

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE POSGRADO



DOCTORADO EN CIENCIAS
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

TESIS

“Relación entre la dinámica poblacional del Perifiton y la calidad del agua en los ríos Grande y Porcón de Cajamarca, 2008 -2009”

Para optar el grado académico de

DOCTOR EN CIENCIAS

Presentada por:

DAVID MILTON LARA ASCORBE

Asesor:

DR. HOMERO BAZÁN ZURITA

Cajamarca, Perú

2018

COPYRIGHT © 2018 by
DAVID MILTON LARA ASCORBE
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



DOCTORADO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

TESIS APROBADA

“Relación entre la dinámica poblacional del Perifiton y la calidad del agua en los ríos Grande y Porcón de Cajamarca, 2008 -2009”

Para optar el grado académico de

DOCTOR EN CIENCIAS

Presentada por:

DAVID MILTON LARA ASCORBE

Comité Científico

. Dr. Homero Bazán Zurita

Asesor

Dr. Valentín Paredes Oliva

Miembro de Comité Científico

Dr. Marcial Mendo Velásquez

Miembro de Comité Científico

Dr. Carlos Rosales Loredo

Miembro de Comité Científico

Cajamarca - Perú

2018



Universidad Nacional de Cajamarca

Escuela de Posgrado

CAJAMARCA - PERU

PROGRAMA DE DOCTORADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS DOCTORADO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Siendo las once de la mañana del día miércoles dieciocho de julio del año dos mil dieciocho, reunido en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el Dr. Marcial Mendo Velásquez, Dr. Valentin Paredes Oliva, Dr. Carlos Rosales Loredo, como integrantes del jurado titular; y en calidad de Asesor, el Dr. Homero Bazán Zurita. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno de la Escuela de Posgrado y el Reglamento del Programa de Doctorado de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la SUSTENTACIÓN de la tesis titulada: **RELACIÓN ENTRE LA DINÁMICA POBLACIONAL DEL PERIFITON Y LA CALIDAD DEL AGUA EN LOS RÍOS GRANDE Y PORCÓN DE CAJAMARCA, 2008-2009**; presentada por el M.Cs. **DAVID MILTON LARA ASCORBE** con la finalidad de optar el Grado Académico de **DOCTOR EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Mención **GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBAR con la calificación de SOBRESALIENTE (19) la mencionada Tesis; en tal virtud, el M.Cs. **DAVID MILTON LARA ASCORBE** con la finalidad de optar el Grado Académico de **DOCTOR EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Mención **GESTIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES**.

Siendo las 12:15 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. Valentin Paredes Oliva
Jurado Evaluador


.....
Dr. Carlos Rosales Loredo
Jurado Evaluador


.....
Dr. Marcial Mendo Velásquez
Presidente -Jurado Evaluador

A:

Mi esposa Frida, a mis hijas Frida, Daniela, Norma y a mi nieta Eva

A la memoria de mis amados padres: Julián Nemesio Lara Espinoza y María

Felicita Ascorbe Rojas Q.D.D.G. y E.P.D.

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser mi fortaleza y mi refugio.

A mi esposa Frida por estar siempre a mi lado con su apoyo indesmayable.

A mis hijas Frida, Daniela, Norma y a mi nieta Eva por ser parte de mi vida.

A mi asesor Homero Bazán Zurita por su apoyo incondicional en la realización de la tesis.

A mis docentes de la Escuela de Posgrado por sus conocimientos impartidos durante los estudios de doctorado.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, a través de la Escuela de Posgrado, por permitirme obtener el grado académico de Doctor en Ciencias.

El principio de la Sabiduría es el temor de Dios

CONTENIDO

	Página
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	v
Epígrafe	vi
Lista de Ilustraciones	viii
Lista de Abreviaturas	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
EMTIKA ETSEGBAU (Resumen en Awajun)	xv
CAPÍTULO I	01
1.1. Introducción	01
1.2. Formulación del problema	03
1.3. Justificación	03
1.4. Objetivos	04
1.5. Hipótesis	04
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	05
2.1. Antecedentes	05
2.2. Bases teóricas	08
A) Definición y nomenclatura del perifiton	08
B) Importancia ecológica del perifiton	11
C) Importancia del perifiton como indicador de la calidad del agua	13
D) Parámetros para evaluar el perifiton	20
CAPÍTULO III: DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	24
3.1. Localización de la investigación	24
3.2. Diseño metodológico	25
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	30
3.4. Análisis de datos	30
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1. Resultados	32
4.2. Discusión	84
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
5.1. Conclusiones	89
5.2. Propuesta de proyecto	91
LISTA DE REFERENCIAS	99
ANEXOS	105

