

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE  
ESMERALDAS (PUCESE)**



**ESCUELA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**TESIS DE GRADO**

**PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**ESTUDIO DE LA COMUNIDAD DE FITOPLANCTON EN EL RÍO  
ATACAMES PROVINCIA DE ESMERALDAS EN EL PERIODO  
ENERO – ABRIL DEL 2015.**

**AUTOR:**

**MARCOS ECHEVERRÍA CHÁVEZ**

**ASESOR:**

**MGT. EDUARDO REBOLLEDO MONSALVE**

**ESMERALDAS - ECUADOR**

**2016**

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de Grado de la PUCESE previo a la obtención del título de INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL.

Presidente Tribunal de Graduación

Lector 1

Lector 2

Directora de la Escuela de Gestión Ambiental

Director de Tesis

Esmeraldas..... de ..... de 2016

## **AUTORÍA**

Yo Marcos Vinicio Echeverría Chávez, declaro que la presente investigación enmarcada en el trabajo de tesis es absolutamente original, auténtica y personal.

En virtud que el contenido de ésta investigación es de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor y de la PUCESE.

---

Marcos Vinicio Echeverría Chávez

C.I. 080323650-4

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme las fuerzas necesarias para superar los obstáculos y dificultades que se me presentan a lo largo de mi vida además de ser la principal guía hacia mi formación profesional. A mi familia en especial a mis padres por estar siempre a mi lado y su incansable deseo de ayudar a superarme y velar por mi bienestar con muchas oportunidades en conjunto con los valores y educación que recibo de ellos cada día.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas una prestigiosa universidad. Mi total agradecimiento para todas las personas que han sido fundamentales en el desarrollo de esta investigación y con sus conocimientos han sido un aporte muy importante para alcanzar las metas planteadas.

A mi compañera y madre de mi hermosa hija por ser un apoyo y aliento incondicional para conseguir mis deseos más anhelados.

## **DEDICATORIA**

Esta investigación está dedicada a mi Madre la señora Isabel Chávez, a mi padre el señor Marcos Echeverría por todas sus enseñanzas que me han ayudado a superar las dificultades que se presentan en mi vida a mi hermano Rodrigo por ser un ejemplo para mí, a mi Novia María Fernanda Viera y mi hija Luna Echeverría con mucha gratitud sin ellos no hubiese sido posible lograrlo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORÍA.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
DEDICATORIA .....	v
LISTAS DE FIGURAS.....	viii
LISTAS DE TABLAS .....	ix
LISTA DE FOTOGRAFÍAS.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRAC .....	xii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	5
2.1. Ubicación de Puntos de muestreo .....	5
2.2. ANÁLISIS EN EL CAMPO .....	7
2.2.1. REGISTRO DE PARAMETROS FISICOQUÍMICOS.....	7
2.3.2 MUESTREO PLANCTÓNICO .....	8
2.3. ANÁLISIS EN LABORATORIO.....	8
2.3.1. Técnica de recuento.....	9
2.4. TRATAMIENTO DE DATOS Y ANALISIS ESTADISTICO.....	11
2.4.1. Índice de Shannon.....	11
2.4.2. El índice de Simpson.....	12
2.4.3. Similitud entre comunidades.....	12
2.4.3.1. Índice de Jaccard .....	13
2.4.4. Correlaciones entre abundancia, parámetros físico químicos y puntos de muestreo. .	13
2.4.5. IDG (Índice Diatómico General) .....	14
3. ANALISIS RESULTADOS.....	17
3.1. Análisis de parámetros físico-químicos .....	17
3.1.1. Temperatura .....	17
3.1.2. PH.....	17
3.1.3. Turbidez .....	18
3.1.4. Conductividad .....	19
3.1.5. Precipitación.....	19
3.2. Comunidad fitoplanctónica .....	20
3.3. Composición de fitoplancton encontrado en el río Atacames .....	21

3.4.	Índice de Shannon y Weaver.....	24
3.5.	Índice de Simpson.....	25
3.6.	Índice de similitud de Jaccard.....	26
3.7.	Índice Diatómico General.....	27
3.8.	Correlación entre los puntos de muestreo y la abundancia de fitoplancton.....	27
3.9.	Relación entre la abundancia del fitoplancton y el pH.....	28
3.10.	Relación entre la abundancia del fitoplancton y la temperatura en cada punto de muestreo.....	29
3.11.	Relación entre la abundancia del fitoplancton y conductividad en cada punto de muestreo.....	29
3.12.	Relación entre abundancia de fitoplancton y turbidez en cada punto de muestreo.....	30
3.13.	Relación entre abundancia y precipitación en la zona.....	31
4.	DISCUSION.....	33
5.	CONCLUSIONES.....	36
6.	RECOMENDACIONES.....	37
	BIBLIOGRAFÍA.....	38

## **LISTAS DE FIGURAS**

Figura #1: Ubicación espacial de los puntos

Figura #2: Formularios de recuento.

Figura #3: Conteo

Figura #4: Temperatura.

Figura #5: pH.

Figura #6: Turbidez.

Figura #7: Conductividad.

Figura#8: Precipitación

Figura #9: Porcentajes de abundancia de cada género

Figura #10: Abundancia (cel/ml) de cada género en los puntos de muestreo en el mes de Enero

Figura #11: Abundancia (cel/ml) de cada género en los puntos de muestreo en el mes de  
Febrero

Figura #12: Abundancia (cel/ml) de cada género en los puntos de muestreo en el mes de Marzo

Figura #13 Abundancia (cel/ml) de cada género en los puntos de muestreo en el mes de Abril

Figura #14: Índice de Shannon en cada punto de muestreo

Figura #15: Índice de Simpson para cada punto de muestreo

Figura #16: 1-D para cada punto de muestreo

Figura #17: Índice Diatómico General

Figura #18: Relación entre abundancia y puntos de muestreo.

Figura #19: Relación entre el pH y la abundancia.

Figura #20: Relación entre temperatura y abundancia.

Figura #21: Relación entre conductividad y abundancia.

Figura #22: Relación entre turbidez y abundancia.

Figura#23: Relación entre abundancia y precipitación

## **LISTAS DE TABLAS**

Tabla I: Cobertura y uso del suelo

Tabla II: Coordenadas UTM

Tabla III: valores de referencia I.D.G.

Tabla IV. Clasificación de calidad de agua I.D.G

Tabla V. Abundancia en cel/ml para cada punto para los meses de muestreo y media general.

Tabla VI: Índice de Jaccard

## **LISTA DE FOTOGRAFÍAS**

Fotografía #1: Multiparametros Hanna Instruments.

Fotografía # 2: Toma de muestras.

Fotografía #3: Red para colecta de fitoplancton de 20 micras de luz de malla.

Fotografía #4: Cámara de sedimentación de Utermohl

Fotografía #5: Amphora

Fotografía # 6 y 7: Cyclotella

Fotografía #8 y 9: Cymbella

Fotografía # 10 y 11: Synedra

Fotografía # 12 y 13: Frustulia

Fotografía #14: Gomphonema

Fotografía # 15 y 16: Gyrosigma

Fotografía #17: Licmophora

Fotografía # 18: Navicula

Fotografía # 19, 20, 21, 22: Nichtzia

Fotografía #23: Oscillatoria

Fotografía #24: Pinnularia

Fotografía #25: Tabellaria

Fotografía #26: Stephanodiscus

## **TEMA:**

“Estudio de la comunidad de fitoplancton en el río Atacames provincia de Esmeraldas en el periodo enero – abril del 2015”

## **RESUMEN**

Se analizó la comunidad fitoplanctonica presente en 6 estaciones distribuidas a lo largo del río Atacames en el periodo enero- abril del año 2015, colectando muestras de agua de 500ml en cada estación registrándose en cada momento los parámetros físico-químicos y además se realizaron arrastres con red de 20 micras de luz de malla durante 5 minutos para análisis cualitativo. Las muestras fueron analizadas con el método de Utermohl luego de decantar en columnas de 50 ml durante 24 horas para ser observadas en un microscopio invertido, obteniéndose los descriptivos riqueza de especies, diversidad y abundancia de algas expresadas en algas/ml.

Para la identificación de géneros fitoplanctónicos se emplearon claves taxonómicas, teniendo la riqueza, abundancia y diversidad de algas para cada estación durante la campaña muestreal, aplicándose índices de diversidad de Shannon & Weaver, Simpson, Jaccard y finalmente el Índice Diatómico General resultando una mayor diversidad en la zona alta del río decreciendo hacia la zona baja.

Se encontró un total de 14 géneros de fitoplancton de los cuales 13 pertenecen a Diatomeas y solo uno a Cianobacterias. La mayor presencia fue de *Nitzschia* principalmente seguido de *Navículas*, géneros resistentes a aguas alteradas.

Palabras clave: Fitoplancton, índices, diversidad, abundancia.

## **TOPIC**

"Study of the phytoplankton community in the province of Esmeraldas Atacames River in the period January-April 2015"

## **ABSTRAC**

The phytoplankton community was analyzed in 6 stations distributed along the River Atacames in the period January-April 2015, collecting 500ml water samples at each station recorded at all times physico-chemical parameters and also tows were made with network 20 micron mesh for 5 minutes for qualitative analysis. Samples were analyzed with the method Utermöhl after decanting into 50 ml column for 24 hours to be observed in an inverted microscope, obtaining descriptive richness of species, and algal diversity expressed in algae / ml.

For identification of phytoplankton genera taxonomic keys were used, taking the wealth, abundance and diversity of algae for each station during muestreal campaign, applying diversity indices of Shannon & Weaver, Simpson, Jaccard and finally the diatomic General Index resulting in a greater diversity in the upper area of the river decreasing towards the lower area.

A total of 14 genera of phytoplankton of which 13 belong to diatoms and only one to cyanobacteria. The increased presence was mainly *Nitzschia* followed by *Navicula*, altered water resistant genres.

Keywords: Phytoplankton, indices, diversity, abundance.

## **CAPÍTULO I**

# 1. INTRODUCCIÓN

El estado ecológico es una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales, evaluadas en función de una serie de indicadores biológicos, físico-químicos e hidromorfológicos y en relación con las condiciones naturales o de referencia en ausencia de presiones (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009). Mientras que la calidad del agua se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano (Lenntech, 2006).

Los ríos son sistemas generadores de nutrientes, alimento y energía para los organismos que en él se desarrollan (Luque y Martínez de Fabricius, 2003). El estado ecológico de un río es fundamental para conocer qué tan alterado se encuentra el mismo y aporta información sobre las distintas presiones que podrían estar afectándolo.

El uso de bioindicadores se está proponiendo como una nueva herramienta para conocer la calidad del agua, esto no quiere decir que desplace al método tradicional de los análisis físico-químicos. Su uso simplifica en gran medida las actividades de campo y laboratorio ya que su aplicación solo requiere de la identificación y cuantificación de los organismos tales como bacterias, fitoplancton, macro invertebrados bentónicos y peces, basándose en índices de diversidad ajustados a intervalos que califican la calidad del agua (Vásquez, 2006).

La denominación de una especie como indicadora requiere de conocimiento previo respecto a su composición comunitaria bajo condiciones normales, incluyendo el ciclo de vida de las especies, su estacionalidad y sus variaciones naturales, de manera que sea posible comparar las condiciones antes y después de una perturbación ambiental (Raz-Guzman, 2000).

Se define como fitoplancton a la comunidad de micro-organismos, en su mayoría fotosintéticos, (micro algas, cianobacterias, flagelados, heterótrofos y otros grupos sin clorofila) que viven suspendidos en la masa de agua (Vicente, 2005). Los seres fitoplanctónicos tienen una movilidad limitada ya que carecen de medios para vencer las corrientes, aunque muchos de ellos muestran un movimiento local limitado dentro de la

columna de agua (Chester, 1989). El fitoplancton se limita a las capas superiores de los cuerpos de agua, donde intensidad de la luz es suficiente para que ocurra la fotosíntesis (Sampathkumar y Ananthan, 2008).

La Temperatura actúa junto con otros factores que influyen en la variación de producción fotosintética. En general, la tasa de fotosíntesis aumenta con la temperatura, pero disminuye considerablemente después de que se alcanza un punto. Cada especie de fitoplancton se adapta a una particular temperatura que junto con la iluminación, influye en la variación estacional de la producción de fitoplancton (Vaulot, 2001)

Pérez en el año 2002 determino que la composición y abundancia del fitoplancton depende de factores como:

- Condiciones físicas e hidrológicas: luz, temperatura, turbulencia/estabilidad del agua.
- Composición química del agua: nutrientes, materia orgánica, mineralización y pH.
- Factores Biológicos
- Contaminación térmica
- Cambios en la mineralización del agua
- Eutrofización
- Contaminación orgánica

La dependencia del fitoplancton a estos factores para su desarrollo, lo ha convertido en un indicador del estado trófico, presiones hidrológicas y presiones fisicoquímicas de las masas de aguas que determinan la tasa de renovación y estado ecológico de lagos y ríos. (Pinilla, 2006)

El análisis del fitoplancton proporciona conocimiento que aportarían una base informativa importante para el manejo y ordenamiento de los recursos de cuencas hídricas, (Vicente, 2005).

Desde hace muchos años el río Atacames se ha sometido a una gran cantidad de contaminación, producto de las actividades que se desarrollan en esta zona como la

agricultura y ganadería, además el uso del agua para muchos otros fines son las principales razones por las que se está degradando cada vez más. (GPE, 2012)

El área de Atacames comprende parte de los cantones Esmeraldas y Muisne, provincia de Esmeraldas. Comienza en Puerto Gaviota, al Este de la desembocadura del río Atacames, y finaliza en la cuenca del río Muisne, al Sur. Esta cuenca tiene unos 300 km<sup>2</sup> y es drenada por los ríos Taseche y Salima que tributan en el río Atacames, en cuya desembocadura está la población de Atacames. En la zona de confluencia de los tres ríos existían 578 hectáreas de manglares en 1969 que fueron reducidas a 52 ha en 1987 por la construcción de piscinas camarónicas. El estrecho valle desarrollado por el sistema de este río tiene suelos de alta calidad. La cuenca, junto a la del río Súa, es el área más seca de la zona. Las áreas de los dos afluentes del Atacames comprenden pastizales mezclados con cultivos de maíz, yuca y otros (PMRC, 1993)

No se dispone de antecedentes publicados sobre la comunidad fitoplanctónica en el río Atacames ni se ha analizado su aplicación como bioindicadores del estado ecológico del mismo.

Nuestro país tiene una legislación que regula las actividades realizadas en los ecosistemas acuáticos, la calidad ambiental se deberá evaluar y controlar por medio de estudios bióticos a través de las herramientas establecidas en los mecanismos de control y regulación ambiental según el libro VI del TULAS.

El estado Ecuatoriano mediante la Ley de Aguas aprobada en el año 2014 garantiza el derecho humano a disponer de agua limpia, suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para uso personal y doméstico en cantidad, calidad, continuidad y cobertura por lo cual se prohíbe la privatización.

