

**COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD FITOPERIFÍTICA DE LA
CUENCA DEL RÍO ALVARADO (TOLIMA-COLOMBIA)**

JONATHAN GERARDO GORDILLO-GUERRA

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de
Biólogo**

Co-directora

cM.Sc. Yessica Tatiana Parra Trujillo

Directora

M.Sc. Gladys Reinoso Flórez

UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN ZOOLOGÍA

IBAGUÉ-TOLIMA

2014



FACULTAD DE CIENCIAS
PROGRAMA DE BIOLOGÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

TÍTULO: COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD
FITOPERIFÍTICA DE LA CUENCA DEL RÍO ALVARADO (TOLIMA-
COLOMBIA)

AUTORES: JONATHAN GERARDO GORDILLO GUERRA

DIRECTOR: Gladys Reinoso Flórez

CO-DIRECTOR: Yessica Tatiana Parra Trujillo

JURADOS: Edwin Orlando López Delgado
Jesús Manuel Vásquez Ramos

CALIFICACIÓN: 4,6

APROBADO

REPROBADO

OBSERVACIONES:

FIRMAS

Edwin O. López D.
JURADO 1.

JURADO 2.

Gladys Reinoso
Director del trabajo

J. Delgado
Director del programa

Ciudad y fecha: Ibagué, 31 de enero de 2014.



FACULTAD DE CIENCIAS
PROGRAMA DE BIOLOGÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

TÍTULO: COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD
FITOPERIFÍTICA DE LA CUENCA DEL RÍO ALVARADO (TOLIMA-
COLOMBIA)

AUTORES: JONATHAN GERARDO GORDILLO GUERRA

DIRECTOR: Gladys Reinoso Flórez
CO-DIRECTOR: Yessica Tatiana Parra Trujillo

JURADOS: Edwin Orlando López Delgado
Jesús Manuel Vásquez Ramos

CALIFICACIÓN: 4.6

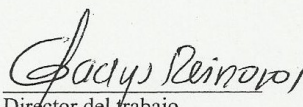
APROBADO

REPROBADO


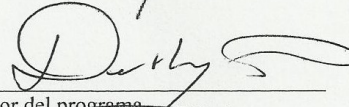
OBSERVACIONES:

FIRMAS

JURADO 1.


Director del trabajo

JURADO 2.



Director del programa

Ciudad y fecha: Ibagué, 31 de enero de 2014.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar a cumplir este sueño.

A mis padres por ser un apoyo incondicional, por su lucha y esfuerzo en esta etapa de vida, este logro es también de ustedes. Los adoro con todo mi corazón y son motivo para seguir adelante.

A mi tío Pedro Javier Gordillo quien apoyo siempre a mis padres y me oriento con sus consejos.

A mis hermanitas, Karol y Juliana, por ser mi motivo de lucha y ser un ejemplo a seguir con ellas. Las quiero.

A mis Abuelos por todos sus consejos a lo largo de mi vida.

A toda mi familia, gracias por su apoyo en este proceso.

AGRADECIMIENTOS

Al Comité Central de Investigaciones de la Universidad del Tolima, por su colaboración económica para el desarrollo de este trabajo.

A la profesora Gladys Reinoso Flórez, coordinadora del Grupo de Investigación en Zoología, por permitirme hacer parte de este proyecto, la confianza, asesoría y apoyo incondicional en el desarrollo de este trabajo.

A Yessica Tatiana Parra Trujillo quien amablemente me orientó, su dedicación me ayudó a resolver muchas dudas, y su paciencia fue esencial para el desarrollo del trabajo. Gracias por todo, por su amistad y por hacer parte de este bello proyecto. Mil gracias.

A mis compañeros Adriana Marcela Forero Céspedes, Laura Daniela Rojas, Juan Gabriel Albornoz, Cristhian Conde, Edison Duarte, Cristhian Gaitán y Andrea Tarquino por su compañía en este proceso.

A mi amigo incondicional Michael Alejandro Castro Bonilla por su valiosa amistad y su compañía en toda la carrera.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	20
1. OBJETIVOS	22
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	22
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
2. MARCO REFERENCIAL	23
2.1. ANTECEDENTES.....	23
2.2. MARCO CONCEPTUAL	33
2.2.1. Generalidades del perifiton.....	33
2.2.2. Organización taxonómica.	34
2.2.3. Importancia del perifiton como indicador de la calidad del agua.	35
3. MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1. METODOLOGÍA DE CAMPO	36
3.2. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS.....	39
3.3. PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO.....	39
3.4. ANÁLISIS DE DATOS	40
3.4.1. Densidad relativa.....	40
3.4.2. Índices Ecológicos	41
3.4.3. Análisis de variables fisicoquímicas.	42
3.4.4. Análisis de Correspondencia.	42
4. RESULTADOS	43

4.1.	VARIABLES BIOLÓGICAS.....	43
4.1.1.	Composición General	43
4.1.2.	Muestreo 1. Septiembre de 2012 (Altas precipitaciones)	47
4.1.3.	Muestreo 2: Diciembre de 2012 (Bajas precipitaciones)	53
4.1.4.	MICROHÁBITAT DE ALGAS PERIFÍTICAS.....	58
4.2.	ÍNDICES ECOLÓGICOS	61
4.2.1.	Índices de diversidad a nivel general (Septiembre y Diciembre)	61
4.2.2.	Índices de diversidad por estaciones.....	62
4.2.3.	Índices de diversidad a nivel de sustratos	63
4.2.4.	Índices de diversidad a nivel temporal.....	64
4.2.5.	Índices de diversidad de sustratos a nivel temporal	66
4.2.6.	Índices de diversidad de sustratos por estación a nivel temporal.....	68
4.3.	VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS.....	71
4.3.1.	ANOVA de Kruskal-Wallis	72
4.3.2.	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)	76
4.3.3.	ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA ENTRE VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y LA COMUNIDAD FITOPERIFÍTICA DE LA CUENCA DEL RÍO ALVARADO.....	84
5.	DISCUSIÓN.....	89
5.1.	VARIABLES BIOLÓGICAS.....	89
5.2.	ÍNDICES ECOLÓGICOS	92
5.3.	VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS.....	94
6.	CONCLUSIONES.....	97

RECOMENDACIONES	99
REFERENCIAS	100
ANEXOS	112

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Investigaciones realizadas a nivel mundial sobre la comunidad fitoperifítica.	23
Cuadro 2. Investigaciones realizadas en Suramérica.....	25
Cuadro 3. Investigaciones realizadas en Colombia sobre aspectos generales y algunos registros taxonómicos del Perifiton.....	27
Cuadro 4. Investigaciones realizadas en el departamento del Tolima sobre variables biológicas, fisicoquímicas e hidrológicas en la comunidad fitoperifítica.	32

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones muestreadas en la cuenca del río Alvarado-Tolima.....	36
Tabla 2. Composición taxonómica de la comunidad fitoperifítica registrada en las 9 estaciones de muestreo en la cuenca del río Alvarado-Tolima durante septiembre y diciembre de 2012.....	43
Tabla 3. Composición taxonómica de la comunidad fitoperifítica registrada en las 9 estaciones de muestreo en la cuenca del río Alvarado-Tolima, durante el mes de septiembre de 2012.....	48
Tabla 4. Composición taxonómica de la comunidad fitoperifítica registrada en las 9 estaciones de muestreo en la cuenca del río Alvarado-Tolima, durante el mes de diciembre de 2012.....	54
Tabla 5. Parámetros bacteriológicos analizados en las nueve estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado en el mes de septiembre de 2012.....	71
Tabla 6. Parámetros bacteriológicos analizados en las nueve estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado en el mes de diciembre de 2012.....	72
Tabla 7. ANOVA de Kruskal-Wallis para los 19 parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos analizados en las 9 estaciones de la cuenca del río Alvarado en septiembre y diciembre de 2012.....	73
Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos analizados en nueve estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado en septiembre de 2012.....	74
Tabla 9. Parámetros fisicoquímicos analizados en nueve estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado en diciembre de 2012.....	75
Tabla 10. Factores en el ACP de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados en la cuenca del río Alvarado en septiembre de 2012.....	76
Tabla 11. Contribuciones de las variables fisicoquímicas y bacteriológicas en los factores 1, 2 y 3 del análisis de componente principal en septiembre de 2012.....	77
Tabla 12. Factores en el ACP de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluadas en la cuenca del río Alvarado en diciembre de 2012.....	80

Tabla 13. Contribuciones de las variables fisicoquímicas y bacteriológicas en los factores 1, 2 y 3 del análisis de componente principal en diciembre de 2012. 80

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del río Alvarado (Tolima) y sus principales tributarios.	37
Figura 2. Sustratos evaluados y materiales usados para la colecta del fitoperifiton. Roca (A), Tronco (C) y material de colecta (B).....	38
Figura 3. Densidad relativa de las clases del perifiton evaluadas en las 9 estaciones de muestreo en la cuenca del río Alvarado, durante septiembre y diciembre de 2012.	45
Figura 4. Densidad relativa a nivel espacial de la comunidad fitoperifítica en las 9 estaciones evaluadas de la cuenca del río Alvarado (Tolima) durante los periodos comprendidos entre septiembre y diciembre de 2012.....	46
Figura 5. Distribución temporal del perifiton en las 9 estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado durante septiembre (Altas precipitaciones) y diciembre (bajas precipitaciones) de 2012.	47
Figura 6. Densidad relativa de las clases del perifiton evaluadas en las 9 estaciones de muestreo en la cuenca del río Alvarado durante septiembre de 2012.	50
Figura 7. Distribución altitudinal de los géneros de la clase Bacillariophyceae encontrados en la cuenca del río Alvarado durante septiembre de 2012 (Altas precipitaciones).	51
Figura 8. Distribución altitudinal de los géneros de las clases Chlorophyceae y Conjugatophyceae encontrados en la cuenca del río Alvarado durante septiembre de 2012 (Altas precipitaciones).	52
Figura 9. Distribución altitudinal de los géneros de las 6 clases restantes de la comunidad fitoperifítica evaluada en la cuenca del río Alvarado durante septiembre de 2012 (Altas precipitaciones).	52
Figura 10. Distribución espacial de la comunidad fitoperifítica en las 9 estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado durante septiembre (altas precipitaciones) de 2012.	53

Figura 11. Densidad relativa de las clases del perifiton evaluadas en las 9 estaciones de muestreo en la cuenca del río Alvarado durante diciembre de 2012.	55
Figura 12. Distribución altitudinal de los géneros de la clase Bacillariophyceae encontrados en la cuenca del río Alvarado durante diciembre de 2012 (bajas precipitaciones).	56
Figura 13. Distribución altitudinal de los géneros de las clases Chlorophyceae y Conjugatophyceae encontrados en la cuenca del río Alvarado durante diciembre de 2012 (bajas precipitaciones).	57
Figura 14. Distribución altitudinal de los géneros de las clases Cryptophyceae y Cyanophyceae encontrados en la cuenca del río Alvarado durante diciembre de 2012 (bajas precipitaciones).	57
Figura 15. Distribución espacial de la comunidad fitoperifítica en las 9 estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado durante diciembre (Bajas precipitaciones) de 2012.	58
Figura 16. Distribución de la comunidad fitoperifítica en dos sustratos naturales en la cuenca del río Alvarado durante septiembre (altas precipitaciones) y diciembre (bajas precipitaciones) de 2012.	59
Figura 17. Densidad relativa del perifiton en los sustratos naturales (roca y tronco) en las 9 estaciones evaluadas en la cuenca del río Alvarado durante septiembre de 2012.	60
Figura 18. Densidad relativa del perifiton en los sustratos naturales (roca y tronco) en las 9 estaciones evaluadas en la cuenca del río Alvarado durante diciembre de 2012.	60
Figura 19. Índice de riqueza de Margalef, dominancia de Simpson y Shannon-Wiener de la comunidad fitoperifítica de la cuenca del río Alvarado durante septiembre y diciembre de 2012.	61
Figura 20. Índice de riqueza de Margalef, dominancia de Simpson y Shannon-Wiener de la comunidad fitoperifítica de la cuenca del río Alvarado por estaciones durante septiembre y diciembre de 2012.	62
Figura 21. Índice de riqueza de Margalef, dominancia de Simpson y Shannon-Wiener en la comunidad fitoperifítica, en los diferentes sustratos muestreados de la cuenca del río Alvarado durante septiembre y diciembre de 2012.	63

Figura 22. Índice de riqueza de Margalef, dominancia de Simpson y Shannon-Wiener de la comunidad fitoperifítica de la cuenca del río Alvarado durante septiembre de 2012.	64
Figura 23. Índice de riqueza de Margalef, dominancia de Simpson y Shannon-Wiener de la comunidad fitoperifítica de la cuenca del río Alvarado durante el mes de diciembre de 2012.	65
Figura 24. Índice de riqueza de Margalef, dominancia de Simpson y Shannon-Wiener de la comunidad fitoperifítica, en los diferentes sustratos muestreados de la cuenca del río Alvarado en el mes septiembre de 2012.	66
Figura 25. Índice de riqueza de Margalef, dominancia de Simpson y Shannon-Wiener de la comunidad fitoperifítica, en los diferentes sustratos muestreados de la cuenca del río Alvarado en el mes diciembre de 2012.	67
Figura 26. Índice de riqueza de Margalef, dominancia de Simpson y Shannon-Wiener de la comunidad fitoperifítica, en los diferentes sustratos muestreados por estación en la cuenca del río Alvarado en el mes de septiembre de 2012.	69
Figura 27. Índice de riqueza de Margalef, dominancia de Simpson y Shannon-Wiener de la comunidad fitoperifítica, en los diferentes sustratos muestreados por estación en la cuenca del río Alvarado en el mes de diciembre de 2012.	70
Figura 28. Diagrama de dispersión de las variables analizadas en los componentes I, II y III en la cuenca del río Alvarado en septiembre de 2012.	78
Figura 29. Diagrama de dispersión de las estaciones de acuerdo a los parámetros fisicoquímicos medidos en la cuenca del Alvarado en septiembre de 2012.	79
Figura 30. Diagrama de dispersión de las variables analizadas en los componentes I, II y III en la cuenca del río Alvarado en diciembre de 2012.	82
Figura 31. Diagrama de dispersión de las estaciones de acuerdo a los parámetros fisicoquímicos medidos en la cuenca del Alvarado en diciembre de 2012.	83
Figura 32. Análisis de Correspondencia Canónica entre variables fisicoquímicas y la comunidad fitoperifítica en las diferentes estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado en los periodos de muestreo (septiembre y diciembre de 2012).	84
Figura 33. Análisis de Correspondencia Canónica entre variables fisicoquímicas y la comunidad fitoperifítica en las diferentes estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado en septiembre de 2012.	86

Figura 34. Análisis de Correspondencia Canónica entre variables fisicoquímicas y la comunidad fitoperifítica en las diferentes estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado en diciembre de 2012..... 87

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de campo de la cuenca.....	112
Anexo 2. Prueba t-diversidad de Shannon	113
Anexo 3. Registro fotográfico de las 9 estaciones evaluadas en la cuenca del río Alvarado Tolima en los meses de septiembre y diciembre de 2012.	114
Anexo 4. Géneros encontrados de la clase Bacillariophyceae en la cuenca del río Alvarado-Tolima en los meses de septiembre y diciembre de 2012.	115
Anexo 5. Géneros encontrados de la clase Chlorophyceae en la cuenca del río Alvarado-Tolima en los meses de septiembre y diciembre de 2012.....	117
Anexo 6. Géneros encontrados de la clase Conjugatophyceae en la cuenca del río Alvarado-Tolima en los meses de septiembre y diciembre de 2012.	118
Anexo 7. Géneros encontrados de la clase Cyanophyceae en la cuenca del río Alvarado-Tolima en los meses de septiembre y diciembre de 2012.....	119
Anexo 8. Géneros encontrados de la clase Ulvophyceae en la cuenca del río Alvarado-Tolima en los meses de septiembre y diciembre de 2012.....	120
Anexo 9. Densidad relativa de los géneros en las nueve estaciones de muestreo evaluadas durante septiembre de 2012.	121
Anexo 10. Densidad relativa de los géneros en las nueve estaciones de muestreo evaluadas durante diciembre de 2012	122
Anexo 11. Análisis de correlación de Pearson para el periodo de septiembre y diciembre.	123
Anexo 12 (a). Efectos condicionantes del análisis de correspondencia canónica en las dos épocas evaluadas, en la cuenca del río Alvarado y sus tributarios.	125

RESUMEN

El fitoperifiton es importante para la estructura y funcionamiento de los ecosistemas lóticos debido a su contribución a la producción primaria, lo cual lo posiciona de manera importante ya que son de interés ecológico por los patrones de distribución como respuesta a las condiciones ambientales. Durante este estudio se evaluó la composición y estructura de la comunidad fitoperifítica en la cuenca del río Alvarado (Tolima) y su posible relación con algunas características fisicoquímicas del río, durante dos muestreos (septiembre y diciembre) en periodos climáticos contrastantes. Se muestrearon nueve estaciones ubicadas a lo largo del río Alvarado y sus principales tributarios. En cada punto de muestreo se realizaron dos raspados de la superficie correspondiente al área de un portaobjetos ($0,093 \text{ m}^2$), en los sustratos naturales (roca y tronco), mediante el uso de cepillos plásticos. El fitoperifiton colectado estuvo representado por seis phylum, nueve clases, 26 órdenes, 35 familias y 43 géneros. Los géneros más representativos en términos de densidad relativa fueron *Navicula* (24,52%), *Fragilaria* (11,89%), *Nitzschia* (8,92%) y *Cocconeis* (7,80%). La clase Bacillariophyceae fue la de mayor distribución altitudinal desde 351 a 1057 m, mientras que la clase Ulvophyceae se encontró restringida a los 697 m. Las localidades con mayor diversidad y riqueza fueron río Alvarado-Puente ($H' = 2,562$; $\lambda = 0,1$; $Mg = 2,892$) y quebrada Chumba ($H' = 2,304$; $\lambda = 0,14$; $Mg = 2,468$), mientras que quebrada Chembe ($H' = 1,928$; $\lambda = 0,21$; $Mg = 1,719$) y río Alvarado-Caldas Viejo ($H' = 1,735$; $\lambda = 0,3035$; $Mg = 1,63$), registraron los valores más bajos. A nivel temporal, el periodo de septiembre (altas precipitaciones) reportó las mayores densidades (58,93%), y valores altos de diversidad y riqueza ($H' = 2,767$; $Mg = 4,156$), así mismo, el sustrato tronco presentó el mayor valor de diversidad y riqueza ($H' = 2,723$; $Mg = 4,139$). Según el análisis de correspondencia canónica, las variables fisicoquímicas que determinaron de manera significativa en el ensamblaje de la comunidad algal en esta cuenca, especialmente sobre los géneros *Nitzschia*, *Gomphonema* y *Synedra* fueron, en su orden, sólidos totales, dureza, conductividad eléctrica, pH y alcalinidad, las cuales influyeron de manera significativa en la distribución en la comunidad fitoperifítica en la cuenca del río Alvarado y sus tributarios.

Palabras claves: diversidad, distribución altitudinal, fitoperifiton, río Alvarado.

SUMMARY

The phytoplankton is important for the structure and functioning of aquatic ecosystems because of their contribution to primary production, which positions it an important way since ecological interest are the distribution patterns in response to environmental conditions. The composition and structure of the community phytoplanktonic Alvarado river basin (Tolima) and its possible relation to some physico-chemical characteristics of the river for two surveys (September and December) in contrasting climatic periods were evaluated. Nine stations along the Alvarado river and its major tributaries were sampled. At each sampling point two were made scrapings corresponding to a storage area (0.093 m²), on the natural substrates (rock and wood), by using brushes plastic surface. The collected phytoplankton was represented by six phylum, nine classes, 26 orders, 35 families and 43 genera. The most representative genres in terms of relative density were *Navicula* (24.52%), *Fragilaria* (11.89%), *Nitzschia* (8.92%) and *Cocconeis* (7.80%). The Bacillariophyceae class was the most altitudinal distribution from 351-1057 m, while the Ulvophyceae class was limited to 697 m. Localities with greater diversity and richness was river Alvarado-Puente ($H' = 2.562$, $\lambda = 0.1$, $Mg = 2,892$) and creek Chumba ($H' = 2.304$, $\lambda = 0.14$, $Mg = 2.468$), while creek Chembe ($H' = 1.928$, $\lambda = 0.21$, $Mg = 1,719$) and river Alvarado-Caldas-Viejo ($H' = 1.735$, $\lambda = 0.3035$, $Mg = 1.63$) recorded the lowest values. In a temporal level, the period from September reported the highest densities (58.93%) and high values of richness and diversity ($H' = 2.767$, $Mg = 4,156$), likewise, the substrate stem had the highest value of diversity and richness ($H' = 2.723$; $Mg = 4,139$). The physicochemical variables that significantly determined the algal community in this watershed, especially the genera *Nitzschia*, and *Synedra*, *Gomphonema* were, in order, total solids, hardness, electrical conductivity, pH and alkalinity, which significantly influenced the distribution in the community phytoplanktonic of the Alvarado river basin and its tributaries.

Keywords: diversity, altitudinal distribution, phytoplanktonic community, Alvarado river.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos son altamente complejos y de suma importancia ya que albergan una gran cantidad de organismos y almacenan una de las moléculas más importantes en el planeta, el agua. En la actualidad estos ecosistemas se están deteriorando principalmente a causa de impactos de tipo antropogénico, como por ejemplo el uso irracional del agua, la descarga de residuos líquidos y sólidos provenientes de algunas actividades como la minería, generación de energía, canalización entre otros (Goulart et al., 2009), que afectan directamente las comunidades acuáticas.

El perifiton hace parte de estos ecosistemas y se define como una comunidad compleja de microorganismos vivos (algas, bacterias, hongos, animales, detritos orgánicos e inorgánicos) adherida o fijados a un sustrato, que puede ser orgánico o inorgánico, vivo o muerto (Wetzel, 1983). Sin embargo, debido a la gran complejidad que encierran las comunidades perifíticas, en las últimas décadas se ha considerado al perifiton como un biofilm, biopelícula o película microbiana que resulta del proceso de colonización, crecimiento y metabolismo celular microbiano (Roldan & Ramírez, 2008).

Las microalgas perifíticas son importantes para la estructura y funcionamiento de los ecosistemas lóticos por ser el principal punto de entrada de la energía, se encargan de la producción de metabolitos orgánicos que alimentan diversos organismos en la red trófica, contribuyen con más del 70% de la materia orgánica a la productividad total, presentan altas tasas de reciclaje de nutrientes, proporcionan abrigo y alimento a varios tipos de organismos, principalmente a peces (Montoya & Ramírez, 2007).

En Colombia, los estudios sobre el perifiton se han realizado principalmente en ecosistemas lénticos; mientras que son pocos los trabajos asociados con la diversidad, estructura y distribución de las comunidades perifíticas en ríos (Bustamante et al., 2008). En el departamento del Tolima se destacan los estudios de Villa et al., (1998); Guevara et al., (2006) en el río Combeima y Gualtero & Trilleras (2001) en el embalse de Prado.

En el río Alvarado se han evaluado las comunidades de macroinvertebrados acuáticos y peces (Albornoz et al., 2013; Conde et al., 2013; Rojas et al., 2013; Lozano et al., 2013; Duarte et al., 2013 & Forero et al., 2013), sin embargo el fitoperifiton no ha sido estudiado en esta área, Se ha concluido de manera general que la cuenca Alvarado es importante para las comunidades de los municipios de Alvarado e Ibagué debido a que abastece de agua el sector urbano y el riego agrícola (Cortolima, 2009); por lo tanto está influenciado por la presencia de asentamientos urbanos y depósitos de desechos cuya principal consecuencia ha sido la reducción sustancial de las comunidades acuáticas.

De acuerdo con lo anterior y sumado a la importancia del perifiton como indicador de la calidad del agua y en su capacidad para responder a los cambios fisicoquímicos, es necesario realizar estudios sobre la comunidad fitoperifítica en los ecosistemas acuáticos que permitan evaluar y determinar los cambios a nivel espacial que presentan estos cuerpos de agua y de las comunidades que hacen parte de ellos. El propósito de esta investigación fue establecer la composición y estructura de la comunidad fitoperifítica en la cuenca del río Alvarado y su posible relación con las variables fisicoquímicas.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer la composición y estructura de la comunidad fitoperifítica en la cuenca del río Alvarado (Tolima) y su posible relación con algunas variables fisicoquímicas del río.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar hasta el mínimo nivel taxonómico posible la comunidad fitoperifítica de la cuenca del río Alvarado.

Estimar la composición a nivel espacial y temporal de la comunidad fitoperifítica en las localidades evaluadas en la cuenca del río Alvarado.

Establecer las posibles relaciones entre la comunidad fitoperifítica y algunas variables físicas y químicas de las localidades evaluadas.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. ANTECEDENTES

En los siguientes cuadros se presentan algunos estudios realizados a nivel mundial (Cuadro 1), Suramérica (Cuadro 2), Colombia (Cuadro 3) y en el departamento del Tolima (Cuadro 4).

Cuadro 1. Investigaciones realizadas a nivel mundial sobre la comunidad fitoperifítica.

MUNDIAL		
Año	Autor (es)	Aportación
1999	Busse, S., Jahn, R & Schulz, C.	En este estudio, los autores discutieron el efecto de desalinización sobre la comunidad de diatomeas bénticas en ríos del norte de Thuringia, Alemania.
2003	Casco, M.A & Tola, J.	Evalúan los efectos de la perturbación por la fluctuación del nivel del agua en la biomasa y la diversidad del embalse de La Minilla (España).
2006	Chou, J.Y., Sheng, J.C. & Wang, W.L.	Reportan por primera vez un género y especie de macroalga (<i>Hydrodictyon reticulatum</i>) en Taiwán.
2007	Rodríguez, M.P & López, C.	Realizaron el estudio de diatomeas y calidad del agua de los ríos del Macizo Central de Gallego-España, mediante la aplicación de índices diatomológicos.
2007	Gualtero, D.M.	Analizó la variación temporal de comunidad epilítica de sistemas lóticos de Puerto Rico, con énfasis en las

		diatomeas, y sus relaciones con algunos parámetros fisicoquímicos de estos cuerpos de agua.
2008	Silva, A.M., Sili, C., & Torzillo, G.	Describen las poblaciones naturales y de cultivo de cianobacterias, clorofíceas y diatomeas de varios ríos de Costa Rica, con el fin de contribuir al conocimiento de las microalgas bentónicas de una zona tropical.
2009	Ortega et al.	Analizaron el estado trófico que presenta actualmente el lago en Michoacán (México).
2012	Rovira et al.	Los autores evalúan la distribución de las asociaciones de diatomeas bentónicas y su relación con los factores ambientales en un estuario altamente estratificado del Mediterráneo (estuario del Ebro).
2013	Porter, E., Frost, P & Xenopoulos, M.	En este trabajo, los autores evaluaron 41 arroyos ubicados en el sur de Ontario (Canadá) donde estudiaron los cambios de la composición de las comunidades de diatomeas bentónicas ante la influencia de la salinidad.

Cuadro 2. Investigaciones realizadas en Suramérica.

SURAMÉRICA		
Año	Autor (es)	Aportación
1989	Cruz, V & Salazar, P.	Analizaron el aporte mensual promedio de biomasa de perifiton al sistema, durante el periodo de inundación en la sabana inundable de Mantecal (Venezuela).
2001	Branco, L.H., Necchi, O & Branco, C.	En un estudio, los autores demostraron que las cianobacterias se pueden desarrollar en entornos con medios a baja concentración de iones y condiciones de estrés de nutrientes en ecosistemas loticos del estado de São Paulo.
2005	Pizarro, H & Alemanni, M.E	Estudiaron la influencia en la biomasa del perifiton y algunas variables fisicoquímicas en sustratos artificiales en el tramo inferior del Río Luján-Argentina.
2005	Vouilloud, A., Sala, S & Sabbatini, M.R.	En la cuenca del río Sauce Grande se registra algunos taxones de diatomeas perifíticas, que se citan por primera vez para Argentina.
2010	Giorgi, A & Feijoó, C.	Evalúan la variación temporal de la biomasa de perifiton sobre <i>Egeria densa</i> en el arroyo Las flores-Argentina.
		En este estudio se analizó la composición específica y distribución espacio-temporal de algas epilíticas y su

2011	Amaidén & Gari	relación con variables físico-químicas, en un mesohábitat de corredera de un arroyo serrano (suroeste de Río Cuarto, Córdoba-Argentina).
2013	Sar et al.	Este estudio está enfocado en el análisis de la morfología, taxonomía y distribución de las especies pertenecientes al género de diatomeas <i>Pleurosigma</i> W. Smith presentes en aguas marinas costeras de la Argentina.

Cuadro 3. Investigaciones realizadas en Colombia sobre aspectos generales y algunos registros taxonómicos del Perifiton.