LISTA DE ILUSTRACIONES

Items	Página
Figuras	
1. Estaciones de Muestreo	27
2. Cuenca del rio Mashcón	28
3. Porcentaje de Riqueza y Abundancia	38
4. Número de especies identificadas en RG1	41
5. Densidad total por grupo mayor en RG1	43
6. Abundancia promedio por fechas de muestreo en RG1	43
7. Densidad promedio por especies en RG1	44
8. Densidad promedio por grupo mayor en RG1	44
9. Número de especies identificadas en RG2	45
10. Densidad Total por grupo mayor en RG2	48
11. Abundancia promedio por fechas de muestreo en RG2	48
12. Densidad promedio por especie en RG2	49
13. Densidad promedio por grupo mayor en RG2	49
14. Número de especies identificadas en RP1	50
15. Densidad Total por grupo mayor en RP1	53
16. Abundancia promedio por fechas de muestreo en RP1	53
17. Densidad promedio por especie en RP1	54

18. Densidad promedio por grupo mayor en RP1	54
19. Número de especies identificadas en RP2	55
20. Densidad Total por grupo mayor en RP2	57
21. Abundancia promedio por fechas de muestreo en RP2	58
22. Densidad promedio por especie en RP2	58
23. Densidad promedio por grupo mayor en RP2	59
24. Número de especies identificadas en RM	60
25. Densidad Total por grupo mayor en RM	62
26. Abundancia promedio por fechas de muestreo en RM	62
27. Densidad promedio por especie en RM	63
28. Densidad promedio por grupo mayor en RM	63
29. Dominancia relativa e Índice de Valor de Importancia	65
30. Resumen del número de especies identificadas (Riqueza)	66
31. Resumen de la Densidad total por grupo mayor	68
32. Resumen de la Abundancia promedio por fechas muestreo	69
33. Resumen de Densidad promedio en todo el periodo	71
34. Resumen de la Densidad promedio por grupo mayor	72
35. Estación de muestreo RG1	116
36. Estación de muestreo RG2	116
37. Estación de muestreo RP1	117
38. Estación de muestreo RP2	117
39. Estación de muestreo RM	118

Tablas

1. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo	24
2. Algunos parámetros de los ríos Grande y Porcón	27
3. Número de especies identificadas por grupo taxonómico	39
4. Sistematización de los grupos taxonómicos	40
5. Determinación cualitativa del Perifiton en RG1	42
6. Determinación cualitativa del Perifiton en RG2	46
7. Determinación cualitativa del Perifiton en RP1	51
8. Determinación cualitativa del Perifiton en RP2	56
9. Determinación cualitativa del Perifiton en RM	60
10. Resumen de la dinámica poblacional	64
11. Parámetros físicos, químicos y biológicos	76
12. Criterios de la OMS para clasificación de aguas	77
13. Determinación del índice de diversidad Shannon-Weaver	78
14. Estado trófico del agua de acuerdo al índice de diversidad	78
15. Rho de Spearman en RG1	80
16. Rho de Spearman en RG2	81
17. Rho de Spearman en RP1	82
18. Rho de Spearman en RP2	83
19. Rho de Spearman en RM	84
20. Análisis cuantitativo del perifiton en la estación de muestreo RG1	111

21. Análisis cuantitativo del perifiton en la estación de muestreo RG2	112
22. Análisis cuantitativo del perifiton en la estación de muestreo RP1	113
23. Análisis cuantitativo del perifiton en la estación de muestreo RP2	114
24. Análisis cuantitativo del perifiton en la estación de muestreo RM	115

LISTA DE ABREVIATURAS

ECA	Estándar de Calidad Ambiental
NMP	Número más probable
NTU	Unidades nefelométricas de turbiedad
OD	Oxígeno disuelto en el agua
OMS	Organización Mundial de la Salud
RG1	Estación de muestreo 1 en Río Grande
RG2	Estación de muestreo 2 en Río Grande
RP1	Estación de muestreo 1 en Río Porcón
RP2	Estación de muestreo 2 en Río Porcón
RM	Estación de muestreo en Río Mashcón
pH	Potencial de hidrógeno
DVGW	Asociación Alemana Técnica y Científica de Gas y Agua