En función del marco legal vigente y dada la necesidad de conocer la calidad del agua la presente tesis tiene como objetivo general el analizar la estructura y composición de la comunidad de fitoplancton en el río Atacames siendo sus objetivos específicos el identificar los géneros fitoplanctónicos presentes en tres zonas del río (alta, media y baja), así como sus descriptivos ecológicos como son los índices Shannon & Weaver, Simpson, Jaccard, Diatómico General.

## **CAPÍTULO II**

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló en el río Atacames, ubicado en la zona sur de la provincia de Esmeraldas en el periodo enero - abril del año 2015. La primera acción desarrollada correspondió al reconocimiento del lugar y la determinación de estaciones de análisis en función de la ubicación sus centros poblados: Agua Fría, Repartidero, Boca de Tazones, Las Vegas, La Unión y Las Brisas.

### 2.1. Ubicación de Puntos de muestreo

Para el muestro del río se definieron 6 puntos de muestreo, las mismos que se establecieron debido a que el estudio estará vinculado a las actividades que se realizan y que pueden tener relación con la calidad del agua. La determinación de estaciones la cercanía a los poblados y la accesibilidad hacia el río para una adecuada toma de muestras.

Los puntos de muestreo se dividieron en zona alta, media y baja a lo largo de estas 6 estaciones debido a que se percibe un ascenso hacia las montañas cuando se va desde Las Brisas hacia Repartidero.

Así en la zona baja se ubican Las Brisas y La Unión, en la zona media Las Vegas y Boca de Tazones y en la zona alta se encuentran los recintos Agua Fría y Repartidero. Las coordenadas UTM fueron tomadas en cada punto con un GPS Garmin etrex, para luego ser ingresadas en el programa Arc Gis para generar el mapa y se presentan en la siguiente tabla:

Tabla II: Coordenadas UTM

<b>Puntos</b>	<b>Lugar</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
1	Repartidero	627581	10077799
2	Agua Fría	628479	10073606
3	Boca de Tazones	628024	10082222
4	Las vegas	627964	10083891
5	La Unión	626030	10089451
6	Las Brisas	626247	10093080



## 2.2. ANÁLISIS EN EL CAMPO

### 2.2.1. REGISTRO DE PARAMETROS FISICOQUÍMICOS

Los parámetros físicos químicos registrados fueron temperatura, pH, turbidez y conductividad eléctrica y se midieron utilizando un Multiparametros Hanna Instruments



Fotografía #1: Multiparametros Hanna Instruments.



Fotografía # 2: Toma de muestras.

### 2.3.2 MUESTREO PLANCTÓNICO

En cada estación de análisis se llenaron botellas de 500ml las que fueron previamente enjuagadas 3 veces con el agua circundante, y luego de adquirir la muestra se les adicionó una solución de LUGOL a razón de 1 ml por cada 100 ml. Las botellas fueron conservadas en frío y fueron llevadas al laboratorio.

Como complemento a la metodología, se utilizó una red de 20  $\mu\text{m}$  de luz de malla, la cual se arrastró en el seno del agua durante 5 minutos, horizontalmente, hasta conseguir un filtrado visible. Estas muestras fueron concentradas en botellas de 500ml y se fijaron con lugol para su posterior análisis en el laboratorio. Este tipo de método se realiza para un estudio cualitativo y permiten la obtención de un inventario de taxones que complementa el obtenido en las muestras de botella.



Fotografía #3: Red para colecta de fitoplancton de 20 micras de luz de malla.

### 2.3. ANÁLISIS EN LABORATORIO.

La cuantificación fitoplanctónica del río Atacames se desarrolló empleando el método de Utermohl (1958) que se considera mejor bajo toda circunstancia pues permite el análisis de muestras puras o diluidas que sedimentan hacia una superficie observable directamente en un microscopio invertido, se utiliza para describir y cuantificar la comunidad fitoplanctónica de diferentes hábitats acuáticos. La muestra se homogeneiza agitando suavemente la botella durante 60 segundos en movimientos que describen un ocho. El volumen de muestra se deposita en columnas de volúmenes conocidos, en este caso 50ml. La botella de la muestra debe ser invertida al menos una vez entre cada adición. Esto se hace porque los organismos de mayor tamaño se depositan rápidamente y pueden permanecer en la botella si la muestra es simplemente vertida. La cámara debe estar cubierta con una placa superior redonda (EPA, 2010).



Fuente: Aquatic Biotechnology, 2009  
 Fotografía #4: Cámara de sedimentación de Utermohl

### 2.3.1. Técnica de recuento

Es necesario tener los formularios listos para anotar las especies que se vayan identificando, el mismo que consiste simplemente en una tabla de dos columnas en donde en la parte derecha se escribe el género del microorganismo observado además de tomar una fotografía del mismo, para que luego con la ayuda de la bibliografía adecuada se proceda a la verificación empleando guías de identificación.

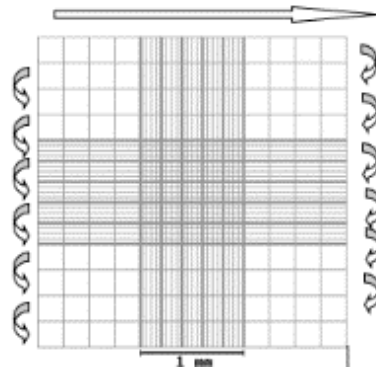
Géneros	Puntos de muestreo					
	Las Brisas	La Unión	Las Vegas	Boca Tazones	Agua Fría	Repartidero
Amphora sp.	0	0	0	34	12	67
Cyclotella sp.	5	11	20	8	5	4
Cymbella sp.	4	23	15	45	48	31
Fragilaria sp.	22	7	9	51	19	56
Frustulia sp.	7	9	4	0	0	0
Gomphonema sp.	0	14	0	0	0	0
Gyrosigma sp.	6	5	7	14	10	7
Licmophora sp.	0	0	0	7	12	10
Navicula sp.	41	355	201	439	761	657
Nitzschia sp.	345	411	87	367	367	230
Oscillatoria sp.	12	6	4	11	5	16
Pinnularia sp.	38	3	0	3	13	7
Tabellaria sp.	0	0	0	0	0	2
Stephanodiscus sp.	0	3	2	9	7	6

Figura #2: Formularios de recuento.

Al momento de la observación en el microscopio se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Se empezó con un aumento bajo de 40x para establecer presencia de fitoplancton de tamaño grande.

- Seccionar los recuentos en un aumento intermedio de 250x y luego de 400x para fitoplancton menor.
- El conteo se realizó de manera horizontal empezando por cualquier lado (Izquierda o derecha) y a manera de zigzag. (ver figura 3)(imagen referencial de cámara de neubauer)



Fuente: testak, 2006

Figura #3: Conteo

La identificación y recuento preciso de células de fitoplancton en el microscopio requiere que se haya realizado con anterioridad la validación de la metodología para tener un acercamiento taxonómico con los microorganismos y que los instrumentos sean de buena calidad.

El tiempo necesario para contar cada muestra varió en gran medida dependiendo de la densidad de algas, la facilidad con la que las células pueden ser identificadas, el nivel de precisión deseado y la cantidad de detritos / turbidez en la muestra. El tiempo promedio para observación de cada muestra fue de 2-5 horas debido a la dificultad de identificación antes mencionada.

El cálculo de la densidad de fitoplancton para cada punto se determinó con el conteo total de los mismos dividido para el volumen total de la muestra obteniendo datos correspondientes a cel/ml. Otro dato importante que se tiene es el porcentaje de cada especie en cada muestra analizada esto nos ayuda a saber cuál es la especie dominante para cada punto.

Se realizó el recuento total de la cámara teniendo en cuenta que la densidad de algas es baja y la presencia de géneros de tamaño grande. El número de individuos contados se dividió para el volumen sedimentado (50ml) de lo cual se obtuvo la unidad cel/ml.

$$A = N/V$$

De donde:

A= Abundancia

N= Número de individuos contados en toda la cámara

V= Volumen de agua sedimentado.

La identificación de las especies se realizó basándose en varias bibliotecas virtuales según (Vis & Verb, 2012), (Coll,2012), (UBC, 2012), (Kavlekar, 2004) además se investigó en algunas publicaciones (Harold, 1986) (Dimar, 2011), (Bay,2001).

## **2.4. TRATAMIENTO DE DATOS Y ANALISIS ESTADISTICO**

Los datos de conteos de géneros presentes fueron agrupados por sectores y campañas de muestreo ingresándolos a planillas de cálculo y generando gráficas con el software Excel, en función de los datos ingresados se estimó la abundancia total, la riqueza de especies y se calcularon los siguientes índices:

### **2.4.1. Índice de Shannon**

El índice refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa. Conceptualmente es una medida del grado de incertidumbre asociada a la selección aleatoria de un individuo en la comunidad. Esto es, si una comunidad de S especies es muy homogénea, porque existe una especie claramente dominante y las restantes S-1 especies apenas presentes, el grado de incertidumbre será más bajo que si todas las S especies fueran igualmente abundantes (Shannon y Weaver, 1949).

El índice de Shannon se expresa como:

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

La diversidad máxima ( $H_{\max} = \ln S$ ) se alcanza cuando todas las especies están igualmente presentes. Un índice de homogeneidad asociado a esta medida de diversidad puede calcularse como el cociente  $H/H_{\max} = H/\ln S$ , que será uno si todas las especies que componen la comunidad tienen igual probabilidad ( $p_i = 1/S$ ).

### 2.4.2. El índice de Simpson

Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes (Magurran, 1988; Peet, 1974). Como su valor es inverso a la equidad, la diversidad puede calcularse como  $1 - \lambda$  (Lande, 1996).

Índice de Simpson (1949),  $DS_i$ . Este fue el primer índice de diversidad usado en ecología

$$D_{Si} = \sum_{i=1}^S p_i^2$$

$p_i$  = abundancia proporcional de la  $i$ ésima especie; representa la probabilidad de que un individuo de la especie  $i$  esté presente en la muestra, siendo entonces la sumatoria de  $p_i$  igual a 1

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

$n_i$  = número de individuos de la especie  $i$

$N$  = número total de individuos para todas las  $S$  especies en la comunidad

$$Si_D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2 = 1 - D_{Si}$$

$Si_D$  = índice de diversidad de Simpson que indica la probabilidad de encontrar dos individuos de especies diferentes en dos ‘extracciones’ sucesivas al azar sin ‘reposición’. Este índice le da un peso mayor a las especies abundantes subestimando las especies raras, tomando valores entre ‘0’ (baja diversidad) hasta un máximo de  $[1 - 1/S]$ .

### 2.4.3. Similitud entre comunidades

Existe una gran cantidad de formas de estimar la semejanza entre comunidades, la razón es que muchos de los investigadores difieren en cuanto a la forma de estimarla y

particularmente porque los límites de las comunidades pueden ser o no evidentes a la hora de establecer las combinaciones de comunidades individuales para determinar asociaciones, sin embargo, las relaciones de semejanza pueden ser expresadas numéricamente y uno puede establecer límites arbitrarios sobre una base matemática, lo que reduce la subjetividad considerablemente (Kent y Coker, 1992).

#### **2.4.3.1. Índice de Jaccard**

Una expresión matemática muy simple para expresar la semejanza entre comunidades es el coeficiente propuesto por Jaccard (índice de Jaccard). Este índice se basa en la relación de presencia- ausencia entre el número de especies comunes en dos áreas (o comunidades) y en el número total de especies (Kent y Coker, 1992). Este índice se expresa de la siguiente manera:

$$ISJ = \frac{C}{a + b + c} * 100\%$$

Donde:

ISJ = Índice de Semejanza de Jaccard,

a = número de especies exclusivas de la comunidad A.

b = número de especies exclusivas de la comunidad B.

c = número de especies comunes para ambas comunidades.

El índice se expresa en porcentaje dado la multiplicación última que es por 100, lo que nos expresa el porcentaje de semejanza entre las comunidades comparadas (Jaccard, 1908).

#### **2.4.4. Correlaciones entre abundancia, parámetros físico químicos y puntos de muestreo.**

Estas correlaciones permiten observar una variabilidad entre los factores analizados, es decir como se ve influenciada la abundancia por los parámetros físico químicos a lo largo del río.

El coeficiente de determinación es una medida estadística de la bondad del ajuste o fiabilidad del modelo estimado a los datos. Se representa por  $R^2$  e indica cuál es la proporción de la variación total en la variable dependiente (Y), que es explicada por el modelo de regresión estimado (Fernández, 1997).

#### 2.4.5. IDG (Índice Diatómico General)

El IDG es un índice bastante complejo en cuanto a los datos requeridos, se basa en respuestas a diferentes grados de polución, a la adaptabilidad ecológica de los individuos y a su abundancia en el medio muestreado. Así, de esta manera los datos refieren a sensibilidad, amplitud ecológica y abundancia. De esta manera el IDG se presenta en rangos de 1-5 para estimar la calidad de aguas (AFNOR NF T, 1992).

Este índice viene determinado por tres variables:

- **Sensibilidad** a la polución de cada especie (**S**), con valores entre 1 (más resistente) y 5 (más sensible).
- **Amplitud ecológica** (**V**), que va desde 1 (forma ubicua) hasta 3 (Forma característica).
- **Abundancia** (**A**).

El índice Diatómico se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$IDG = \frac{\sum_{j=1}^J A_j S_j V_j}{\sum_{j=1}^n A_j V_j}$$

$A_j$ = Abundancia (%)

$S_j$ = Sensibilidad a la polución (1 a 5)

$V_j$ = Valor indicativo de la especie (1 a 3)

Los valores de IDG van en orden decreciente de los niveles de contaminación. Para la creación de este índice los autores tomaron como referencia un número de 106 taxones. Con esta fórmula el valor del índice que obtenemos podrá variar entre 1 y 5, rango establecido para la clasificación de la calidad de las aguas.

Clasificación de la calidad de las aguas adoptadas según el índice IDG

Tabla III: valores de referencia I.D.G.

TAXONES	CODIGO	SENSIBILIDAD (S)	VARIABILIDAD (V)
Achnantes	ACH	5	1
Amphipleura	AMH	5	3
Amphora	ARA	3	2
Anomoeneis	ANO	5	2
Asterionela	AST	4	1
Attbeya	ATT	2	3
Caloneis	CAL	4	2
Campylodiscus	CAM	5	2
Caratoneis	CER	5	2
Cocconeis	COC	4	1
Cyclotella	CYC	3	1
Cymetopleura	CMA	4	2
Cymbella	CMB	5	1
Denticula	DEN	5	3
Diatoma	DIA	4	1
Diploneis	DIP	5	1
Ephitemia	EPI	5	2
Eumotia	EUN	5	1
Fragilaria	FRA	4	1
Frustulia	FRU	5	2
Gomphoneia	GIS	4	2
Gomphonema	GMA	3	2
Gyrosigma	DYA	4	3
Hantzschia	HAN	1	3
Melosira	MEL	3	1
Meridion	MER	5	1
Navicula ortbostichae	NOR	2	2
Navicula punctatae mutica	NPM	1	2
Navicula (otras)	NAV	3	1
Neidium	NEI	4	3
Nitzschia dissiparae	NID	4	2
Nitzschia (otras)	NIT	1	1
Pinnularia	PIN	4	3
Rhizosoenis	RHI	3	3
Rhoiscophenia	RHO	4	1
Rhopalodia	RHP	4	1
Stauroneis	STA	5	2
Stephanodiscus	STE	2	1
Surirella	SUR	3	3
Synedra	SYN	3	1
Tabellaria	TAB	5	1
Tetracyclus	TET	5	3
Thalassiosira	THA	2	3

Fuente: Aguapedia, 2004

Tabla IV: Clasificación de calidad de agua I.D.G

VALOR	SIGNIFICADO
IDG>4.5	Calidad biológica optima
4<IDG<4.5	Calidad normal. Polución Débil
3.5<IDG<4	Polución moderada. Eutrofización
3<IDG<3.5	Polución media.
2<IDG<3	Desaparición de especies sensibles. Polución fuerte
1<IDG<2	Polucion muy fuerte.
IDG=0	La población es considerada como inexistente (polucion toxica). Por debajo de 10 individuos por mm <sup>2</sup> .