COLOMBIA		
Año	Autor (es)	Aportación
1999	Sala, E., Duque, S., Avellaneda, M., & Lamaro, A.	Se realizó una revisión de algunos taxones de los órdenes centrales y pennales. Se citan por primera vez para la cuenca amazónica colombiana. Cuatro de ellos, <i>Aulacosiera granulata</i> varo <i>enquistissime</i> , <i>Achnanthes intlete</i> , <i>Gyrosigma spencerii</i> y <i>Stauroneis phoenicenteron</i> se registran por primera vez en Colombia.
2000	Castillo-León, C.T	En la Zona litoral cerca de los lagos Yahuaraca y Tarapoto mediante el diseño de un sistema de sustratos artificiales, se cuantifico la productividad primaria fitoperifitica por clorofila a, en tres periodos hidrológicos, aguas bajas, ascenso y altas o desborde; y a diferentes profundidades; determinando estos factores tienen un efecto sobre la productividad y la biomasa fitoperifitica en relación con la mineralización de las aguas, el transporte de nutrientes de los afluentes.
		Estos autores desarrollaron un estudio en la ensenada de Utría (Pacífico)

2002	Peña, V. & Pinilla, G. A.	Colombiano), con el propósito de caracterizar la composición, distribución y abundancia de la comunidad fitoplanctónica, se llevó a cabo un estudio que reveló la presencia de especies estuarinas, neríticas y oceánicas.
2004	Díaz, C. & Rivera, C. A.	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.
2005	Zapata-Anzola, A & Donato-Rondón, J.C.	En el río Tota-Boyacá se evaluó como la velocidad de la corriente y otras variables ambientales direccionan a los cambios diarios de composición y la abundancia del perifiton en sustratos artificiales.
2006	Arcos-Pulido, M.P. & Gómez-Prieto, A. C.	En un humedal en Bogotá D.C se encontraron diferencias espacio-temporales en términos de composición y abundancia, la distribución y sucesión de los grupos de microalgas durante las etapas de colonización, además de indicar el proceso de eutrofización por el que atraviesa el humedal, así como, el estado de sus aguas que se encuentran medianamente contaminadas y muy contaminadas en algunos sectores.
		En este estudio se evaluó la distribución y abundancia de la comunidad de microalgas asociadas al perifiton del Río

2008	Bustamante, C. A., Dávila, C. A., Torres, S.L & Ortiz, J.F.	Quindío, determinándose la existencia de tres divisiones Bacillariophyta, Chlorophyta y Cyanophyta con dominancia de las diatomeas, adicionalmente se observó que las limitaciones de la comunidad estuvieron asociadas con las condiciones climáticas, físicoquímicas, tróficas, hidrodinámicas y geomorfológicas que presenta el río Quindío en su trayecto.
2008	Montoya-Moreno, Y & Aguirre-Ramírez, N.	Se evaluaron los gremios de algas perifíticas (ficoperifiton) que se desarrollan alrededor de las principales macrófitas acuáticas de la Ciénaga de Paticos, donde se reportan 43 especies perifíticas, predominando las diatomeas, en las raíces de macrófitas.
2008	Sala, S. E. & Ramírez, J. J.	Se evaluó las diatomeas provenientes de sistemas lénticos y lóticos andinos de los departamentos de Antioquia, Santander y Chocó-Colombia, se encontraron los órdenes Thalassiosirales (1), Aulacoseirales (1), Fragilariales (4), Cymbellales (7), Achnanthes (2), Naviculales (7) y Thalassiophysales (1), donde se registraron por primera vez en Colombia y América del Sur.
2009	Vidal, L. A., Noguera, C., Camacho, O., & Bohórquez, D.	Se registra por primera vez viviendo en tubos sobre el sustrato rocoso para la región de Santa Marta en la costa Caribe

		Colombiana la especie <i>Nitzschia martiana</i> (Agardh) Van Heurck (Bacillariophyceae).
2010	Lozano, Y, Vidal, L, & Navas, G.	Los autores realizaron una revisión bibliográfica de información disponible sobre las especies registradas de diatomeas (Bacillariophyta) para las zonas costera y oceánica del mar Caribe colombiano, donde presenta un listado de 337 taxones correspondientes a 312 especies, 19 variedades y siete formas, agrupadas en 54 familias y 106 géneros.
2010	Morales, S, Donato, J & Castro, M.	En el incremento de nutrientes en la adición de amonio (NH_4^+) y fosfatos (PO_4^{3-}) sobre la estructura de una comunidad de diatomeas en sustratos artificiales en el sector medio del río Tota (Boyacá, Colombia).
2010	Pinilla, A, Duarte C, & Vega, L.	Se determinó el Índice de Estado Limnológico (IEL) para las ciénagas del Canal del Dique, estableciendo que el estado limnológico de la mayoría de ciénagas de esta región es aceptable.
2011	Mejía, D.	En el humedal Jaboque (Bogotá-Colombia) se estudió la composición, diversidad y variaciones espacio-temporales de las diatomeas perifíticas presentes, se evaluaron algunas características físicas y químicas del agua.
		En tres puntos del sector medio del río Tota-Boyacá, se evaluaron las

2011	Pedraza, E & Donato, J.	comunidades asociadas a los coriotopos hojarasca, tronco y roca, donde permitió establecer la estructura de las diatomeas bénticas y los factores ambientales que la determinan en diferentes tramos y sustratos ubicados a largo del río.
2012	Montoya et al	En esta publicación se dan a conocer algunas especies abundantes o de amplia distribución en el área de estudio, las que fueron analizadas empleando microscopía óptica y electrónica de barrido.
2012	Montoya-Moreno & Aguirre	Se realizaron nueve muestreos donde se evaluó la variación espacial y temporal de los ensambles de algas epifíticas asociadas con raíces de macrófitas durante tres ciclos hidrológicos en la planicie inundable de Ayapel.
2013	Andramunio-Acero, C.	Se instalaron láminas de acetato en dos ambientes de sistema lagunar de Yahuaraca (Amazonas), para estimar la sucesión o dinámica de las algas perifíticas.

Cuadro 4. Investigaciones realizadas en el departamento del Tolima sobre variables biológicas, fisicoquímicas e hidrológicas en la comunidad fitoperifítica.

TOLIMA		
Año	Autores (es)	Aportación
1998	Villa, F, Losada, S & Quintana, M.	Los autores estudiaron las Bacillariophyceae asociadas al perifiton del río Combeima (Tolima), donde identificaron 25 especies pertenecientes a 6 familias. Además observaron una baja correlación entre los parámetros fisicoquímicos medidos y el índice de Riqueza de Margalef en todas las estaciones a lo largo del estudio.
1998	Villa, F, Losada, S & Quintana, M.	Se evaluó el estado actual del río Combeima con el propósito de establecer las fluctuaciones de las diferentes comunidades bióticas que forman parte del perifiton durante un periodo de 6 meses.
2001	Gualtero, D & Trilleras, J.	Los autores estimaron la estructura, productividad primaria y la biomasa perifítica del embalse de Prado. Para esto se ubicaron 24 muestreadores que fueron retirados quincenalmente para analizar la composición, productividad (mg/m^2), biomasa (g/m^2), concentración de clorofila (mg/m^2) y feofitina (mg/m^2), se presentaron 76 especies fitoperifíticas y

		54 zooperifíticas que colonizaron exitosamente los sustratos instalados.
2006	Guevara, G, Reinoso, G, & Villa, F.	En dos zonas del río Combeima (Juntas y Chapetón) se evaluó la dinámica espacial y temporal de la comunidad zooperifítica con la utilización de sustratos artificiales que reflejen la variación en su composición y abundancia, distribución temporal y adaptaciones a sustratos.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Generalidades del perifiton. El termino perifiton se adopta para designar a una comunidad compleja de microbiota (algas, bacterias, hongos, insectos y detritus orgánico e inorgánico) que está adherida a un sustrato, que puede ser orgánico e inorgánico, vivo o muerto (Wetzel, 1983). La mayoría de los organismos del perifiton presentan diversas adaptaciones para la fijación (Roldán, 1992; Bouchard & Anderson, 2001).

Desde el punto de vista de la región, el perifiton de aguas lóaticas se ubica en la zona de rabiones, donde es muy difícil distinguirla del bentos (Roldan & Ramírez, 2008). En cuanto a las adaptaciones morfológicas las algas epifíticas se adhieren a las plantas por medio de sustancias pegajosas o gelatinosas, cojines de adherencia, tallos o rizoides en la base de los filamentos, organizados a manera de campana (Roldán, 1992). Las algas epipélicas en su mayoría son móviles o pueden formar agregados de filamentos celulares con los cuales flotan en la superficie del sedimento.

Las fluctuaciones diarias y estacionales en la biomasa del perifiton se deben a la contribución e interacción de distintos factores que afecten el desarrollo. Los principales factores que determinan el desarrollo de la comunidad perifítica son: temperatura, luz, nutrientes, fosfatos, nitratos, sílice, pH, sustrato (naturaleza química, grado de rugosidad

y estructuras de adhesión), turbulencia e interacciones biológicas (Roldan, 1992); sin embargo, Bellinger & Sigeo (2010) mencionan que el desarrollo de la composición de las comunidades es en respuesta al flujo, la química natural, la eutrofización y la contaminación tóxica del agua, y el pastoreo.

2.2.2. Organización taxonómica. De acuerdo a Ramírez (2000), las divisiones algales del perifiton más representativas del agua dulce son seis phylum: Bacillariophyta, Cyanophyta, Euglenophyta, Cryptophyta, Chrysophyta, Pyrrophyta y Chlorophyta. De las cuales las clases más representativas son las siguientes:

Bacillariophyceae. Mejor conocidas como diatomeas, son las algas más importantes del plancton de muchos lagos. El grupo comprende formas unicelulares o de vida colonial, cuya característica más notable es la de poseer una cubierta pectínica impregnada de sílice, en cantidades variables, denominada frústula, la cual está formada por dos mitades o tecas que se unen una a la otra como la tapa y el fondo de una caja. La superior se denomina epiteca y la inferior, hipoteca. La frústula posee poros muy finos ordenados en patrones característicos (Roldan & Ramírez, 2008).

Chlorophyceae. Se denominan también algas verdes. Constituyen un grupo muy amplio y variado de algas unicelulares, de vida colonial y filamentosa. Su color es verde intenso debido a que las clorofilas *a* y *b* enmascaran a los carotenos y xantofilas. En los pirenoides situados en los cloroplastos almacenan almidón como sustancia de reserva. Algunas clorofíceas son desnudas, pero la mayoría posee una pared celular formada por dos o más capas; la interna es celulósica y la externa es pectínica (Roldan & Ramírez, 2008).

Cyanophyceae. Las algas verde-azules se han denominado también Myxophyta, Schizophyta y Cianobacterias, dada su afinidad con las bacterias respecto a la organización procariótica. Sin embargo, el tamaño es su diferencia fundamental, pues las algas verde-azules son de mayor tamaño que las bacterias. Además, mientras la mayoría de las cianofitas son productores primarios del plancton, muy pocas bacterias lo son. Estas algas predominantes en aguas continentales, aunque hay muchas especies

marinas Ramírez (2000). Roldan (1992), presentó una clasificación de las algas de acuerdo con el tipo de sustrato en el cual viven, llama "epipélicas" a las que viven sobre el fango, siendo representadas principalmente por diatomeas. "epilícticas", como aquellas que viven sobre piedras u objetos similares y, "epifíticas" son las que viven sobre plantas, bien sea adherida a la superficie.

2.2.3. Importancia del perifiton como indicador de la calidad del agua. Existen diferentes factores que contribuyen a la disminución de la calidad del agua; entre los más importantes se encuentran la actividad industrial, las prácticas agrícolas intensivas y la explosión demográfica, que incrementan la demanda por el suministro de agua doméstico. Las leyes, las regulaciones y los programas de manejo surgieron para reducir el daño antropogénico a los sistemas acuáticos. Sin embargo, al comienzo, el componente biológico fue ignorado o simplemente se implementaron políticas con estrechas concepciones de las condiciones biológicas (Naiman & Bilby, 2001).

En los ríos, las algas bénticas poseen características que las hacen ideales como indicadores de la calidad del agua, gracias a que la composición de especies está relacionada con las características del sistema acuático (Roldan & Ramírez, 2008). Por tener ciclos de vida cortos, las algas responden rápidamente a los cambios en las condiciones ambientales. Las formas de crecimiento sésil sobre el sustrato no les permiten evitar los contaminantes, y por tanto toleran el ambiente o fallecen (Hauer & Lamberti, 1996; Wunsam et al., 2002; Hering et al., 2006).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA DE CAMPO

3.1.1. Área de estudio. El río Alvarado, pertenece a la cuenca del río La China, que a su vez hace parte de la cuenca mayor del río Totare en el departamento del Tolima. Presenta un área de 29988,14 hectáreas, un perímetro de 91,66 Km y una longitud del cauce de 55,06 Km, de acuerdo a lo establecido por Holdridge (1971) y el IAvH (1998) esta cuenca se localiza dentro del ecosistema de Bosque Seco Tropical. Debido a su ubicación, fertilidad de sus suelos y condiciones ecológicas, las zonas boscosas de esta cuenca han sido reemplazadas por grandes zonas de cultivo, pastos para ganadería y urbanización (Cortolima, 2009). Los principales afluentes del río Alvarado son Santo Domingo, El Neme, Mercadillo, El Ceboso, La Leona, Acedratas, San Isidro, El Guayabo, La Totuma, Trujillo, Amesitas, El Lazo, El Retiro, Peñonosa, La Babillera, Cachipa, Cocare, La Caima y Del Valle (Espinosa et al., 2005) (Figura 1).

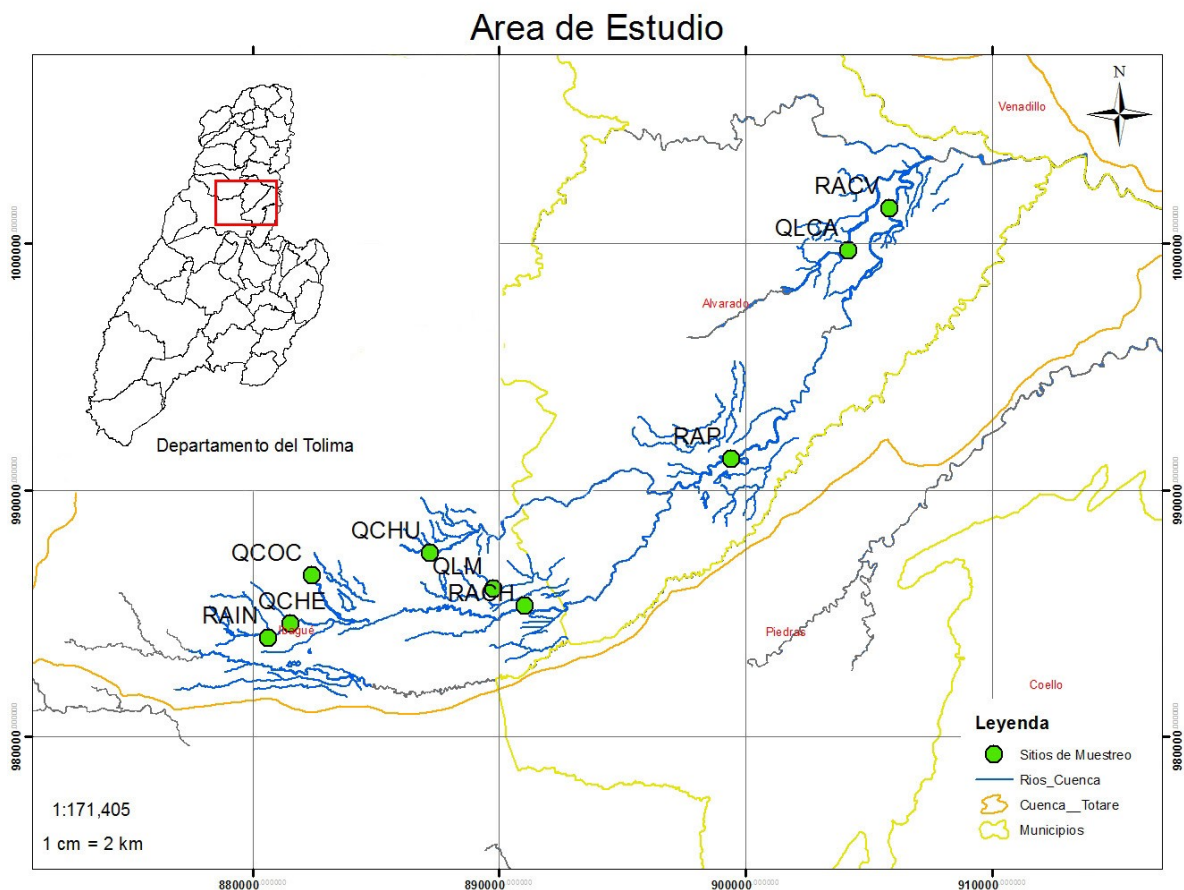
3.1.2. Zonas de Muestreo. En el estudio se seleccionaron nueve estaciones ubicadas en los tributarios y cauce principal a lo largo de la cuenca del río Alvarado, que van desde los 351 a los 1057 m (Anexo 3). Los muestreos se llevaron a cabo trimestralmente, se seleccionaron dos tipos de sustratos (roca y tronco), donde se realizó la colecta del material biológico; cada una de las estaciones fue descrita mediante el diligenciamiento de una ficha de campo (Anexo 1) y referenciada con un geoposicionador satelital (GPS) GARMIN- 60CSx (Tabla 1).

Tabla 1. Estaciones muestreadas en la cuenca del río Alvarado-Tolima

No	ESTACIÓN	SIGLA	Altura (m)	Coordenadas	
				N	W
1	Río Alvarado-Caldas Viejo	RACV	351	04° 36' 41,2"	74° 55' 46,2"
2	Q. La Caima	QLCA	374	04° 35' 45,8"	74° 56' 39,6"
3	Río Alvarado-Puente	RAP	521	04° 31' 11,3"	74° 59' 14,0"
4	Río Alvarado-Chucuni	RACH	697	04° 27' 56,7"	75° 03' 46,7"
5	Q. La Manjarres	QLM	758	04° 28' 19,3"	75° 04' 26,9"
6	Q. Chumba	QCHU	973	04° 29' 06,2"	75° 05' 48,6"
7	Río Alvarado -Inicio	RAIN	977	04° 27' 13,1"	75° 09' 23,2"
8	Q. Chembe	QCHE	988	04° 27' 34,2"	75° 08' 54,7"
9	Q. Cocare	QCOC	1057	04° 28' 37,4"	75° 08' 25,4"

Fuente. Autor.

Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del río Alvarado (Tolima) y sus principales tributarios.



Estaciones: Río Alvarado Caldas Viejo (RACV); quebrada la Caima (QLCA); río Alvarado-Puente (RAP); río Alvarado Chucuni (RACH); quebrada la Manjarres (QLM); quebrada la Chumba (QCHU); quebrada Cocare (QCOC); quebrada Chembe (QCHE); río Alvarado Inicio (RAIN).

Fuente. Plan general de ordenación forestal para el departamento del Tolima (2007). Elaboró. Cruz, H (2013).

3.1.3. Toma de muestras biológicas. En cada punto de muestreo con la ayuda de cepillos plásticos se realizaron dos raspados de la superficie correspondiente al área de un portaobjetos (0,093 m²), en los sustratos naturales (roca y tronco) (Figura 2). Posteriormente, las muestras fueron colocadas en frascos plásticos de 100 ml, se fijaron inmediatamente con una solución preservante de Formol al 10% y Lugol siguiendo la metodología propuesta por Losada (2004).

Figura 2. Sustratos evaluados y materiales usados para la colecta del fitoperifiton. Roca (A), Tronco (C) y material de colecta (B).



Fuente. Autor

3.2. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS

Para los análisis físico-químicos, se tomaron muestras “*in situ*” de la temperatura del agua y el ambiente empleando un termómetro graduado. Adicionalmente las muestras de agua fueron colectadas en frascos plásticos con capacidad para 2000 ml, de forma superficial y en contra de la corriente y preservadas en frío para su transporte al laboratorio de Servicios de Extensión en Análisis Químico (LASEREX) de la Universidad del Tolima, donde se analizaron los siguientes parámetros físicoquímicos: pH, conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), oxígeno disuelto ($\text{mg O}_2/\text{L}$), porcentaje de saturación de oxígeno (% SAT. O_2), turbidez (UNF), alcalinidad total y dureza ($\text{mg Ca O}_3/\text{L}$), cloruros ($\text{mg Cl}/\text{L}$), nitratos (mgNO_3 /L), fosfatos ($\text{mg PO}_4 /\text{L}$), sólidos suspendidos y sólidos totales (mg/L), demanda Química de Oxígeno-DQO ($\text{mg O}_2 /\text{L}$) y Demanda Bioquímica de Oxígeno-DBO₅ ($\text{mg O}_2 /\text{L}$), fósforo (P), clorofila *a* ($\mu\text{g}/\text{L}$), sulfatos (mgSO_4/L).

En el caso de los parámetros bacteriológicos, se tomaron muestras de agua en frascos de vidrio con capacidad para 300 ml, superficialmente y en contra corriente, las muestras fueron rotuladas y preservadas en frío para su transporte al laboratorio de Servicios de Extensión en Análisis Químico (LASEREX) de la Universidad del Tolima donde se analizaron los parámetros de coliformes totales (UFC/100ml) y fecales (UFC/100ml).

3.3. PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO

Conteo y determinación. En el Laboratorio de Investigación en Zoología, se realizó la determinación y conteo del fitoperifiton con la ayuda de un microscopio óptico Motic BA-210 en el objetivo de 40 X, usando la cámara de conteo Sedgwick-Rafter (SR), que limita el área y volumen, permitiendo calcular las densidades poblacionales después de un periodo de asentamiento considerable, mediante un conteo en bandas (APHA, 1992 & Ramírez, 2000), se analizaron 30 campos en 1 ml de cada una de las muestras colectadas (Roca y tronco), y para ello la densidad de células por unidad de área fue calculada siguiendo la fórmula (APHA, 1992 & Ramírez, 2000):

$$\text{Organismos/mm}^2 = \frac{N \times A_t \times V_t}{A_c \times V_s \times A_s}$$

Dónde:

N = número de organismos contados,

A_t = Área total de la cámara (mm²)

V_t = Volumen total de la muestra en suspensión

A_c = Área contada (bandas o campos) (mm²)

V_s = Volumen usado en la cámara (ml)

A_s = Área del sustrato o superficie raspada (mm²)

La identificación taxonómica de las algas se hizo siguiendo las claves de Yacubson (1969), Prescott (1968), Needham & Needham (1982), Streble & Krauter (1987), Lopretto & Tell (1995), Ramírez (2000), y Bellinger & Sigeo (2010), e ilustraciones de algas en el libro de APHA (1999). Además, se soportó la determinación de las algas con la base de datos electrónica (Guiry & Guiry, 2013).

3.4. ANÁLISIS DE DATOS

3.4.1. Densidad relativa. Se determinó la densidad relativa (AR%) a partir del número de individuos colectados de cada género y su relación con el número total de individuos de la muestra; ésta se utilizó con el fin de establecer la importancia y proporción en la cual se encuentra cada género con respecto a la comunidad.

$$DR = \frac{\text{N}^\circ \text{ de individuos de cada género en la muestra} \times 100}{\text{N}^\circ \text{ total de individuos en la muestra}}$$

3.4.2. Índices Ecológicos

Los índices ecológicos son herramientas que permiten determinar el estado de los ecosistemas, aquellos lugares con valores altos de los índices de diversidad se pueden considerar como conservados o en buen estado (Magurran, 2004), ya que estos albergan un gran número de especies y esto solo es posible si el cuerpo de agua presenta una adecuada cantidad de nutrientes, hábitat heterogéneos y buenas condiciones físicas y químicas.

3.4.2.1. Riqueza de Margalef (D):

$$D = S - 1 / \ln(N)$$

Dónde S= número de especies

N=tamaño de la muestra

3.4.2.2. Diversidad de Shannon-Wiener (H'):

$$H' = -\sum (n_i/N) \ln (n_i/N)$$

Dónde $p_i = n_i/N$

n_i = número de individuos por especie en una muestra de una población.

N= número total de individuos en la muestra de una población.

ln: Logaritmo natural.

3.4.2.3. Dominancia de Simpson

$$D = \sum p_i^2$$

Dónde:

p_i = abundancia proporcional de la especie i , lo cual implica obtener el número de individuos de la especie i dividido entre el número total de individuos de la muestra.

3.4.3. Análisis de variables fisicoquímicas.

Se realizó un análisis de componentes principales utilizando el programa STATISTICA 7®, con el fin de determinar las variables con mayor influencia en la dinámica fisicoquímica de la cuenca en los dos periodos de muestreo.

En contraste se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis para determinar la existencia de diferencias significativas de densidad de la comunidad fitoperifítica a nivel temporal, espacial y por sustratos usando el paquete estadístico STATISTICA 7®.

3.4.4. Análisis de Correspondencia. Se realizó un análisis de Correspondencia Canónica (CCA), con el propósito de analizar posibles asociaciones entre las variables fisicoquímicas y la comunidad fitoperifítica del río Alvarado, para este análisis se empleó el programa Canoco versión 4.5 (Ter Braak & Smilauer, 2004). Adicionalmente se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson donde se analizó la asociación entre las variables fisicoquímicas y la abundancia de los taxones de fitoperifiton colectados a lo largo de la cuenca del río Alvarado del departamento del Tolima, donde se empleó el programa InfoStat.

4. RESULTADOS

4.1. VARIABLES BIOLÓGICAS

4.1.1. Composición General. La comunidad de algas perifíticas estuvo compuesta por 6 phylum, 9 clases, 26 órdenes, 35 familias y 43 géneros en las 9 estaciones evaluadas durante los períodos comprendidos entre septiembre y diciembre de 2012 (Tabla 2).

La clase que registró una mayor densidad relativa fue Bacillariophyceae (78,17%) (Anexo 4), seguida por Cyanophyceae (8,82%) (Anexo 7), Chlorophyceae (7,77%) (Anexo 5) y Conjugatophyceae (4,52%) (Anexo 6), mientras que las clases Trebouxiophyceae, Cryptophyceae, Euglenophyceae, Ulvophyceae (Anexo 8) y Klebsormidiophyceae registraron los menores valores de densidad relativa con 0,35%, 0,28%, 0,05%, 0,04% y 0,01%, respectivamente (Figura 3).

Tabla 2. Composición taxonómica de la comunidad fitoperifítica registrada en las 9 estaciones de muestreo en la cuenca del río Alvarado-Tolima durante septiembre y diciembre de 2012.

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	Densidad (cel mm ⁻²)	DR (%)
		Achnanthaceae	<i>Achnanthes</i>	2943	7,08
	Achnanthales	Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	3149	7,58
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	3603	8,67
		Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>	1531	3,69
	Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i>	565	1,36
		Rhoicospheniaceae	<i>Rhoicosphenia</i>	50	0,12
	Eunotiales	Eunotiaceae	<i>Eunotia</i>	15	0,04
			<i>Fragilaria</i>	4801	11,56
		Fragilariaceae	<i>Hannaea</i>	37	0,09
	Fragilariales		<i>Synedra</i>	957	2,30
	Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira</i>	583	1,40
		Amphipleuraceae	<i>Frustulia</i>	551	1,33

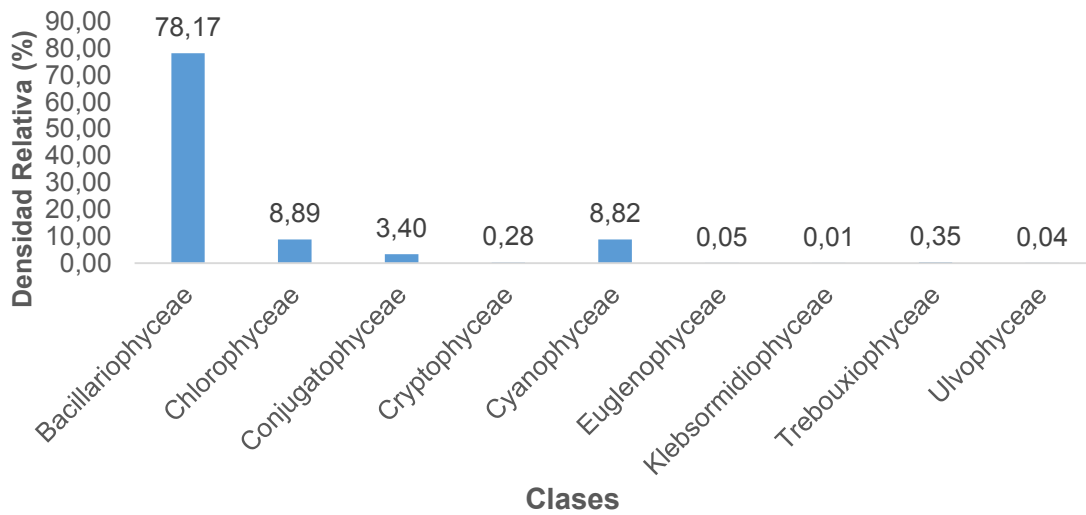
CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	Densidad (cel mm ⁻²)	DR (%)	
Bacillariophyceae	Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	9902	23,84	
			<i>Caloneis</i>	4	0,01	
		Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>	806	1,94	
		Pleurosigmaaceae	<i>Gyrosigma</i>	184	0,44	
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	1277	3,07	
	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	12	0,03	
	Thalassiosirales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>	1501	3,61	
Chlorophyceae	Chaetophorales	Chaetophoraceae	<i>Stigeoclonium</i>	58	0,14	
	Chlorosarcinales	Chlorosarcinaceae	<i>Chlorosarcina</i>	16	0,04	
			<i>Hydrodictyon</i>	253	0,61	
			<i>Pediastrum</i>	403	0,97	
	Sphaeropleales	Hydrodictyaceae	<i>Tetraedron</i>	16	0,04	
			<i>Scenedesmus</i>	2241	5,39	
			<i>Monoraphidium</i>	232	0,56	
			<i>Volvox</i>	8	0,02	
	Conjugatophyceae	Desmidiiales	Closteriaceae	<i>Closterium</i>	23	0,06
				<i>Coelastrum</i>	465	1,12
<i>Cosmarium</i>				19	0,05	
Zygnematales		Zygnemataceae	<i>Mougeotia</i>	8	0,02	
			<i>Spirogyra</i>	1349	3,25	
			<i>Zygnema</i>	15	0,04	
Cryptophyceae	Cryptomonadales	Cryptomonadaceae	<i>Cryptomonas</i>	114	0,28	
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	38	0,09	
	Nostocales	Nostocaceae	<i>Anabaena</i>	109	0,26	
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	1976	4,76	
	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Merismopedia</i>	1539	3,71	
	Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglena</i>	22	0,05
Klebsormidiophyceae	Klebsormidiales	Klebsormidiaceae	<i>Klebsormidium</i>	4	0,01	
	Chlorellales	Chlorellaceae	<i>Dictyosphaerium</i>	58	0,14	
Trebouxiophyceae	Trebouxiales	Botryococcaceae	<i>Botryococcus</i>	85	0,21	
Ulvophyceae	Cladophorales	Cladophoraceae	<i>Cladophora</i>	16	0,04	
				41537	100	

Fuente. Autor

Distribución Espacial. Durante los dos periodos de muestreo, la estación río Alvarado-Caldas Viejo (RACV) presentó la mayor densidad relativa (19,5%). En contraste, las

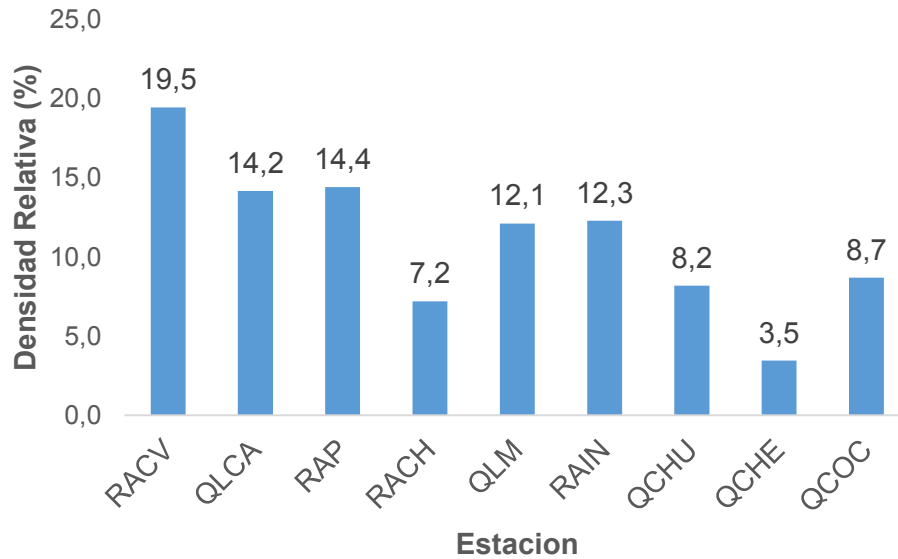
localidades con menor densidad relativa fueron quebrada Chembe (QCHE) con 3,5% y río Alvarado-Chucuni (RACH) con 7,2% (Figura 4).