RESUMEN

LARA ASCORBE, David Milton, “Relación entre la dinámica poblacional del Perifiton y la calidad del agua en los ríos Grande y Porcón de Cajamarca, 2008 -2009”. Tesis de Doctor en Ciencias. Escuela de Postgrado. Universidad Nacional de Cajamarca. 118 páginas

La presente tesis fue desarrollada en el periodo comprendido entre octubre de 2008 y octubre de 2009, en cinco estaciones de muestreos: dos (02) en el río Grande, dos (02) en el río Porcón y uno (01) en el río Mashcón. Se determinaron 33 morfoespecies de algas perifíticas en la zona de estudio, siendo Chrysophyta la división que presentó el mayor porcentaje de riqueza 60,61% (20 especies) del total de las especies identificadas, seguido por Chlorophytas con el 24,24% (08 especies), Cyanophyta con el 12,12% (04 especies) y Euglenophyta (01 especie), Entre las diatomeas más abundantes se encontraron *Navicula sp.*, *Synedra sp.* y *Frustulia sp.*; las especies de clorofitas que más contribuyeron a la densidad total de algas perifíticas fueron *Closterium leibleinii*, *Spirogyra sp.* y *Cosmarium granulatum* y las cianofitas o cianobacterias más representativas fueron *Microcystis aeruginosa* y *Anabaena sp.*, principalmente en el río Porcón donde se determinó una moderada contaminación orgánica. De los parámetros químicos que sobrepasaron los límites de los ECAS fueron: los nitratos, en las estaciones de muestreo RG2 y RM, en el mes de octubre 2008; el arsénico, en el mismo mes, en todas las estaciones de muestreo y el cadmio en octubre 2008 y marzo 2009. Teniendo en cuenta los resultados de rho de Spearman, se puede determinar que existe una correlación significativa entre la densidad total del perifiton y la calidad del agua. Por lo que, podemos afirmar que la calidad del agua influye en la dinámica poblacional del perifiton.

Palabras clave: Perifiton, dinámica poblacional, calidad del agua.

ABSTRACT

LARA ASCORBE, David Milton, “Relationship between the population dynamics of the Periphyton and the water quality in the Grande and Porcón rivers of Cajamarca, 2008 -2009”. Doctor of Science Thesis. Postgraduate School National University of Cajamarca. 118 pages

This thesis was developed in the period between October 2008 and October 2009, in five sampling stations: two (02) in the Grande River, two (02) in the Porcón River and one (01) in the Mashcón River. We determined 33 morphospecies of periphytic algae in the study area, being Chrysophyta the division that presented the highest percentage of richness with 60,61% (20 species) of the total species identified, followed by Chlorophytas with 24,24% (08 species), Cyanophyta with 12,12% (04 species) and Euglenophyta (01 species). Among the most abundant diatoms were found *Navicula sp.*, *Synedra sp.* and *Frustulia sp.*; the Chlorophyta species that contributed most to the total density of Periphytic algae were *Closterium leibleinii*, *Spirogyra sp.* and *Cosmarium granulatum*. And the most representative cyanophytes or cyanobacteria were *Microcystis aeruginosa* and *Anabaena sp.*, mainly in the Porcón River where a moderate organic contamination was determined. The chemical parameters that surpassed the limits of the Environmental Quality Standards were: nitrates, in the sampling stations RG2 and RM, in the month of October 2008; arsenic, in the same month, in all sampling stations; and cadmium in October 2008 and March 2009. Taking into account the results of Spearman’s rho, it can be determined that there is a significant correlation between the total density of the Periphyton and the quality of the water. Therefore, we can say that the quality of the water influences the population dynamics of the Periphyton.

Keywords: Periphyton, population dynamics, water quality.

EMTIKA ETSEGBAU

LARA ASCORBE, David Milton, “Perifiton kaweamu yumi pegkeg asamtai namák Grande tawa nuiya nuigtu Porcon Cajamarcanmaya aidau, 2018-2009”. Tesis Doctor cienciasnum. Posgrado augtai. Universidad Nacional Cajamarcanmaya. 118 pag.