Fuente: Aguapedia, 2004

### **CAPÍTULO III**

### 3. ANALISIS RESULTADOS

#### 3.1. Análisis de parámetros físico-químicos

##### 3.1.1. Temperatura

Como se puede apreciar en la figura #4 los registros de temperatura más altos corresponden al mes de abril a diferencia de los otros meses que se encuentran en medidas semejantes, además de esto la temperatura más alta encontrada a lo largo de los meses se registró en el punto de Boca de Tazones con una temperatura de 29,3°C las más bajas en Repartidero en febrero y Agua Fría en enero con un valor de 24,5°C.

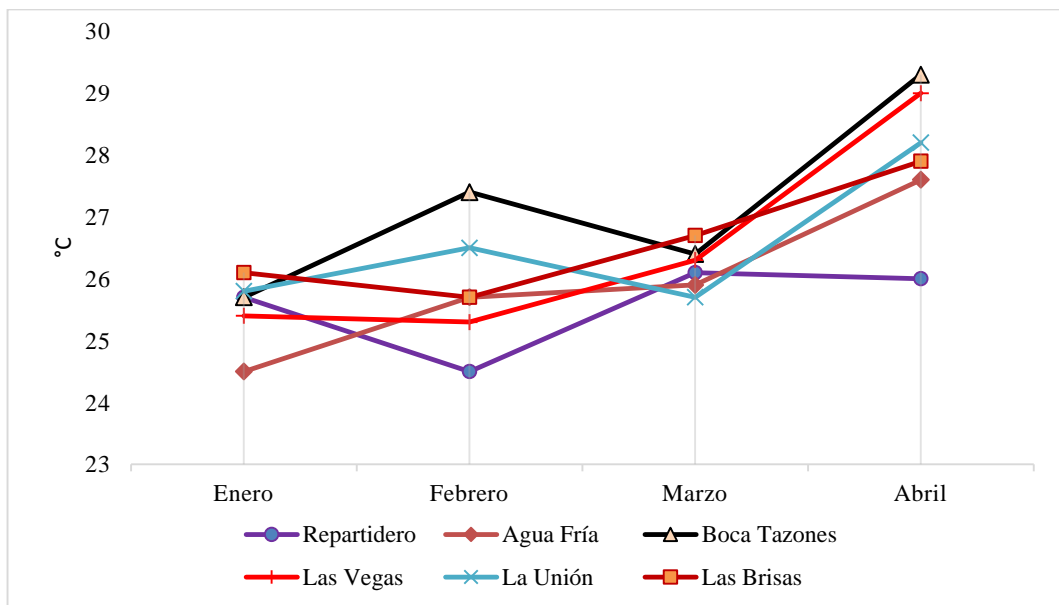


Figura #4: Temperatura

##### 3.1.2. PH.

Los valores de pH se registraron superiores al resto en el mes de abril tal y como se indica en la figura. Pero la diferencia de medidas no es significativa. En Las Brisas se obtuvo un pH máximo de 8,81 en el mes de abril y uno mínimo de 7,79 en el mes de febrero. En La Unión de Atacames el pH oscilo entre 7,9 y 8,75, en Las Vegas desde 7,3 hasta 9,1, en el punto de muestreo de Boca de Tazones el pH fue de 8,18 a 9,13, en Agua fría el valor de pH estuvo en 8,2 en el mínimo y con 9,11 en la máxima y finalmente para el punto de Repartidero el pH fue desde 8,03 y 9,21.

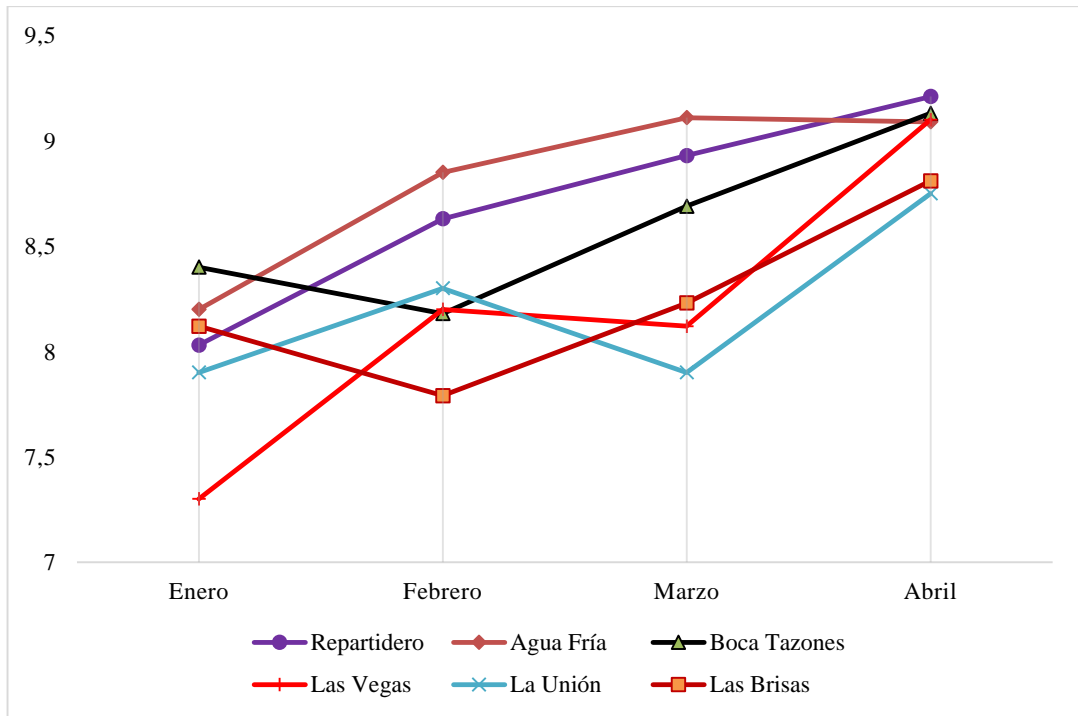


Figura #5. Distribución del pH en cada punto de muestreo

### 3.1.3. Turbidez

Las medidas de la turbidez como se puede observar en la figura #6. En su mayoría se presentó más baja para el mes de abril y se registraron máximos entre todos los meses de muestreo de 5,3 y un mínimo de 2,03 para La Unión y Las Brisas respectivamente.

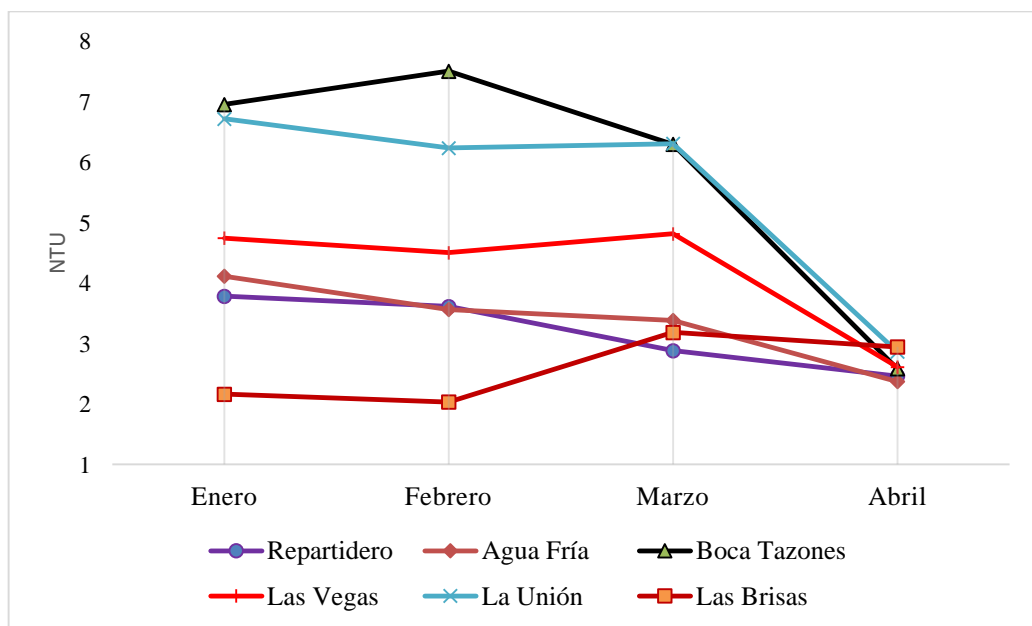
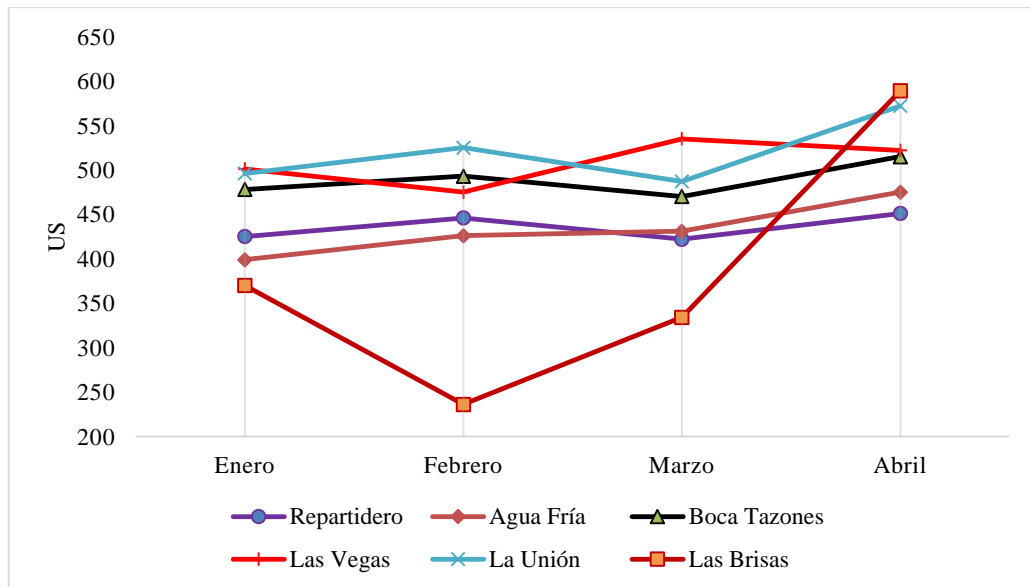


Figura #6. Distribución de la turbidez para cada punto de muestreo.

### 3.1.4. Conductividad

En datos de conductividad la medida más baja fue en Las Brisas con 236 uS y la más alta en el mismo punto pero en el mes de abril con 589uS. En cuanto a las medias en el mes de Febrero se registró la más alta en el punto de muestreo de La Unión con un valor de 520 uS y la más baja en las brisas con un valor de 382 uS.



Figura#7: Distribución de conductividad en cada punto de muestreo

### 3.1.5. Precipitación

La precipitación registrada en la zona fue variable durante la campaña de muestreo, los valores fueron de 37,6 mm en enero, 76,07mm en febrero siendo el mes más lluvioso, marzo el de menor pluviosidad con 14,52 mm y finalmente en abril fue de 45,06 mm.

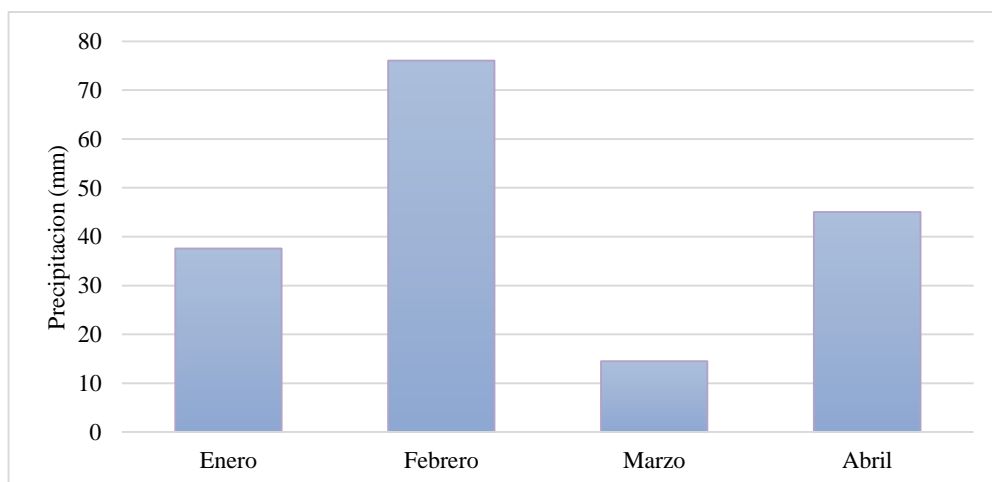


Figura # 8: Precipitación en la zona de Atacames (mm)

### 3.2. Comunidad fitoplanctónica

La distribución, abundancia y riqueza de géneros fitoplanctónicos registrados en el presente estudio se observan en la Tabla V (Ver Anexos).

De la Tabla V se desprende que predominaron en todas las estaciones y en todos los muestreos las Diatomeas y apenas se pudo encontrar un género perteneciente a las Cianobacterias como lo es la *Oscillatoria sp.* Se identificó un total de 14 géneros donde se puede observar un mayor número en dos tipos.

Al analizar la comunidad fitoplanctónica por estación, se observa que en las Brisas ubicada en la zona más baja del río se pudo identificar un total de 10 géneros entre ellos están *Cyclotella sp.*, *Cymbella sp.*, *Fragilaria sp.*, *Frustulia sp.*, *Gyrosigma sp.*, *Navícula sp.*, *Nitzschia sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Pinnularia sp.*, y *Stephanodiscus sp.*, En este punto se registró un menor número de células con una media para los cuatro meses de muestreo de 9 cel/ml y desviación estándar de 3,05.

La Unión de Atacames cuenta con una represa donde el agua estancada por lo cual podría influir en aumentar el número de células ya que no son arrastradas de igual forma que en otras partes del río. En este punto se identificaron 13 especies *Amphora sp.*, *Cyclotella sp.*, *Cymbella sp.*, *Fragilaria sp.*, *Frustulia sp.*, *Gomphonema sp.*, *Gyrosigma sp.*, *Licmophora sp.*, *Navicula sp.*, *Nitzschia sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Pinnularia sp.* y *Stephanodiscus sp.*, la media total en este punto ascendió a 15 células por ml y desviación estándar de 7,31.