Figura 3. Densidad relativa de las clases del perifiton evaluadas en las 9 estaciones de muestreo en la cuenca del río Alvarado, durante septiembre y diciembre de 2012.



Fuente. Autor

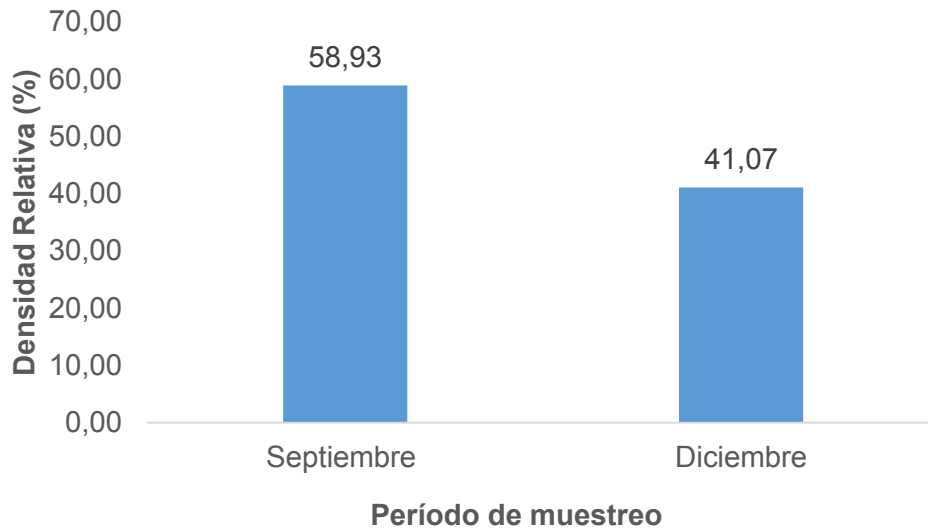
Figura 4. Densidad relativa a nivel espacial de la comunidad fitoperifítica en las 9 estaciones evaluadas de la cuenca del río Alvarado (Tolima) durante los periodos comprendidos entre septiembre y diciembre de 2012.



Fuente. Autor

Distribución temporal. De la comunidad fitoperifítica evaluada en los dos periodos de muestreos en la cuenca del río Alvarado, la mayor densidad relativa se registró en el primer muestreo (58,93%), que corresponde a la época de altas precipitaciones (septiembre), mientras que en diciembre, época de bajas precipitaciones se registró una menor densidad con 41,07% (Figura 5).

Figura 5. Distribución temporal del perifiton en las 9 estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado durante septiembre (Altas precipitaciones) y diciembre (bajas precipitaciones) de 2012.



Fuente. Autor

4.1.2. Muestreo 1. Septiembre de 2012 (Altas precipitaciones)

Densidad Relativa. Durante el primer muestreo, se registraron 6 phylum, 9 clases, 26 órdenes, 35 familias y 43 géneros. De los seis phylum registrados, Heterokontophyta reportó la mayor abundancia con 75,51%, seguido de Chlorophyta con 12,80%, Cyanobacteria con 7,40% y Charophyta con 3,79%, los phylum Cryptophyta y Euglenozoa reportaron bajas densidades con valores de 0,39% y 0,09% (Tabla 3).

Tabla 3. Composición taxonómica de la comunidad fitoperifítica registrada en las 9 estaciones de muestreo en la cuenca del río Alvarado-Tolima, durante el mes de septiembre de 2012.

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	Densidad (cel mm- 2)	DR (%)
Bacillariophyceae	Achnanthesales	Achnantheaceae	<i>Achnanthes</i>	1789	7,31
		Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	1949	7,96
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	2259	9
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>	1015	4,15
		Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i>	449	1,83
		Rhoicospheniaceae	<i>Rhoicosphenia</i>	50	0,21
	Eunotiales	Eunotiaceae	<i>Eunotia</i>	15	0,06
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>	1269	5,19
			<i>Hannaea</i>	37	0,15
			<i>Synedra</i>	618	2,53
	Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira</i>	247	1,01
	Naviculales	Naviculaceae	<i>Caloneis</i>	4	0,02
			<i>Navicula</i>	5984	24,45
		Pleurosigmaaceae	<i>Gyrosigma</i>	162	0,66
		Amphipleuraceae	<i>Frustulia</i>	307	1,25
		Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>	576	2,35
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	367	1,50
	Thalassiosiphales	Catenulaceae	<i>Amphora</i>	12	0,05
	Thalassiosirales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>	940	3,84
	Chlorophyceae	Chaetophorales	Chaetophoraceae	<i>Stigeoclonium</i>	58
Chlorosarcinales		Chlorosarcinaceae	<i>Chlorosarcina</i>	16	0,06
			<i>Tetraedron</i>	16	0,06
Sphaeropleales		Hydrodictyaceae	<i>Hydrodictyon</i>	249	1,02
			<i>Pediastrum</i>	403	1,65
			<i>Coelastrum</i>	434	1,77
Sphaeropleales		Scenedesmaceae	<i>Scenedesmus</i>	2041	8,34
	Selenastraceae	<i>Monoraphidium</i>	182	0,74	
Volvocales	Volvocaceae	<i>Volvox</i>	8	0,03	
Desmidiiales	Closteriaceae	<i>Closterium</i>	23	0,10	
		<i>Cosmarium</i>	8	0,03	
			<i>Mougeotia</i>	8	0,03
Conjugatophyceae	Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Spirogyra</i>	875	3,58

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	Densidad (cel mm- 2)	DR (%)
			<i>Zygnema</i>	15	0,06
Cryptophyceae	Cryptomonadales	Cryptomonadaceae	<i>Cryptomonas</i>	95	0,39
	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	31	0,12
	Nostocales	Nostocaceae	<i>Anabaena</i>	109	0,44
Cyanophyceae	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	480	1,96
	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Merismopedia</i>	1193	4,87
Euglenophyceae	Euglenales	Euglenaceae	<i>Euglena</i>	22	0,09
Klebsormidiophyceae	Klebsormidiales	Klebsormidiaceae	<i>Klebsormidium</i>	4	0,02
	Trebouxiales	Botryococcaceae	<i>Botryococcus</i>	85	0,35
Trebouxiophyceae	Chlorellales	Chlorellaceae	<i>Dictyosphaerium</i>	58	0,24
Ulvophyceae	Cladophorales	Cladophoraceae	<i>Cladophora</i>	16	0,06
TOTAL				24478	100

Fuente. Autor

Con relación a las clases del perifiton registradas en el mes de septiembre en las nueve estaciones de muestreo, la más frecuente y abundante fue Bacillariophyceae (73,74%), seguida por Chlorophyceae (13,92%), Cyanophyceae (7,40%) y Conjugatophyceae (3,79), las cinco clases restantes presentaron valores bajos (<1,15) (Figura 6).

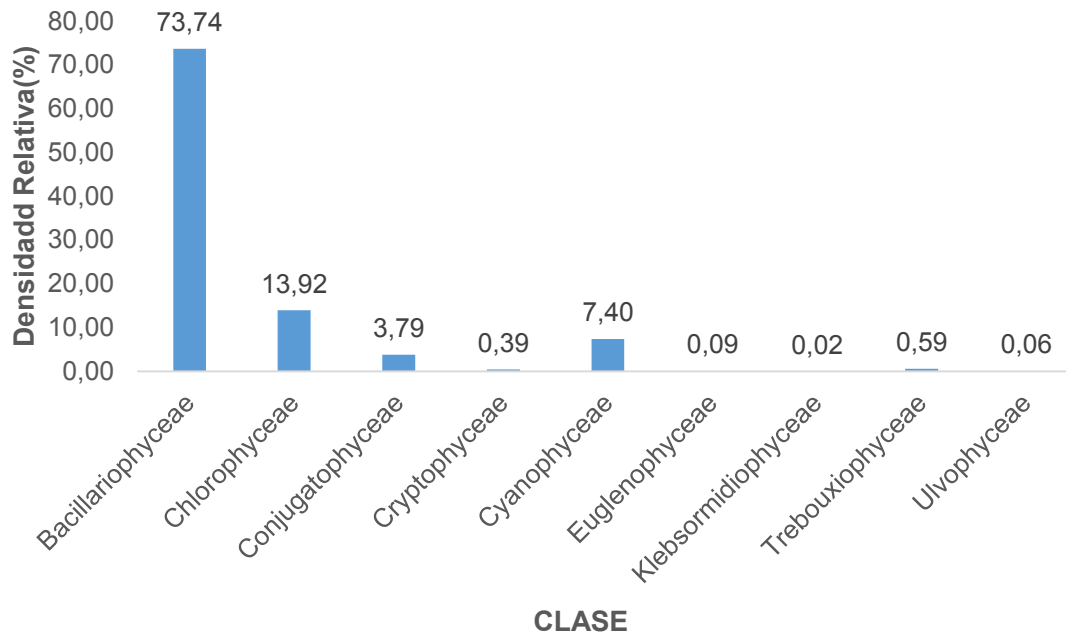
A nivel de género los mayores porcentajes de densidad relativa los registraron *Navicula*, *Nitzschia*, *Scenedesmus*, *Cocconeis* y *Achnanthes* con 24,45%, 9,0%, 8,34%, 7,96% y 7,31% respectivamente. En cuanto a los taxones con menor abundancia y poco frecuentes fueron *Closterium*, *Euglena*, *Volvox*, *Tetraedron* y *Caloneis*, con 0,10%, 0,09%, 0,06%, 0,03% y 0,02% respectivamente (Tabla 3).

A nivel espacial y temporal se observaron diferencias en los patrones de distribución de los géneros que componen la comunidad fitoperifítica. Durante el periodo de alta precipitación (septiembre de 2012) el género *Navicula* registró un valor alto de densidad relativa en las estaciones río Alvarado-Chucuni (RACH), quebrada la Manjarres (QLM), río Alvarado-Inicio (RAIN) y quebrada Chembe (QCHE) (Anexo 9).

Mientras que en las localidades río Alvarado-Caldas Viejo (RACV) y río Alvarado-Puente (RAP) el género dominante de la comunidad fitoperifítica fue *Scenedesmus*. Adicionalmente, el género *Nitzschia* se presentó en cuatro de los nueve puntos

evaluados río Alvarado-Caldas Viejo (RACV), quebrada la Caima (QLCA), río Alvarado-Puente (RAP) y quebrada la Manjarres (QLM) y *Merismopedia* sólo fue colectado en la localidad río Alvarado-Inicio (RAIN) (Anexo 9).

Figura 6. Densidad relativa de las clases del perifiton evaluadas en las 9 estaciones de muestreo en la cuenca del río Alvarado durante septiembre de 2012.



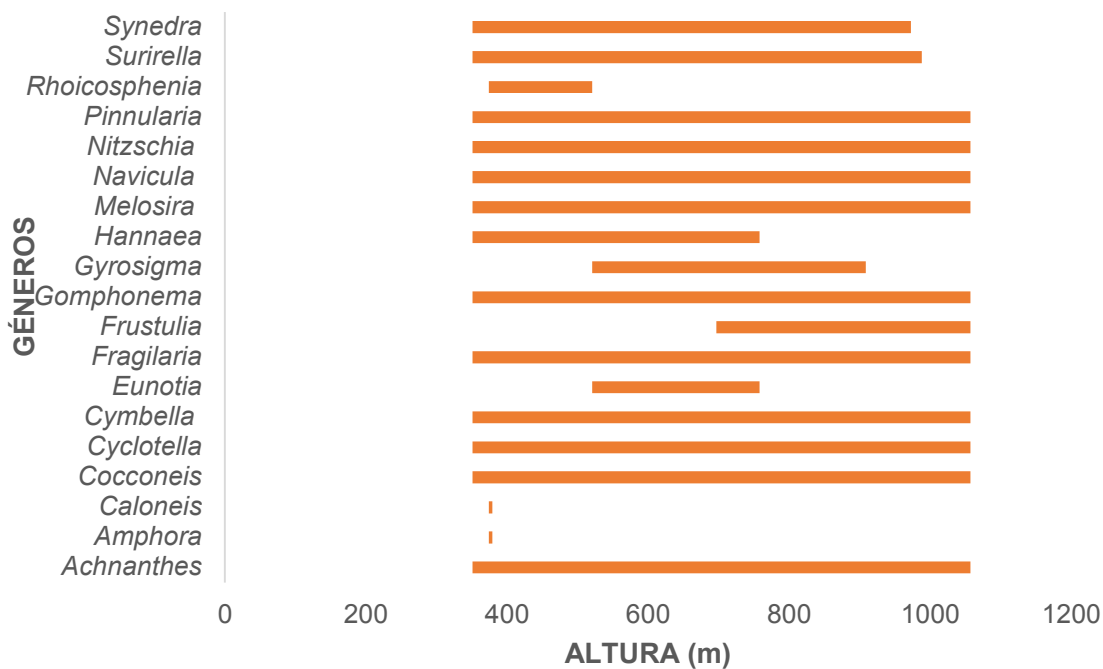
Fuente. Autor

Distribución Altitudinal. La comunidad fitoperifítica colectada en la cuenca del río Alvarado, se distribuyó desde 351 a 1057 m, siendo los géneros pertenecientes a la clase Bacillariophyceae, los que registraron una amplia distribución altitudinal en esta cuenca. El género *Rhoicosphenia* presentó el menor rango de distribución, desde los 374 a los 521 m. Los géneros *Amphora* y *Caloneis* se restringieron a la estación quebrada La Caima localizada a 374 m (Figura 7).

Los géneros *Hydrodictyon* y *Scenedesmus* (Chlorophyceae) y *Spirogyra* (Conjugatophyceae) presentaron un mayor rango de distribución desde los 351 a los 1057 m, mientras que *Monoraphidium* (Chlorophyceae) registró el menor rango de distribución desde los 521 a 909 m (Figura 8).

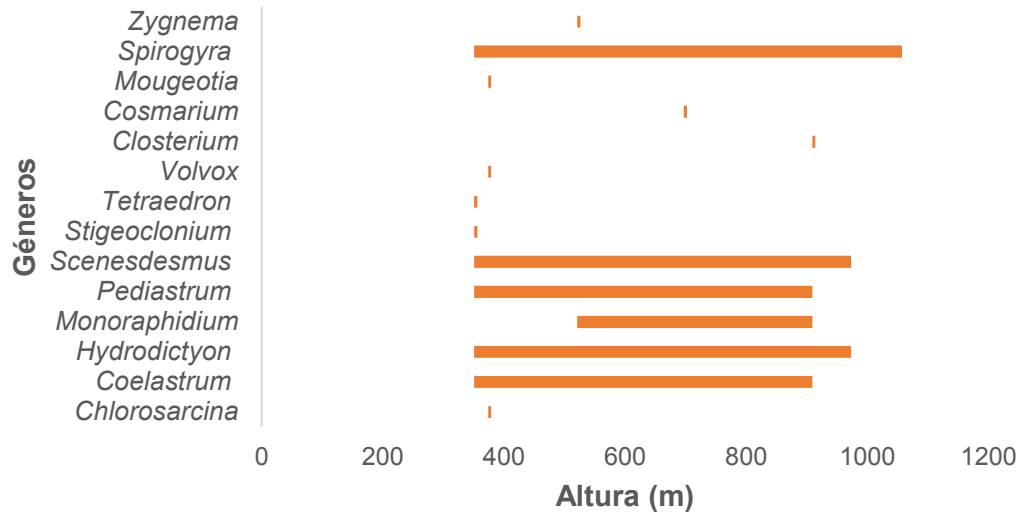
En la clase Cyanophyceae, el género *Oscillatoria* presentó el mayor rango de distribución desde los 374 a 1057 m, mientras que *Cryptomonas* reportó el menor rango desde los 521 a 758 m. Los géneros *Klebsormidium* (Klebsormidiophyceae) y *Botryococcus* (Trebouxiophyceae) se encontraron en la estación río Alvarado-Caldas Viejo (Figura 9).

Figura 7. Distribución altitudinal de los géneros de la clase Bacillariophyceae encontrados en la cuenca del río Alvarado durante septiembre de 2012 (Altas precipitaciones).



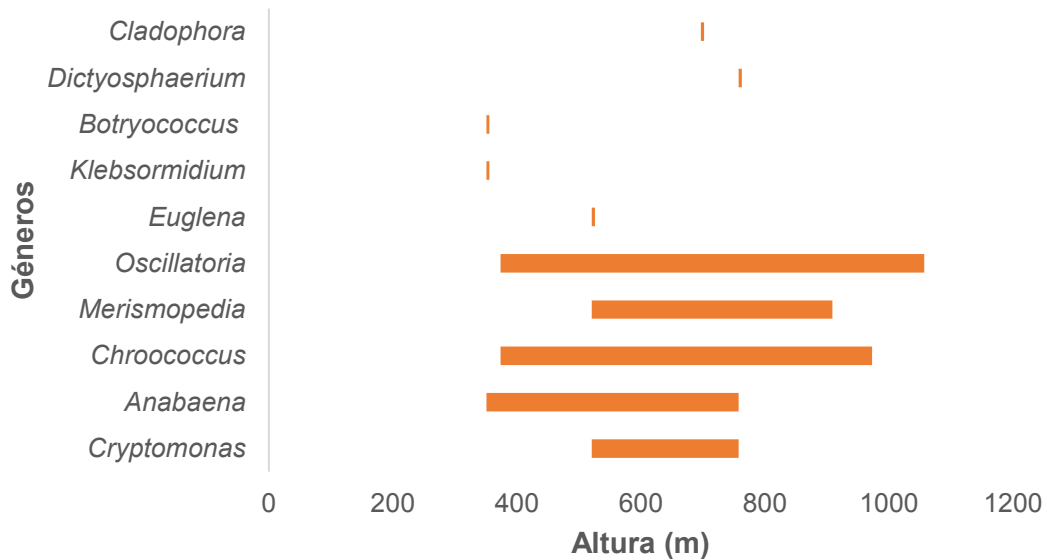
Fuente. Autor

Figura 8. Distribución altitudinal de los géneros de las clases Chlorophyceae y Conjugatophyceae encontrados en la cuenca del río Alvarado durante septiembre de 2012 (Altas precipitaciones).



Fuente. Autor

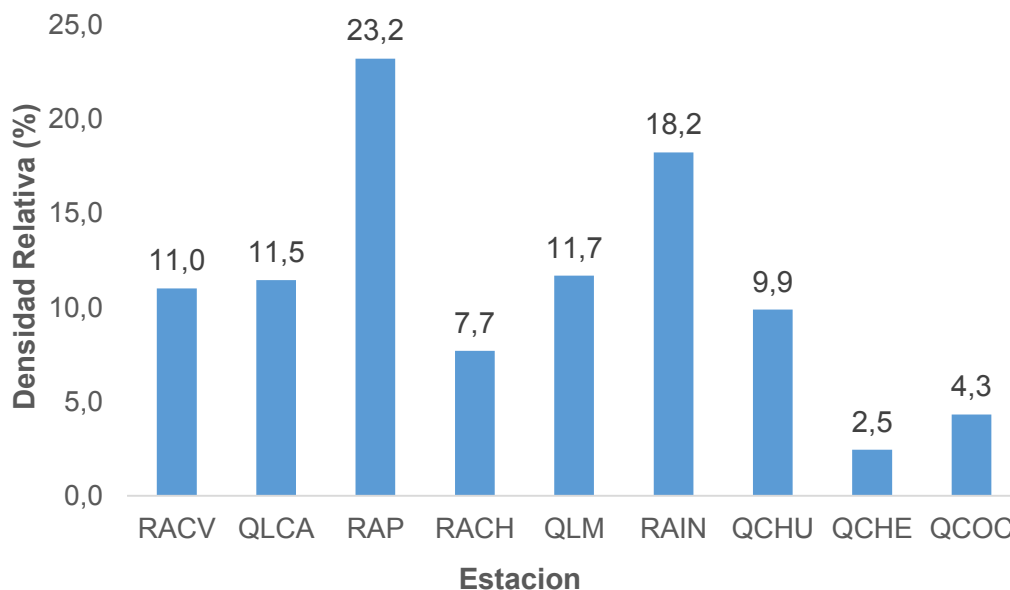
Figura 9. Distribución altitudinal de los géneros de las 6 clases restantes de la comunidad fitoperifítica evaluada en la cuenca del río Alvarado durante septiembre de 2012 (Altas precipitaciones).



Fuente. Autor

Distribución Espacial. Las 9 estaciones evaluadas en la cuenca del río Alvarado durante el mes de septiembre de 2012 presentaron un comportamiento heterogéneo, encontrándose la mayor densidad de la comunidad fitoperifítica en el río Alvarado-Puente (RAP) con 23,2%, seguida de la localidad río Alvarado-Inicio (RAIN) con 18,2%. Las estaciones con densidades bajas fueron quebrada Chembe (QCHE) con 2,5%, quebrada Cocare (QCOC) con 4,5%, río Alvarado-Chucuni (RACH) con 7,7% (Figura 10).

Figura 10. Distribución espacial de la comunidad fitoperifítica en las 9 estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado durante septiembre (altas precipitaciones) de 2012.



Fuente. Autor

4.1.3. Muestreo 2: Diciembre de 2012 (Bajas precipitaciones)

Densidad Relativa. Durante este periodo de muestreo, la comunidad fitoperifítica estuvo compuesta por 5 phylum, 5 clases, 22 familias, 24 géneros. De los cinco phylum registrados, Heterokontophyta reportó la mayor abundancia con 84,71%, seguido de Cyanobacteria (12,80%) y Charophyta (2,84%), los phylum restantes Chlorophyta y

Cryptophyta reportaron bajas densidades con valores de 1,48% y 0,11%. Las clases más representativas de la comunidad fitoperifítica fueron Bacillariophyceae (87,52%), Cyanophyceae (10,84%), y las tres clases restantes presentaron valores bajos (<1,64) (Tabla 4).

Tabla 4. Composición taxonómica de la comunidad fitoperifítica registrada en las 9 estaciones de muestreo en la cuenca del río Alvarado-Tolima, durante el mes de diciembre de 2012.

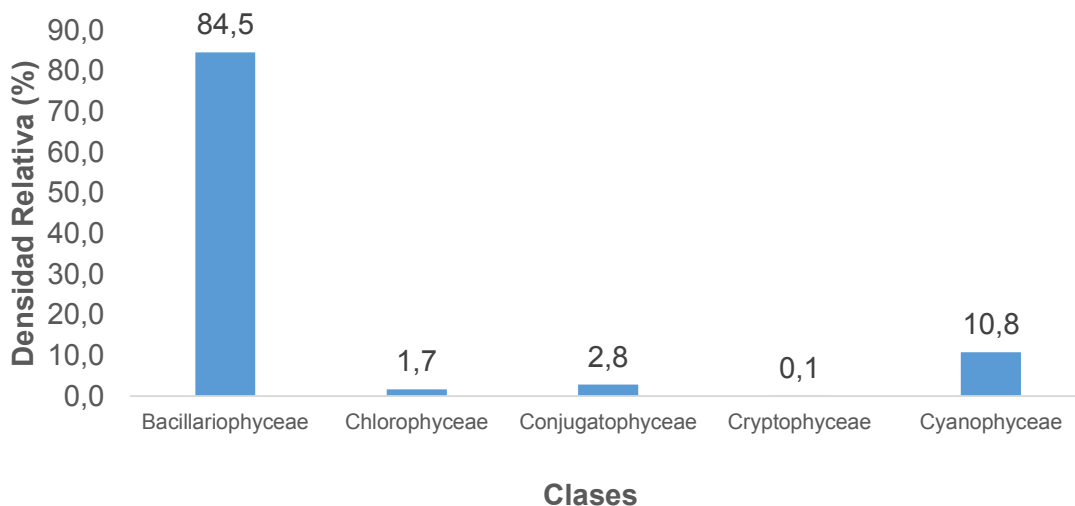
CLASE	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	Densidad (cel mm ⁻²)	DR (%)
Bacillariophyceae	Achnanthes	Achnanthaceae	<i>Achnanthes</i>	1154	6,77
		Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	1200	7,03
	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	1344	7,88
	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>	516	3,03
		Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i>	116	0,68
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Synedra</i>	339	1,99
			<i>Fragilaria</i>	3532	20,70
	Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira</i>	336	1,97
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Frustulia</i>	244	1,43
			<i>Navicula</i>	3917	22,96
		Pleurosigma	<i>Gyrosigma</i>	21	0,13
		Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>	229	1,35
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	910	5,33
	Thalassiosirales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>	561	3,29
Chlorophyceae	Sphaeropleales	Hydrodictyceae	<i>Hydrodictyon</i>	4	0,02
		<i>Coelastrum</i>	31	0,18	
		Scenedesmaceae	<i>Scenedesmus</i>	199	1,17
		Selenastraceae	<i>Monoraphidium</i>	49	0,29
Conjugatophyceae	Desmidiales	Desmidiaceae	<i>Cosmarium</i>	12	0,07
	Zygnematales	Zygnemataceae	<i>Spirogyra</i>	474	2,78
Cryptophyceae	Cryptomonadales	Cryptomonadaceae	<i>Cryptomonas</i>	19	0,11
Cyanophyceae	Chroococcales	Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	8	0,05
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria</i>	1496	8,77
	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Merismopedia</i>	347	2,03
TOTAL				17059	100

Fuente. Autor

De los géneros registrados los mayores porcentajes de densidad relativa corresponden a *Navicula* (22,96%), *Fragilaria* (20,70%), *Oscillatoria* (8,77%) y *Nitzschia* (7,88%). Por otra parte, los taxones menos abundantes y poco frecuentes fueron *Gyrosigma* (0,17%), *Cryptomonas* (0,11%), *Cosmarium* (0,07%) y *Chroococcus* (0,05%) (Tabla 4).

A nivel espacial y temporal se observaron diferencias en los patrones de distribución de los géneros que componen la comunidad perifítica. Durante este periodo de baja precipitación (diciembre de 2012), el género *Navicula* se registró en las localidades río Alvarado-Puente (RAP), río Alvarado-Chucuni (RACH), quebrada la Manjarres (QLM), quebrada Chumba (QCHU) y quebrada Cocare (QCOC), mientras que el género *Merismopedia* se reportó para las estaciones río Alvarado-Chucuni (RACH) y quebrada Cocare (QCOC). Adicionalmente *Achnanthes* sólo fue observada en la localidad quebrada la Caima (QLCA) y *Frustulia* en la localidad quebrada la Manjarres (QLM) (Anexo 10).

Figura 11. Densidad relativa de las clases del perifiton evaluadas en las 9 estaciones de muestreo en la cuenca del río Alvarado durante diciembre de 2012.



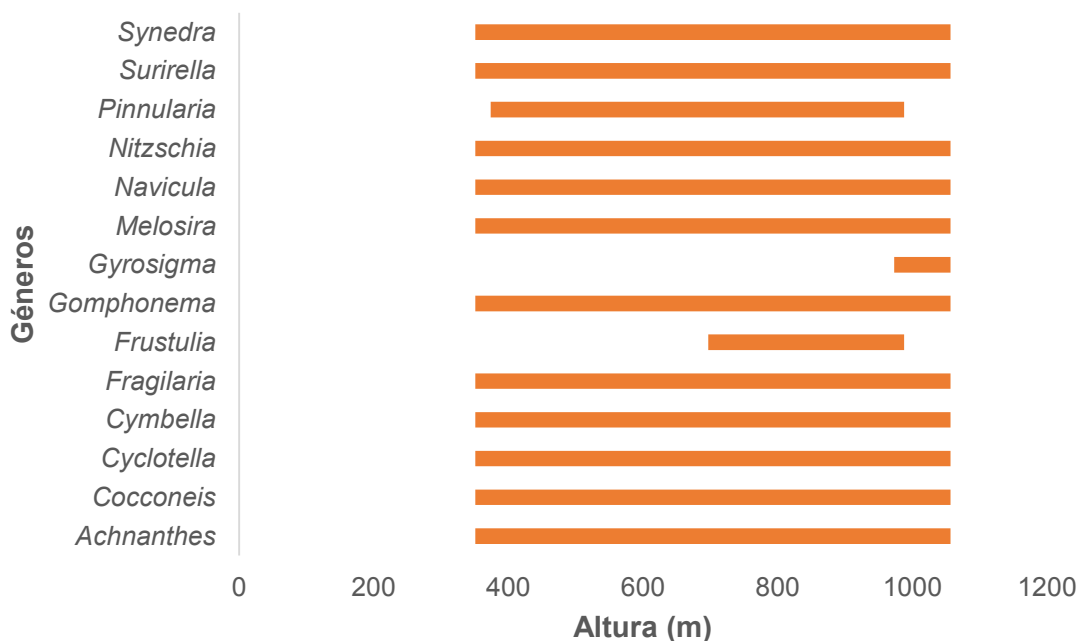
Fuente. Autor

Distribución Altitudinal. El fitoperifiton en este periodo se distribuyó altitudinalmente desde 351 a 1057 m, siendo la clase Bacillariophyceae, la de mayor distribución en cuanto a los géneros registrados. El género *Gyrosigma* presentó el menor rango de distribución desde los 973 a 1057 m (Figura 12).

Los géneros *Scenedesmus* (Chlorophyceae) y *Spirogyra* (Conjugatophyceae) presentaron el mayor rango de distribución altitudinal, desde los 351 a 1057 m; mientras que *Coelastrum* registró el menor rango de distribución desde los 909 a 988 m, y el género *Hydrodictyon* se encontró en la estación quebrada Cocare (Figura 13).

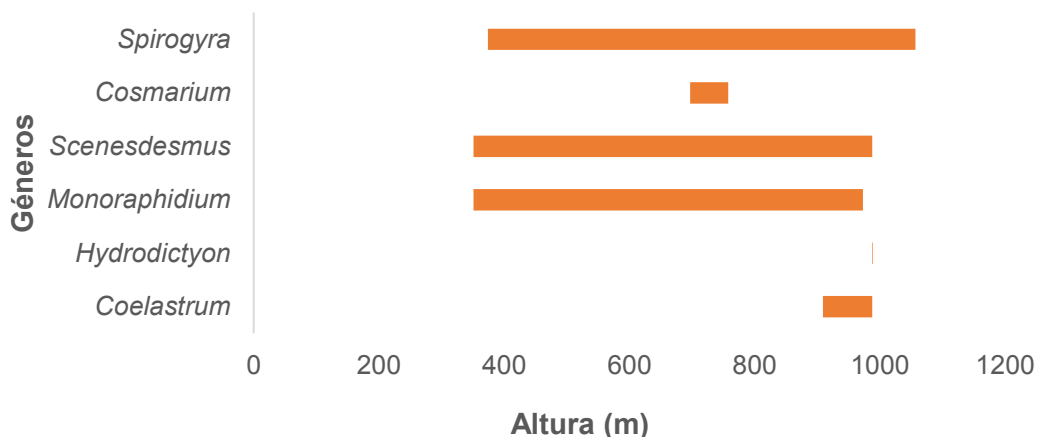
Respecto a los géneros pertenecientes a la clase Cyanophyceae, *Oscillatoria* presentó el mayor rango de distribución desde los 374 a 1057 m, mientras que *Chroococcus* se observó únicamente a una altura de 758 m (Figura 14).