Jujú tesisak takantsae octubre mijan 2008 tin nagkamnas inagnake octubre mijan 2009 tin, takasaje uweja amua akanag: jimag (02) namák Grande num, jimag (02) namák Porcón num nuigtu makichik (01) namák Mashcon num. Ejeyaje 33 morfo especie alga perifiticas tawa nuna autaku mamikiamua nuanui imatika ejeyaje, Chrysophyta tawa nuna ima kuashat ejeyaje 60,61% (20 especies) wajinak ejeyaje nunu apatkam juna ima kuashat ejeyaje, nuna patatkau Chlorophytas tawa nuna 24,24% (08 especie) ejeyaje, Cyanophyta 12,12% (04 especies) ejeyaje antsag Euglenophyta (01 especie) ejeyaje. Nuigtu diatomeas weantunum ima kuashat *Navicula sp.*, *Synedra sp. nuigtu Frustulia sp.* Tawa nuna ima kuashat ejeyaje; Clorofitas weantu algas perifiticas aidaun kawentikau aidauk juju ainawai *Closterium leibleinii*, *Spirogyra sp.* nuigtu *Cosmarium granulatum* nuigtu cianofitas nuniashkush Cianobacterias kuashat wantinuk juju ainawai *Microcystis aeruginosa* nuigtu *Anabaena sp.*. Juka namák Porcon num ejeyaje nuanui ujumak tsuwapakbau wainnake. Químico weantu ECAS tawa nuna ewagak wantinuk jujú ainawai: nitrato aidau, estación muestreo num RG2 nuigtu RM, nagtu octubre 2008 tín; arsénico, nunu natunmag, ashí estación aidaunum nuigtu cadmio octubre 2008 tin antsag marzo 2009 tin. rho Spearman tawa nudau autusa ejebau disa, tumainai, perifitonkak kawewai yumi pegkeg abaunum. Awa awi tumainai perifiton kaweamuk yumi pegkeg asamtai aniawai.

Chicham eteja mamikiamu: Perifiton, wajukag kawewawa, yumi pegkeg.

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

La presencia de algas en los ambientes acuáticos son indicadores de la calidad del agua gracias a su sensibilidad a los cambios del medio en que viven, por tanto, se convierten en un referente del estado ecológico de cualquier sistema acuático (*Gómez y Licursi 2001*).

Una de las características más importantes de las algas es su capacidad depuradora del ambiente, ya que a través del proceso de fotosíntesis incorporan oxígeno, contribuyendo de esta manera a la oxidación de la materia orgánica, por un lado y por el otro a aumentar el oxígeno disuelto en el agua, el cual será utilizado por las otras comunidades u organismos que componen la flora y fauna del medio acuático donde viven.

Toda investigación para determinar el “status” ecológico de cada especie algal nos proporciona una valiosa información sobre “la salud biológica del río”. Se considera que cuanto mayor es la diversidad de especies presentes en el medio, las aguas son de mejor calidad. Aunque se debe tener en cuenta otras variables, como por ejemplo el nivel de nutrientes y minerales. El estudio de la biología de las algas, principalmente de sus formas, puede indicar la presencia de factores adversos a su crecimiento y desarrollo, tal como lo son los metales pesados, los que provocan malformaciones celulares en casi todas las especies o la desaparición de muchas de ellas (*Stevenson 1996*).

Entre los organismos que se estudia para conocer la biodiversidad algal de una zona, en el marco de esta investigación, se pone énfasis en algas conocidas como diatomeas; algas unicelulares, que tienen una pared celular compuesta de sílice, con

ornamentaciones definidas y constantes. El estudio detallado de estas especies, que además tienen la particularidad de que permanecen en el tiempo, pues sus paredes silíceas no se degradan, se las encuentra en todos los ambientes y son las algas más utilizadas en todo el mundo para el biomonitoreo de ambientes actuales y fósiles.

Si bien las algas son organismos poco exigentes y capaces de adaptarse, cada especie tiene requerimientos propios y crecen en biotopos bien determinados, y si en ellos las condiciones se modifican, mueren o desaparecen. Por sus tipos morfológicos, tienden a integrar, en algunos casos, comunidades bien definidas. Las formas microscópicas unicelulares o diminutas en suspensión en el agua componen el **fitoplancton**. Mientras que los bentos es un conjunto de organismos que viven en y sobre el fondo, las algas bentónicas, normalmente son formas unicelulares macroscópicas. El **perifiton** está compuesto por organismos unicelulares o multicelulares simples, adheridos a un sustrato, vivo o inanimado, por medio de secreciones o estructuras especializadas (*Stevenson 1996*).

Según los investigadores, en los ecosistemas acuáticos, las comunidades de algas y en particular las poblaciones de diatomeas son diversas. Su distribución está relacionada con la química del agua, la estacionalidad y la geología.

Estas algas son valiosos indicadores de la calidad del agua y por tanto referentes geoambientales. Las relaciones entre la presencia y dominancia de algunos grupos del perifiton y las características físico-químico- biológico del agua nos permitirán determinar la calidad del agua (*Stevenson, 1996*).