Las Vegas es un pueblo cuya parte del río está ubicado en la parte intermedia y en el cual se identificaron los 11 géneros fitoplanctónicos que fueron *Amphora sp.*, *Cyclotella sp.*, *Cymbella sp.*, *Fragilaria sp.*, *Frustulia sp.*, *Gyrosigma sp.*, *Licmophora sp.*, *Navicula sp.*, *Nitzschia sp.*, *Oscillatoria sp.* y *Stephanodiscus sp.*, y su media en comparación a La Unión bajo a 9 células por cada mililitro y desviación estándar de 7,09.

Boca de Tazones también se ubica en la zona media del río donde se encontraron 11 géneros entre ellos *Amphora sp.*, *Cyclotella sp.*, *Cymbella sp.*, *Fragilaria sp.*, *Gyrosigma sp.*, *Licmophora sp.*, *Navicula sp.*, *Nitzschia sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Pinnularia sp.* y

*Stephanodiscus sp.* con una media de 17 células por cada ml y desviación estándar de 4,33.

En el punto de Agua Fría ya ubicado en la parte alta se identificó 14 géneros *Amphora sp.*, *Cyclotella sp.*, *Cymbella sp.*, *Fragilaria sp.*, *Frustulia sp.*, *Gomphonema sp.*, *Gyrosigma sp.*, *Licmophora sp.*, *Navicula sp.*, *Nitzschia sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Pinnularia sp.*, *Tabellaria sp.* y *Stephanodiscus sp.*, con una media de 23 células por cada ml y desviación estándar de 7,25.

Por ultimo en la parte más alta se encuentra Repartidero se identificaron 14 tipos de géneros diferentes *Amphora sp.*, *Cyclotella sp.*, *Cymbella sp.*, *Fragilaria sp.*, *Frustulia sp.*, *Gomphonema sp.*, *Gyrosigma sp.*, *Licmophora sp.*, *Navicula sp.*, *Nitzschia sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Pinnularia sp.*, *Tabellaria sp.* y *Stephanodiscus sp.*, con una media de 22 células por cada ml y desviación estándar de 8,22.

### 3.3. Composición de fitoplancton encontrado en el río Atacames

Abundancia: Los porcentajes de las especies identificadas en la campaña de muestreo se expresan en la figura #9 donde resaltan dos géneros con una mayor proporción; *Navicula sp.* con un 48,71% y *Nitzschia sp.* con un 33,05%.

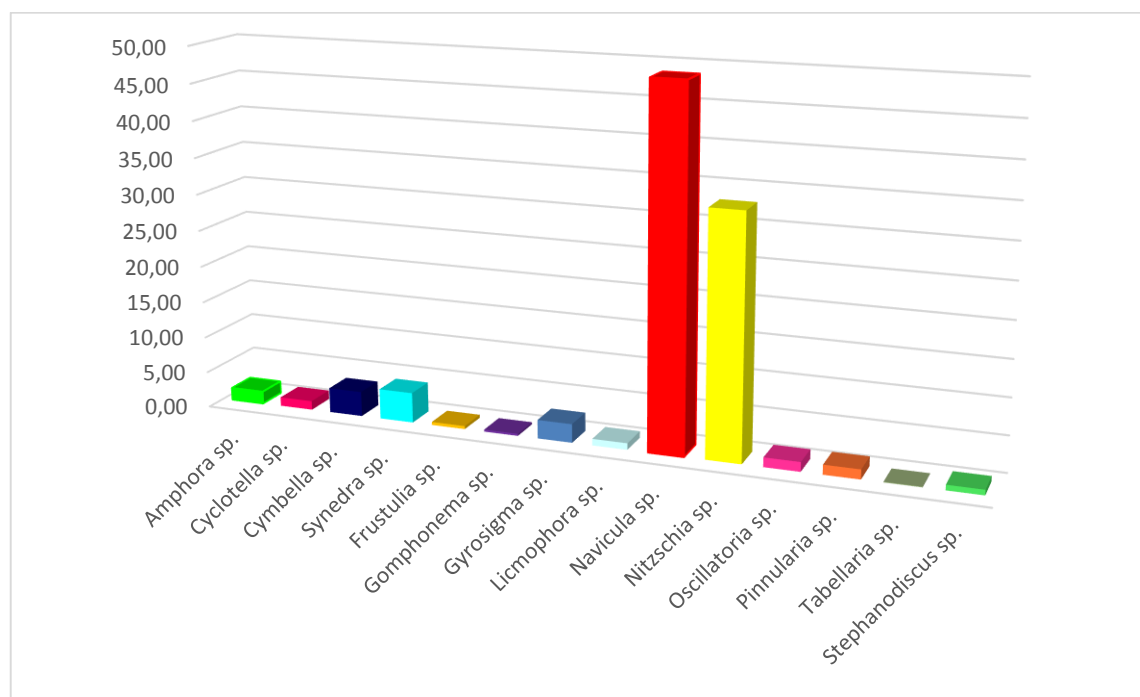


Figura #9: Porcentajes de abundancia de cada género

En orden descendente aparecen los géneros *Synedra sp.* 4,18%, *Cymbella sp.* 3,44%, *Gyrosigma sp.* 2,58%, *Amphora sp.* 1,71%, *Pinnularia sp.* 1,34%, *Oscillatoria sp.* 1,32%, *Cyclotella sp.* 1,23%, *Licmophora sp.* 0,90%, *Stephanodiscus sp.* 0,74%, *Frustulia sp.* 0,42%, *Gomphonema sp.* 0,28% y *Tabellaria sp.* 0,09%.

Distribución: Los géneros de fitoplancton más abundantes son *Navícula sp.* y *Nichtzia sp.* pero además estos se encuentran presentes en los 6 puntos de muestreo al igual que *Cyclotella sp.*, *Cymbella sp.*, *Fragilaria sp.*, *Gyrosigma sp.*, *Oscillatoria sp.* y *Stephanodiscus sp.* pero en menor proporción. El resto de los géneros (*Amphora sp.*, *Frustulia sp.*, *Gomphonema sp.*, *Licmophora sp.*, *Pinnularia sp.* y *Tabellaria sp.*) no están presentes en todos los puntos de muestreo,

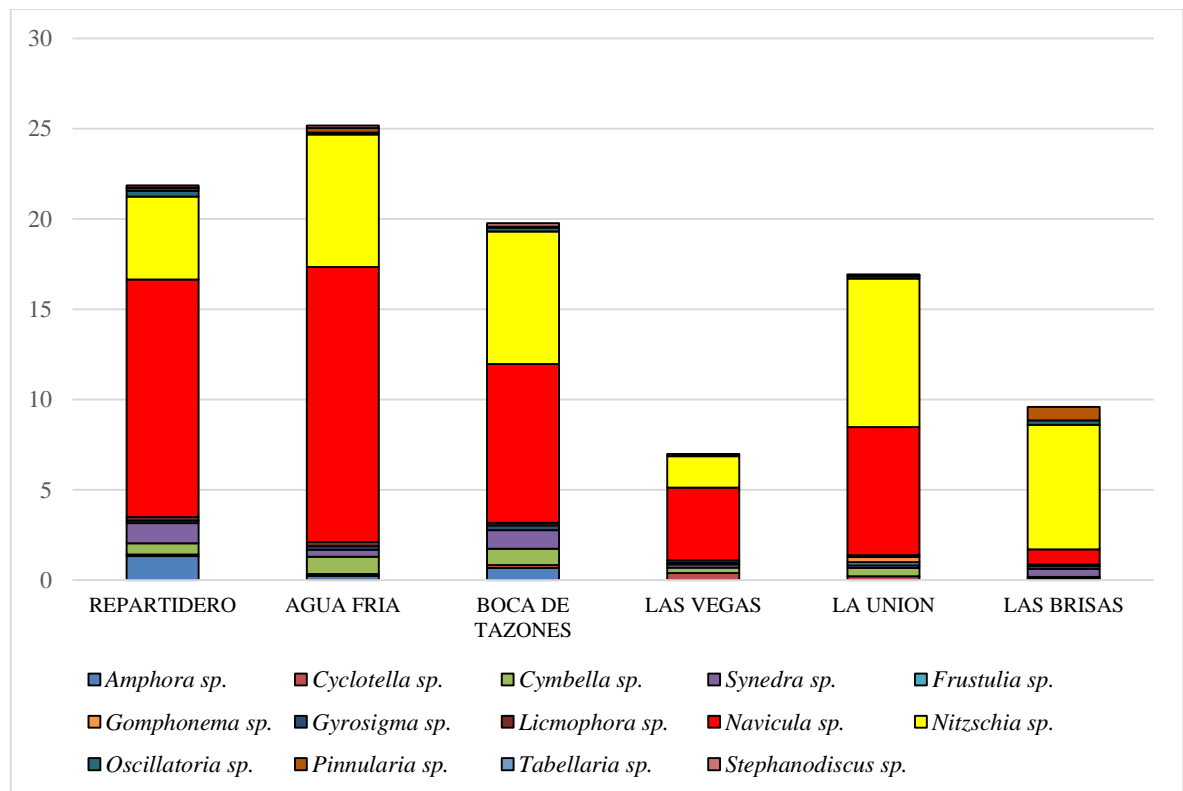


Figura #10: Abundancia (cel/ml) de cada género en los puntos de muestreo en el mes de Enero

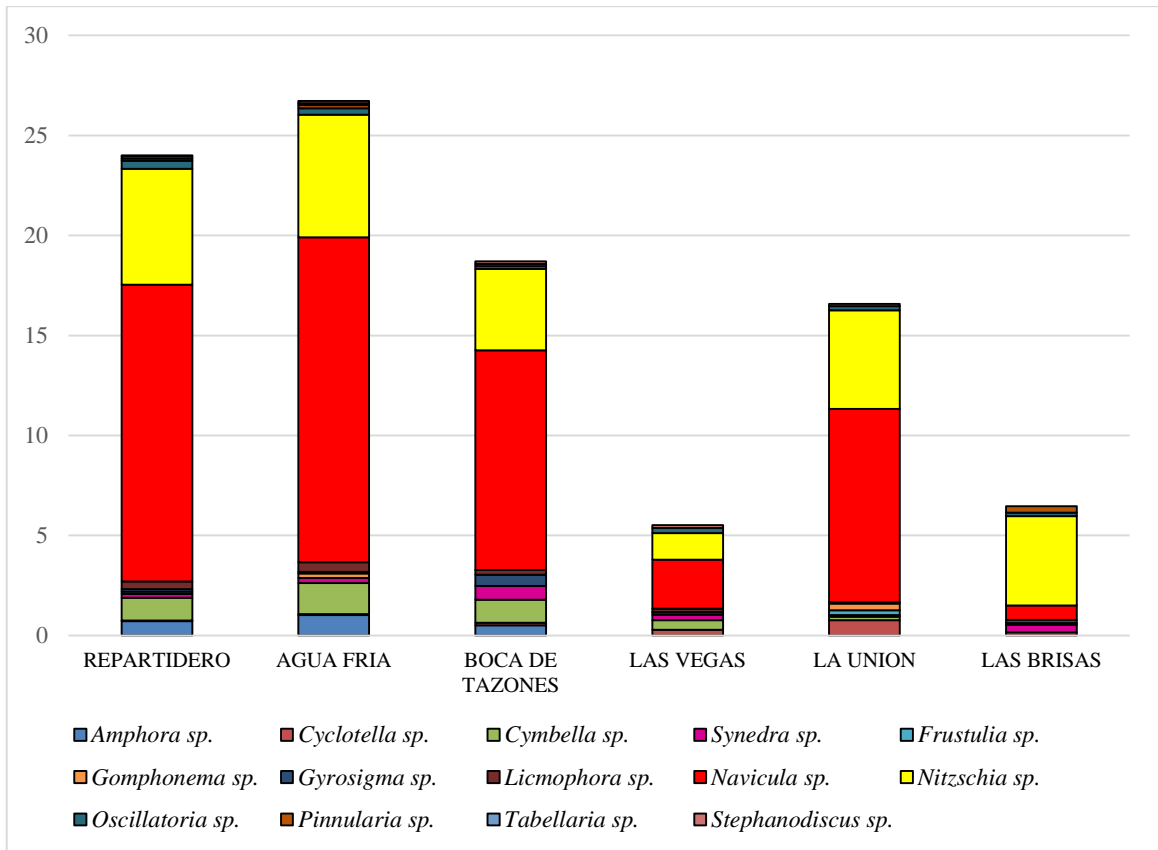


Figura #11: Abundancia (cel/ml) de cada género en los puntos de muestreo en el mes de Febrero

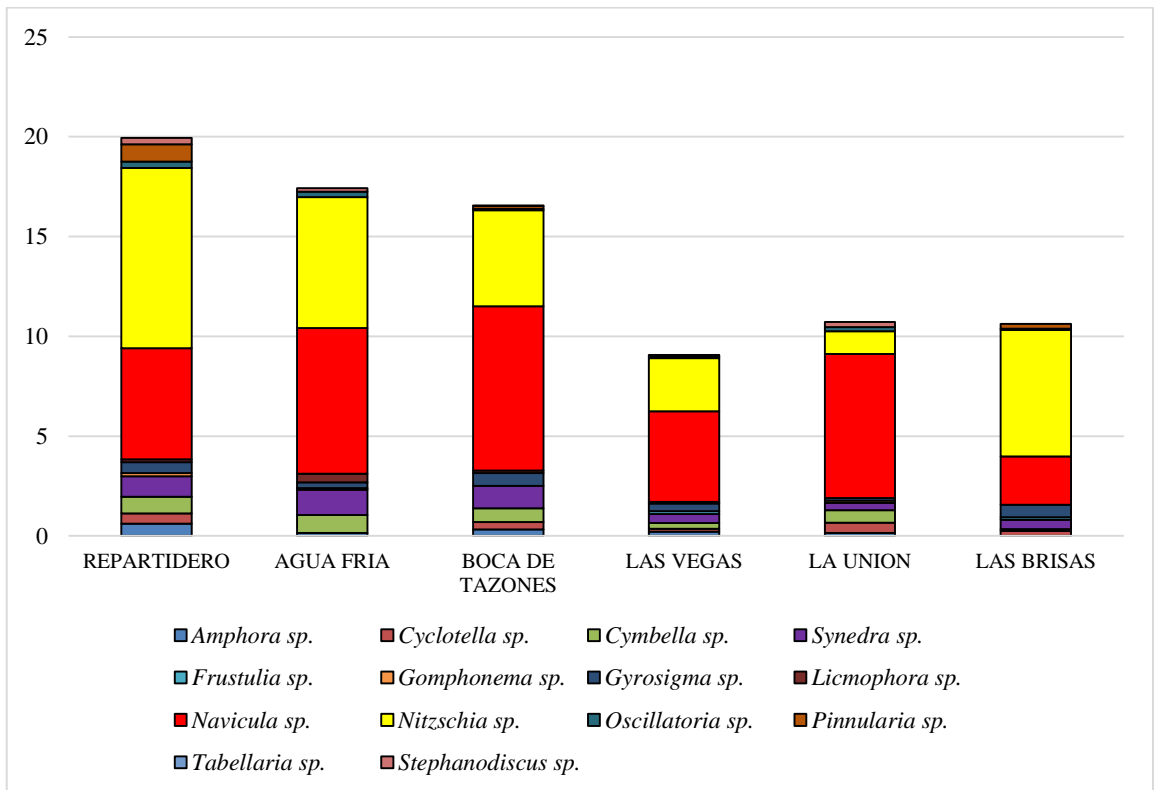


Figura #12: Abundancia (cel/ml) de cada género en los puntos de muestreo en el mes de Marzo