Figura 12. Distribución altitudinal de los géneros de la clase Bacillariophyceae encontrados en la cuenca del río Alvarado durante diciembre de 2012 (bajas precipitaciones).



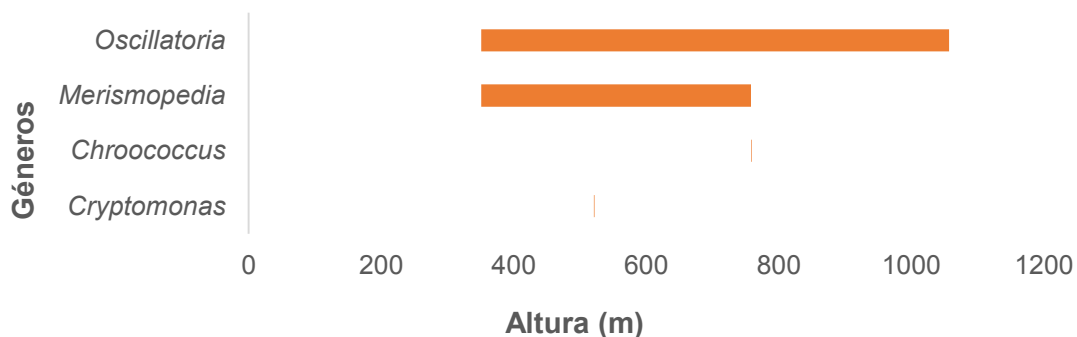
Fuente. Autor

Figura 13. Distribución altitudinal de los géneros de las clases Chlorophyceae y Conjugatophyceae encontrados en la cuenca del río Alvarado durante diciembre de 2012 (bajas precipitaciones).



Fuente. Autor

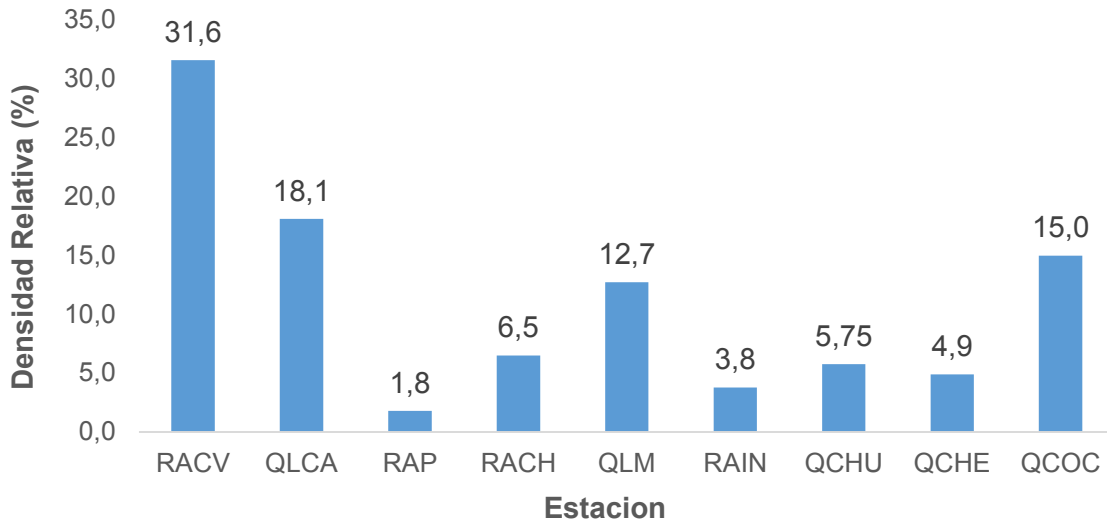
Figura 14. Distribución altitudinal de los géneros de las clases Cryptophyceae y Cyanophyceae encontrados en la cuenca del río Alvarado durante diciembre de 2012 (bajas precipitaciones).



Fuente. Autor

Distribución Espacial. En el periodo de muestreo del mes de diciembre (bajas precipitaciones), la estación con mayor densidad relativa fue río Alvarado-Caldas Viejo (31,6%). Las estaciones con un menor porcentaje fueron río Alvarado-Puente (1,8%) y río Alvarado-Inicio (3,8%) (Figura 15).

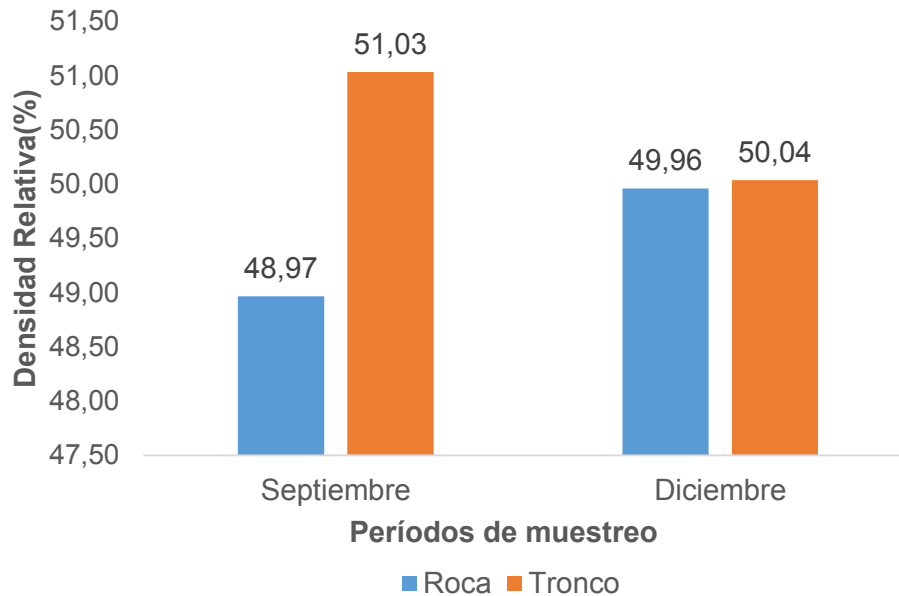
Figura 15. Distribución espacial de la comunidad fitoperifítica en las 9 estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado durante diciembre (Bajas precipitaciones) de 2012.



Fuente. Autor

4.1.4. MICROHÁBITAT DE ALGAS PERIFÍTICAS. En septiembre de 2012, la mayor densidad relativa se registró en el sustrato tronco con 51,03%, mientras que roca registró una densidad de 48,97%. En cuanto al número de taxones, el mayor número se registró en el sustrato tronco (39 géneros); mientras que en roca tan solo se registraron 28 géneros. En contraste, durante diciembre de 2012 se presentó un porcentaje de densidad relativa similar en roca (49,96%) y tronco (50,04%), con la misma proporción de géneros (22) (Figura 16).

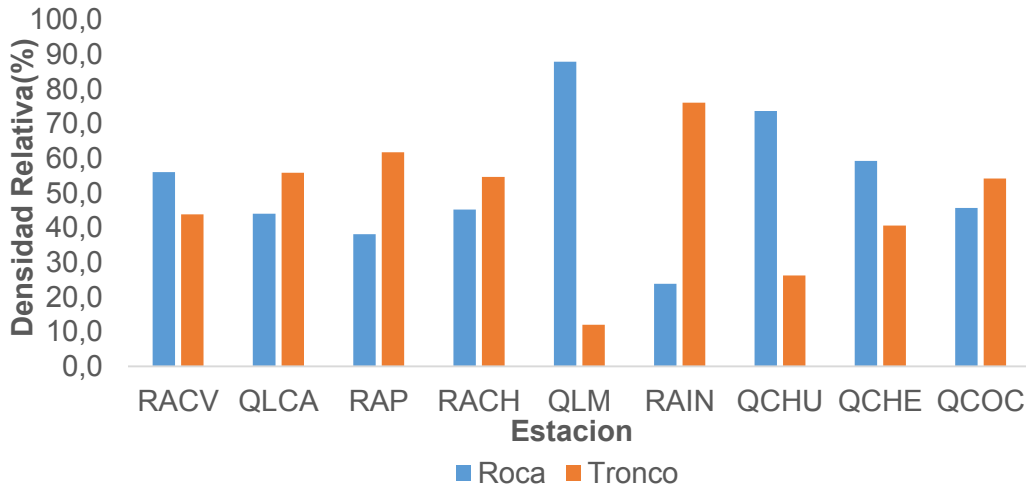
Figura 16. Distribución de la comunidad fitoperifítica en dos sustratos naturales en la cuenca del río Alvarado durante septiembre (altas precipitaciones) y diciembre (bajas precipitaciones) de 2012.



Fuente. Autor

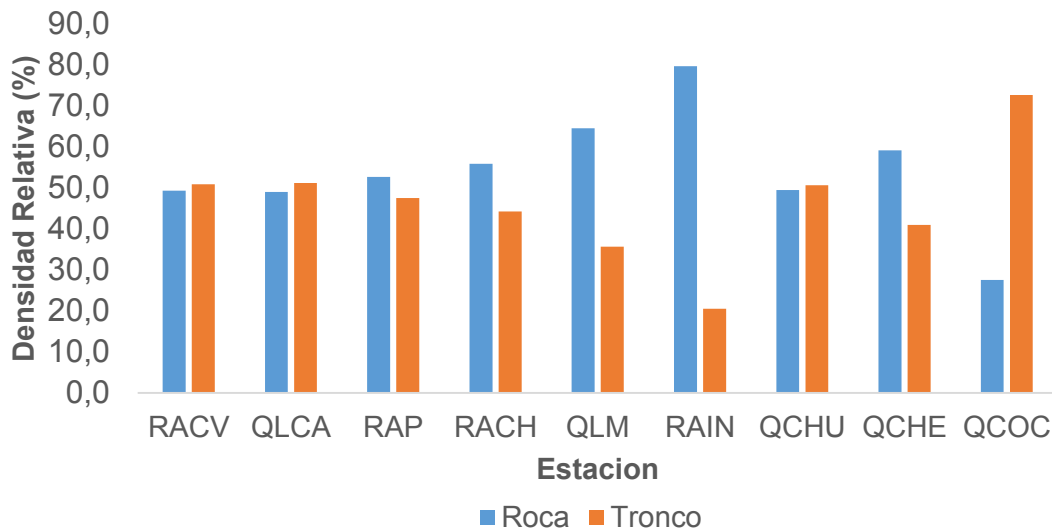
Distribución Espacial. En septiembre, la estación quebrada la Manjarres (QLM) presentó un valor alto de densidad relativa para el sustrato roca con 87,9%, seguido por la quebrada Chumba con 76,7%. Para el sustrato tronco el valor alto se evidenció en la localidad río Alvarado-Inicio (RAIN) con 76,1%, seguido por río Alvarado-Puente (RAP) con 61,8% (Figura 17). En diciembre, río Alvarado-Inicio (RAIN) registró el mayor valor con 79,5% en el sustrato roca, seguido por la quebrada la Manjarres con 64,4%. La estación quebrada Cocare (QCOC) tuvo el mayor valor de densidad relativa para el sustrato tronco con 72,5%, seguido por la quebrada la Caima (QLCA) con 51,1% (Figura 18).

Figura 17. Densidad relativa del perifiton en los sustratos naturales (roca y tronco) en las 9 estaciones evaluadas en la cuenca del río Alvarado durante septiembre de 2012.



Fuente. Autor

Figura 18. Densidad relativa del perifiton en los sustratos naturales (roca y tronco) en las 9 estaciones evaluadas en la cuenca del río Alvarado durante diciembre de 2012.

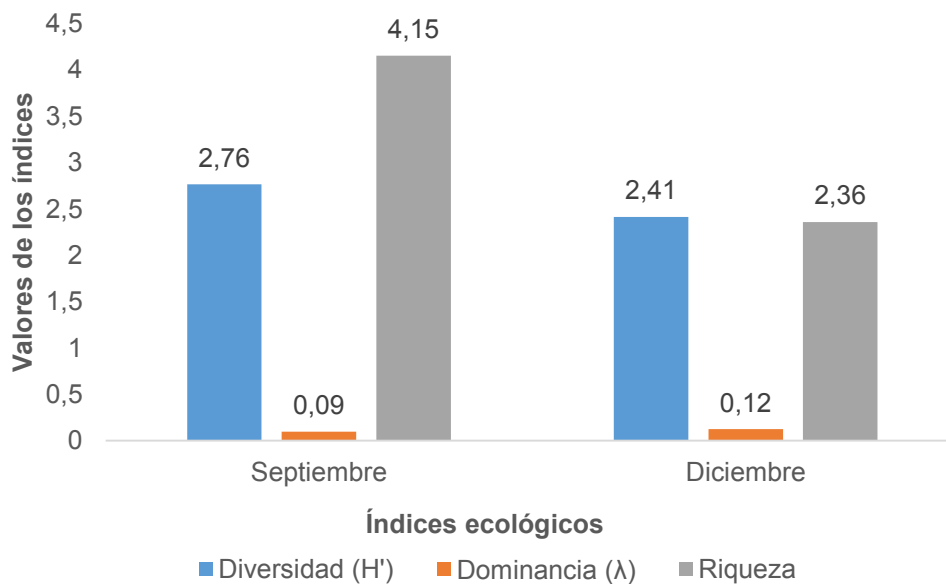


Fuente. Autor

4.2. ÍNDICES ECOLÓGICOS

4.2.1. Índices de diversidad a nivel general (Septiembre y Diciembre). La composición de la comunidad fitoperifítica en la cuenca del río Alvarado registró valores altos para la época de lluvias ($Mg= 4,156$; $\lambda= 0,09972$ y $H'= 2,76$ septiembre de 2012), Mientras que para la temporada de bajas lluvias se reportan valores bajos ($Mg= 2,36$; $\lambda= 0,1264$ y $H'= 2,414$ diciembre de 2012). Mediante una prueba t-diversidad, aplicada al índice de Shannon-Weiner, se registró diferencias significativas entre las épocas climáticas evaluadas ($t: 34,452$; $gl: 39277$; $p: 2,7879E^{-256}$) (Anexo 2; Figura 19).

Figura 19. Índice de riqueza de Margalef, dominancia de Simpson y Shannon-Wiener de la comunidad fitoperifítica de la cuenca del río Alvarado durante septiembre y diciembre de 2012.

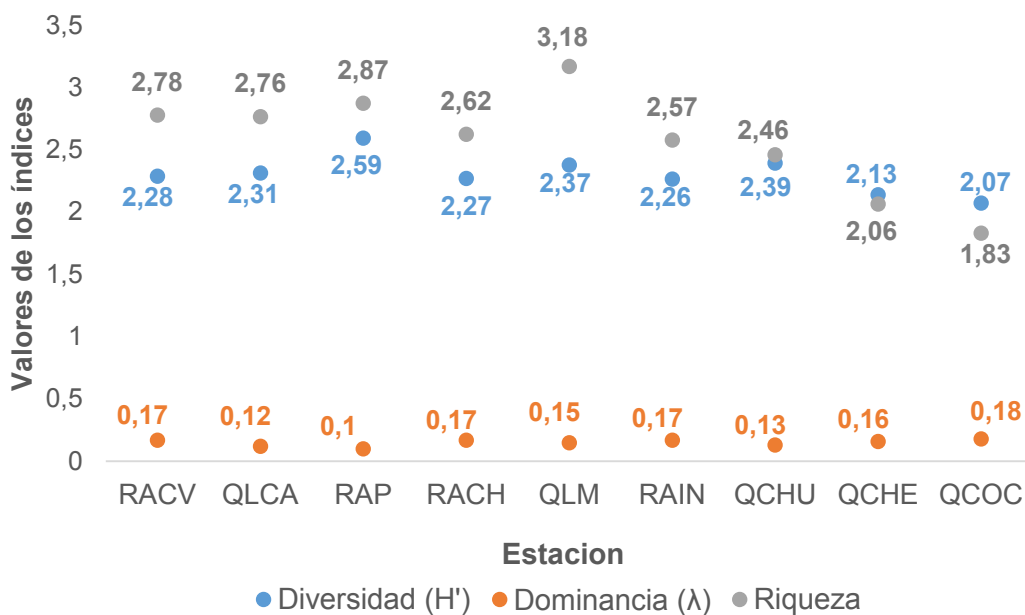


Fuente. Autor

4.2.2. Índices de diversidad por estaciones

Índice de Margalef. En los dos periodos de muestreo, la estación quebrada la Manjarres (QLM) registró el mayor valor de riqueza de especies ($Mg = 3,168$), seguido por río Alvarado-Puente (RAP) con ($Mg = 2,874$). Mientras que los menores valores para este índice correspondieron a la quebrada Cocare (QCOC) y quebrada Chembe (QCHE) con 1,831 y 2,064, respectivamente (Figura 20).

Figura 20. Índice de riqueza de Margalef, dominancia de Simpson y Shannon-Wiener de la comunidad fitoperifítica de la cuenca del río Alvarado por estaciones durante septiembre y diciembre de 2012.



Fuente. Autor

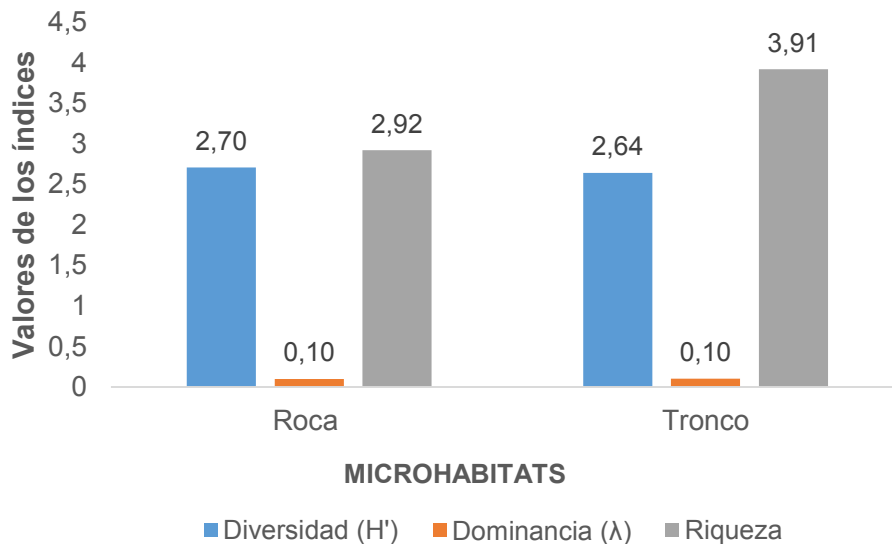
Índice de dominancia de Simpson. En los dos periodos de muestreo, la estación quebrada Cocare (QCOC) reflejó la mayor dominancia ($\lambda = 0,1756$), seguido por río Alvarado-Caldas Viejo (RACV) con ($\lambda = 0,1718$), y la menor le correspondió a la estación río Alvarado-Puente (RAP) ($\lambda = 0,1006$) (Figura 20).

Índice de Shannon-Wiener. La estación río Alvarado-Puente (RAP) registró un valor alto ($H' = 2,594$), seguido por las estaciones río Alvarado-Caldas Viejo (RACV) y río Alvarado-Inicio (RAIN) con ($H' = 2,289$; $H' = 2,266$, respectivamente), sin diferencias significativas entre las estaciones mencionadas anteriormente ($t: 1,0933$; $gl: 11041$; $p: 0,27431$), mientras que quebrada Cocare ($H' = 2,072$) y quebrada Chembe ($H' = 2,138$) reportaron valores bajos, observándose diferencias significativas entre estas dos localidades ($t: 2,2807$; $gl: 2652,9$; $p: 0,022644$) (Anexo 2; Figura 20).

4.2.3. Índices de diversidad a nivel de sustratos

Índice de Margalef. Durante las dos épocas de muestreo, el sustrato tronco registró el mayor valor de riqueza ($Mg = 3,918$), en comparación con el sustrato roca ($Mg = 2,921$) (Figura 21).

Figura 21. Índice de riqueza de Margalef, dominancia de Simpson y Shannon-Wiener en la comunidad fitoperifítica, en los diferentes sustratos muestreados de la cuenca del río Alvarado durante septiembre y diciembre de 2012.



Fuente. Autor

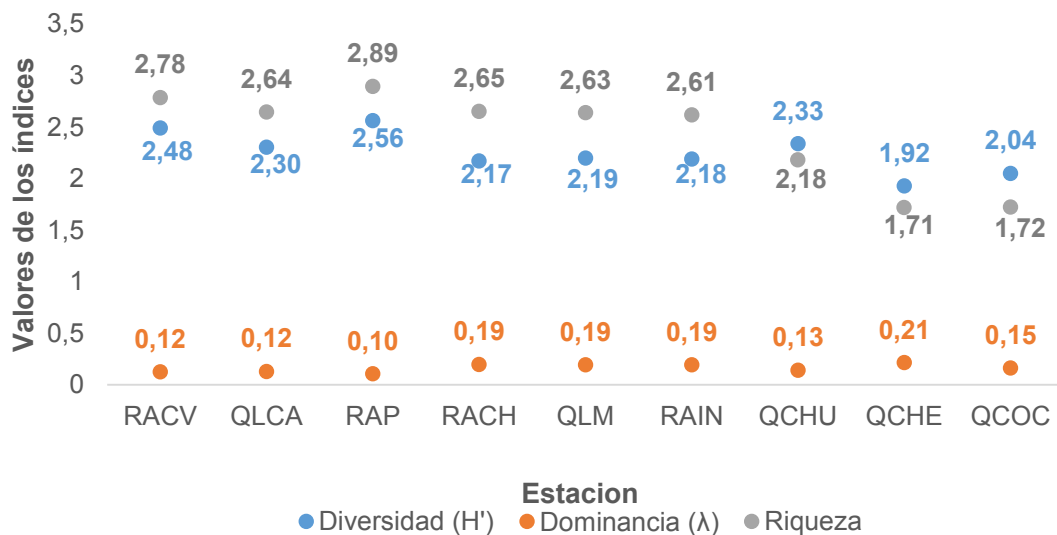
Índice de dominancia de Simpson. Para este índice, tronco fue el sustrato con el mayor valor de dominancia ($\lambda = 0,1053$), mientras el sustrato de roca presentó un bajo valor ($\lambda = 0,1003$) (Figura 21).

Índice de Shannon-Wiener. El sustrato roca presentó un mayor diversidad ($H' = 2,708$) frente al sustrato tronco ($H' = 2,64$), con diferencia significativa ($t: 6,6922$; $gl: 41514$; $p: 2,2259E-11$) (Anexo 2; Figura 21).

4.2.4. Índices de diversidad a nivel temporal

Índice de Margalef. Dentro de los dos periodos analizados, los mayores valores de riqueza se reportaron en septiembre. La estación Río Alvarado-Puente (RAP) presentó el mayor valor ($Mg = 2,892$), seguido de la estación río Alvarado-Caldas Viejo (RACV) ($Mg = 2,785$). En contraste, los valores bajos se registraron en la estación quebrada Chembe (QCHE) ($Mg = 1,719$) y quebrada Cocare (QCOC) ($Mg = 1,723$) (Figura 22). Para diciembre, la estación con el mayor valor fue quebrada Chumba ($Mg = 2,468$), seguido de río Alvarado-Chucuni ($Mg = 2,283$). La estación río Alvarado-Puente registró el menor índice ($Mg = 1,576$) (Figura 23).

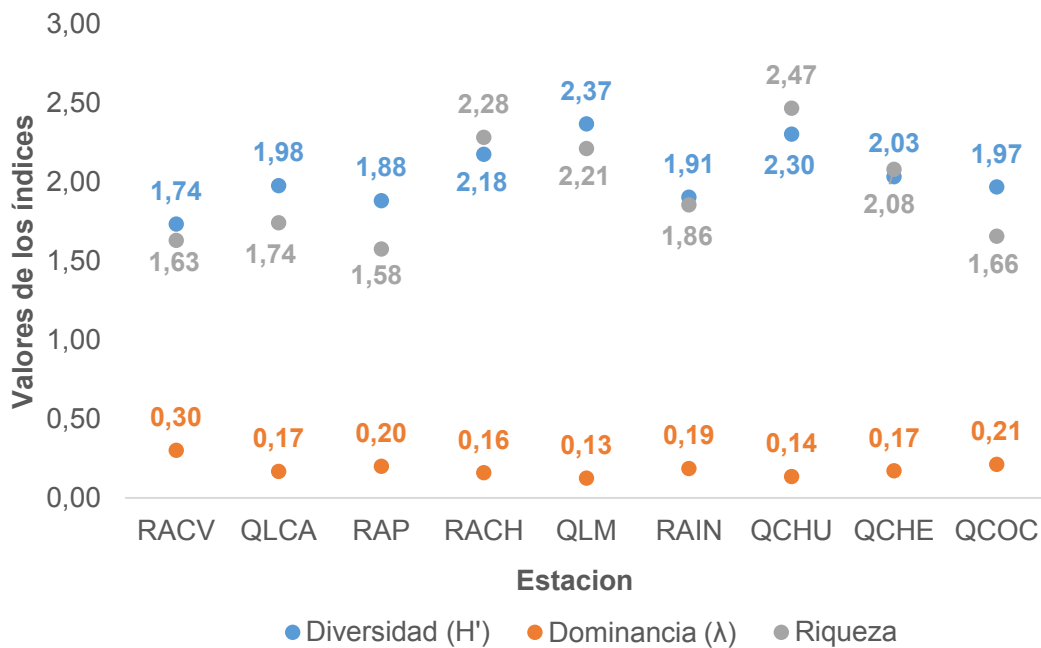
Figura 22. Índice de riqueza de Margalef, dominancia de Simpson y Shannon-Wiener de la comunidad fitoperifítica de la cuenca del río Alvarado durante septiembre de 2012.



Fuente. Autor

Índice de dominancia de Simpson. En el período de septiembre, la estación quebrada Chembe (QCHE) presentó la mayor dominancia ($\lambda= 0,2117$) y el menor valor correspondió a la estación río Alvarado-Puente ($\lambda= 0,1038$) (Figura 22). En el período de diciembre, el mayor valor correspondió a la estación río Alvarado-Caldas Viejo ($\lambda= 0,30$), mientras que la quebrada la Manjarres (QLM) evidenció la menor dominancia ($\lambda=0,13$) (Figura 23).

Figura 23. Índice de riqueza de Margalef, dominancia de Simpson y Shannon-Wiener de la comunidad fitoperifítica de la cuenca del río Alvarado durante el mes de diciembre de 2012.



Fuente. Autor

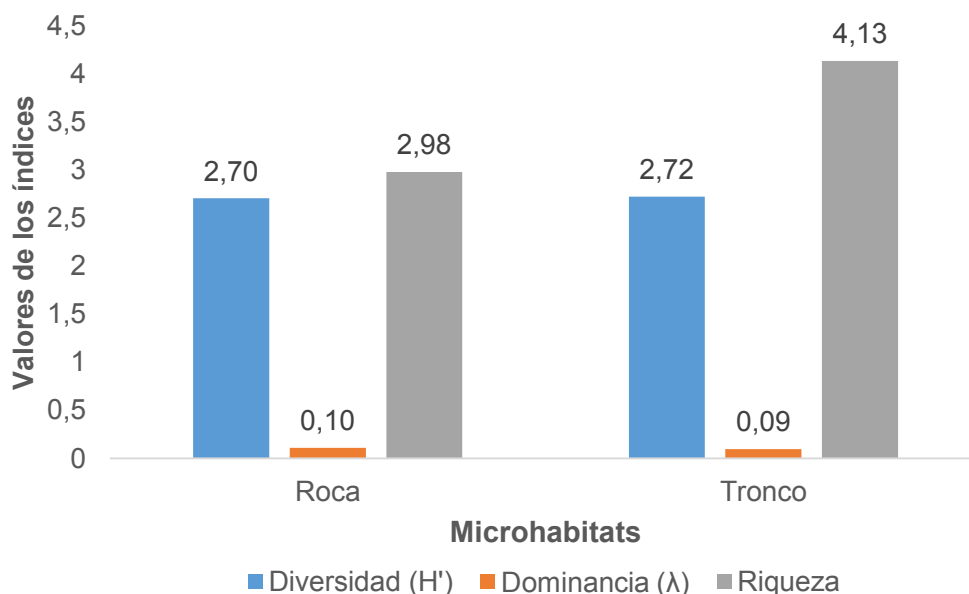
Índice de Shannon- Wiener. Respecto a este índice los mayores valores correspondieron a septiembre. Las estaciones río Alvarado-Caldas Viejo (RACV) y río Alvarado-Puente (RAP) mostraron valores altos ($H'= 2,488$ y $H'= 2,562$), con diferencias significativas entre sí ($t: 3,1531$; $gl: 4970,8$; $p: 0,00015282$), mientras que los menores valores fueron registrados en las localidades quebrada Chembe (QCHE) y quebrada Cocare (QCOC) ($H'= 1,928$ y $H'= 2,049$), con diferencias significativas entre sí ($t: 2,6156$; $gl: 1040,7$; $p:$

0,0090348) (Anexo 2; Figura 22). Durante el mes de diciembre no se registraron diferencias significativas entre las estaciones quebrada la Manjarres (QLM) y quebrada Chumba (QCHU) (t : 1,7499; gl : 1795,4; p : 0,080308) siendo estos los que evidenciaron los valores altos para este índice (H' = 2,367 y H' = 2,304, respectivamente). Mientras que, los valores bajos se presentaron en las estaciones río Alvarado-Caldas Viejo (RACV) y río Alvarado-Puente (RAP) (H' = 1,735 y H' = 1,882), con diferencias significativas entre sí (t : 2,8317; gl : 380,45; p : 0,0048762) (Anexo 2; Figura 23).

4.2.5. Índices de diversidad de sustratos a nivel temporal

Índice de Margalef. A nivel temporal, el mes de septiembre se registraron valores altos de riqueza; para esta época de muestreo el sustrato tronco obtuvo el mayor valor (Mg = 4,134) y roca el menor (Mg =2,981) (Figura 24). Para diciembre, los sustratos naturales roca y tronco presentaron el mismo valor de riqueza con (Mg =2,32) (Figura 25).

Figura 24. Índice de riqueza de Margalef, dominancia de Simpson y Shannon-Wiener de la comunidad fitoperifítica, en los diferentes sustratos muestreados de la cuenca del río Alvarado en el mes septiembre de 2012.