El presente trabajo de investigación se realizó en el periodo comprendido de octubre-2008 a octubre- 2009, que, por motivos de fuerza mayor, ajenos al investigador, no fue posible su sustentación a su debido tiempo, empero, los resultados obtenidos y sus conclusiones tienen importancia porque nos permite

tener un referente de línea de base de la zona de trabajo, así como, permitir el uso de bioindicadores en cualquier trabajo de un ecosistema acuático.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la relación entre la dinámica poblacional del perifiton y la calidad del agua en los ríos Grande y Porcón de Cajamarca?

1.2.2. OPERACIONALIDAD DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los factores e indicadores de la dinámica poblacional del perifiton?

¿Cuáles son los factores e indicadores de la calidad del agua?

¿Cuál es el grado de correlación entre la dinámica poblacional del perifiton y la calidad del agua?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Se sabe que los cambios en las comunidades algales “delatan” el inicio de contaminación que pueda existir en un sistema acuático, lo cual se refleja en las modificaciones de la estructura poblacional y en la proliferación de especies asociadas a determinados aportes. Las respuestas de estos organismos frente a los cambios de las condiciones del medio los convierten en finos sensores de la calidad del agua y en referentes del estado saludable del ambiente.

Debido a la importancia ecológica de las algas bénticas como fijadoras de energía en el ecosistema y como indicadoras biológicas de las características físicas y químicas del agua, en este trabajo se analiza la composición y la relación con los parámetros fisicoquímicos de las algas epilíticas presentes en los ríos Grande y Porcón.

Las contribuciones que se esperan realizar con este trabajo son, por un lado, ampliar el conocimiento sobre la biodiversidad algal de la zona y, por el otro, una valoración del grado indicador de las distintas especies de las comunidades en estudios a fin de determinar el “status” ecológico de los ríos Grande y Porcón, a partir del análisis de la estructura y funcionamiento de las comunidades existentes.

De los resultados de este trabajo, surgirán metodologías biológicas de monitoreo que permitirán detectar problemáticas de la calidad del agua.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Determinar la relación existente entre la dinámica poblacional del Perifiton (epilíticas) y la calidad de agua de los ríos Grande y Porcón de Cajamarca.

1.4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar los componentes de la población del perifiton de los ríos Grande y Porcón

Identificar los factores e indicadores de la dinámica poblacional y de la calidad del agua.

Caracterizar los factores e indicadores de la dinámica poblacional y de la calidad del agua.

Proponer proyecto de evaluación limnológica de los ríos Grande y Porcón.

1.5. HIPÓTESIS

Existe una relación entre la dinámica poblacional del perifiton (epilíticas) y la calidad del agua de los ríos Grande y Porcón – Cajamarca, durante el periodo estacional 2008 – 2009

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES:

Las investigaciones limnológicas y algológicas en el Perú son escasas aún. *Aldave (1989)*, cita que los primeros datos sobre algas peruanas son mencionadas por Soldán (1862), Agassiz (1876), Braun (1882), Raimondi (1902), Frenguelli (1939), Allen (1940), Tutin (1940), Maldonado (1943), Sánchez (1945), Sánchez y Ancieta (1946), Schindler (1955), Wong (1966), Richerson et. al. (1975), Acosta Ponce (1979).

Azabache (2005), cita a Hegewald y Aldave, 1973 quienes han realizado trabajos en Cajamarca, en los distritos de Jesús, Namora, Quilcate, La Tranca, Mishacocha, Hualgayoc, sus estudios fueron específicos sobre Cyanophyta en Baños del Inca, reportando 25 especies, dentro de ellas algunas de Nostoc que son utilizadas en curaciones dermatológicas. *Bazán et al. (1998)*, realizaron evaluaciones sobre plancton y micro fauna acuática para Minas Conga y Greystoke. Los reportes enfocan una mayor presencia de Cianofitas, seguida de Crisófitas.

Azabache (2005), realizó la identificación del fitoplancton y del estado situacional de su comunidad en la cuenca del río Mashcón, reportando 55 especies de 49 géneros correspondientes a las Divisiones Cyanophyta, Euglenophyta, Chlorophyta y Chrysophyta: de las cuales 29 pertenecen a la División Chrysophyta, 19 a la Chlorophyta, 5 a la Cyanophyta y 2 a la Euglenophyta, siendo las especies *Botryococcus braunii* (71,77 %) y *Microcystis aeruginosa* (16,62 %) las más frecuentes y dominantes.