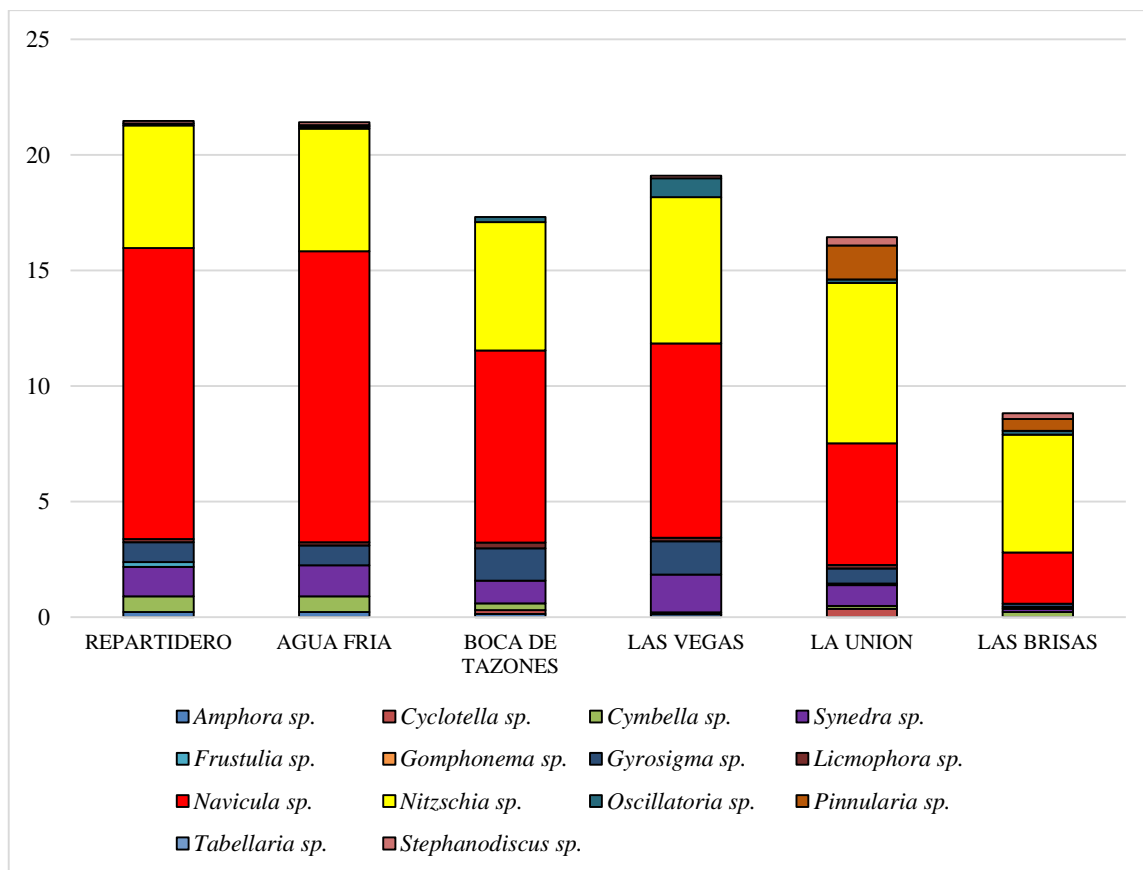


Figura #13: Abundancia (cel/ml) de cada género en los puntos de muestreo en el mes de Abril

### 3.4. Índice de Shannon y Weaver

Con la finalidad de estudiar la diversidad entre los puntos de muestreos a lo largo del río Atacames se aplicó el índice de Shannon para cada uno teniendo una abundancia y riqueza mayor en la zona alta (Agua fría y Repartidero) que en la zona media y baja.

Otro aspecto importante que se debe recalcar es el hecho de que este índice disminuye si existe una inequidad en el punto de muestreo o una dominancia de cierto género como se puede observar en el gráfico donde en los puntos de Agua Fría y Repartidero los géneros Navícula y Nictzia acaparan el mayor número de individuos es decir existe una equidad menor que en la zona media y por otra parte en la zona baja existe una mayor abundancia del género Nictzia.

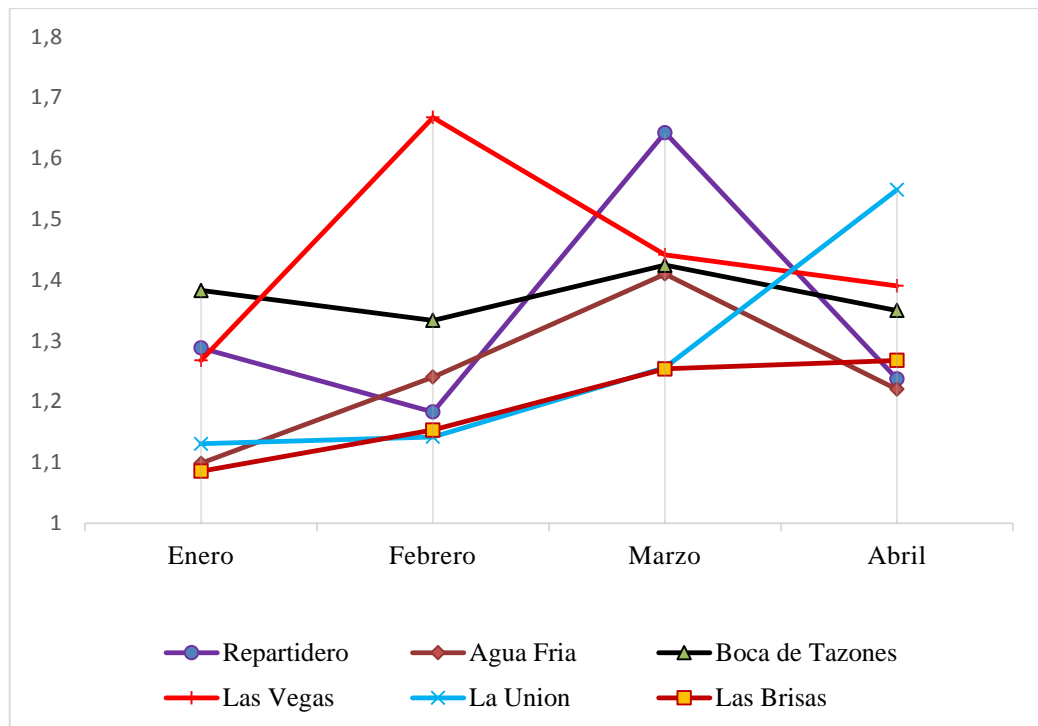


Figura #14. Índice de Shannon en cada punto de muestreo

### 3.5. Índice de Simpson

Existe dominancia mayor de géneros de fitoplancton en la zona baja (La Unión y Las Brisas) del río seguido de la zona alta (Repartidero y Agua Fría) y luego con la zona media (Boca de Tazones y Las Vegas). Esto indica que a pesar que se tiene mayor abundancia y géneros en esta zona dos de ellos (Navícula, Nichtzia) están acaparando más números de individuos y esto se ve reflejado en “D” a diferencia de la zona media que a pesar que la diferencia no es grande los individuos están mejor repartidos entre los géneros presentes en cada punto de Muestreo como se pudo analizar en el índice de Shannon & Weaver.

El valor de 1-D es inversamente proporcional a “D” como se puede observar donde Las brisas tiene menor diversidad y su inverso es mayor que en el resto de puntos debido a que sus géneros están mejor distribuidos.

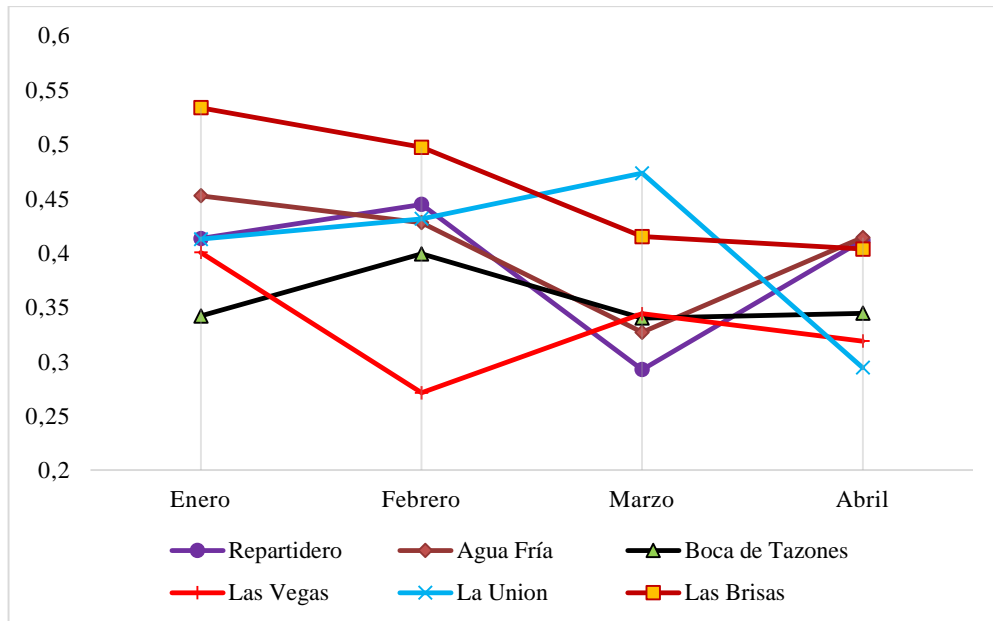


Figura #15: Índice de Simpson para cada punto de muestreo (“D”)

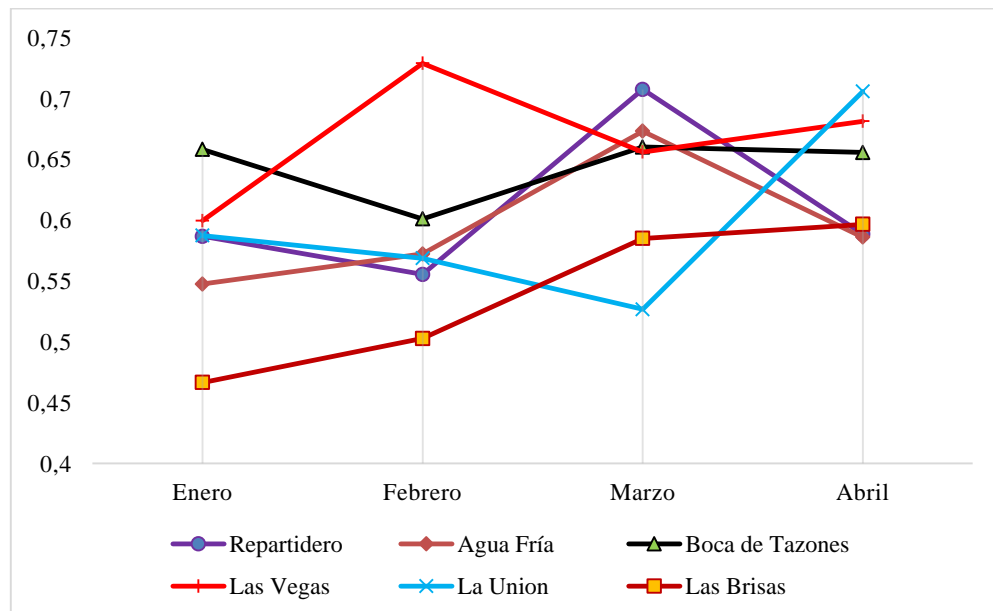


Figura #16: 1-D para cada punto de muestreo

### 3.6. Índice de similitud de Jaccard.

Para analizar la similitud entre puntos de muestreo a lo largo del río se aplicó el índice de Jaccard, como se muestra en la tabla #VI. En la mayoría de puntos se encontró una similitud bastante alta, mayor al 70%. Los puntos que tienen una mayor similitud (100%) son Agua Fría y Repartidero, seguidos de La Unión con Agua Fría y repartidero y finalmente con la similitud más baja está las Brisas con Agua Fría y Repartidero (zona alta con zona baja).

Tabla VI: Índice de Jaccard.

	La Unión (2)	Las Vegas (3)	Boca de Tazones (4)	Agua Fría (5)	Repartidero (6)
Las Brisas (1)	0,769	0,750	0,750	0,714	0,714
La Unión (2)	x	0,846	0,846	0,929	0,929
Las Vegas (3)	0,846	x	0,833	0,786	0,786
Boca de Tazones (4)	0,846	0,833	x	0,786	0,786
Agua Fría (5)	0,714	0,786	0,786	x	1
Repartidero (6)	0,714	0,786	0,786	1	x

### 3.7. Índice Diatómico General

Se aplicó el Índice Diatómico General (I.D.G) que se representan en la figura #17 donde se puede observar valores mayores en la zona alta que en la zona media y baja del río.

Los valores son parecidos a lo largo del río pero si se percibe una ligera depreciación del índice Diatómico general desde la zona alta hacia la zona baja donde están los puntos de Las Brisas y La Unión.

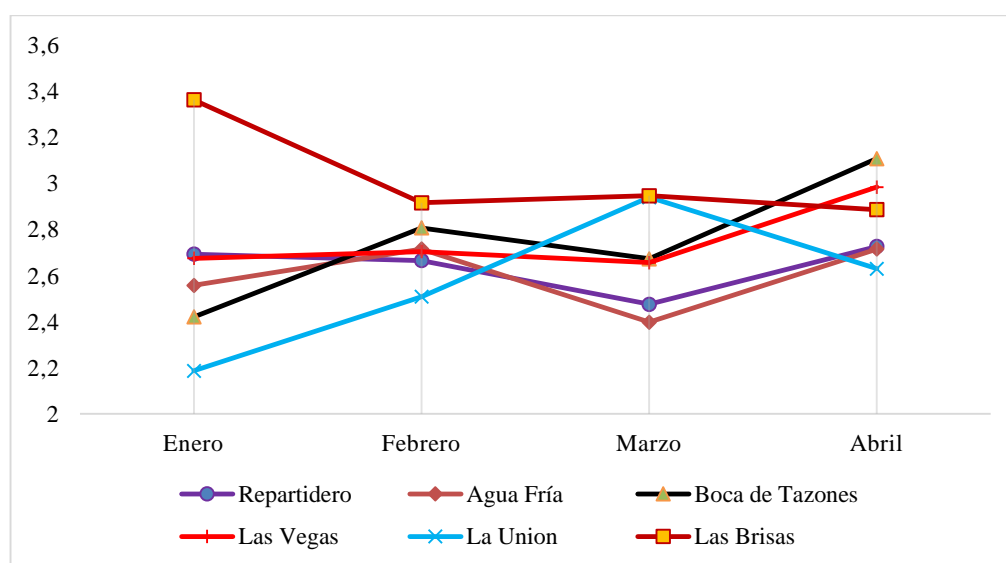


Figura #17: Índice Diatómico General

### 3.8. Correlación entre los puntos de muestreo y la abundancia de fitoplancton.

En la zona alta del río (Agua fría y Repartidero) existe mayor presencia de fitoplancton, como se indica en la figura #18 en la zona media (Boca de Tazones y Las vegas) disminuye la concentración y como se grafica la línea de tendencia sigue cayendo en la

zona baja (La Unión y Las Brisas) lo cual nos indica que a medida que se avanza en el río se incrementa la abundancia de la comunidad.