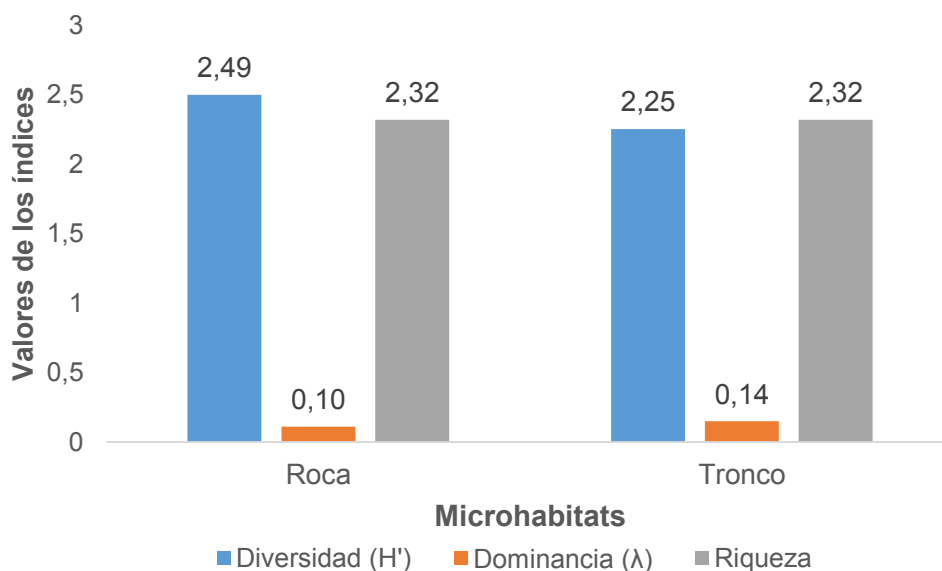


Índice de dominancia de Simpson. Para septiembre, el sustrato de roca registró la mayor dominancia (λ = 0,1095), mientras que para el sustrato tronco se observó el menor valor

($\lambda = 0,09699$) (Figura 24). En contraste, en diciembre el sustrato tronco registró la mayor dominancia ($\lambda = 0,1491$) mientras que el sustrato roca presentó el menor valor ($\lambda = 0,1099$) (Figura 25).

Índice de Shannon-Wiener. En septiembre, la mayor diversidad fue para tronco ($H' = 2,723$) el cual no mostró diferencias significativas con el sustrato de roca ($H' = 2,706$) ($t: 1,201$; $gl: 24364$; $p: 0,22978$) (Anexo 2; Figura 24). En diciembre, roca representó el mayor valor de diversidad ($H' = 2,499$) y tronco el menor ($H' = 2,254$), mostrando diferencias significativas ($t: 16,976$; $gl: 16712$; $p: 4,267E^{-64}$) (Anexo 2; Figura 25).

Figura 25. Índice de riqueza de Margalef, dominancia de Simpson y Shannon-Wiener de la comunidad fitoperifítica, en los diferentes sustratos muestreados de la cuenca del río Alvarado en el mes diciembre de 2012.



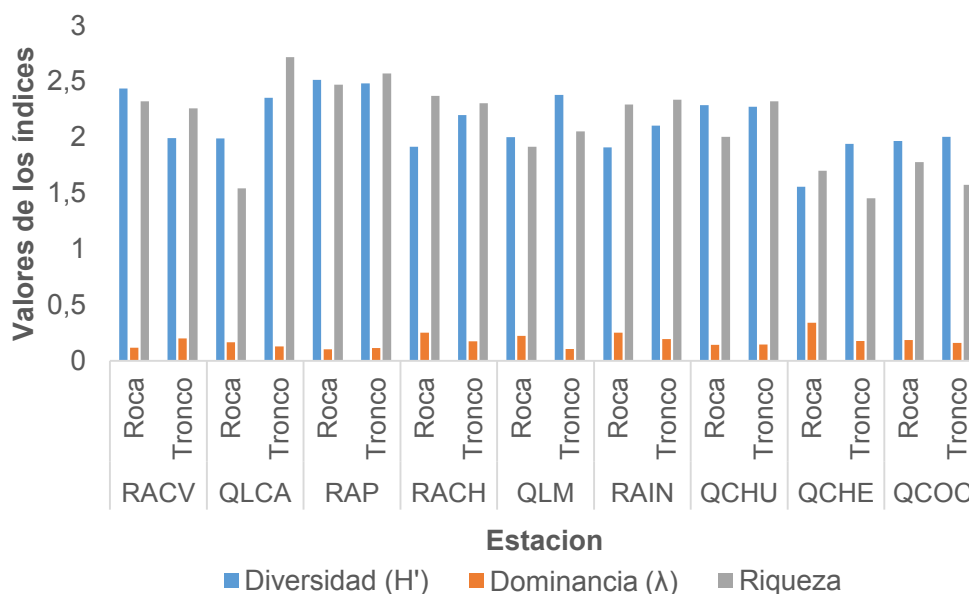
Fuente. Autor

4.2.6. Índices de diversidad de sustratos por estación a nivel temporal

Índice de Margalef. A nivel temporal, durante el período de septiembre las estaciones río Alvarado-Puente (RAP) y quebrada la Caima (QLCA) registraron los mayores valores de riqueza en el sustrato roca ($Mg= 2,437$) y tronco ($Mg= 2,719$), mientras que las estaciones quebrada la Caima (QLCA) y quebrada Chembe (QCHE) presentaron los menores valores en el sustrato roca ($Mg= 1,545$) y tronco ($Mg= 1,455$) (Figura 26). En diciembre, en la estación río Alvarado-Chucuni (RACH) registró los mayores valores de riqueza en los dos sustratos roca ($Mg= 2,024$) y tronco ($Mg=2,261$) y los menores valores corresponden a la estación quebrada Cocare (QCOC) con el sustrato de roca ($Mg=1,526$) y tronco ($Mg=1,329$) (Figura 27).

Índice de dominancia de Simpson. A nivel temporal, septiembre registró los menores valores de dominancia en la estación río Alvarado-Puente (RAP) para los sustratos de roca ($\lambda=0,1006$) y tronco ($\lambda=0,1139$) caso contrario con las estaciones quebrada Chembe (QCHE) y río Alvarado-Caldas Viejo (RACV), las cuales registraron los mayores valores en los sustratos de roca ($\lambda=0,3384$) y tronco ($\lambda=0,1989$) (Figura 26). Para diciembre, las estaciones río Alvarado-Caldas Viejo (RACV) y río Alvarado-Inicio (RAIN) presentaron los mayores valores en los sustratos de roca ($\lambda= 0,2892$) y tronco ($\lambda= 0,3529$), respectivamente, mientras que la quebrada la Manjarres (QLM) y quebrada Chumba (QCHU) los menores ($\lambda=0,1218$ y $\lambda=0,1371$, respectivamente) (Figura 27).

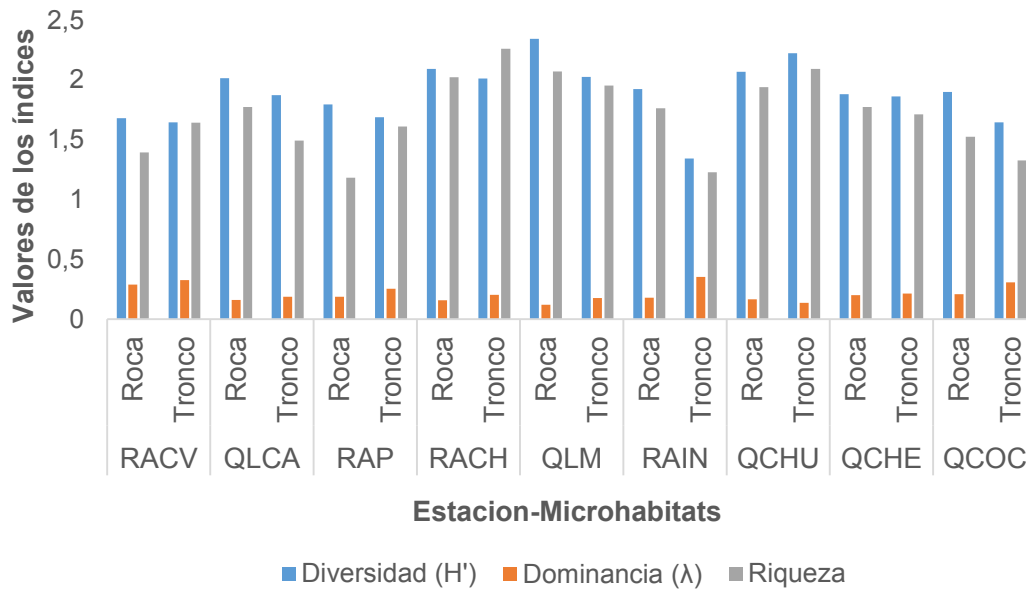
Figura 26. Índice de riqueza de Margalef, dominancia de Simpson y Shannon-Wiener de la comunidad fitoperifítica, en los diferentes sustratos muestreados por estación en la cuenca del río Alvarado en el mes de septiembre de 2012.



Fuente. Autor

Índice de Shannon-Weiner. En septiembre, los sustratos roca y tronco registraron los mayores valores de diversidad en la estación río Alvarado-Puente (RAP) ($H'=2,516$ y $H'=2,484$, respectivamente), no hubo diferencias significativas ($t: 1,4811$; $gl: 5180,8$; $p: 0,13863$), mientras la estación quebrada Chembe (QCHE) registró los menores valores para estos sustratos ($H'=1,557$ y $H'=1,941$), los cuales mostraron diferencias significativas ($t: 5,0741$; $gl: 566,81$; $p: 5,2864E-07$) (Anexo 2; Figura 26). En el periodo de diciembre, los sustratos de roca ($H'=2,346$) y tronco ($H'= 2,026$) en la estación quebrada la Manjarres (QLM) reportaron los mayores valores de diversidad, con diferencias significativas ($t: 8,2643$; $gl: 1393,6$; $p: 3,2354E^{-16}$). La estación río Alvarado-Caldas Viejo (RACV) presentó menor diversidad en los sustratos de roca ($H'= 1,68$) y tronco ($H'= 1,647$), sin diferencias significativas ($t: 1,0604$; $gl: 5324,1$; $p: 0,28901$) (Anexo 2; Figura 27).

Figura 27. Índice de riqueza de Margalef, dominancia de Simpson y Shannon-Wiener de la comunidad fitoperifítica, en los diferentes sustratos muestreados por estación en la cuenca del río Alvarado en el mes de diciembre de 2012.



Fuente. Autor

4.3. VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS

A nivel general las variables fisicoquímicas y ambientales en la cuenca del río Alvarado en los dos periodos de muestreo presentaron similitudes y particularidades; en septiembre se caracterizó por presentar valores bajos en sólidos suspendidos y nitratos, y valores altos de turbiedad con respecto a diciembre (Tabla 8, 9). En los parámetros bacteriológicos, las localidades río Alvarado- Inicio (RAIN), río Alvarado-Caldas Viejo (RACV) y quebrada la Manjarres (QLM) reportaron los mayores valores para coliformes fecales y totales en cada período de muestreo (Tabla 5,6).

Tabla 5. Parámetros bacteriológicos analizados en las nueve estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado en el mes de septiembre de 2012.

Estación	Coli Fecal (Coli/100ml)	Coliformes Total (Coli/100ml)
RACV	120	250000
QLCA	100	130000
RAP	150	30000
RACH	230	21000
QLM	1500	280000
RAIN	160000	3100000
QCHU	360	75000
QCHE	1200	240000
QCOC	200	110000

Estaciones. Río Alvarado-Caldas Viejo (RACV), quebrada la Caima (QLCA), río Alvarado-Puente (RAP), río Alvarado-Chucuni (RACH), quebrada la Manjarres (QLM), río Alvarado-Inicio (RAIN), quebrada Chumba (QCHU), quebrada Chembe (QCHE), quebrada Cocare (QCOC).

Fuente. Autor

Tabla 6. Parámetros bacteriológicos analizados en las nueve estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado en el mes de diciembre de 2012.

Estación	Coli Fecal (Coli/100ml)	Coliformes Total (Coli/100ml)
RACV	20	800000
QLCA	150	370000
RAP	10	340000
RACH	10	720000
QLM	10	340000
RAIN	5000	670000
QCHU	10	160000
QCHE	500	200000
QCOC	20	540000

Estaciones. Río Alvarado-Caldas Viejo (RACV), quebrada la Caima (QLCA), río Alvarado-Puente (RAP), río Alvarado-Chucuni (RACH), quebrada la Manjarres (QLM), río Alvarado-Inicio (RAIN), quebrada Chumba (QCHU), quebrada Chembe (QCHE), quebrada Cocare (QCOC).

Fuente. Autor

4.3.1. ANOVA de Kruskal-Wallis

A nivel temporal, los parámetros como el pH, turbiedad, porcentaje de saturación de oxígeno, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, DQO₅, fósforos totales, fosfatos, coliformes fecales y coliformes totales mostraron diferencias significativas; sin embargo, a nivel espacial no evidenciaron diferencias significativas. Por otra parte, la temperatura del agua, la conductividad eléctrica y la alcalinidad presentaron diferencias significativas a nivel espacial (Tabla 7).

Tabla 7. ANOVA de Kruskal-Wallis para los 19 parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos analizados en las 9 estaciones de la cuenca del río Alvarado en septiembre y diciembre de 2012.

Variab les fisicoquímicas y bacteriológicas	Estación		Periodo de muestreo	
	H(8, N=18)	p	H(1,N=18)	p
Temperatura ambiente °C	12,69	0,12	1,54	0,21
Temperatura del agua	15,96	0,04	0,23	0,62
Conductividad eléctrica	16,38	0,03	0,09	0,75
pH	5,59	0,69	9,56	0,0020
Turbiedad	4,28	0,83	10,23	0,0014
% de saturación de Oxígeno	2,16	0,97	12,80	0,0003
Oxígeno disuelto	7,08	0,52	5,07	0,02
Solidos totales	14,24	0,07	1,03	0,30
Solidos suspendidos	2,83	0,94	12,84	0,0003
Demanda química de Oxígeno (DQO)	5,29	0,72	1,58	0,20
Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	7,57	0,47	7,74	0,005
Nitratos	12,81	0,11	1,53	0,21
Fósforos totales	3,05	0,93	11,24	0,0008
Fosfatos	3,13	0,92	11,98	0,0005
Cloruros	14,02	0,08	0,03	0,85
Alcalinidad	16,84	0,03	0,01	0,89
Dureza	14,42	0,07	0,23	0,62
Coliformes fecales	8,53	0,38	4,54	0,03
Coliformes totales	7,08	0,52	5,07	0,02

Fuente. Autor.

Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos analizados en nueve estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado en septiembre de 2012.

ESTACIÓN	Tem Amb °C	Tem Agua °C	*Cond Eléct	pH	Turbiedad	Oxi Disuel.	% SAT- O ₂	Sol. Totales	Sol. Susp.	DQO	DBO ₅	Nitratos	Fosfatos	F. Totales.	*Clor.	* Alc.	Dureza
RACV	26	26,3	416	8,45	4	7,54	87,1	346	13	52	2,8	1,2	6,7	2,2	22	185	139
QLCA	31	28,2	482	8,36	2	6,76	84,4	322	14	8	3,2	0,09	3,4	1,09	23	221	221
RAP	34	30,4	365	8,64	7	6,17	78	292	13	26	3,4	0,2	6,7	2,2	25	165	156
RACH	32	27	199	8,11	6	6,33	80,3	220	16	145	2,7	1,93	3,4	1,09	14	90	116
QLM	32	25,4	290	8,23	3	5,57	80,3	225	15	8	2,2	0,99	3,4	1,09	10	156	180
RAIN	23	22,4	262	8,41	4	6,26	86,6	207	16	13	5,1	1,93	6,7	2,2	23	103	141
QCHU	26	22	194	8,25	2	7,03	87,2	164	11	43	2,9	0,82	3,4	1,09	12	107	125
QCHE	29	24	91	8,1	4	5,77	80,7	111	14	8	3,3	0,18	6,7	2,2	11	57	79
QCOC	31	23	123	8,22	5	5,91	76,2	116	10	11	2,4	1,48	3,4	1,09	14	69	107

*Clor: Cloruros, Alc: Alcalinidad, Cond Eléct: Conductividad eléctrica.

Estaciones. Río Alvarado-Caldas Viejo (RACV), quebrada la Caima (QLCA), río Alvarado-Puente (RAP), río Alvarado-Chucuni (RACH), quebrada la Manjarres (QLM), río Alvarado-Inicio (RAIN), quebrada Chumba (QCHU), quebrada Chembe (QCHE), quebrada Cocare (QCOC).

Fuente. Autor.

Tabla 9. Parámetros fisicoquímicos analizados en nueve estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado en diciembre de 2012.

ESTACIÓN	T. Amb °C	T. Agua °C	*Cond. Eléct	pH	Turbidez	Oxi Disuel.	% SAT-O2.	Sol. Totales	Sol. Susp.	DQO	DBO5	Nitratos	Fosfatos	F. Totales	*Clor.	*Alc.	Dureza
RACV	29	25,5	373	7,94	9	6,96	91,4	263	24	8	5,95	3,17	3,4	1,09	26	175	167
QLCA	27,5	25,9	435	8,32	4	7,17	96	265	26	8	8,38	0,54	1,3	0,44	21	256	218
RAP	30,5	28,4	295	8,10	13	7,11	95,9	205	24	8	6,46	1,2	1,3	0,44	20	159	143
RACH	32	27,6	198	7,32	22	7,02	94,6	166	28	8	4,48	6,69	3,35	1,09	17	85	140
QLM	31	25,3	234	7,74	17	7,19	96,8	157	22	8	2,62	0,96	1,3	0,44	11	150	133
RAIN	22	22,2	211	7,03	157	6,82	94	232	156	85	12	2,08	1,34	0,44	14	99	123
QCHU	27,375	22,5	212	8,01	23	7,2	96,1	175	19	8	4,66	0,33	1,34	0,44	15	123	97
QCHE	24	23,8	83	6,54	24	6,73	90,8	105	48	182	11	1,47	1,34	0,44	12	53	67
QCOC	23	21,6	122	7,24	23	6,92	93	94	32	8	11	1,24	1,34	0,44	11	82	87

*Clor: Cloruros, Alc: Alcalinidad, Cond Eléct: Conductividad eléctrica.

Estaciones. Río Alvarado-Caldas Viejo (RACV), quebrada la Caima (QLCA), río Alvarado-Puente (RAP), río Alvarado-Chucuni (RACH), quebrada la Manjarres (QLM), río Alvarado-Inicio (RAIN), quebrada Chumba (QCHU), quebrada Chembe (QCHE), quebrada Cocare (QCOC).

Fuente. Autor.

4.3.2. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (ACP)

4.3.2.1. Análisis de Componentes Principales en septiembre (Alta precipitación). A través de este análisis de ordenación, se determinó que la varianza acumulada es de 70,81% en los primeros tres valores, lo cual es suficiente para explicar en mayor parte la dinámica fisicoquímica del cuerpo de agua. El factor 1 presentó un valor propio de 5,82 con una varianza del 34,25%. El primer valor propio define el primer componente principal representando la dirección máxima de la varianza de todas las observaciones en el plano. El factor 2 registró un valor propio de 3,61 representa el 21,24% de la varianza, y el tercer factor con valor propio de 2,60 con una varianza del 70,81%. (Tabla 10).

Tabla 10. Factores en el ACP de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados en la cuenca del río Alvarado en septiembre de 2012.

Factor	Valor propio	Porcentaje varianza total	Valor Acumulado	Porcentaje de la varianza acumulada
1	5,82	34,24	5,82	34,24
2	3,61	21,24	9,43	55,49
3	2,60	15,32	12,03	70,81
4	2,05	12,07	14,09	82,88
5	1,54	9,10	15,63	91,99
6	0,75	4,44	16,39	96,43
7	0,34	2,01	16,73	98,44
8	0,26	1,55	17	100

Fuente. Autor.

Para el factor 1 las variables de mayor contribución presentaron fueron conductividad eléctrica, pH, sólidos totales, cloruros, alcalinidad y dureza; para el factor 2 fueron

temperatura del agua, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), coliformes totales y caudal, y para el factor 3, turbiedad y nitratos (Tabla 11).

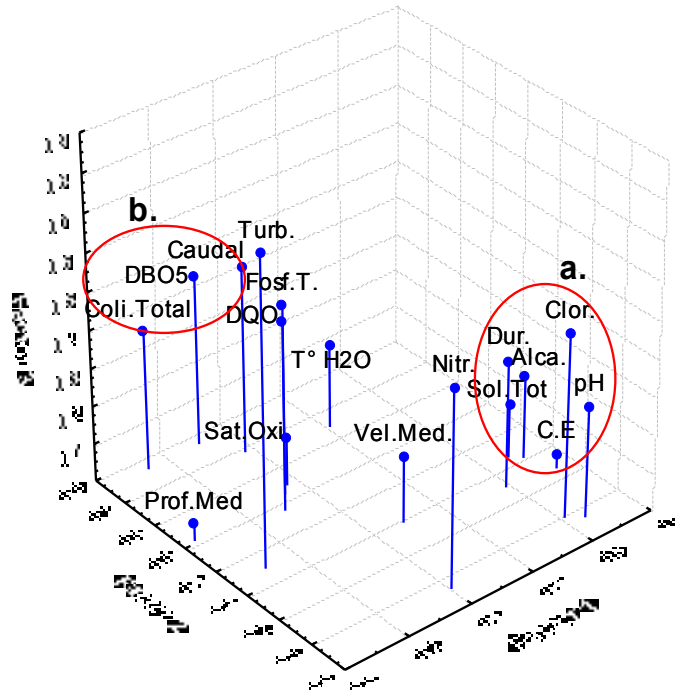
Tabla 11. Contribuciones de las variables fisicoquímicas y bacteriológicas en los factores 1, 2 y 3 del análisis de componente principal en septiembre de 2012.

Variables	Factor 1	Factor 2	Factor 3
T° H2O	0,60	0,64	0,22
C.E	0,93	0,22	0,03
pH	0,85	0,06	0,29
Turb.	0,10	0,34	0,80
Sat.Oxi	0,36	0,53	0,12
Sol.Tot	0,87	0,32	0,14
DQO	0,29	0,47	0,49
DBO5	0,30	0,76	0,44
Nitr.	0,40	0,06	0,52
Fosf.T.	0,33	0,51	0,50
Clor.	0,81	0,09	0,48
Alca.	0,90	0,30	0,22
Dur.	0,78	0,24	0,33
Coli.Total	0,13	0,76	0,36
Vel.Med.	0,48	0,28	0,17
Caudal	0,37	0,68	0,49
Prof.Med	0,03	0,50	0,04

Fuente. Autor.

En el diagrama de dispersión de las variables fisicoquímicas se observa la formación de dos grupos principales de variables, los cuales son: a) pH, sólidos totales, alcalinidad, dureza y conductividad eléctrica; b) coliformes totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y caudal (Figura 28).

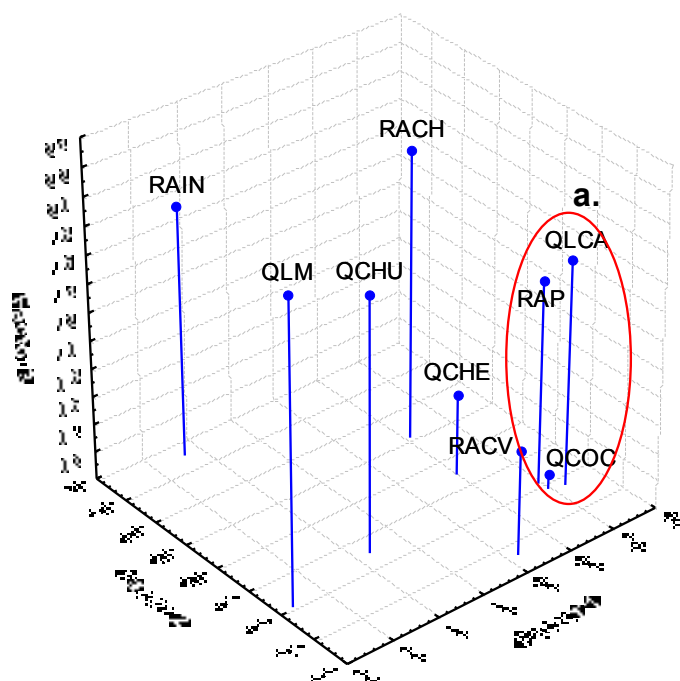
Figura 28. Diagrama de dispersión de las variables analizadas en los componentes I, II y III en la cuenca del río Alvarado en septiembre de 2012.



Fuente. Autor

Las localidades río Alvarado-Puente (RAP), quebrada La Caima (QLCA) y quebrada Cocare (QCOC) reflejaron una alta correlación con pH, sólidos totales, alcalinidad, dureza y conductividad eléctrica. La estación río Alvarado-Inicio (RAIN) se relacionó a las variables de coliformes totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y caudal (Figura 29).

Figura 29. Diagrama de dispersión de las estaciones de acuerdo a los parámetros fisicoquímicos medidos en la cuenca del Alvarado en septiembre de 2012.



Estaciones. Río Alvarado-Caldas Viejo (RACV), quebrada la Caima (QLCA), río Alvarado-Puente (RAP), río Alvarado-Chucuni (RACH), quebrada la Manjarres (QLM), río Alvarado-Inicio (RAIN), quebrada Chumba (QCHU), quebrada Chembe (QCHE), quebrada Cocare (QCOC).
Fuente. Autor.

4.3.2.2. Análisis de Componentes Principales en diciembre (baja precipitación). El ACP mostró que los tres primeros factores explican el 74,47% de la varianza acumulada suficiente para explicar en mayor parte la dinámica fisicoquímica del cuerpo de agua. El primer valor propio fue de 5.45 y define el primer componente principal, representando la dirección máxima de la varianza de todas las observaciones en el plano (Tabla 12).

Tabla 12. Factores en el ACP de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluadas en la cuenca del río Alvarado en diciembre de 2012.

Factor	Valor propio	Porcentaje varianza total	Valor Acumulado	Porcentaje de la varianza acumulada
1	6,74	39,67	6,74	39,67
2	3,40	20,01	10,14	59,68
3	2,51	14,78	12,66	74,47
4	1,95	11,47	14,61	85,95
5	1,15	6,78	15,76	92,73
6	0,75	4,45	16,52	97,18
7	0,34	2,05	16,87	99,24
8	0,12	0,75	17	100

Fuente. Autor.

Para el factor 1, las variables que mayor contribución ofrecieron fueron conductividad eléctrica, pH, sólidos totales, cloruros, alcalinidad y dureza; para el factor 2 fueron nitratos, fósforos totales, coliformes fecales y en el factor 3, demanda química de oxígeno (DQO), velocidad media, caudal y profundidad media (Tabla 13).

Tabla 13. Contribuciones de las variables fisicoquímicas y bacteriológicas en los factores 1, 2 y 3 del análisis de componente principal en diciembre de 2012.

Variables	Factor 1	Factor 2	Factor 3
T° H2O	0,65	0,20	0,05
C.E	0,95	0,005	0,03
pH	0,87	0,14	0,41
Turb.	0,33	0,07	0,47
Sat.Oxi	0,48	0,47	0,40
Sol.Tot	0,82	0,03	0,32

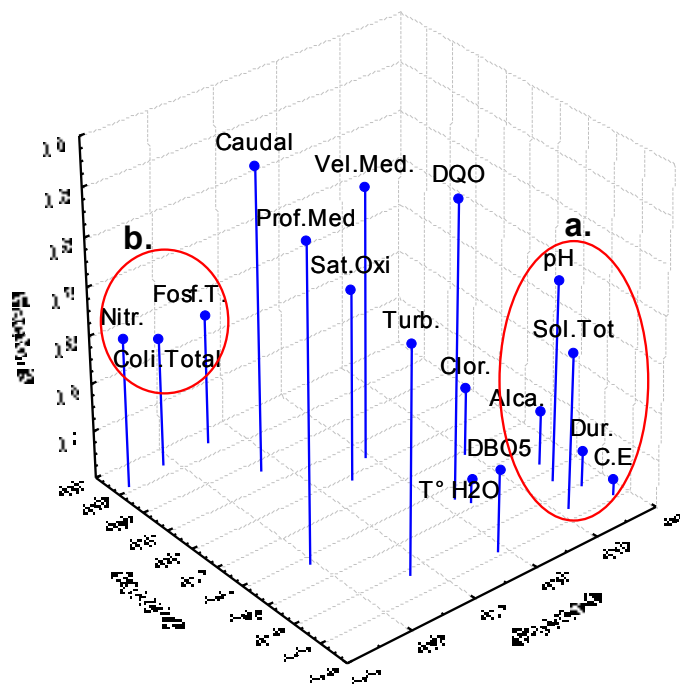
Variables	Factor 1	Factor 2	Factor 3
DQO	0,63	0,24	0,61
DBO ₅	0,56	0,007	0,17
Nitr.	0,03	0,81	0,31
Fosf.T.	0,31	0,84	0,27
Clor.	0,78	0,37	0,14
Alca.	0,90	0,22	0,11
Dur.	0,91	0,08	0,07
Coli.Total	0,16	0,83	0,26
Vel.Med.	0,57	0,53	0,56
Caudal	0,33	0,65	0,63
Prof.Med	0,18	0,26	0,65

Fuente. Autor.

El diagrama de dispersión de las variables fisicoquímicas en los factores 1, 2 y 3 mostró dos grupos principales de variables: a) pH, sólidos totales, alcalinidad, dureza y conductividad eléctrica; b) nitratos, coliformes totales y fósforos totales (Figura 30).

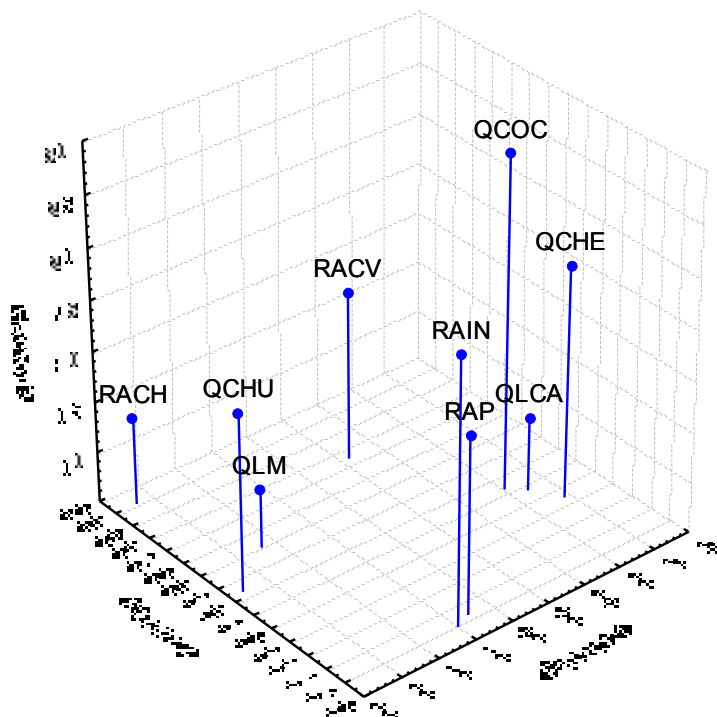
Las localidades quebrada Cocare (QCOC), quebrada la Caima (QLCA) y quebrada Chembe (QCHE) reflejaron una alta correlación con pH, sólidos totales, alcalinidad, dureza y conductividad eléctrica. La estación río Alvarado-Chucuni (RACH) se relacionó a las variables de nitratos, coliformes totales y fósforos totales (Figura 31).

Figura 30. Diagrama de dispersión de las variables analizadas en los componentes I, II y III en la cuenca del río Alvarado en diciembre de 2012.



Fuente. Autor.

Figura 31. Diagrama de dispersión de las estaciones de acuerdo a los parámetros fisicoquímicos medidos en la cuenca del Alvarado en diciembre de 2012.