Deza et al. (2006), realizaron una evaluación química – biológico en la quebrada Pabellón La Quina – Cajamarca, para determinar el impacto del derrame de petróleo por la Minera Gold Fields, llegando a la conclusión que el derrame de petróleo afectó a la población nativa de organismos acuáticos, entre ellos el fitoplancton, en cuanto a su abundancia, número de especies, número de organismos por especie y en su diversidad.

Pajares (2004), en un estudio realizado sobre la calidad sanitaria del agua del río Porcón, llegó a la conclusión que, ésta presentaba una elevada concentración de coliformes 5 986/100 mL de totales y 4 525/100 mL de fecales, mucho mayor de los estándares de calidad ambiental para cursos de agua Clase III. Asimismo, con respecto a la DBO promedio reportó, 13,6 mg/L y la considera elevada pero dentro del límite permisible según los parámetros establecidos en la Ley de Aguas, artículo 82.

Gualtero (2007), realizo un estudio sobre la composición y abundancia de la comunidad de algas bénticas y la relación con los parámetros fisicoquímicos fueron estudiadas durante el 2006 en cinco quebradas poco impactadas del área centro (Bosque Olimpia, San Virón y La Mina) y este de Puerto Rico (Sonadora y Puente Roto-Mameyes). Un total de 120 especies fueron identificadas, siendo las diatomeas las más abundantes (94 especies), seguidas de las algas verdes (16 especies), cianobacterias (9 especies) y euglenofitas (1 especie). Se observó una correlación positiva entre la concentración de clorofila a y los nutrientes, siendo La Mina la quebrada con el valor máximo de clorofila a ($10,03 \text{ mg/m}^2$) y Sonadora con el valor mínimo ($2,09 \text{ mg/m}^2$). En zonas templadas, valores del índice autotrófico superiores a 100 indican pobre calidad del agua. Sin embargo, en este estudio el índice autotrófico fue alto en todas las quebradas, lo cual puede

indicar que el componente heterotrófico contribuye en mayor grado a la biomasa de la comunidad epilítica, y no necesariamente, que los sistemas evaluados estén impactados por la actividad antropogénica.

Casco y Toja (2003), realizaron un estudio sobre el efecto de la fluctuación de nivel del agua en la biomasa, la diversidad y las estrategias del perifiton de los embalses de La Minilla (SO, España), llegando a la conclusión que las fluctuaciones del nivel del agua afectan a las diferentes estrategias de colonización del perifiton, que se traducen tanto en la biomasa como en la composición específica.

Martin et al. (2004), en su trabajo de investigación sobre el efecto de la contaminación minera sobre el perifiton del río Guadamar, España, mencionan que las altas concentraciones de metales son tóxicas para muchas algas, ya que muchas de las especies que colonizaron los sustratos en Gerena, desaparecieron en los experimentos al ser tratadas con metales (*Cymbella*, *Gomphonema* y *Gomphoneis* de forma más evidente). En estos experimentos, el pH se mantuvo siempre por encima de 7. Además, los experimentos se llevaron a cabo con velocidades de corriente muy bajas, con lo que la toxicidad que ya tienen los metales por sí solos se acentuaría en sistemas con más corriente. Además, indican que las Zignematales se desarrollan mejor con velocidades pequeñas de corriente (épocas de estiaje), mientras que las diatomeas están favorecidas por velocidades mayores (épocas de avenida).

Zapata y Donato (2005), en el Río Tota (Colombia, Sur América), durante 15 días consecutivos y en tres periodos registraron variables hidrológicas, físicas, químicas, así como su efecto sobre la composición y densidad de las algas perifíticas en sustratos artificiales. Las especies predominantes fueron

Cocconeis placentula, Melosira varians, Nitzschia sp. y Fragilaria cf. capucina, con cambios diarios en sus densidades en los tres periodos. Mediante un Análisis de Correspondencias Canónica y partición de la varianza se demostró que la variable con mayor explicación de estos cambios es la velocidad de la corriente (20,6 %) junto con el nitrógeno total (20,6 %) y el pH (14,7 %). En general, valores de velocidad de la corriente moderadamente altos promueven bajas densidades algales, la comunidad se conserva en las primeras etapas de sucesión y permite el mantenimiento de la diversidad. En velocidades de corriente más bajas la abundancia total es alta y se sucede el desprendimiento de la película algal con el consecuente reinicio de la sucesión.