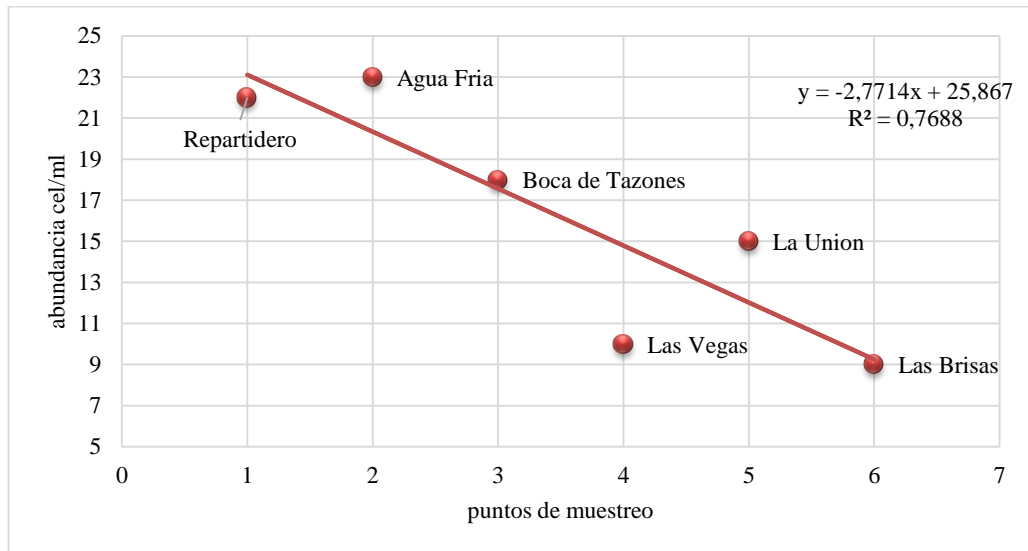


Figura #18. Relación entre abundancia y puntos de muestreo.

### 3.9. Relación entre la abundancia del fitoplancton y el pH.

La relación entre la abundancia y el pH graficada en la figura #19 muestra como se ha dicho anteriormente en los puntos de muestreo de Agua fría y Repartidero existe una mayor abundancia y se tiene pH de 8,81 y 8,70 respectivamente, luego disminuye en la zona media a 8,60 en Boca de Tazones y 8,18 en Las Vegas, y continua en descenso con 8,21 en La Unión y 8,24 en Las Brisas. Esto nos indica que la abundancia del fitoplancton se ve ligada a este parámetro siendo mayor la abundancia cuando el pH es más alto y viceversa.

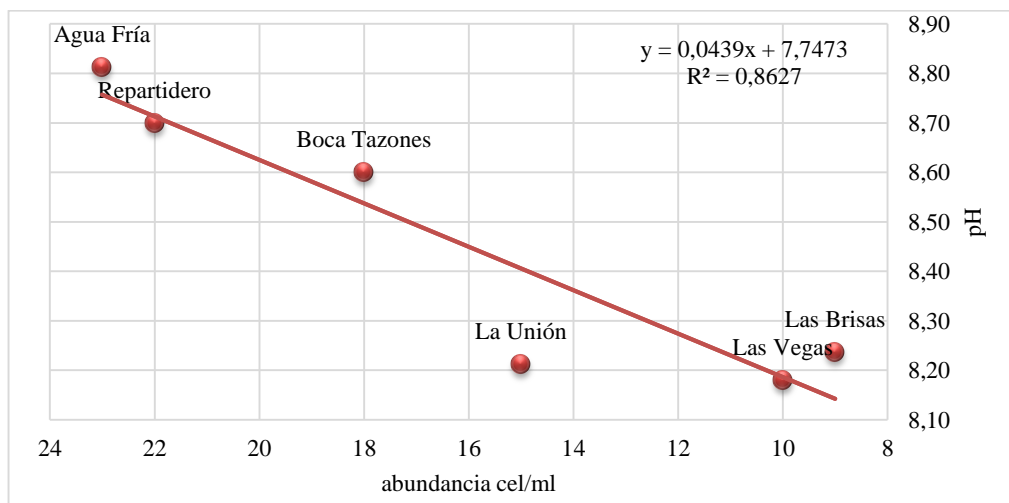


Figura #19. Relación entre el pH y la abundancia.

### 3.10. Relación entre la abundancia del fitoplancton y la temperatura en cada punto de muestreo

La figura #20 indica una temperatura en Repartidero de 25,6°C y Agua fría 25,9°C que es más baja que en el resto de los puntos con 27,2 en Boca de Tazones, 26,5 en Las Vegas, y una media igual de 26,6°C en La Unión y las Brisas. La tendencia es casi inexistente teniendo en cuenta el coeficiente de determinación  $R^2$ .

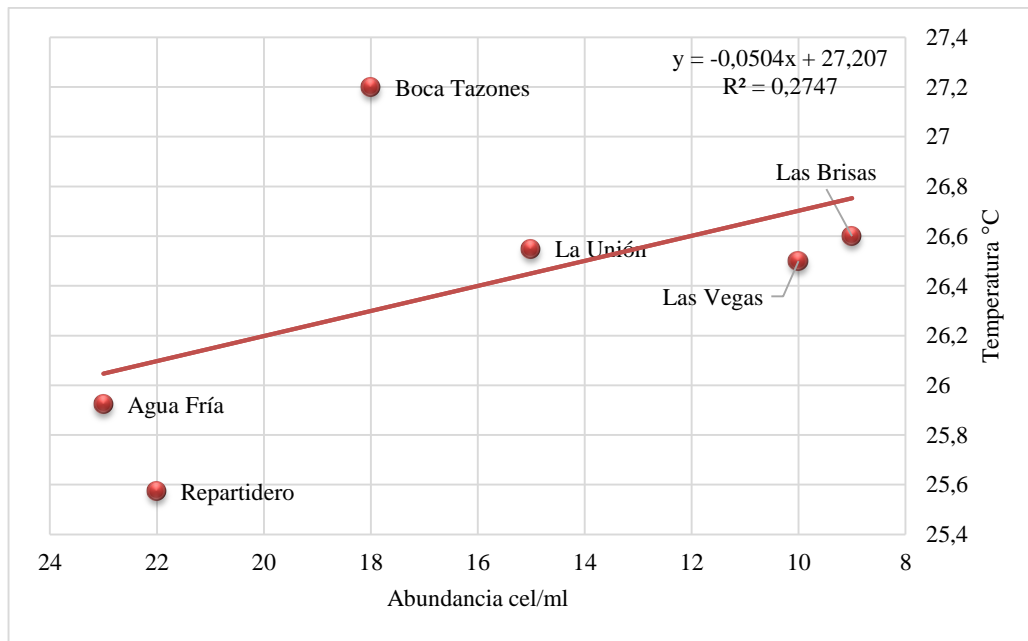


Figura #20. Relación entre temperatura y abundancia.

### 3.11. Relación entre la abundancia del fitoplancton y conductividad en cada punto de muestreo

La conductividad en relación a la abundancia no tiene incidencia con un valor mínimo de 382 en el punto de Las Brisas y un máximo de 520 en La Unión. Como se puede observar en el gráfico no existe una tendencia marcada.

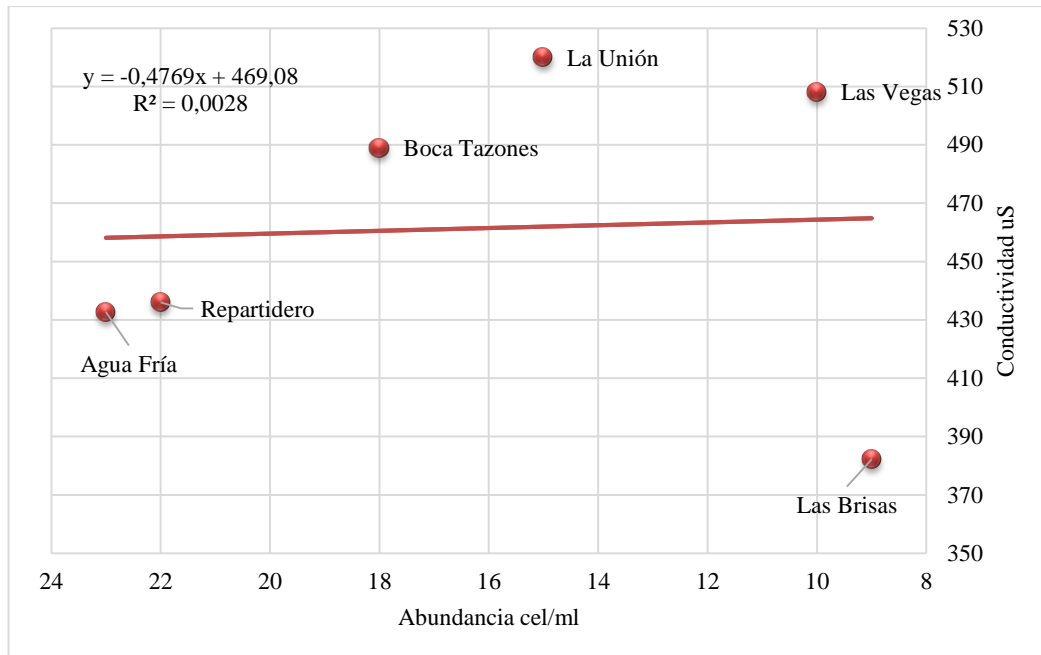


Figura #21: Relación entre conductividad y abundancia.

### 3.12. Relación entre abundancia de fitoplancton y turbidez en cada punto de muestreo.

La turbidez es otro parámetro que no cambia a lo largo del río Atacames por lo cual no guarda ninguna relación con la abundancia de fitoplancton con un valor mínimo de 3,18 en Repartidero y un máximo de 5,83 en Boca de Tazones.

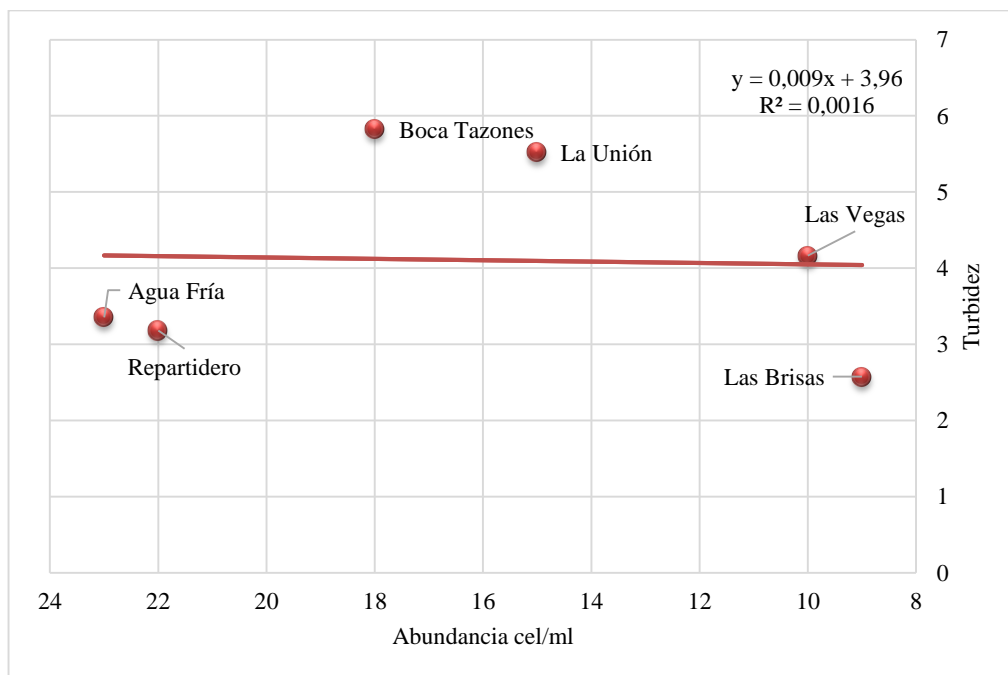


Figura #22: Relación entre turbidez y abundancia

### 3.13. Relación entre abundancia y precipitación en la zona.

Como se observan la figura #23 la línea de tendencia entre abundancia y precipitación es casi inexistente por lo cual no guarda ninguna relación en la comunidad de fitoplancton.

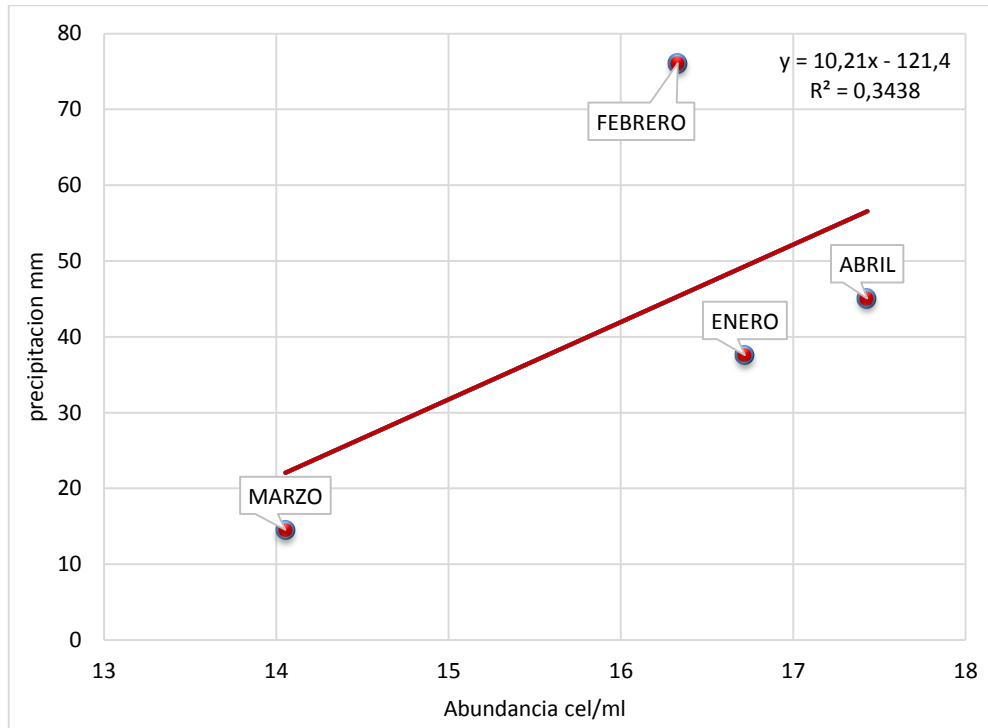


Figura #23: Relación entre abundancia y precipitación

## **CAPÍTULO IV**

#### **4. DISCUSION**

Para el reconocimiento del lugar se realizó la primera visita en enero de 2015 donde se tomaron los puntos con el GPS en las estaciones de muestreo y el reconocimiento del lugar, se encontraron varios aspectos importantes, como la presencia de un Azud en La Unión de Atacames donde la profundidad del río es mayor en este punto.