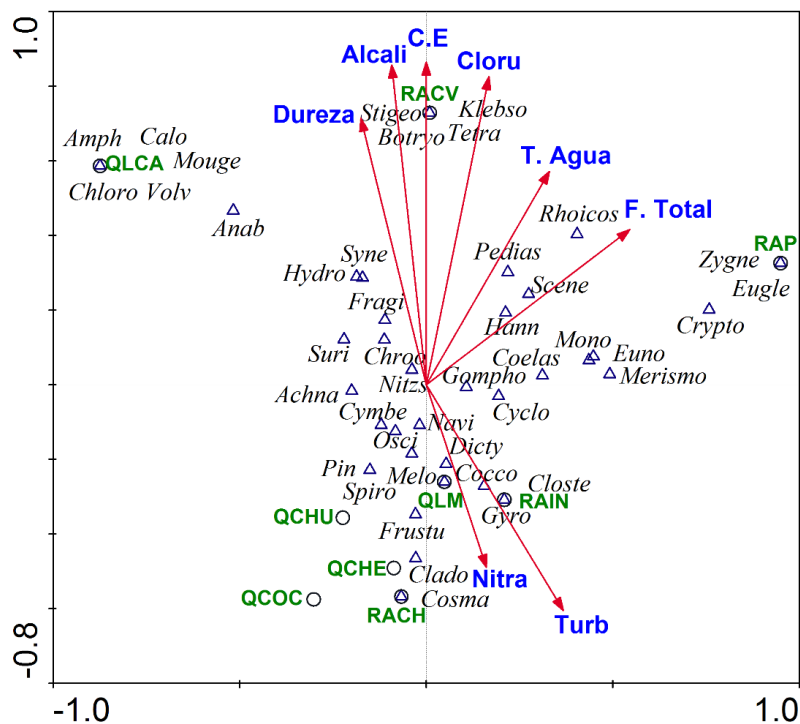


Estaciones. Río Alvarado-Caldas Viejo (RACV), quebrada la Caima (QLCA), río Alvarado-Puente (RAP), río Alvarado-Chucuni (RACH), quebrada la Manjarres (QLM), río Alvarado-Inicio (RAIN), quebrada Chumba (QCHU), quebrada Chembe (QCHE), quebrada Cocare (QCOC).
Fuente. Autor.

4.3.3. ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIA CANÓNICA ENTRE VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS Y LA COMUNIDAD FITOPERIFÍTICA DE LA CUENCA DEL RÍO ALVARADO

Para los dos períodos de muestreo (septiembre y diciembre) se efectuó un análisis de correspondencia canónica para determinar la relación entre las variables fisicoquímicas y los géneros de la comunidad fitoperifítica. En las estaciones río Alvarado-Caldas Viejo, quebrada la Manjarres y río Alvarado-Inicio; los géneros: *Botryococcus*, *Cocconeis*, *Closterium*, *Dictyosphaerium*, *Gyrosigma*, *Klebsormidium*, *Stigeoclonium* y *Tetraedron*; se relacionan de manera positiva con los parámetros de dureza, alcalinidad, conductividad eléctrica, cloruros, nitratos y turbiedad (Figura 32).

Figura 32. Análisis de Correspondencia Canónica entre variables fisicoquímicas y la comunidad fitoperifítica en las diferentes estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado en los periodos de muestreo (septiembre y diciembre de 2012).



Géneros. *Achnanthes* (Achna); *Amphora* (Amph); *Anabaena* (Anab); *Botryococcus* (Botryo); *Caloneis* (Calo); *Chlorosarcina* (Chloro); *Chroococcus* (Chroo); *Cladophora* (Clado); *Closterium* (Closte); *Cocconeis* (Cocco); *Coelastrum* (Coelas); *Cosmarium* (Cosma); *Cryptomonas* (Crypto); *Cyclotella* (Cyclo); *Cymbella*

(Cymbe); *Dictyosphaerium* (Dicty); *Euglena* (Eugle); *Eunotia* (Euno); *Fragilaria* (Fragi); *Frustulia* (Frustu); *Gomphonema* (Gompho); *Gyrosigma* (Gyro); *Hannaea* (Hann); *Hydrodictyon* (Hydro); *Klebsormidium* (Klebso); *Melosira* (Melo); *Merismopedia* (Merismo); *Monoraphidium* (Mono); *Mougeotia* (Mouge); *Navicula* (Navi); *Nitzschia* (Nitzs); *Oscillatoria* (Osci); *Pediastrum* (Pedias); *Pinnularia* (Pin); *Rhoicosphenia* (Rhoicos); *Scenedesmus* (Scene); *Spirogyra* (Spiro); *Stigeoclonium* (Stigeo); *Surirella* (Suri); *Synedra* (Syne); *Tetraedron* (Tetra); *Volvox* (Volv); *Zygnema* (Zygne).

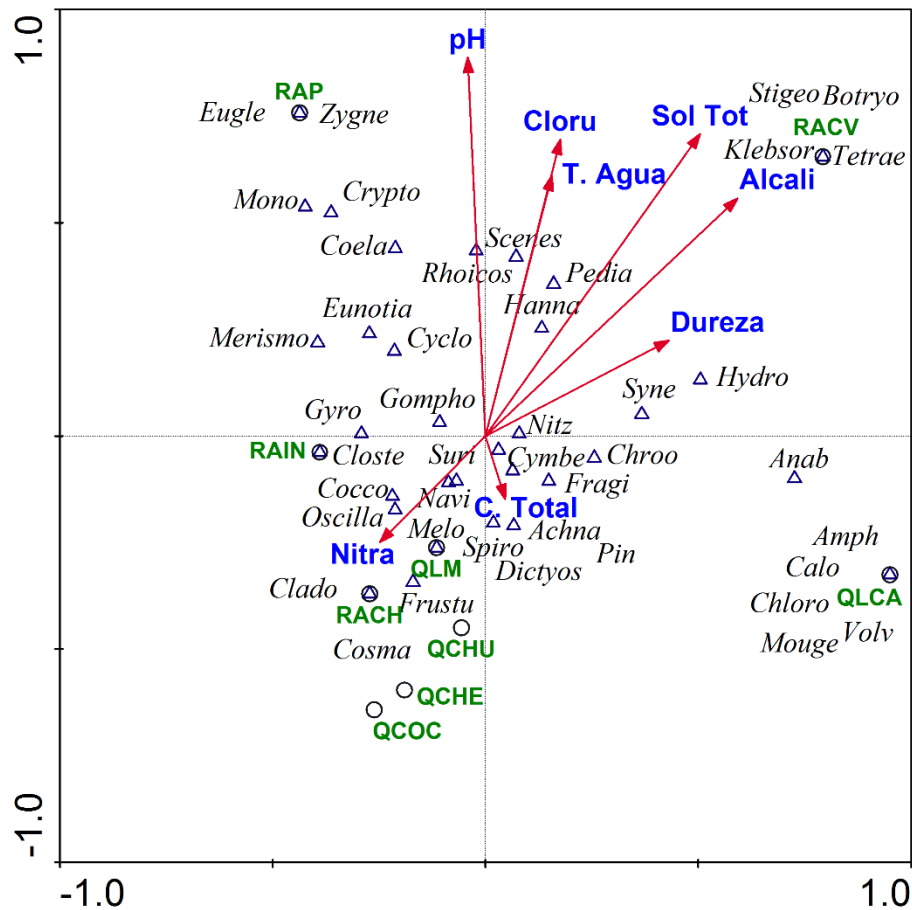
Estaciones. Río Alvarado-Caldas Viejo (RACV), quebrada la Caima (QLCA), río Alvarado-Puente (RAP), río Alvarado-Chucuni (RACH), quebrada la Manjarres (QLM), río Alvarado-Inicio (RAIN), quebrada Chumba (QCHU), quebrada Chembe (QCHE), quebrada Cocare (QCOC).

Fuente. Autor.

En el periodo de septiembre de 2012, los resultados de este análisis muestran que las variables pH, alcalinidad, cloruros, temperatura del agua y solidos totales influyeron de manera positiva con los géneros *Rhoicosphenia*, *Scenedesmus*, *Hannaea*, *Pediastrum*, *Stigeoclonium*, *Botryococcus*, *Klebsormidium* y *Tetraedron*, y estos a la vez se asocian con la estación río Alvarado-Caldas Viejo. Los géneros *Navicula*, *Surirella*, *Oscillatoria* y *Cocconeis* se relacionan de manera positiva con la variable de nitratos. Sin embargo, la presencia de ciertos géneros (*Amphora*, *Anabaena*, *Caloneis*, *Cryptomonas*, *Monoraphidium*, *Mougeotia*, *Chlorosarcina*, *Volvox*, *Zygnema* y *Euglena*) no estuvo condicionada a las variables fisicoquímicas evaluadas, en estaciones como quebrada la Caima y río Alvarado-Puente (Figura 33).

Para la época de diciembre de 2012, se observó que las variables alcalinidad, conductividad eléctrica, dureza, turbiedad y demanda química de oxígeno (DQO) se relacionan de manera positiva con los géneros *Nitzschia*, *Achnanthes*, *Surirella*, *Coelastrum* e *Hydrodictyon* y estos a su vez se asocian con las localidades río Alvarado-Inicio y quebrada Chembe. En contraste, los géneros *Merismopedia*, *Frustulia*, *Chroococcus* y *Cryptomonas* no se encuentran influenciadas con las variables fisicoquímicas evaluadas, en estaciones como río Alvarado-Caldas Viejo, quebrada la Manjarres y río Alvarado-Puente (Figura 34).

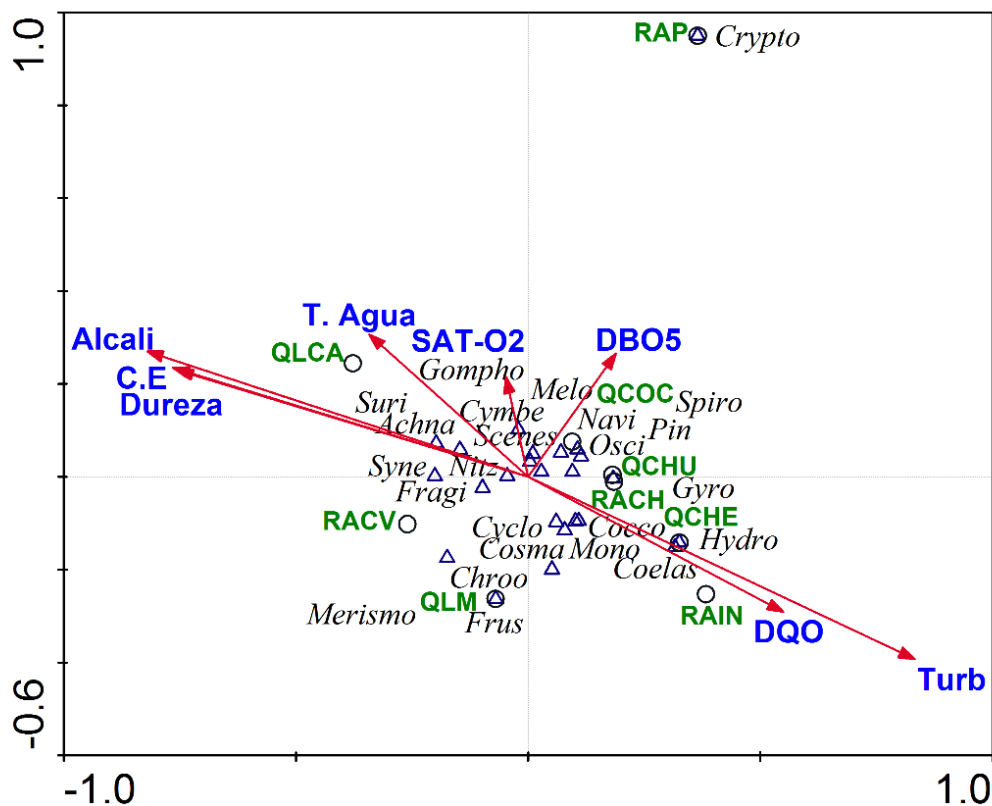
Figura 33. Análisis de Correspondencia Canónica entre variables fisicoquímicas y la comunidad fitoperifítica en las diferentes estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado en septiembre de 2012.



Géneros. *Achnanthes* (Achna); *Amphora* (Amph); *Anabaena* (Anab); *Botryococcus* (Botryo); *Caloneis* (Calo); *Chlorosarcina* (Chloro); *Chroococcus* (Chroo); *Cladophora* (Clado); *Closterium* (Closte); *Cocconeis* (Cocco); *Coelastrum* (Coelas); *Cosmarium* (Cosma); *Cryptomonas* (Crypto); *Cyclotella* (Cyclo); *Cymbella* (Cymbe); *Dictyosphaerium* (Dicty); *Euglena* (Eugle); *Eunotia* (Euno); *Fragilaria* (Fragi); *Frustulia* (Frustu); *Gomphonema* (Gompho); *Gyrosigma* (Gyro); *Hannaea* (Hann); *Hydrodictyon* (Hydro); *Klebsormidium* (Klebso); *Melosira* (Melo); *Merismopedia* (Merismo); *Monoraphidium* (Mono); *Mougeotia* (Mouge); *Navicula* (Navi); *Nitzschia* (Nitzs); *Oscillatoria* (Osci); *Pediastrum* (Pedias); *Pinnularia* (Pin); *Rhoicosphenia* (Rhoicos); *Scenedesmus* (Scene); *Spirogyra* (Spiro); *Stigeoclonium* (Stigeo); *Surirella* (Suri); *Synedra* (Syne); *Tetraedron* (Tetra); *Volvox* (Volv); *Zygnema* (Zygne).

Estaciones. Río Alvarado-Caldas Viejo (RACV), quebrada la Caima (QLCA), río Alvarado-Puente (RAP), río Alvarado-Chucuni (RACH), quebrada la Manjarres (QLM), río Alvarado-Inicio (RAIN), quebrada Chumba (QCHU), quebrada Chembe (QCHE), quebrada Cocare (QCOC). Fuente. Autor.

Figura 34. Análisis de Correspondencia Canónica entre variables fisicoquímicas y la comunidad fitoperifítica en las diferentes estaciones muestreadas de la cuenca del río Alvarado en diciembre de 2012.



Géneros. *Achnanthes* (Achna); *Chroococcus* (Chroo); *Cocconeis* (Cocco); *Coelastrum* (Coelas); *Cosmarium* (Cosma); *Cryptomonas* (Crypto); *Cyclotella* (Cyclo); *Cymbella* (Cymbe); *Fragilaria* (Fragi); *Frustulia* (Frustu); *Gomphonema* (Gompho); *Gyrosigma* (Gyro); *Hydrodictyon* (Hydro); *Melosira* (Melo); *Merismopedia* (Merismo); *Monoraphidium* (Mono); *Navicula* (Navi); *Nitzschia* (Nitzs); *Oscillatoria* (Osci); *Pinnularia* (Pin); *Scenedesmus* (Scene); *Spirogyra* (Spiro); *Surirella* (Suri); *Synedra* (Syne).

Estaciones. Río Alvarado-Caldas Viejo (RACV), quebrada la Caima (QLCA), río Alvarado-Puente (RAP), río Alvarado-Chucuni (RACH), quebrada la Manjarres (QLM), río Alvarado-Inicio (RAIN), quebrada Chumba (QCHU), quebrada Chembe (QCHE), quebrada Cocare (QCOC).

Fuente. Autor.

De acuerdo con los resultados del análisis de correlación de Pearson, la comunidad algal de la cuenca del río Alvarado, principalmente los géneros *Nitzschia*, *Gomphonema* y *Synedra*, estuvieron relacionados de manera positiva con los factores de conductividad eléctrica, pH, sólidos totales, alcalinidad y dureza. Adicionalmente, los géneros *Fragilaria*

y *Scenedesmus* solamente presentaron una relación positiva con la dureza ($r: 0,478$; $p: 0,045$) y sólidos totales ($r: 0,486$; $p: 0,041$), respectivamente (Anexo 11).

5. DISCUSIÓN

5.1. VARIABLES BIOLÓGICAS

5.1.1. Composición y estructura de la comunidad fitoperifítica. La estructura de la comunidad fitoperifítica en los dos periodos evaluados, estuvo dominada en su mayor parte por la clase Bacillariophyceae. Tanto a nivel espacial y temporal, esta clase se caracterizó por su abundancia y frecuencia a lo largo de todas las estaciones de muestreo. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Montoya & Ramírez (2007), Bustamante et al., (2008), Silva et al., (2008) y Pedraza & Donato (2011), quienes consideran que los organismos pertenecientes a la clase Bacillariophyceae son muy comunes y abundantes en ecosistemas lóticos como: ríos, riachuelos y arroyos de alta montaña. Este hecho se debe posiblemente a que los organismos pertenecientes a esta clase se caracterizan principalmente por segregar estructuras mucilaginosas las cuales les permiten adherirse a los diferentes sustratos ofrecidos por el cuerpo de agua y, de esta manera soportar las fuertes corrientes (Pinilla, 1998).

La clase Chlorophyceae presentó valores altos durante el muestreo de septiembre, que corresponde al periodo de altas precipitaciones, mientras que en diciembre (bajas precipitaciones) registró una menor abundancia, lo anterior podría relacionarse con lo reportado por Hill (1996) y Gualtero (2007), donde la luz es uno de los factores ambientales que incide altamente sobre el desarrollo de las clorofíceas, debido a que facilita el crecimiento vertical, reduciendo el desarrollo de formas no móviles y postradas en los microhábitat presentes en estos cuerpos de agua.

Es importante tener en cuenta que los ensambles fitoperifíticos fluctúan en el espacio y el tiempo, debido a factores como el ciclo hidrológico, nutrientes y condiciones físicas y químicas de los cuerpos de agua, que favorecen a ciertos grupos de organismos en diferentes épocas (Lopretto & Tell, 1995). Las localidades que presentaron la mayor densidad en los dos periodos de muestreo fueron, río Alvarado-Puente, río Alvarado-

Inicio (septiembre de 2012), río Alvarado-Caldas Viejo y quebrada la Caima (diciembre de 2012), las cuales se relacionan con la acción del caudal (Arcos & Prieto, 2006), enriquecimiento de materia orgánica (Pizarro & Alemanni, 2005) y con algunos parámetros fisicoquímicos como conductividad eléctrica, pH y turbiedad (Díaz & Rivera, 2004), que favorecen el establecimiento y desarrollo de un gran número de organismos.

En cuanto a la distribución altitudinal de la comunidad fitoperifítica en la cuenca del río Alvarado, se observó que la clase Bacillariophyceae tuvo una mayor distribución de los géneros registrados en los periodos evaluados, según Díaz & Rivera (2004), Ramírez & Plata (2008), Bellinger & Sigee (2010), consideran que esta clase puede soportar diferentes temperaturas y niveles de cargas de nutrientes, por lo que serían comunidades que se distribuyen ampliamente en ríos tropicales.

Con respecto a la distribución de los géneros a nivel temporal *Navicula* fue el género con mayor densidad relativa durante los dos periodos de muestreo, estas densidades pueden estar asociadas con la respuesta a los incrementos de nutrientes por la intervención antrópica a causa del vertimiento de contaminantes domésticos, industriales y la actividad agrícola (Roldan & Ramírez, 2008; Morales et al., 2010).

Así mismo, se observan cambios en la densidad relativa a nivel temporal *Nitzschia* y *Scenedesmus* fueron dominantes y frecuentes en septiembre de 2012, mientras que en diciembre de 2012, *Fragilaria* y *Oscillatoria* fueron los taxones que presentaron una alta abundancia. Estas densidades podrían estar relacionadas con las estructuras de fijación al sustrato, formas de crecimiento y la capacidad de estos organismos para tolerar los cambios en las condiciones ambientales (Bicudo & Menezes, 2006; Andramunio, 2013).

Sin embargo, algunos géneros como *Closterium*, *Euglena*, *Volvox Tetraedron*, *Caloneis*, *Gyrosigma*, *Cryptomonas*, *Cosmarium* y *Chroococcus*, registraron valores bajos de densidad relativa, por lo tanto a este grupo de organismos se les pueden considerar como inestables y poco frecuentes, hecho que probablemente se puede atribuir a que son muy sensibles y necesitan condiciones muy particulares para su desarrollo (Andramunio, 2013).

Con relación a los sustratos evaluados, tronco presentó el mayor valor de densidad y riqueza (39 géneros) en septiembre de 2012, lo cual se puede asociar a la presencia de materia orgánica en descomposición (Bustamante et al., 2008); mientras que en el periodo de diciembre de 2012, tanto roca y tronco presentaron un porcentaje similar de abundancia de géneros, este hecho posiblemente se relacione con la permanencia y estabilidad de estos sustratos en el río (Roldan & Ramírez, 2008).

A nivel espacial y temporal, la estación quebrada La Manjarres registró el mayor valor de densidad en el sustrato roca en los dos periodos evaluados, mientras que, las localidades río Alvarado-Inicio y quebrada Cocare presentaron valores altos de densidad en tronco durante las dos épocas de muestreo, esto puede indicar que la abundancia de la comunidad fitoperifítica es mayor cuando la acción y velocidad de la corriente es mínima (Martínez & Donato, 2003; Zapata & Donato, 2005).

5.2. ÍNDICES ECOLÓGICOS

A nivel temporal, tanto en septiembre (alta precipitación) como en diciembre (baja precipitación), las estaciones quebrada Chumba, río Alvarado-Puente y quebrada La Manjarres presentaron los valores altos de diversidad y riqueza, mientras que, las localidades quebrada Chembe y río Alvarado-Caldas Viejo presentaron los mayores valores de dominancia. La diversidad y riqueza de la comunidad fitoperifítica, pueden estar asociadas a los periodos hidroclimáticos, por lo que es posible suponer, que esta comunidad está sujeta principalmente a las variaciones en el caudal, (Montoya et al., 2008; Pedraza & Donato, 2011), algunos autores recalcan la influencia que tiene la velocidad de la corriente sobre la productividad algal, las tasas de acumulación y la estructura de la comunidad (Horner & Welch, 1981; Traaen & Lindstrom, 1983; Wetzel, 2001).

La riqueza de especies mostró como un buen indicador de cambios en la estructura de la comunidad fitoperifítica, puesto que tuvo cambios significativos entre cada uno de los periodos de muestreo. Las estaciones quebrada Chembe y quebrada Cocare presentaron baja riqueza y diversidad, configurando ensamblajes de la comunidad algal específicos, esto es debido a la alteración del flujo y extracción de material, lo que reduce la disponibilidad de los recursos y condiciones del hábitat (Clausen & Biggs, 1977; Kingsley, 2004; Pedraza & Donato, 2011).

Al comparar los índices de diversidad, dominancia y riqueza entre los monitoreos realizados en septiembre y diciembre de 2012, se observó que los valores para estos índices fueron mayores durante septiembre, en relación a lo obtenido durante la época de diciembre; lo anterior es favorecido por la baja fluctuación de las condiciones hidroclimáticas, bajo nivel de turbiedad y bajo caudal, que permitieron una mayor estabilidad y colonización de las microalgas perifíticas en esta cuenca (Ramírez & Plata, 2008).

A nivel temporal, septiembre presentó valores altos de riqueza, diversidad y dominancia en el sustrato tronco, este comportamiento concuerda con lo encontrado por Sabater et

al., (1998) y Quinn et al., (2010), quienes registraron para los ríos una mayor diversidad en la comunidad asociada a los troncos respecto a la comunidad epilítica, debido a la irregularidad que presenta el sustrato leñoso. En el mes de diciembre, los sustratos (roca y tronco) no mostraron variaciones entre sí, presentando un comportamiento homogéneo en los índices evaluados.

5.3. VARIABLES FISICOQUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS

Las variables fisicoquímicas evaluadas en las diferentes estaciones de la cuenca del río Alvarado presentaron variaciones y/o fluctuaciones en los dos periodos de muestreo, indicando así un comportamiento heterogéneo y dinámico a lo largo de esta cuenca. Los parámetros bacteriológicos (coliformes fecales y coliformes totales) se vieron incrementados en las localidades ubicadas cerca de las zonas urbanas, especialmente al municipio de Ibagué. Temporalmente, se estableció que existe una clara incidencia de las condiciones hidroclimáticas sobre las variables fisicoquímicas como; pH, turbiedad, sólidos suspendidos, sólidos totales y fósforos totales

En cuanto a la temperatura del agua, las localidades ubicadas en la parte baja de la cuenca; río Alvarado-Caldas Viejo, quebrada La Caima y río Alvarado-Puente, registraron valores altos; esto probablemente se relaciona con la dinámica natural de los ecosistemas lóticos, sumado a la poca vegetación riparia que se observa en estos sectores intervenidos de la cuenca, los cuales reciben una mayor intensidad lumínica, y por ende se refleja un incremento en la abundancia de la comunidad fitoperifítica (Pedraza & Donato, 2011).

Las estaciones río Alvarado-Caldas Viejo, quebrada La Caima y río Alvarado-Puente en los dos periodos de muestreo presentaron valores altos de conductividad y sólidos totales disueltos (STD) a consecuencia de las descargas domésticas, agrícolas e industriales que reciben estos en su cauce (Díaz & Rivera, 2004; Roldan & Ramírez, 2008). Por otra parte, la localidad quebrada Chembe registró valores bajos, lo que permite catalogar a esta zona como muy pobres en nutrientes y baja productividad primaria.

Los valores altos de turbiedad y sólidos en suspensión (SS) en la época de diciembre, especialmente en la estación río Alvarado-Inicio se deben principalmente al aumento de la precipitación, que favorece el aporte y arrastre de materiales como desechos domésticos e industriales, los cuales inciden directamente en la productividad y el flujo de energía dentro del ecosistema (O'Farrell et al., 2002; Roldan & Ramírez, 2008 y

Pizarro & Alemanni, 2005). En septiembre, estas variables mencionadas se caracterizaron por tener valores muy bajos a lo largo de la cuenca del río Alvarado.

En cuanto a los gases disueltos en el agua, las estaciones río Alvarado-Inicio, quebrada Chembe y quebrada Cocare mostraron bajos valores de oxígeno disuelto (OD) en las dos épocas de muestreo, esto puede atribuirse al gradiente altitudinal y a factores antropogénicos como la descarga de aguas residuales y doméstica (Roldan & Ramírez, 2008). La estación río Alvarado-Inicio registró el valor alto de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en los dos periodos evaluados indica que esta zona presenta una alta concentración de materia orgánica biodegradable (Roldan & Ramírez, 2008). Las concentraciones de nitratos y fosfatos, claramente mayores en las localidades río Alvarado Caldas-Viejo, río Alvarado-Inicio y río Alvarado-Chucuni, corresponderían, según Pesson (1979) y Roldan & Ramírez (2008) al aporte de los efluentes domésticos, polvos de lavar, detergentes y fertilizantes de la actividad agrícola.

Por otro lado, los cloruros presentaron un incremento en las zonas bajas en las localidades de río Alvarado-Caldas Viejo, quebrada la Caima y río Alvarado-Puente, indicando una moderada concentración de salinidad; esto concuerda con Roldan & Ramírez (2008), los cuales afirman que estos valores incrementan su contenido en las partes bajas del río.

Finalmente, las estaciones río Alvarado-Inicio, río Alvarado-Caldas Viejo y quebrada Chembe presentaron valores altos de coliformes totales, coliformes fecales, fosfatos, fósforos totales y nitratos relacionado con las descargas de tipo doméstico que se observaron en estas localidades, lo que aporta niveles altos de materia orgánica, lo cual genera un aumento en la densidad del perifiton en estos puntos de muestreo. A su vez, la reducida calidad de agua en estos sectores de la cuenca, hace que el recurso hídrico sea no apto para el consumo humano y animal (Parra, 2008; Forero, 2011).

De acuerdo al análisis de componentes principales, durante los dos periodos evaluados las variables fisicoquímicas, conductividad eléctrica, pH, sólidos totales, cloruros,

alcalinidad y dureza registraron una alta influencia en la dinámica fisicoquímica de la cuenca del río Alvarado; estos factores fisicoquímicos se relacionan con procesos de mineralización de la materia orgánica, generados por erosión, sedimentación y arrastre de material alóctono (Kamp-Nielsen, 2008; Montoya & Ramírez, 2007). Lo anterior probablemente está determinado por actividades agropecuarias y de extracción material de arrastre, que se desarrollan en la mayor parte de la cuenca y que inciden en procesos erosivos y de incremento de los sólidos totales y demás variables asociadas con el fenómeno de mineralización.

Con respecto al análisis de correspondencia canónica (CCA), se determinó que en las localidades evaluadas, las variables que intervienen en los ensambles de la comunidad algal son alcalinidad y fósforos totales en la localidad río Alvarado-Caldas Viejo y los géneros *Stigeoclonium*, *Botryococcus*, *Tetraedron*, *Klebsormidium*, *Scenedesmus* y *Hannaea* en los dos periodos de muestreo, los cuales se relacionan con procesos de mineralización (Ramírez & Viña, 1998) (Anexo 12a). El pH y la alcalinidad se relacionan de manera positiva con los géneros *Rhoicosphenia*, *Scenedesmus*, *Hannaea* y *Pediastrum* en el periodo de septiembre (Anexo 12b); y en la época de diciembre, la turbiedad se asoció positivamente con la quebrada Chembe, con *Coelastrum* e *Hydrodictyon* (Anexo 12c), indicando que posiblemente estos géneros tengan un mejor soporte y estabilidad al efecto diferencial de esta variable.

De acuerdo con el análisis de correlación de Pearson, la comunidad fitoperifítica de la cuenca del río Alvarado, especialmente los géneros pertenecientes a la clase Bacillariophyceae estuvieron relacionados a los factores: pH, alcalinidad, conductividad eléctrica, dureza y sólidos totales; estos se pueden asociar con el hecho que junto al caudal, nutrientes como nitratos y fosfatos, así como otras variables fisicoquímicas determinan la respuesta del perifiton de ríos tropicales (Pedraza & Donato, 2011).

6. CONCLUSIONES

La comunidad fitoperifítica para la cuenca del río Alvarado estuvo dado principalmente por algas pertenecientes a las clases Bacillariophyceae y Chlorophyceae, las cuales registraron las mayores densidades durante los dos muestreos realizados, este comportamiento es común para los ecosistemas lóticos, debido a que estos organismos están adaptados para estos ambientes.

Los géneros de la comunidad algal de mayor distribución y abundancia fueron *Navicula*, *Fragilaria*, *Nitzschia* y *Scenedesmus* en los dos periodos de muestreo, en cambio, *Hydrodictyon*, *Chroococcus*, *Klebsormidium* y *Caloneis* presentaron bajas abundancias y poca distribución espacial en esta cuenca.

A nivel espacial, las estaciones que están menos impactadas (río Alvarado-Caldas Viejo y río Alvarado-Puente) presentaron los mayores valores de diversidad y riqueza, en cambio, las estaciones que están impactadas por la influencia antrópica y agrícola (quebrada Chembe y quebrada Cocare) presentaron los menores valores de diversidad y riqueza.