2.2 BASES TEÓRICAS:

A) Definición y Nomenclatura del Perifiton

Los organismos que crecen adheridos a las superficies han sido llamados "biofilms", "aufwuchs", bentos y perifiton (*Sladeckova 1962, Liboriussen 2003*). Este último término es el que permanece en la actualidad, aunque la terminología varía de acuerdo al substrato de crecimiento de la comunidad. El término algas bénticas se adjudica a las algas que forman parte del perifiton, dado que ellas son el componente principal del mismo. Las algas que crecen sobre substratos sumergidos se clasifican de acuerdo al microhábitat que ocupan. Así, se conoce como epilíton a las algas que crecen sobre rocas; epifíton, si crecen sobre plantas (incluye algas filamentosas); epidendron, si se encuentran sobre la madera; epipelón, en sedimento fino; episamón, sobre arena y epizoon, cuando crecen sobre animales acuáticos (*Allan 1995, Hauer y Lamberti 1996, Stevenson 1996*).

Wetzel (1975) menciona que, en comparación a la gran cantidad de estudios realizados sobre la sistemática, física y ecología de los sistemas acuáticos, existe gran escasez de información sobre las algas fijadas al sustrato o agrupadas laxamente en las regiones litorales de los lagos en las zonas someras de las corrientes de agua

La nomenclatura de las algas y bacterias fijadas de distintas formas a los sustratos en los sistemas acuáticos está muy embrollada. Existe un gran número de términos, y la mayoría de ellos innecesariamente complejos y bastantes confusos. El tema es bastante ingrato a causa de la gran variación de micro hábitats y de la asociación de los organismos con el sustrato. Sin embargo, el extenso uso de ciertos términos hace necesaria una breve explicación. En primer lugar, nos referiremos al término bentos, derivado de la palabra griega usada para denominar el <<fondo>>, que en su inicio se definió de forma muy amplia, incluyendo la reunión de organismos asociados al fondo o, mejor dicho, a la interfase sólido-líquida de los sistemas acuáticos. Actualmente la denominación de bentos se aplica casi únicamente a los animales asociados al sustrato. Los términos aufwuchs (alemán: crecimiento por encima), y a menor escala haptobentos, generalmente hacen relación a todos los organismos ampliamente asociados y adnatos a una superficie sólida, pero que no lo penetran,

El perifiton, aunque se ha usado para significar distintos conceptos, normalmente se refiere al crecimiento de la microflora por encima del sustrato. Así, en las comunidades de algas se pueden diferenciar fácilmente las siguientes divisiones:

- a) Algas Epipélicas o flora que se desarrolla sobre los sedimentos (finos, orgánicos)
- b) Algas Epilíticas, que viven sobre superficies de rocas o piedras
- c) Algas Epífitas, que crecen sobre las superficies de los macrófitos
- d) Algas Epizoicas, que se desarrollan sobre superficies animales.
- e) Algas Epipsámicas, que se refiere a los organismos bastantes específicos que viven sobre la arena o moviéndose por ella. El término general psamon se refiere a todos los organismos que viven o se mueven por la arena

Pizarro y Alemanni (2005) mencionan que entre los grupos algales más importantes en agua dulce se encuentran:

- Diatomeas (Bacillariophyceae): las diatomeas representan el grupo más ampliamente distribuido en nuestras aguas. Presentan una cubierta celular silíceas, lo que permite su caracterización taxonómica. Son importantes en las comunidades bentónicas de ríos, arroyos, lagos, embalses. Por su diversidad y las diferencias entre especies en cuanto a requerimientos ambientales y sensibilidad a la polución, constituyen buenos bioindicadores de calidad del agua
- Cianobacterias o Algas verde azuladas (Cianofíceas): pueden formar grandes colonias flotantes o desarrollarse en los bentos. Se caracterizan por presentar estructuras capaces de retener gases y Nitrógeno. Son de gran importancia en los medios continentales donde dominan en ambientes someros, cálidos y de elevado nivel trófico (elevada carga de nutrientes). En ambientes hipertróficos llegan a ser dominantes. Algunas de las especies de cianofitas liberan toxinas, por lo que pueden causar

serios daños en la salud humana, incluso la muerte (Ej. *Microcystis aeruginosa*).