Según un estudio realizado por GIZ en 2010 en la cuenca del río Atacames, el 88% de la zona habría estado dedicada a actividades agropecuarias, seguida de las actividades agroforestales con el 9,5%, Camaroneras con el 2,4 % y apenas el 0,07 % dedicada a actividades agroindustriales.

La población no está distribuida en forma homogénea en el espacio de división político administrativo. La población se concentra en la parte baja de la cuenca debido a que en los últimos 20 años se ha priorizado el desarrollo de las actividades turísticas enfocadas a los atractivos de las zonas costeras (playas), por lo cual se puede evidenciar una mayor contaminación del río que en la parte media y alta. (Municipio Atacames, 2012)

Un adecuado conocimiento de la composición, distribución, variación estacional de fitoplancton y de la concentración de nutrientes, son factores que ayudan a determinar el estado ecológico del agua, esta información es importante porque de existir ciertas particularidades es decir al limitar el proceso productivo primario, también lo hacen, por consecuencia, con el resto de la trama alimentaria (Contreras y Zabalegui, 1991). El fitoplancton como productor primario en los cuerpos de agua dulce principalmente constituye una base informativa necesaria para el manejo y ordenamiento de muchos recursos es por esto que su estudio es importante si se quiere obtener una línea base para el control de calidad de una determinada área. En el presente estudio se dio una escueta línea base de la comunidad planctónica sin habérsela relacionado con muestras enviadas a laboratorio, siendo necesario aumentar los estudios de la calidad del agua de este curso hacia el futuro.

Se han medido parámetros básicos de calidad físico química del agua en cada estación donde se recolectaron las muestras con la finalidad de asociar cada uno de estos valores con la presencia taxonómica de géneros de fitoplancton. Al momento de realizar hacer

una caracterización de las zonas alta, media y baja se pudo observar el desarrollo de algunas actividades vinculadas al río entre ellas lavar la ropa, bañarse, lavar los alimentos y consumo humano principalmente en las comunidades de Las Brisas y La Unión Las Vegas y Boca de Tazones. En la zona alta al existir menos pobladores estas actividades se realizan con menor frecuencia pero sin embargo existen muchas fincas que se dedican a la actividad ganadera por lo que sus actividades están ligadas al río.

El azud existente en el punto de muestreo de La Unión (zona baja), tiene una leve influencia en la abundancia registrada al percibir un aumento de la misma, esta estructura provoca un aumento de la profundidad del río y disminución en la corriente la cual es fuente de stress para comunidades fitoplanctónicas.

Se registró una dominancia de diatomeas en la investigación realizada por Tapia 2010 como: *Stephanopyxis palmeriana*, 57,55%, *Cocconeis sp* 12,06, *Licmophora flabellata* 3,87%, *Cyclotella sp*, 3,44%, *Rhizosolenia calcar avis* 3,44%, *R.hyalina* 3,01%, *Pseudo-nitzschia paradoxa* 1,72%, *P. recta* 1,72 % y otras especies que alcanzaron el 13%. Estas especies habitan en agua con temperaturas entre 26.4-26.5° C. Se registraron un total de 27 representadas por 27 diatomeas.

Según lo estudiado se puede considerar que el fitoplancton tiene sensibilidad a diferentes clases de contaminación ya que esta puede afectar a ciertos géneros de Diatomeas que son perceptivas de cambios en el medio acuático. El índice Diatómico General relaciona la abundancia, sensibilidad y variabilidad de géneros de fitoplancton ya determinados y su valor va de 4,5 con una polución mínima hasta 0 con un alta. Los resultados obtenidos nos indican un ecosistema alterado y que es mayor en el punto más bajo que es las Brisas con una media de 2,11 a diferencia de Repartidero con un valor de 2,63. El índice de Shannon refleja una menor diversidad en la zona baja del río, debido a una mayor abundancia de *Nitzschia*, particularidad que en relación al I.D.G. este género es uno de los más resistentes a ecosistemas contaminados.

Con los resultados obtenidos del índice de Shannon, se puede observar que los puntos muestreados durante los meses de estudio este valor esta entre 1 y 2 lo cual indica que el río Atacames tiene una diversidad media, y va de manera descendente desde la zona alta hacia la zona baja.

En cuanto al índice de Simpson tenemos una mayor dominancia en la zona baja del río que en la zona media y alta debido a una mayor presencia de *Nichtzia* principalmente que el resto de géneros, lo cual indica al momento de calcular la diversidad que equivale a 1-D esta es menor en Las Brisas y La Unión que en el resto de Puntos.

Las diferencias de abundancia para cada punto de muestreo se relacionan principalmente con los parámetros medidos de pH y sin incidencia la temperatura conductividad y turbidez. Tenemos un pH mayor en la zona alta del río al igual que la abundancia y estos valores descienden hacia la zona baja de lo cual se puede decir que a mayor pH tenemos más abundancia. Lo contrario ocurre con la temperatura ya que esta es menor en la zona alta y aumenta hacia la zona media y baja. Los valores de conductividad y turbidez a lo largo del río no guardan ninguna relación con respecto a la abundancia.

La similitud entre los puntos de muestreo se determinó calculando el índice de Jaccard que relaciona los géneros presentes entre dos puntos y los que no son comunes teniendo así una mayor similitud (100%) entre los dos puntos de la zona alta (Repartidero y Agua Fría), y la menor similitud entre el punto más alto que es Repartidero donde se tiene una mayor riqueza y el más bajo que es Las Brisas con 71,43%.

## 5. CONCLUSIONES

En la campaña de muestreo se encontraron un total de 14 géneros de fitoplancton de los cuales 13 pertenecen a Diatomeas y solo uno a Cianobacterias. Se encontró mayor presencia de los géneros *Nitzschia* principalmente seguido de *Navículas*, además de estar presentes en todos los puntos de muestreo en el tiempo de duración del presente estudio.

Existen diferencias entre los puntos de muestreo teniendo en cuenta la mayor riqueza y abundancia de la comunidad de fitoplancton en la zona alta y su descenso hacia la zona baja al igual que sucede con el PH, en cuanto a temperatura, turbidez y conductividad las tendencias fueron casi inexistentes.

Se encontraron géneros de fitoplancton que son bioindicadores del estado ecológico del agua como lo son *Oscillatoria*, *Gomphoneis*, *Synedra* y principalmente *Navicula* y *Nitzschia* que tienen una gran dominancia en todos los puntos de muestreo y que son indicadores de agua con alta carga orgánica, por lo cual el río Atacames no está en su mejor estado de conservación. Por otra parte los géneros *Amphora*, *Cymbella*, *Pinnularia* son indicadores de buena calidad de agua pero su presencia fue muy baja.

El río Atacames posee una diversidad baja como lo expresan los índices estudiados (Shannon, Simpson, Índice diatomico genérico), que nos indican un ecosistema alterado que podría estar vinculado a las actividades que allí se desarrollan.

## **6. RECOMENDACIONES**

Si bien a lo largo del río Atacames no se evidencia una fuente significativa de contaminación si resulta interesante estudiar más a fondo la calidad del agua, por ejemplo niveles de nitritos, nitratos y de niveles de fosforo presente factores que se pueden asociar también con la presencia de fitoplancton.

Se deberá evaluar, en forma periódica el impacto que la creciente actividad camaronera ocasiona sobre la calidad de las aguas del río Atacames y del sector turístico y también las consecuencias de la activación permanente del flujo estuarino en la dinámica costera.

Es necesario que se realicen más estudios de calidad de agua del río Atacames para crear un plan de manejo adecuado de este recurso, informando e involucrando a la comunidad haciendo conciencia y comprometiéndolos a reducir la alteración de la cuenca.

Con respecto a las actividades ganaderas se debe capacitar a los actores principales para el uso de mejores prácticas amigables con el ambiente, teniendo en cuenta que se utiliza mucho el recurso hídrico para diferentes etapas de crianza.

Por la información recolectada en este estudio indicando un ecosistema alterado es necesario profundizar en el uso de fitoplancton como bioindicador teniendo en cuenta diferentes factores como cambios en el sistema fluvial para ello la duración de la investigación debe ser mayor.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abarzúa, M. 1995. “Relación entre la abundancia y biomasa de fitoplancton y Bacterioplancton heterotrófico en aguas superficiales del Golfo de Arauco, Chile”
- Azam F, Fenchel T, Field JG et al. (1983). The ecological role of water column microbes in the sea. *Marine Ecology – Progress Series* 10: 257–263.
- Badillo, M. 2010: “Manual de prácticas de ecología acuática” Pág. 67-99
- Badii, M. H., J. Landeros., y E. Cerna. Species association patterns and sustainability. *International Journal of Good Conscience*. 3(1): 632-660. Octubre 2007 – Marzo 2008. ISSN 1870-557X
- Bahls, L.L. (2011). Three new species of *Navicula* (Bacillariophyta) from Oregon and Montana and a review of diatom endemism in the Northwest. *Northwest Science* 85 (4): 517-526.
- Bay S. 2001. “Phytoplankton identification catalogue” Globallast monograph. Series no. 1
- Boyce D. 2010. “Global phytoplankton decline over the past century” Vol 466. Pag.3
- Coll J. 2012. “Vida Microspica” Disponible en: [http://jcoll.org/genoma/vida\\_microsubmarina/diatomeas/cymatopleura.html](http://jcoll.org/genoma/vida_microsubmarina/diatomeas/cymatopleura.html)
- Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009. “Evaluación de estado ecológico” disponible: <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=27709>
- Contreras, F. y Zabalegui, L.M 1991. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en la laguna La Joya-Buenavista, Chiapas, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 18(2):207-215.

- Constitución de la república del Ecuador, 2008. Título II, Capítulo segundo de los Derechos del buen vivir, art. 13, 14, 15, 74, 75.
- Delgado, G. 1998. Fitoplancton de la fuente de abasto de una zona camaronera. Universidad de La Habana, *Tesis de Maestría*, 49 pp.
- Delgado, M. h Fortuño, J.M. 1991. Atlas de Fitoplancton del Mar Mediterráneo. *Sci. Mar.*, 55(Supl. 1): 1-133.
- Dimar-CIOH.2011. Catálogo de Fitoplancton de la Bahía de Cartagena, Bahía Portete y Agua de Lastre. Dirección General Marítima- Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Ed Dimar, Serie de Publicaciones Especiales CIOH Vol 5. Cartagena de Indias, Colombia. 135 Pp.
- Dolbeth, M., M.A. Pardal, A.I. Lilleblo, U. Azeiteiro & J.C. Marques. 2003 Short- and long-term effects of eutrophication on the secondary production of an intertidal macrobenthic community. *Marine Biology*, 10.1007, 1133-1135.
- Fontúrbel, F. 2006. “Evaluación rápida de la diversidad de fitoplancton en aguas eutróficas del lago Titicaca (Bolivia)”
- GESAMP (Grupo Mixto de Expertos sobre los Aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino) 1995. Biological indicators and their use in the measurement of the condition of the marine environment. GESAMP Reports and Studies (55):55-66.
- GIZ (Agencia Alemana para la Cooperación Internacional), GPE (Gobierno Provincial de Esmeraldas) 2012: “Inventario de los recursos hídricos de la cuenca del Atacames”
- Greig-Smith P (1983) Quantitative plant ecology. 3 ed., University of California Press, Berkeley, California, USA. pp.163-164

- Guillen A. 2011. “Mundo Microscópico” Disponible en: <http://www.biodiversidadvirtual.org/micro/Cymbella.-img387.html>
- Harold G. 1986. Identification Manual for Phytoplankton of the United States Atlantic Coast. National Technical Information Service. U.S. Department of Commerce
- Hohn, M.H. and Hellerman, J. (1963). The taxonomy and structure of diatom populations from three Eastern North American rivers using three sampling methods. *Transactions of the American Microscopical Society* 82(3):250-329.
- Inocar, 2002. Estudio de calidad de las aguas del rio Atacames
- Kavlekar D. 2004. “Phytoplankton Identification Manual” National Institute of Oceanography, Pag. 25 – 40.
- Leal, S. y Nodas, F. 2001. “Distribución y abundancia del fitoplancton en un área de la zona nororiental de cuba” Publicada el 23 de marzo. Pág. 45-51. De: [www.cim.uh.cu/rim/pdf/2002/1/2002-45.pdf](http://www.cim.uh.cu/rim/pdf/2002/1/2002-45.pdf)
- Lenntech. 2006. Agua residual & purificación del aire. Holding B.V. Rotterdamseweg 402 M 2629 HH Delft, Holanda)
- Luque, M. L. y Martínez, de Fabricius, A. L. (2003). Distribución temporal del fitoplancton y epilíton en el río Piedra Blanca (Córdoba, Argentina). Asociación Española de Limnología, Madrid, Spain. *Limnetica* 22(3-4)19-34
- Levkov, Z. (2009). *Amphora sensu lato*. In *Diatoms of Europe, Volume 5*. (H. Lange-Bertalot, ed). A.R.G. Gantner Verlag K.G. 916pp.
- LEY DE AGUAS, 2004. Título I, art. 2, 3, 4,62 Codificación 16, Registro Oficial 339 de 20 de Mayo.

- LEY DE GESTION AMBIENTAL, 2004. Capítulo VI, art. 12 Codificación 19, Registro Oficial Suplemento 418.
- Luque M. 2003. “Distribución temporal del fitoplancton y epiliton en el río Piedra Blanca (Córdoba, Argentina)” Pag: 3-12.
- María, T. 2002. “Estudio de las comunidades del fitoplancton en los ríos Daule, guayas y estero salado”. VOL.11 (1): 79-90
- Ministerio del Medio Ambiente Español, 2012. “Protocolo de muestreo de fitoplancton en lagos y embalses”. De: [http://www.magrama.gob.es/es/agua/publicaciones/protocolo\\_muestreo\\_fitoplancton\\_lagos\\_embalses\\_tcm7-177547.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/agua/publicaciones/protocolo_muestreo_fitoplancton_lagos_embalses_tcm7-177547.pdf)
- Municipio de Atacames, 2012. “Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial participativo del Cantón Atacames.
- Pérez, C. 2002. “Fitoplancton del río Negro, Uruguay” Pag: 81 - 91
- Pinilla, G. 2006. “Evaluación de la eficiencia fotosintética del fitoplancton en un lago amazónico (Lago Boa) y en un lago andino (Lago Guatavita)”
- PMRC., 1993. Plan de Manejo de la ZEM Atacames-Súa- Muisne. Programa de Manejo de Recursos Costeros, Ecuador, (1):1-6.
- Porter, S., Cuffney M. Gurtz, M. Meador. 1993. Methods for Collecting Algal Samples as Part o the National Water Quality Assessment Program. U.S. Geological Survey Open-File Report 93-409, Raleigh, NC [39 pp] [http://water.usgs.gov/nawqalnawqa\\_home.html](http://water.usgs.gov/nawqalnawqa_home.html).
- Raymond. J.E.G. 1980. Plankton and productivity in the OCC"ans. Pergamon. London. 489 p.

