía 25. *G. Gyrosigma*.



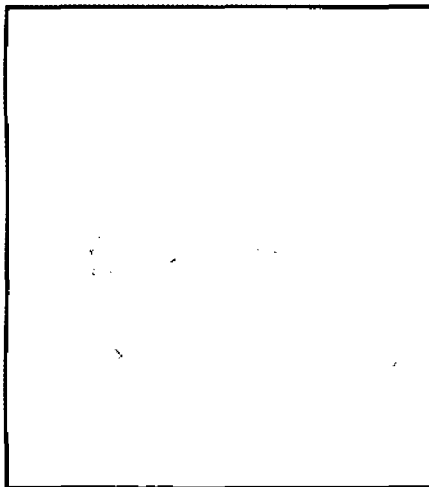
Fotografía 26. *G. Ghomponema*.



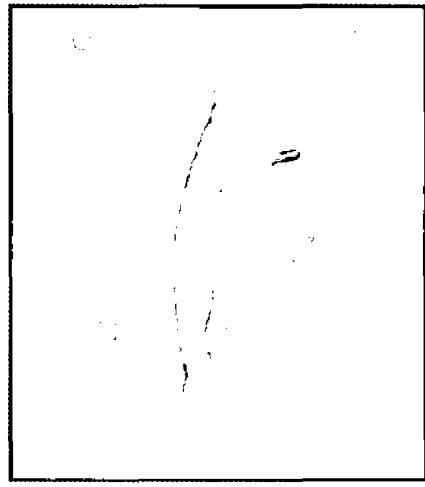
Fotografia 27. *G. Surirella*



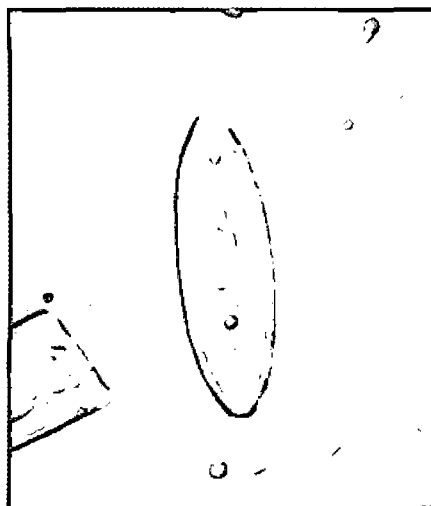
Fotografia 28. *G. Pinularia*.



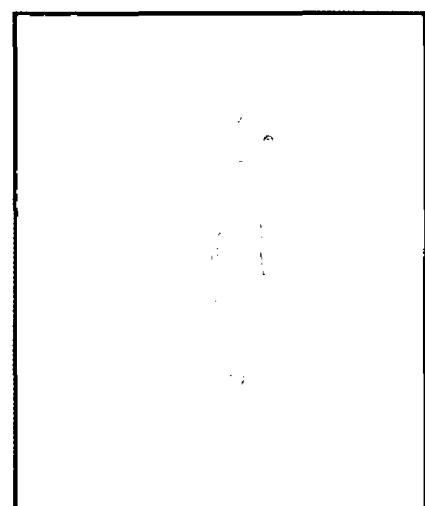
Fotografia 29. *G. Cymbella*.



Fotografia 30. *G. Navicula*.



Fotografia 31. *G. Caloneis*.



Fotografia 32. *G. Nitzschia*.