La variación de la composición, diversidad, densidad y el desarrollo de la comunidad fitoperifítica dependen de variables hidrológicas y biológicas (caudal, velocidad del flujo, presencia de lluvias y enriquecimiento de nutrientes), y factores fisicoquímicos como pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, sólidos totales, dureza, coliformes totales y fecales. Así mismo, en el mes de septiembre presentó una mayor abundancia y diversidad de la comunidad algal, el cual se vio beneficiado por condiciones ambientales y fisicoquímicas favorables que permitieron una buena estructuración y composición de estos organismos dentro de estos cuerpos de agua.

Las variables fisicoquímicas que determinaron de manera significativa la comunidad algal en esta cuenca, especialmente a los géneros *Nitzschia*, *Gomphonema* y *Synedra*, fueron

en su orden de importancia, sólidos totales, dureza, conductividad eléctrica, pH y alcalinidad, las cuales influyeron de manera significativa de la distribución en la comunidad fitoperifítica en la cuenca del río Alvarado y sus tributarios.

RECOMENDACIONES

Realizar una mayor frecuencia de muestreos durante el año para observar cambios en la estructura y composición de la comunidad de algal con respecto a la influencia de las variables hidrológicas en la dinámica ecológica y fisicoquímica de la cuenca.

Evaluar la estructura de la comunidad de las algas con respecto a otros tipos de sustratos inestables que se encuentran en la cuenca, como hojarasca y sedimento.

En necesario continuar con estudios de taxonomía y ecología de algas en otras cuencas hidrográficas del departamento del Tolima, los cuales son importantes para conocer el estado actual del cuerpo de agua.

REFERENCIAS

- Albornoz, J.G., Conde-Saldaña, C.C & Villa-Navarro, F.A. (2013). Diversidad Íctica en cinco tributarios del río Alvarado (Tolima-Colombia). Resumen del XVII Congreso de la sociedad mesoamericana para la biología y la conservación. La Habana, Cuba.
- Amaidén, M. A., & Gari, E. N. (2011). Perifiton en el mesohábitat de corredera de un arroyo serrano: dinámica estacional en relación a variables físico-químicas. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 46(3-4), 235-250.
- Andramunio-Acero, C. P. (2013). Dinámica sucesional y ecología trófica de la comunidad perifítica en dos ambientes del sistema lagunar de Yahuaraca (Amazonas, Colombia) (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- APHA. (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. *American Public Health Association*, 18th Ed, Academic Press, Washington D.C.
- APHA. (1999). Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. *American Public Health Association*, 20 Ed, Academic Press, Washington D.C.
- Arcos-Pulido, M. d. P. & Prieto-Gómez, A. C. (2006). Microalgas perifíticas como indicadores del estado de las aguas de un humedal urbano: Jaboque, Bogotá DC, Colombia. *NOVA*, 4, 60-79.
- Bellinger, E. G., & Sigeo, D. C. (2010). Freshwater algae: identification and use as bioindicators. John Wiley & Sons.
- Bicudo, C., Menezes, M. (2006). Géneros de algas de aguas continentales do Brasil (chave para identificação e descrições). Segunda edición. 502p.

- Bouchard, R. W., Anderson, J. A., & Hall, F. (2001). Description and protocol for two quantitative periphyton samplers used for multihabitat stream sampling. Report for the Central Plains Center for Bioassessment, 1-13.
- Branco-Z, L. H., Necchi-Júnior, O., & Branco-Z, C. C. (2001). Ecological distribution of Cyanophyceae in lotic ecosystems of São Paulo State. *Revista Brasileira de Botânica*, 24, 99-108.
- Busse, S., Jahn, R., & Schulz, C. J. (1999). Desalinization of running waters: II. Benthic diatom communities: A comparative field study on responses to decreasing salinities. *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 29, 465-474.
- Bustamante-Toro, C. A., Dávila-Mejía, C. A., Torres-Cohecha, S. L., & Ortiz-Díaz, J. F. (2008). Composición y abundancia de la comunidad de fitoperifiton en el Río Quindío. *Rev. Invest. Univ. Quindío*, 15-21.
- Carranza, X. (2006). Evaluación de la fauna de dípteros (Insecta: Díptera) acuáticos de las cuencas de los río Prado y la parte baja de Amoyá en el departamento del Tolima. Biólogo, Universidad del Tolima, Ibagué-Tolima.
- Casco, M. A. & Toja, J. (2003). Efecto de la fluctuación de nivel del agua en la biomasa, la diversidad y las estrategias del perifiton de los embalses. *Limnetica*, 22, 115-134.
- Castillo, C. T. (2000). Productividad y biomasa fitoperifítica en los lagos de Yahuaracaca y Tarapoto (Amazonas-Colombia). *Revista Ambiental Universidad de Pamplona*, 1, 59-68.
- Chou, J. Y., Chang, J. S., & Wang, W. L. (2006). *Hydrodictyon reticulatum* (Hydrodictyaceae, Chlorophyta), A New Recorded Genus and Species of Freshwater Macroalga in Taiwan. *BioFormosa*, 41, 1-8.

- Clausen, B. & Biggs, B. J. (1997). Relationships between benthic biota and hydrological indices in New Zealand streams. *Freshwater Biology*. 38: 327-342.
- Conde-Saldaña, C.C., Albornoz, J.G & Villa-Navarro, F.A. (2013). Composición, diversidad y distribución altitudinal de la ictiofauna en el río Alvarado, Tolima-Colombia. *Resumen del XVII Congreso de la sociedad mesoamericana para la biología y la conservación. La Habana, Cuba.*
- Cortolima. (2009). Plan De Ordenación Y Manejo De La Cuenca Hidrográfica Mayor Del Río Totare, Convenio Cortolima, Corpoica, Sena Y Universidad Del Tolima. Retrieved from Corporación Autónoma del Tolima website: <http://www.cortolima.gov.co>.
- Cruz, V. & Salazar, P. (1989). Biomasa y producción primaria del perifiton en una sábana inundable de Venezuela. *Rev.Hydrobiol.Trop.*, 22, 213-222.
- Díaz-Quirós, C. & Rivera-Rondón, C. A. (2004). Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia* 26, 381-394.
- Dollar, E.S.J. (2004). Fluvial geomorphology. *Progress in Physical Geography* 28(3):405-450.
- Duarte-Ramos, J.L., Vásquez-Ramos, J.M & Reinoso-Flórez, G. (2013). Composición y estructura de los trichopteros de la cuenca del río Alvarado del departamento del Tolima (Colombia). Resumen de ponencia del XLVIII Congreso Nacional de Ciencias Biológicas. Bogotá-Colombia.
- Espinosa Rico, M.A., Trujillo Manrique, G., Bernal Niño, F.A., Sandoval, F., Mendoza, R.D., Pinzón, J.V., & Gómez Tapias, J. (2005). Municipio De Alvarado: *Esquema de Ordenamiento Territorial Ley 388/97 - Sistemas Administrativo Y Biofísico,*

Tomo I. Tolima: Retrieved from <http://www.alvarado-tolima.gov.co/sitio.shtml?apc=p-r2--&x=2199399>.

Forero-Céspedes, A. (2011). Caracterización biológica y fisicoquímica de la cuenca del río Opia, Tolima (Colombia). Biólogo, Universidad del Tolima, Ibagué-Tolima.

Forero-Céspedes, A. & Reinoso-Flórez, G. (2013). Estudio de la calidad del agua en la cuenca del río Alvarado (Tolima-Colombia). Resumen de ponencia del XLVIII Congreso Nacional de Ciencias Biológicas. Bogotá-Colombia.

Giorgi, A. & Feijo, C. (2010). Variación temporal de la biomasa del perifiton de *Egeria densa* Planch, en un arroyo pampeano. *Limnetica*, 29, 269-278.

Goulart, M; Elías, T; Pereira, J; Campos, M & Peixoto, M. (2009). Caracterizacáo limnológica e avaliacao da qualidade da agua dabacia hidrografica do rio Tocantinzinho (Go, Brasil). *Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil*, 13 a 17 de septiembre de 2009, Sao Lorencó. p 1-4.

Gualtero-Leal, D. M. (2007). Composición y abundancia de las algas benticas de cinco sistemas loticos de Puerto Rico. University of Puerto Rico, Mayaguez (Puerto Rico).

Gualtero-Leal, D. M. & Trilleras-Motha, J. M. (2001). Estudio de la comunidad perifítica del embalse de Prado, departamento del Tolima. Universidad del Tolima, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología.

Guevara, G., Reinoso, G., & Villa, F. (2006). Comunidad de invertebrados del Perifiton del Río Combeima (Tolima, Colombia). *Tumbaga*, 1, 43-54.

Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2013. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on 13 September 2013.

- Hauer, F. R. & G. A. Lamberti. (1996). *Methods in streams ecology*. Academic Press, USA.
- Hering, D., R. K. Johnson, S. Kramm, S. Schmutz, K. Szoszkiewicz & P. F. M. Verdonschot. (2006). Assessment of European streams with diatoms, macrophytes, macroinvertebrates and fish: a comparative metric-based analysis of organism response to stress. *Freshwater Biology* 51:1757-1785.
- Hill, W. (1996). Effects of light. En: J. R. Stevenson, M.L. Bohwell & R. L. Lowe (eds.). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*, 121-148 pp. Academic Press, USA.
- Hillebrand, H. & Sommer, U. (2000). Diversity of benthic microalgae in response to colonization time and eutrophication. *Aquat. Bot.*, 67: 221-236.
- Holdridge, L. R., & Grenke, W. C. (1971). Forest environments in tropical life zones: a pilot study. *Forest environments in tropical life zones: a pilot study*.
- Horner, R.R., & Welch, E.B. (1981). Stream Periphyton development in relation to current velocity and nutrients. *Canadian Journal of Fish Aquatic Science*, 38:449-457.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Programa de inventario de la Biodiversidad Grupo de Exploraciones y Monitoreo Ambiental GEMA. El bosque seco tropical (bs-T) en Colombia. 1998. Fecha de revisión: 23 noviembre 2006.
<http://araneus.humboldt.org.co/download/inventarios/bst/Doc3.pdf>
- Kamp-Nielsen, L. (2008). Sediments: Setting, Transport, Mineralization, and Modeling. In J. Editors-in-Chief: Sven Erik & F. Brian (Eds.), *Encyclopedia of Ecology* (pp. 3181-3188). Oxford: Academic Press.

- Kingsley, M. (2004). The effects of nutrient and hydrology on periphyton and phytoplankton in Fraser river tributaries, British Columbia. Tesis M. Sc. Ottawa-Carleton Institute of Biology.
- Lopretto, E. & Tell, G. (1995). Ecosistemas de aguas continentales. Argentina: Ediciones Sur, p. 1401.
- Losada-Prado, S. (2004). Variación espacio-temporal de la estructura fitoplanctónica, de la biomasa de la clorofila a y la productividad primaria en el estuario del río Dagua (bahía de Buenaventura). Magister en Ciencias -Biológicas, Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Lozano-Duque, Y., Vidal, L. A., & Navas, G. R. (2010). Listado de diatomeas (Bacillariophyta) registradas para el Mar Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 39, 83-116.
- Lozano-Bravo, J.L., Vásquez-Ramos, J.M & Reinoso-Flórez, G. (2013). Composición y estructura de los coleópteros acuáticos de la cuenca del río Alvarado del departamento del Tolima (Colombia). Resumen de ponencia del XLVIII Congreso Nacional de Ciencias Biológicas. Bogotá-Colombia.
- Magurran, A.E. (2004). An Index of Diversity. *Measuring Biological Diversity* (pp. 100-130). Cornwall - United Kingdom: *Blackwell Publishing Company*.
- Martínez, L., & Donato, J. C. (2003). Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Caldasia*, 25 (1), 337-354.
- Mejía Rodríguez, D. M. (2011). Diatomeas perifíticas y algunas características limnológicas de un humedal urbano en la sabana de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia.

- Montoya, M. & Ramírez, J. J. (2007). Variación estructural de la comunidad perifítica colonizadora de sustratos artificiales en la zona de rital del río Medellín, Colombia. *Revista de biología tropical*, 55, 585-593.
- Montoya-Moreno, Y. & Aguirre-Ramírez, N. (2008). Asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en una ciénaga tropical Colombiana. *Hidrobiológica*, 18, 189-197.
- Montoya-Moreno, Y & Aguirre, N. (2012). Aproximación multivariada a la dinámica del ensamblaje algal epifítico en un sistema de planos inundables tropical. Investigación, *Biodiversidad y Desarrollo* 2012; 31 (2): 83-95 p.
- Montoya-Moreno, Y., Sala, S.E., Vouilloud, A.A., Aguirre, N. (2012). Diatomeas (Bacillariophyta) perifíticas del complejo cenagoso de Ayapel, Colombia. *Caldasia* 34(2):457-474 p.
- Morales-Duarte, S. J., Donato-Rondón, J. C., & Castro, M. I. (2010). Respuesta de *Navicula rhynchocephala* (Bacillariophyceae) al incremento de nutrientes en un arroyo Andino (Colombia). *Acta Biológica Colombiana*, 15, 73-78.
- Naiman, R. J. y Bilby, R. E. (2001). River ecology and management. *Springer-Verlag*, New York, Inc.
- Needham, J. G., & Needham, P. R. (1982). Guía para el estudio de los seres vivos de las aguas dulces. Editorial Reverte.
- Ortega Murillo, M. d. R., Hernández Morales, R., Israde Alcántara, I., Alvarado Villanueva, R., Sánchez Heredia, J. D., Arredondo Ojeda, M. et al. (2009). El Perifiton de un lago hiposalino hipereutrófico en Michoacán, México. *Biológicas*, 11, 56-63.
- O` Farrell, I., Lombardo, R; Tezanos-Pinto, P & López, C. (2002). The assessment of water quality in the Lower Lujan River (Buenos Aires, Argentina): phytoplankton and algal bioassays. *Environmental Pollution* 120(2):207-218.

- Parra-Trujillo, Y.T. (2008). Estudio de los hemípteros (Hemiptera: Heteroptera) de la cuenca del río Totare (Tolima - Colombia) taxonomía, distribución, diversidad y algunos aspectos ecológicos. Biólogo, Universidad del Tolima, Ibagué-Tolima.
- Pedraza-Garzón, E. & Donato-Rondón, J. (2011). Diversidad y distribución de diatomeas en un arroyo de montaña de los Andes Colombianos. *Caldasia*, 33, 177-191.
- Peña, V. & Pinilla, G. A. (2002). Composición, distribución y abundancia de la comunidad fitoplanctónica de la ensenada de Utría, Pacífico Colombiano. *Revista de biología marina y oceanografía*, 37, 67-81.
- Pesson, P. (1979). La contaminación de las aguas continentales. Incidencias sobre las biocenosis acuáticas. *Mundi Prensa*. Madrid. 335 pp.
- Pinilla, G. A. (1998). Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos de Colombia. Compilación Bibliográfica. Centro de Investigaciones Científicas. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colombia. 115 p.
- Pinilla, G. A., Duarte-Coy, J., & Vega-Mora, L. (2010). Índice de estado limnológico (IEL) para evaluar las condiciones ecológicas de las ciénagas del Canal del Dique. *Acta Biológica Colombiana*, 15, 169-188.
- Pizarro, H. & Alemanni, M. E. (2005). Variables Físico-Químicas del Agua y su influencia en la biomasa del Perifiton en un tramo inferior del Río Luján (Pcia. de Buenos Aires). *Asociación Argentina de Ecología*, 15, 73-88.
- Porter-Goff, E. R., Frost, P. C., & Xenopoulos, M. A. (2013). Changes in riverine benthic diatom community structure along a chloride gradient. *Ecological Indicators*, 32, 97-106.
- Prescott, G. W. (1968). *The algae: a review* (p. 436). Boston: Houghton Mifflin.

- Quinn, J. M., Cooper, A. B., Davies-Colley, R. J., Rutherford, J. C., & Williamson, R. B. (2010). Land use effects on habitat, water quality, periphyton, and benthic invertebrates in Waikato, New Zealand, hill-country streams. *New Zealand journal of marine and freshwater research*, 31(5), 579-597.
- Ramirez, A. & Viña, G. (1998). Sistemas Lóticos: Caracterización fisicoquímica Limnología Colombiana: Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis (pp. 73-74): BP Exploration Company (Colombia) limited por la Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Ramírez, J. (2000). Fitoplancton de agua dulce: bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias. Colombia. Editorial Universidad de Antioquia.
- Ramírez, A. & Plata, Y. (2008). Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña (páramo de Santurbán, Norte de Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales. *Acta biol.colomb*, 13, 199-216.
- Richardson, J. S. & Danehy, R.J. (2007). A Synthesis of the Ecology of Headwater Streams and their Riparian Zones in Temperate forest. *Fort Sci*. 53: 131-147.
- Rodríguez, M. P., & Rodríguez, M. D. C. L. (2007). Diatomeas y calidad del agua de los ríos del Macizo Central gallego (Ourense, NO España) mediante la aplicación de índices diatomológicos. *Limnética*, 26(2), 351-358.
- Rojas-Sandino, L.D., Vásquez-Ramos, J.M & Reinoso-Flórez, G. (2013). Composición y estructura de la fauna de Dípteros de la cuenca del río Alvarado (Tolima-Colombia. Resumen de ponencia del XLVIII Congreso Nacional de Ciencias Biológicas. Bogotá-Colombia.
- Roldán-Pérez, G. A., & Ramírez-Restrepo, J. J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical (Vol. 15). Universidad de Antioquia.

- Roldán G. (1992). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Medellín (Colombia): Universidad de Antioquia. 529 pp.
- Rovira, L., Trobajo, R., Leira, M., & Ibáñez, C. (2012). The effects of hydrological dynamics on benthic diatom community structure in a highly stratified estuary: the case of the Ebro Estuary (Catalonia, Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 101, 1-14.
- Sabater, S., Gregory, S.V. & Sedell, J.R. (1998). Community dynamics and metabolism of benthic algae colonizing wood and rock substrata in a forest stream. *J. Phycol.* 34:561-567.
- Sala, S. E., Duque, S. R., Nuñez-Avellaneda, M., & Lamaro, A. A. (1999). Nuevos registros de diatomeas (Bacillariophyceae) de la Amazonia Colombiana. *Caldasia*, 21, 26-37.
- Sala, S. E. & Ramírez, J. J. (2008). Diatoms from lentic and lotic systems in Antioquia, Chocó and Santander departments in Colombia. *Revista de biología tropical*, 56, 1159-1178.
- Sar, E.A., Sterrenburg, F.A., Lavigne, A.S., & Sunesen, I. (2013). Diatomeas de ambientes marinos costeros de Argentina. Especies del género *Pleurosigma* (Pleurosigmataceae). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 48 (1): 17-51.
- Silva-Benavides, A. M., Sili, C., & Torzillo, G. (2008). Cyanoprocaryota y microalgas (Chlorophyceae y Bacillariophyceae) bentónicas dominantes en ríos de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 56, 221-235.
- Streble, H., & Krauter, D. (1987). *Atlas de los microorganismos de agua dulce: la vida en una gota de agua*. Omega.
- Ter Braak, C. & Smilauer, P. (2004). *Canoco for Windows (Version Trial Version)*. Wageningen, The Netherlands.

- Traaen, T.S & Lindstrom, E.A. (1983). Influence of current velocity on periphyton distribution. Pp.97-99. En: Wetzel RG (ed.). Periphyton of Freshwater Ecosystems: Proceedings of the First International Workshop on Periphyton of Freshwater Ecosystems, held in Växjö, Sweden, 14-17 September 1982. Junk Publishers, The Hague, Netherlands.
- Universidad del Tolima. (2007). Proyecto Plan General de Ordenación Forestal para el Departamento del Tolima. Ibagué: Universidad del Tolima. 309 pags.
- Vidal, L. A., Noguera, C., Camacho-Hadad, O., & Bohórquez, D. (2009). Primer registro de *Nitzschia martiana* (Agardh) Van Heurck (Bacillariophyceae) viviendo en tubos en la costa Caribe Colombiana. *Rev.Acad.Colomb.Cienc*, 33, 331-337.
- Villa Navarro, F. A., Losada, S., & Quintana, M. I. (1998). Estudio del perifiton del Río Combeima-Tolima. Universidad del Tolima, Facultad de ciencias, departamento de Biología. Ref Type: Unpublished Work
- Villa Navarro, F. A., Losada Prado, S., & Quintana, M. I. (1998). Bacillariophyceae asociadas al perifiton del río Combeima (Tolima). *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*.
- Vouilloud, A., Sala, S., & Sabbatini, M. R. (2005). Diatomeas perifíticas de la Cuenca del Río Sauce Grande (Buenos Aires, Argentina). *Iheringia, Serie Botánica*, 60, 77-90.
- Wetzel, R.G. (ed.) (1983). Periphyton of aquatic ecosystem. B.V. Junk, The Hague, Holanda. 346 p.
- Wetzel RG. (2001). Limnology: Lake and river ecosystems. 3a ed. Academic Press. San Diego, E.U. A.

Wunsam, S., Cattaneo, A., & Bourassa, N. (2002). Comparing diatom species, genera and size in biomonitoring: a case study from streams in the Laurentians (Québec, Canadá). *Freshwater Biology* 47: 325-340 p.

Yacubson, S. 1969. Algas de ambientes Continentales nuevos para Venezuela (Cyanophytas y Chlorophitas). *Boletín del centro de investigaciones biológicas*, Universidad de Zulia, facultad de humanidades y Educación, Maracaibo, Venezuela.

Zapata, A. M. & Donato, J. C. (2005). Cambios diarios de las algas perifíticas y su relación con la velocidad de corriente en un río tropical de montaña (río Tota-Colombia). *Limnetica*, 24, 327-338.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de campo de la cuenca.

FICHA DE CAMPO-PERIFITON

INFORMACIÓN GENERAL DE LA CUENCA

Nombre de la estación _____ No _____
Fecha _____ Hora _____ Condición del tiempo _____
Coordenadas geográficas. _____ N. _____ W
Altura (m) _____ Tipo de corriente. Rápido _____ Remanso _____
Microhábitat. Roca _____ Tronco _____ Turbiedad. Alta _____ Media _____ Baja _____
Profundidad (Microhábitat/cm) _____ Metodología _____
Observaciones _____

Fisicoquímicos

Temperatura ambiental (°C) _____ temperatura del agua (°C) _____
Conductividad eléctrica _____ Velocidad de corriente (flujometro) _____
inicial _____ final _____
Profundidad (cm) _____
Ancho (m) _____

Fuente. Grupo de Investigación en Zoología (2013)

Anexo 2. Prueba t-diversidad de Shannon

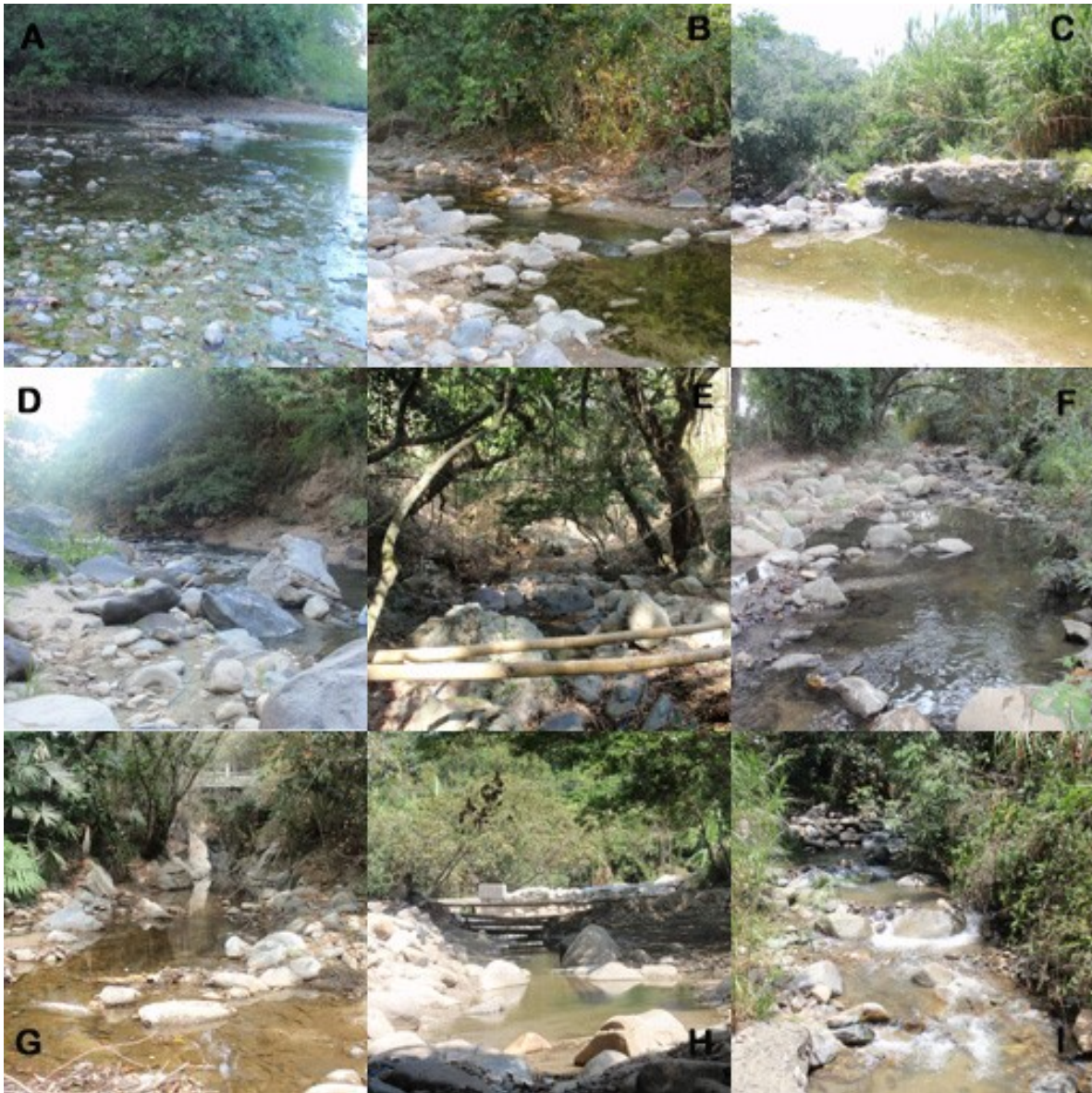
Prueba t-diversidad de Shannon	<i>t</i>	<i>gl</i>	<i>p</i>	Observaciones
Índices de diversidad a nivel general	34,452	39277	2,7879E-256	**
Índices de biodiversidad por estaciones a nivel general	1,0933	11041	0,27431	*
	2,2807	2652,9	0,022644	**
Índices de biodiversidad de sustratos a nivel general	6,6922	41514	2,2259E-11	**
	3,1531	4970,8	0,00015282	**
Índices de biodiversidad a nivel temporal	2,6156	1040,7	0,0090348	**
	1,7499	1795,4	0,080308	*
	2,8317	380,45	0,0048762	**
Índices de biodiversidad de sustratos a nivel temporal	1,201	24364	0,22978	*
	16,976	16712	4,267E-64	**
Índices de biodiversidad de sustratos por estación a nivel temporal	1,4811	5180,8	0,13863	*
	5,0741	566,81	5,2864E-07	**
	8,2643	1393,6	3,2354E-16	**
	1,0604	5324,1	0,28901	*

*No hay diferencia significativa

**Si hay diferencia significativa

Fuente. Autor.

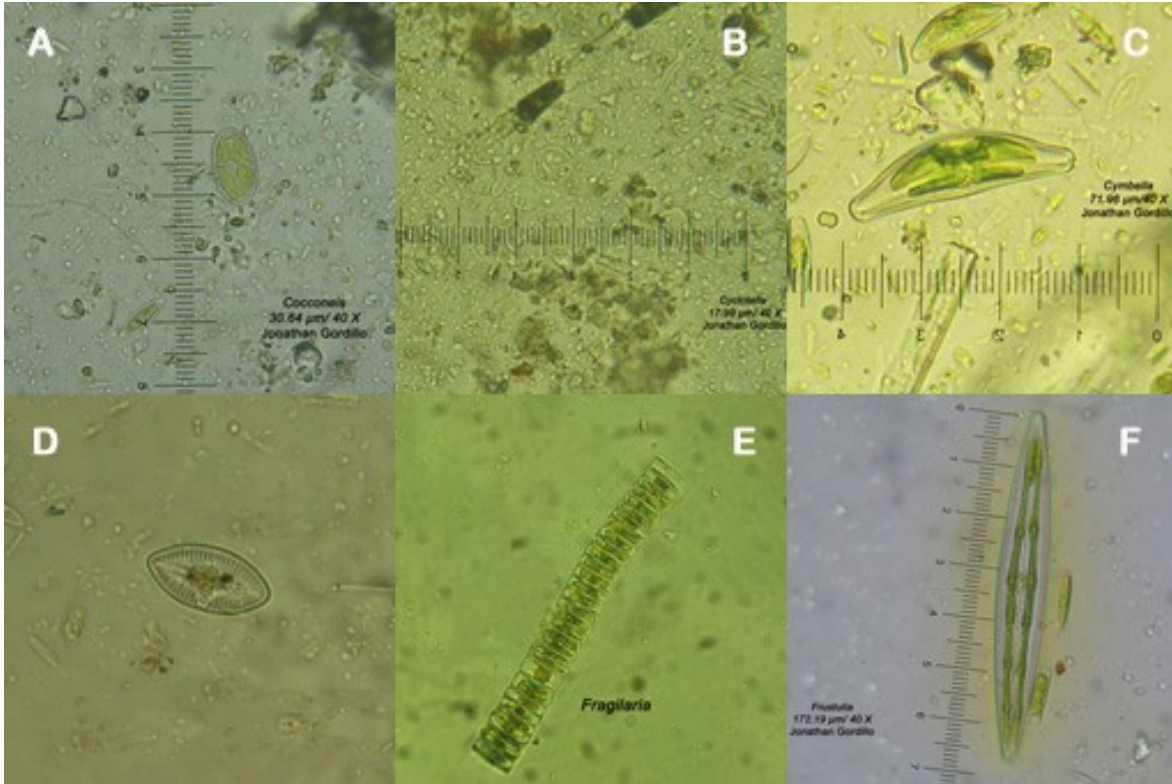
Anexo 3. Registro fotográfico de las 9 estaciones evaluadas en la cuenca del río Alvarado Tolima en los meses de septiembre y diciembre de 2012.



A. Río Alvarado-Caldas Viejo (RACV); B. Quebrada la Caima (QLCA); C. Río Alvarado-Puente (RAP); D. Río Alvarado-Chucuni (RACH); E. Quebrada la Manjarres (QLM); F. Río Alvarado-Inicio (RAIN); G. Quebrada Chumba (QCHU); H. Quebrada Chembe (QCHE); I. Quebrada Cocare (QCOC).