- Raz-Guzman, A. 2000. Crustáceos y Poliquetos, en De la Lanza, et al. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores). Plaza y Valdez, Primera Ed. México DF. 637 p.
- Reynolds C. (2006). Ecology of phytoplankton. Cambridge, Cambridge University Press. Pagina: 550pp.
- Sampathkumar, P., 1992. Investigations of plankton in relation to hydrobiology and heavy metals in the Tranquebar-Nagapattinam coast, India. Ph.D Thesis. Annamalai University, pp: 184.
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana, University of Illinois Press.
- Simpson, G.G. (1960) Notes on the measurement of faunal resemblance. Amer. J. Sci. 258A, 300–311
- Solano, D. 2005. “Cambios temporales y morfología funcional de la comunidad fitoplanctónica en un lago andino (Laguna de Guatavita, Cundinamarca)”. Tesis Maestría, Universidad Javeriana, Bogotá. 168 pp.
- Smith, R.L. & T.M. Smith. 2001 *Ecología*. Addison Wesley, Madrid. 639 p.
- Tapia, M. 2002. “Estudio de las comunidades del fitoplancton en los ríos Daule, Guayas y Estero Salado” De: Acta Oceanográfica del Pacífico INOCAR. Vol. II.
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria Decreto Ejecutivo 3516. 2003: Registro Oficial Suplemento 2.
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), Decreto Ejecutivo No. 3516, publicado en el Registro Oficial, edición especial No. 2 del 31 de marzo del 2003.

- UBC 2012. “Phytoplankton Encyclopedia Project” Disponible en:  
[www.eos.ubc.ca/research/phytoplankton](http://www.eos.ubc.ca/research/phytoplankton)
- UNESCO. 2009. Cianobacterias Planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión. Sylvia Bonilla (editora). Documento Técnico PHI-LAC, N° 16
- Vaultot D. 2001. “Phytoplankton” Centre Nationale de la Recherche Scientifique et Universite´ Pierre et Marie Curie, Roscoff, France. Páginas: 4,5
- Vázquez, G. et al. 2006. Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua, Depto. El Hombre y su Ambiente, UAM-X  
[gavaz@correo.xoc.uam.mx](mailto:gavaz@correo.xoc.uam.mx)
- Vicente, E. y Cambra J. 2005. “Protocolos de muestreo y análisis para fitoplancton”. De:  
[http://195.55.247.234/webcalidad/estudios/indicadoresbiologicos/Manual\\_fitoplancton.pdf](http://195.55.247.234/webcalidad/estudios/indicadoresbiologicos/Manual_fitoplancton.pdf)
- Vis & Verb, 2012. “The Ohio University Algae Home Page” Disponible en:  
<http://www.ohio.edu/plantbio/vislab/algaeimage/pages/Halimeda.html>
- Voil D. 2011. “phytoplankton” Centre Nationale de la Recherche Scientifique et Universite´ Pierre et Marie Curie Pág. 4 – 6.

## **ANEXOS**

Tabla V. Abundancia en cel/ml para cada punto para los meses de muestreo y media general.

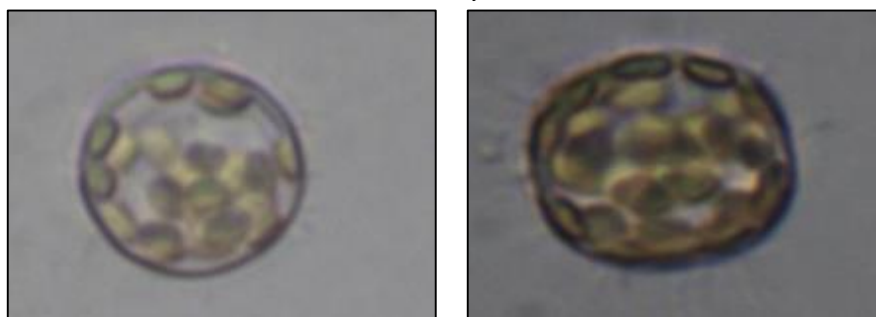
	Repartidero				Agua Fría				Boca Tazones				Las Vegas				La Unión				Las Brisas				TOTAL
	Ene	Feb	Mar	Abr	Ene	Feb	Mar	Abr	Ene	Feb	Mar	Abr	Ene	Feb	Mar	Abr	Ene	Feb	Mar	Abr	Ene	Feb	Mar	Abr	
<i>Amphora sp.</i>	1,34	0,72	0,62	0,22	0,24	1,02	0,14	0,22	0,68	0,5	0,32	0,14	0	0	0,22	0,12	0	0	0,14	0	0	0	0	0	6,64
<i>Cyclotella sp.</i>	0,08	0,02	0,5	0	0,1	0,04	0	0	0,16	0,14	0,38	0,16	0,4	0,28	0,14	0	0,22	0,76	0,52	0,36	0,1	0,16	0,24	0	4,76
<i>Cymbella sp.</i>	0,62	1,14	0,84	0,68	0,96	1,56	0,9	0,68	0,9	1,14	0,68	0,3	0,3	0,48	0,28	0,08	0,46	0,18	0,62	0,12	0,08	0	0,1	0,22	13,32
<i>Fragilaria sp.</i>	1,12	0,2	1,02	1,28	0,38	0,26	1,28	1,34	1,02	0,7	1,12	0,98	0,18	0,28	0,46	1,64	0,14	0,08	0,38	0,9	0,44	0,38	0,46	0,14	16,18
<i>Frustulia sp.</i>	0	0,1	0	0,2	0	0	0,08	0	0	0	0	0	0,08	0,1	0,14	0	0,18	0,24	0	0,08	0,14	0,08	0,14	0,08	1,64
<i>Gomphonema sp.</i>	0	0	0,16	0	0	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,28	0,34	0,1	0	0	0	0	0	1,1
<i>Gyrosigma sp.</i>	0,14	0,14	0,56	0,86	0,2	0,08	0,28	0,86	0,28	0,56	0,64	1,4	0,14	0,04	0,38	1,44	0,1	0,06	0,14	0,64	0,12	0,16	0,62	0,14	9,98
<i>Licmophora sp.</i>	0,2	0,38	0,14	0,14	0,24	0,48	0,44	0,14	0,14	0,24	0,14	0,24	0	0,16	0,08	0,16	0	0	0	0,16	0	0	0	0	3,48
<i>Navicula sp.</i>	13,1	14,84	5,56	12,6	15,2	16,2	7,3	12,6	8,78	10,98	8,22	8,32	4,02	2,44	4,54	8,4	7,1	9,66	7,22	5,26	0,82	0,72	2,42	2,22	188,6
<i>Nichtzia sp.</i>	4,6	5,8	9,04	5,3	7,34	6,14	6,56	5,3	7,34	4,06	4,82	1,56	1,74	1,34	2,66	2,34	8,22	4,94	1,14	6,94	6,4	4,46	6,34	5,1	102,1
<i>Oscillatoria sp.</i>	0,32	0,4	0,32	0,08	0,1	0,32	0,26	0,08	0,22	0,14	0,06	0,22	0,08	0,26	0,1	0,82	0,12	0,2	0,2	0,16	0,24	0,18	0,06	0,16	5,1
<i>Pinnularia sp.</i>	0,14	0,1	0,86	0	0,26	0,16	0	0	0,06	0,12	0,14	0	0	0	0	0	0,06	0	0	1,46	0,76	0,32	0,24	0,52	5,2
<i>Tabellaria sp.</i>	0,04	0,12	0	0	0	0,1	0	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,34
<i>Stephanodiscus sp.</i>	0,12	0,04	0,32	0,12	0,14	0,1	0,18	0,12	0,18	0,12	0,04	0	0,04	0,14	0,06	0,1	0,06	0,12	0,26	0,36	0	0	0	0,24	2,86
TOTAL	21,9	24	19,9	21,5	25,2	26,7	17,4	21,4	19,8	18,7	16,6	13,3	6,98	5,52	9,06	15,1	16,9	16,6	10,7	16,4	3,36	2,96	6,02	5,26	
MEDIA GENERAL	22				23				17				9				15				9				

GENERO: *Amphora*



Fotografía #5

GENERO: *Cyclotella*



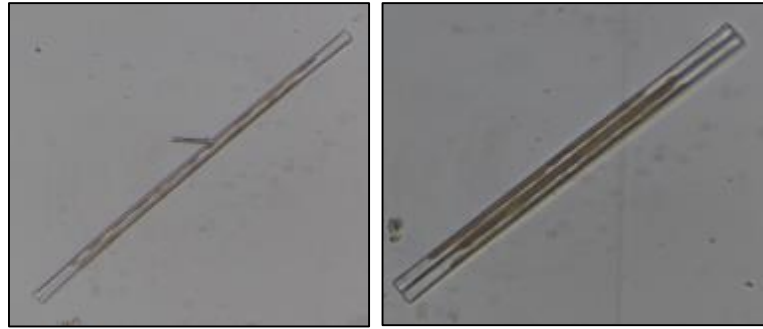
Fotografía # 6 y 7

GENERO: *Cymbella*



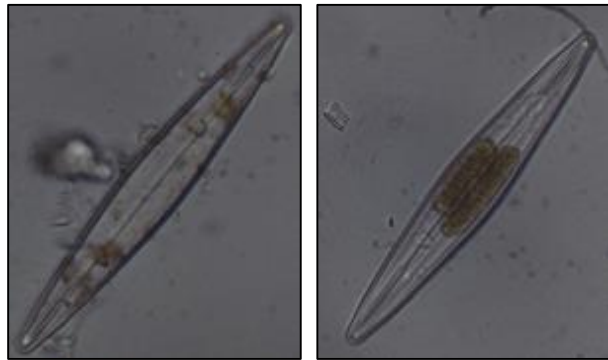
Fotografía #8 y 9

GENERO: *Synedra*



Fotografía # 10 y 11

GENERO: *Frustulia*



Fotografía # 12 y 13

GENERO: *Gomphoneis*



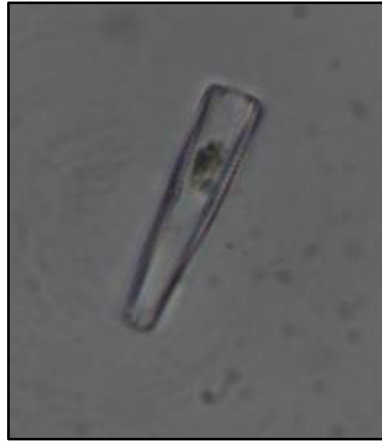
Fotografía # 14

GENERO: *Gyrosigma*



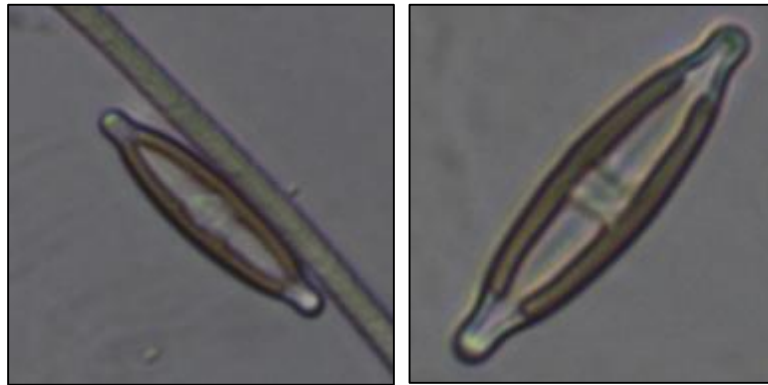
Fotografía # 15 y 16

GENERO: *Licmophora*



Fotografía #17

GENERO: *Navicula*



Fotografía # 18

GENERO: *Nitzschia*



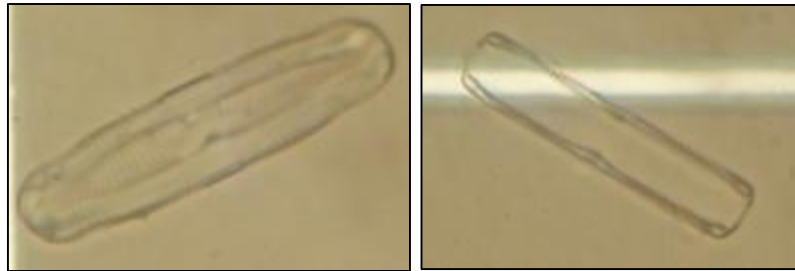
Fotografía #19, 20, 21, 22.

GENERO: *Oscillatoria*



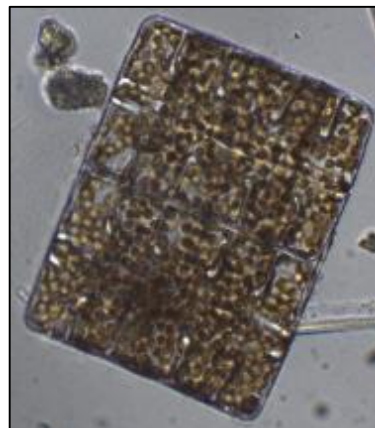
Fotografía #23

GENERO: *Pinnularia*



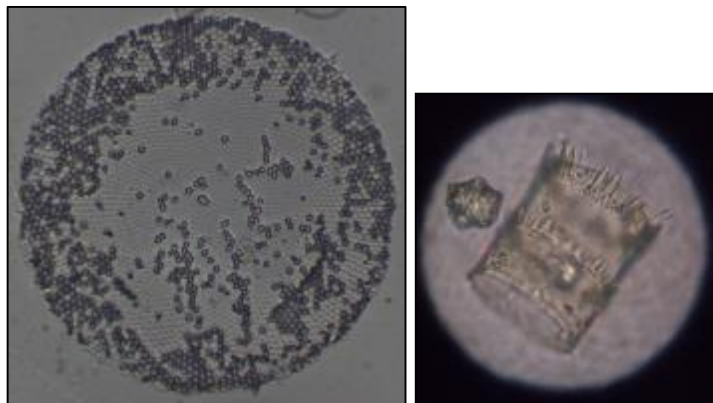
Fotografía #24

GENERO: *Tabellaria*



Fotografía #25

GENERO: *Stephanodiscus*



Fotografía #26