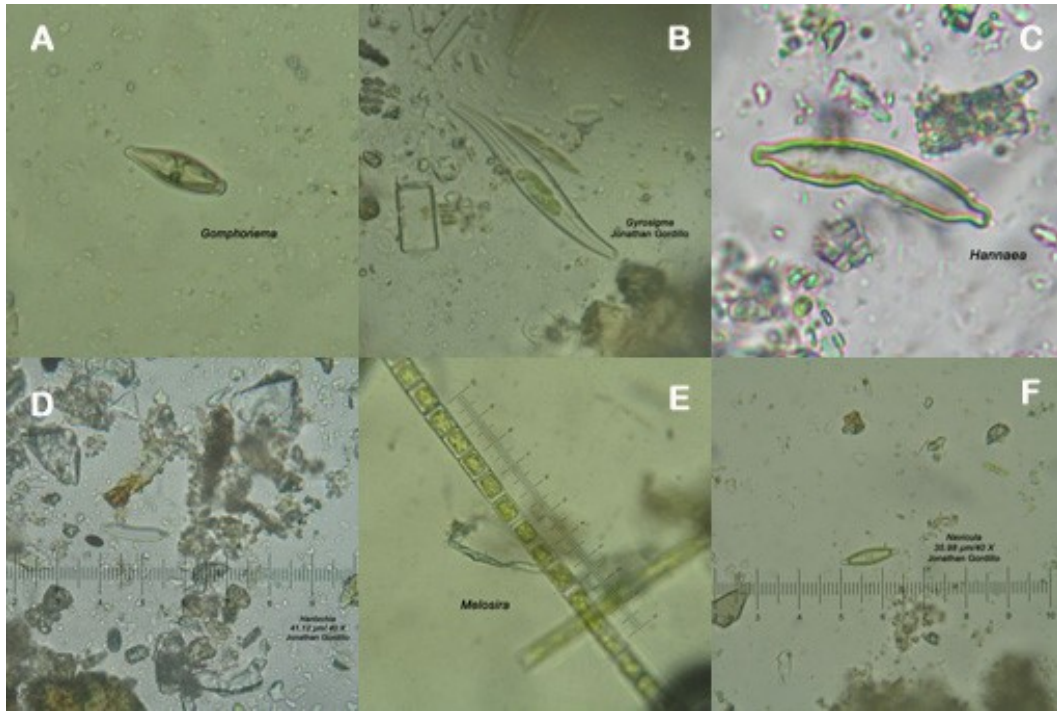
Fuente. Autor.

Anexo 4. Géneros encontrados de la clase Bacillariophyceae en la cuenca del río Alvarado-Tolima en los meses de septiembre y diciembre de 2012.

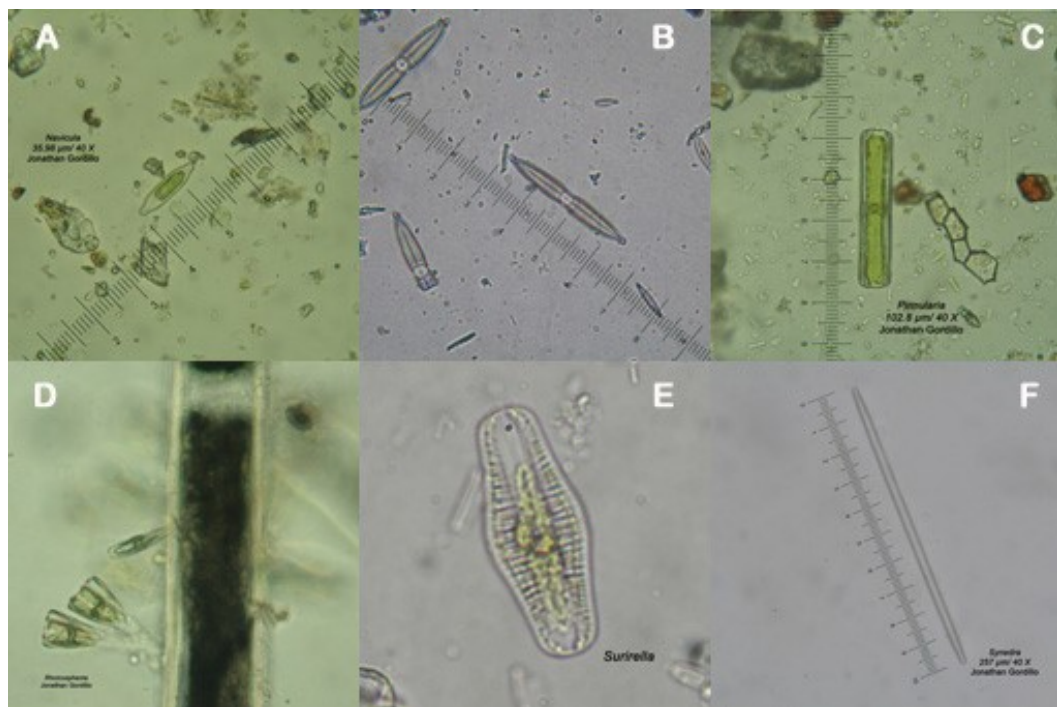


Clase Bacillariophyceae. A. *Cocconeis*; B. *Cyclotella*; C. *Cymbella*; D. *Diploneis*; E. *Fragilaria*; F. *Frustulia*.

Fuente. Autor.

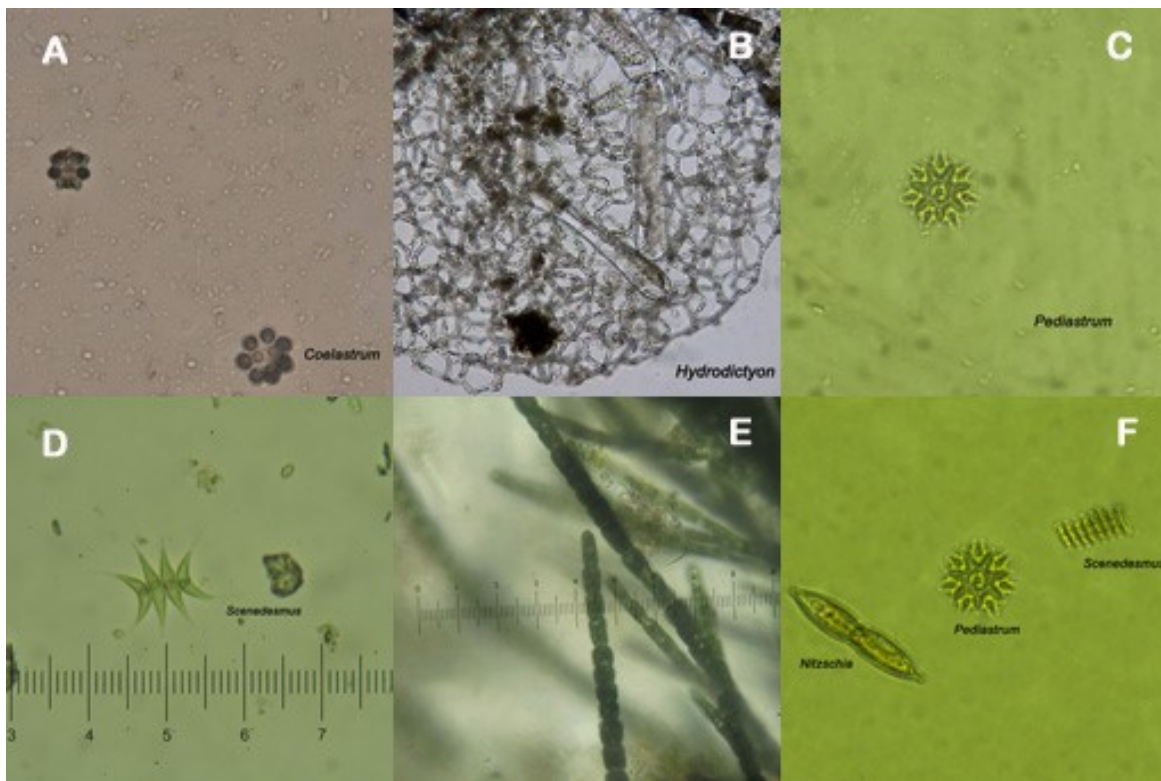


Clase Bacillariophyceae. A. *Gomphonema*; B. *Gyrosigma*; C. *Hannaea*; D. *Hantzschia*; E. *Melosira*; F. *Navicula*. Fuente. Autor.



Clase Bacillariophyceae. A. *Navicula*; B. *Nitzschia*; C. *Pinnularia*; D. *Rhoicosphenia*; E. *Surirella*; F. *Synedra*. Fuente. Autor.

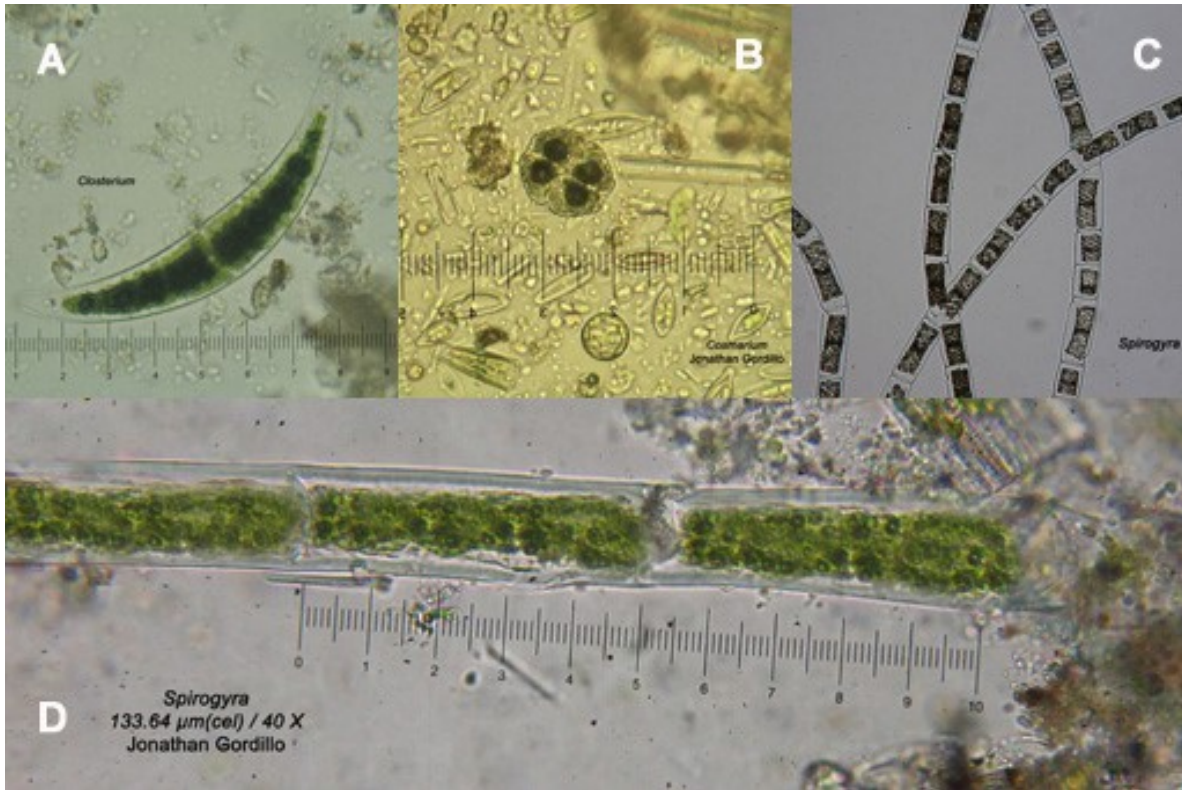
Anexo 5. Géneros encontrados de la clase Chlorophyceae en la cuenca del río Alvarado-Tolima en los meses de septiembre y diciembre de 2012.



Clase Chlorophyceae. A. *Coelastrum*; B. *Hydrodictyon*; C. *Pediastrum*; D. *Scenedesmus*; E. *Stigeoclonium*; F. *Pediastrum*, *Scenedesmus*.

Fuente. Autor.

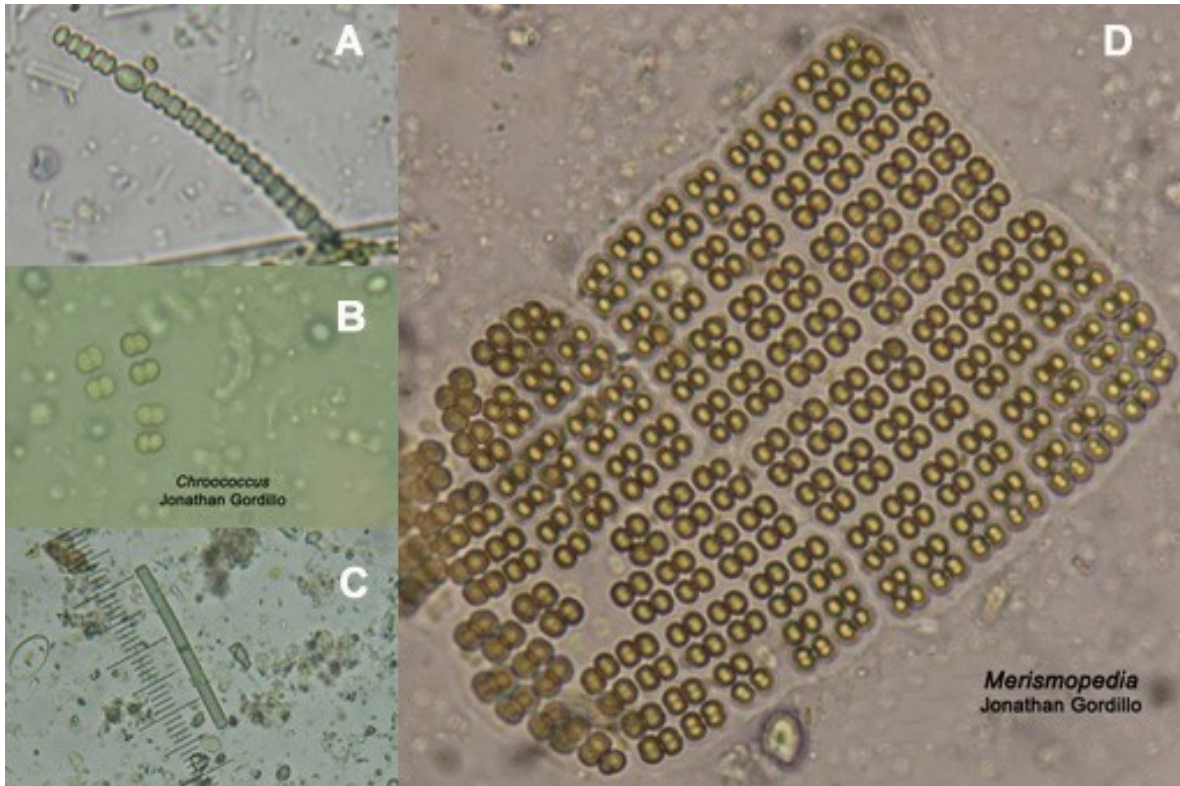
Anexo 6. Géneros encontrados de la clase Conjugatophyceae en la cuenca del río Alvarado-Tolima en los meses de septiembre y diciembre de 2012.



Clase Conjugatophyceae. A. *Closterium*; B. *Cosmarium*; C y D. *Spirogyra*.

Fuente. Autor.

Anexo 7. Géneros encontrados de la clase Cyanophyceae en la cuenca del río Alvarado-Tolima en los meses de septiembre y diciembre de 2012.



Clase Cyanophyceae. A. *Anabaena*; B. *Chroococcus*; C. *Oscillatoria*; D. *Merismopedia*.

Fuente. Autor.

Anexo 8. Géneros encontrados de la clase Ulvophyceae en la cuenca del río Alvarado-Tolima en los meses de septiembre y diciembre de 2012.

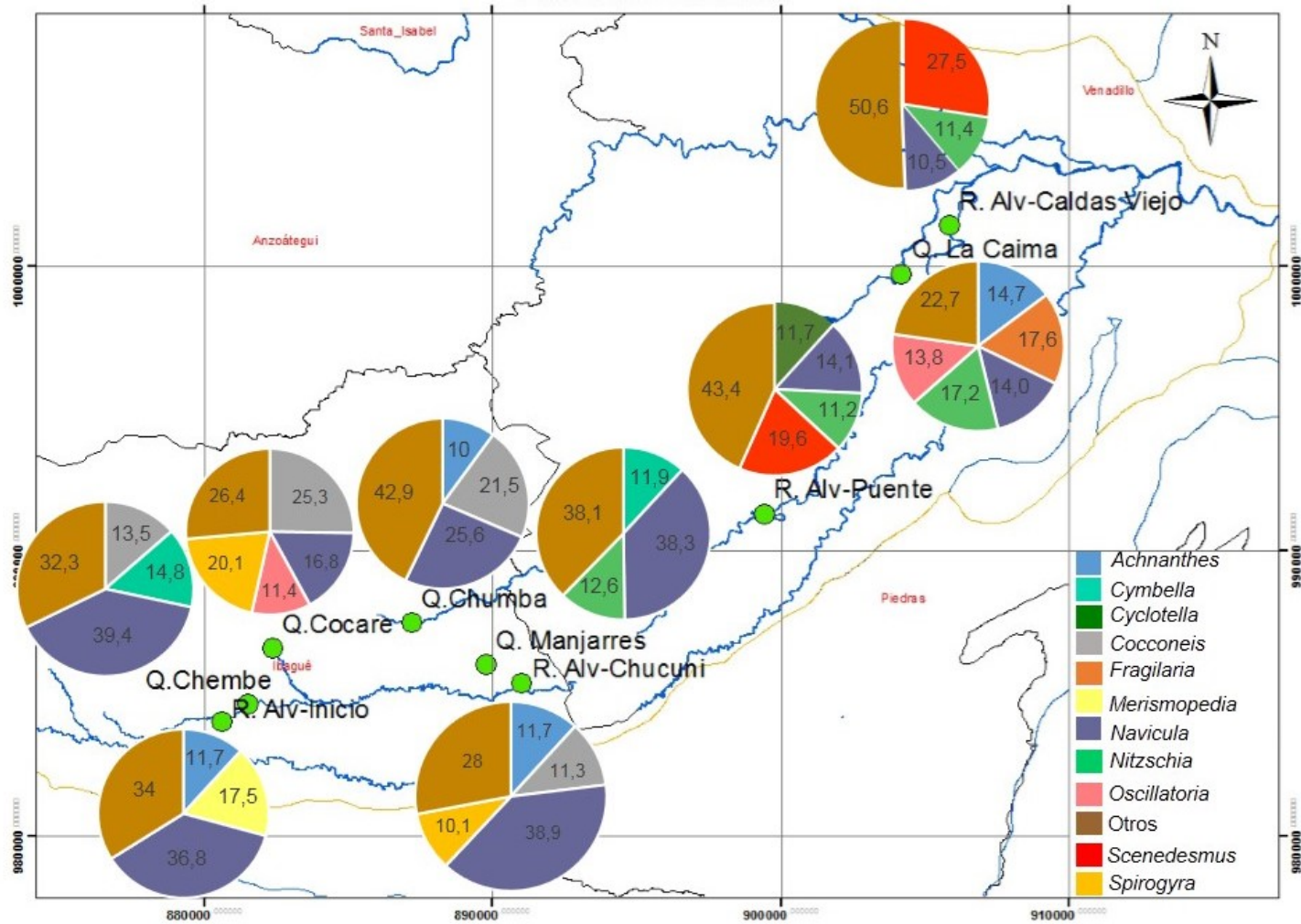


Cladophora
Jonathan Gordillo

Clase Ulvophyceae. *Cladophora*.

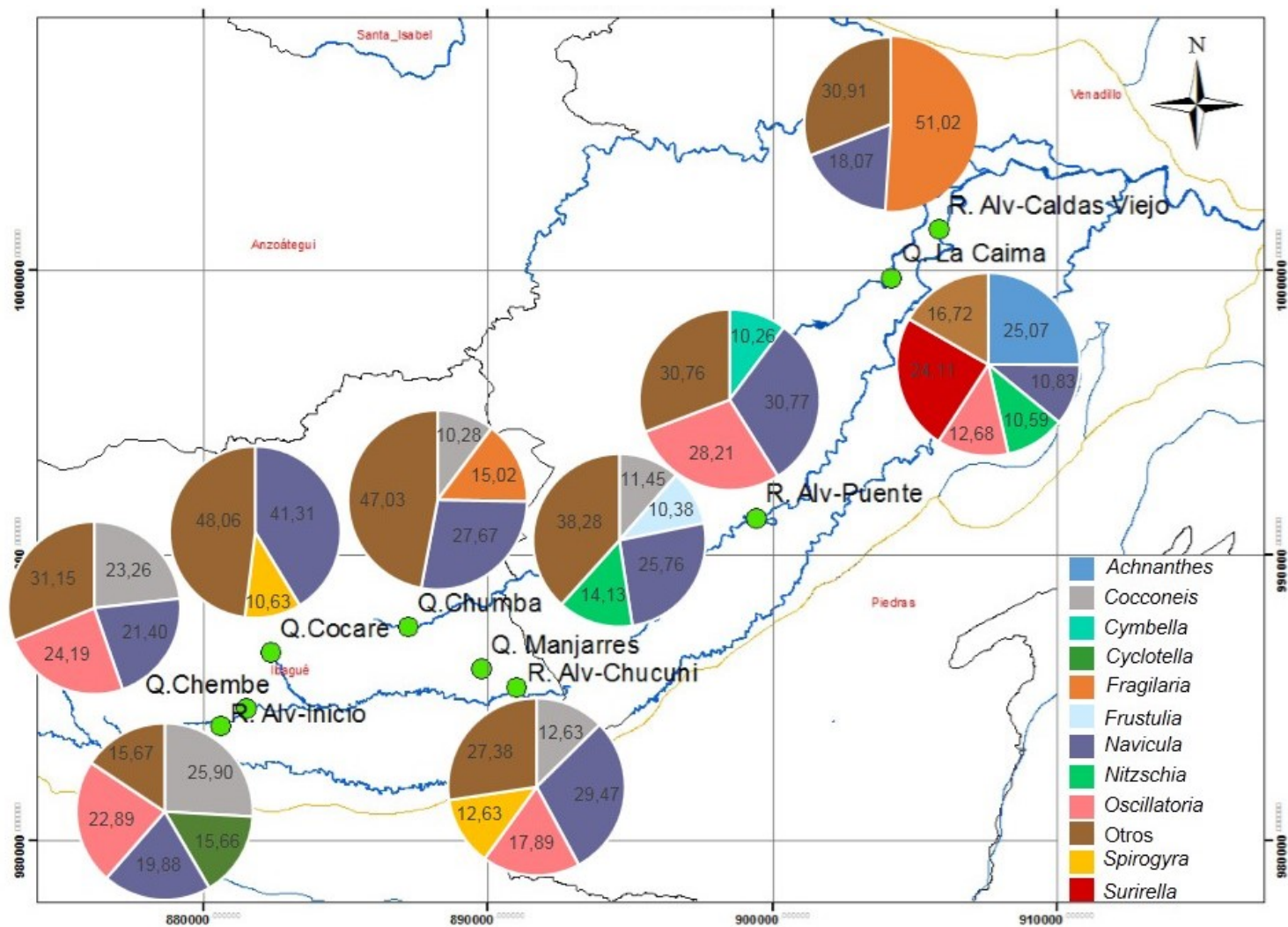
Fuente. Autor.

Anexo 9. Densidad relativa de los géneros en las nueve estaciones de muestreo evaluadas durante septiembre de 2012.



Fuente. Autor.

Anexo 10. Densidad relativa de los géneros en las nueve estaciones de muestreo evaluadas durante diciembre de 2012



Fuente. Autor.

Anexo 11. Análisis de correlación de Pearson para el periodo de septiembre y diciembre.

Géneros	Pearson	T. AGUA	C.E	pH	Turb	% SAT- O2.	Sol. Totales	DQO	DBO5	Nit	Fosforo Tot.	Clor	Alc	Dur	Coli. Total	Caudal m3/s
<i>Achnanthes</i>	r	-0,203	0,318	0,404	-0,671	-0,151	0,246	0,006	-0,124	-0,201	0,176	0,226	0,339	0,419	-0,100	-0,060
	p	0,419	0,199	0,096	0,002	0,549	0,325	0,981	0,625	0,424	0,485	0,368	0,168	0,083	0,694	0,812
<i>Cocconeis</i>	r	-0,286	-0,370	-0,057	0,070	-0,289	-0,347	0,202	-0,129	0,188	0,257	-0,196	-0,454	-0,358	-0,062	-0,011
	p	0,249	0,130	0,822	0,781	0,245	0,158	0,422	0,611	0,454	0,303	0,435	0,058	0,145	0,806	0,966
<i>Cyclotella</i>	r	0,210	0,104	0,123	0,037	-0,151	0,110	0,129	-0,078	-0,060	0,277	0,217	0,076	-0,042	-0,293	0,000
	p	0,403	0,681	0,627	0,883	0,549	0,665	0,609	0,757	0,812	0,266	0,387	0,764	0,870	0,238	0,999
<i>Cymbella</i>	r	0,142	0,548	0,477	-0,448	-0,249	0,531	-0,261	-0,433	-0,133	0,438	0,134	0,536	0,543	0,120	-0,198
	p	0,575	0,018	0,045	0,062	0,319	0,023	0,295	0,073	0,599	0,069	0,595	0,022	0,020	0,637	0,430
<i>Fragilaria</i>	r	0,181	0,465	0,084	-0,101	0,068	0,405	-0,234	0,132	0,200	0,075	0,481	0,441	0,478	0,306	0,108
	p	0,471	0,052	0,740	0,691	0,789	0,096	0,350	0,603	0,427	0,768	0,043	0,067	0,045	0,216	0,669
<i>Gomphonema</i>	r	0,233	0,527	0,508	-0,345	-0,415	0,518	0,022	-0,348	-0,096	0,384	0,332	0,444	0,580	-0,326	-0,113
	p	0,353	0,025	0,032	0,161	0,087	0,028	0,932	0,157	0,706	0,115	0,179	0,065	0,012	0,187	0,654
<i>Melosira</i>	r	-0,573	-0,371	-0,394	0,417	0,139	-0,312	0,435	0,545	0,322	-0,025	-0,075	-0,432	-0,474	0,277	0,485
	p	0,013	0,130	0,106	0,085	0,583	0,207	0,071	0,019	0,192	0,920	0,767	0,074	0,047	0,265	0,041
<i>Navicula</i>	r	-0,171	0,153	0,197	-0,334	-0,225	0,086	0,021	-0,218	0,045	0,206	-0,129	0,144	0,231	-0,112	0,168
	p	0,499	0,544	0,433	0,176	0,370	0,735	0,935	0,384	0,858	0,412	0,611	0,569	0,356	0,658	0,505
<i>Nitzschia</i>	r	0,277	0,659	0,471	-0,420	-0,247	0,567	-0,196	-0,295	-0,275	0,303	0,364	0,674	0,668	-0,147	-0,057
	p	0,266	0,003	0,048	0,083	0,322	0,014	0,435	0,235	0,270	0,221	0,138	0,002	0,002	0,561	0,823
<i>Pinnularia</i>	r	-0,178	0,165	0,294	-0,398	-0,245	0,191	0,048	-0,481	-0,340	0,159	-0,144	0,140	0,307	-0,155	-0,629
	p	0,481	0,513	0,237	0,102	0,326	0,447	0,849	0,043	0,167	0,527	0,568	0,580	0,215	0,540	0,005
<i>Oscillatoria</i>	r	0,042	-0,236	-0,417	0,367	0,498	-0,404	-0,139	0,553	0,159	-0,618	-0,140	-0,112	-0,121	0,154	0,160
	p	0,870	0,346	0,085	0,135	0,036	0,096	0,583	0,017	0,528	0,006	0,580	0,659	0,632	0,543	0,525
<i>Scenedesmus</i>	r	0,053	0,374	0,326	-0,254	-0,152	0,486	0,244	-0,295	-0,027	0,500	0,298	0,308	0,144	-0,040	-0,089
	p	0,835	0,126	0,187	0,309	0,548	0,041	0,330	0,234	0,915	0,035	0,229	0,213	0,568	0,875	0,725
<i>Surirella</i>	r	0,138	0,402	0,222	-0,342	-0,162	0,378	-0,181	-0,194	-0,359	0,063	0,274	0,386	0,465	-0,121	-0,124
	p	0,585	0,098	0,376	0,164	0,520	0,122	0,472	0,440	0,143	0,803	0,271	0,114	0,052	0,633	0,625

Géneros	Pearson	T. AGUA	C.E	pH	Turb	% SAT- O ₂ .	Sol. Totales	DQO	DBO ₅	Nit	Fosforo Tot.	Clor	Alc	Dur	Coli. Total	Caudal m ³ /s
Synedra	r	0,071	0,488	0,328	-0,350	-0,128	0,543	0,073	-0,293	-0,172	0,362	0,359	0,446	0,334	-0,023	-0,099
	p	0,781	0,040	0,184	0,154	0,613	0,020	0,772	0,238	0,494	0,140	0,143	0,064	0,176	0,927	0,697

C.E: Conductividad eléctrica; Turb: Turbiedad; % SAT-O₂: Porcentaje de saturación de Oxígeno; Sol. Totales: Solidos totales; DQO: Demanda química de Oxígeno; DBO₅: Demanda bioquímica de Oxígeno; Nit: Nitratos; Clor: Cloruros; Dur: Dureza; Coli total: Coliformes totales.

Fuente. Autor.

Anexo 12 (a). Efectos condicionantes del análisis de correspondencia canónica en las dos épocas evaluadas, en la cuenca del río Alvarado y sus tributarios.

Variab les	Var.N	LambdaA	p	f
Alcalinidad	12	0.12	0.008	1.89
Fosforo totales	10	0.12	0.044	1.90
Cloruros	11	0.07	0.264	1.34
T. Agua	1	0.06	0.406	1.07
Turbiedad	4	0.08	0.160	1.91
Dureza	13	0.07	0.192	2.27
Nitratos	9	0.05	0.268	2.54
Conductividad eléctrica	2	0.01	1.000	0.00

Fuente. Autor

Anexo 12 (b). Efectos condicionantes del análisis de correspondencia canónica en la época de septiembre de 2012, en la cuenca del río Alvarado y sus tributarios.

Variab les	Var.N	LambdaA	p	f
pH	3	0.18	0.014	2.02
Alcalinidad	12	0.16	0.022	2.10
Dureza	13	0.12	0.114	1.79
Cloruros	11	0.11	0.100	1.93
Sol. Tot	6	0.09	0.128	2.00
Coli. Total	14	0.07	0.148	2.10
Nitratos	9	0.04	0.380	1.62
T. Agua	1	0.02	1.000	0.00

Fuente. Autor

Anexo 12 (c). Efectos condicionantes del análisis de correspondencia canónica en la época de diciembre de 2012, en la cuenca del río Alvarado y sus tributarios.

Variables	Var.N	LambdaA	p	f
Turbiedad	4	0.14	0.006	1.92
DBO5	8	0.08	0.250	1.24
% Sat-O ₂	5	0.08	0.336	1.13
DQO	7	0.07	0.402	1.06
Alcalinidad	12	0.07	0.466	1.07
T. Agua	1	0.06	0.550	0.77
Dureza	13	0.10	0.232	2.86
Conductividad eléctrica	2	0.04	1.000	0.00

Fuente. Autor.