- Euglenofitas (Euglenophyta): comunes en cuerpos de agua de alto contenido orgánico.
- Algas verdes (Chlorophyta): constituyen uno de los grupos más diversificados en los ambientes de aguas continentales y de fácil identificación por su coloración verde. En este grupo se encuentran algas unicelulares, flageladas, coloniales, filamentosas.
- Dinoflagelados (Dinophyta): Comprenden un grupo de organismos de diferente grado de autotrofia y de primitiva estructura nuclear, fácilmente diferenciables por su cobertura celular rígida. En algunos casos constituyen importantes elementos del plancton por su abundancia. La mayoría de las especies son marinas, pero también hay de agua dulce. Cuando presentan altas tasas de crecimiento se los visualiza como manchas “rojas” en el agua.

B) Importancia ecológica del perifiton

Los grupos principales de algas presentes en el perifiton de sistemas lóticos son las cianobacterias (Cyanophyta), algas verdes (Chlorophyta), algas rojas (Rhodophyta) y diatomeas (Bacillariophyceae), siendo estas últimas las algas que comprenden la mayoría de las especies del perifiton (*Allan 1995*).

Las algas bénticas son los productores primarios más importantes en lagos, ríos y humedales (*Stevenson 1996*), y constituyen la base de la cadena alimenticia en estos ecosistemas. Mediante la fotosíntesis, las algas suministran oxígeno al cuerpo de agua y por medio de la fijación del carbono,

se convierten en fuente energética para los organismos que se alimentan de ellas (*Hauer y Lamberti 1996*).

En los lagos, el perifiton puede controlar la distribución y la abundancia de la vegetación sumergida (*Liboriussen 2003*). El epifiton disminuye en un 80% la entrada de luz a las macrófitas y les limita la asimilación de carbono inorgánico de la columna de agua.

En los sistemas acuáticos, las algas bénticas regulan el flujo de algunos elementos químicos, en especial los nutrientes, de forma directa e indirecta. Los efectos directos en el ciclo de nutrientes pueden ser: (1) aumento en el suministro de nutrientes, mediante la fijación de las formas atmosféricas y el empleo de aquellos presentes en el sustrato al que se encuentran adheridas; las cianobacterias, por ejemplo, son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico en el agua, y convertirlo a NH_3 y aminoácidos, (2) tomar los nutrientes presentes en la columna de agua, y (3) la transformación y remineralización de los mismos. En el último caso, los nutrientes son liberados por excreción de las algas o de los animales que se han alimentado de ellas, lisis celular o por hidrólisis enzimática de las formas orgánicas de los nutrientes (*Stevenson 1996*).

La regulación indirecta de los elementos se asocia con la formación de micro hábitats o zonas límites, que cambian las características hidráulicas del fondo del río. La interacción en estas zonas entre las algas, los microorganismos heterotróficos y los consumidores, influye en la dinámica de nutrientes, debido a que se disminuye la pérdida de los elementos mineralizados. También se aumenta su circulación en un mismo sitio, antes de ser desplazados con la corriente (*Dodds et al. 2002, Stevenson 1996*). Además, el oxígeno producido

durante la fotosíntesis puede inmovilizar los elementos disueltos y reducir el flujo químico entre la interfase sedimento-agua (*Liboriussen 2003*).

Por otra parte, las algas bénticas proporcionan microhábitats para otros organismos, modifican el movimiento de solutos y pueden alterar la velocidad del agua en los ríos y arroyos. La disminución en la velocidad varía con el tipo de crecimiento y la estructura de la comunidad perifítica. *Dodds et al. (2002)* reportó que *Cladophora*, un alga verde filamentosa, disminuyó la velocidad de la corriente en mayor proporción que las macrófitas. A su vez, el crecimiento en una matriz mucilaginosa, donde predominó la diatomea *Cymbella*, tuvo mayor efecto en la velocidad del agua que los crecimientos de algas filamentosas y algas rojas. La modificación en el flujo del sistema afecta la toma de nutrientes y otros elementos. Así, en zonas con grandes biomasas de algas, el transporte de nutrientes dependerá de la difusión molecular y del grosor de la capa en la zona límite que rodea a la comunidad perifítica (*Dodds et al. 2002, Biggs y Smith 2002*).

C) **Importancia del perifiton como indicador de la calidad del agua**

Pizarro y Alemanni (2005) manifiestan, así como en los ambientes terrestres, en los ecosistemas acuáticos la cadena trófica se encuentra representada por numerosos grupos de organismos, y en la dinámica de los cuerpos de aguas es fundamental la interrelación entre los organismos. Ésta no sólo está dada por los hábitos alimenticios, sino también por reacciones de comportamiento y reciclado de nutrientes.

El conocimiento de los organismos acuáticos (composición y densidad de especies) y la cadena trófica, es fundamental debido a que la presencia o

ausencia de especies es un indicador del estado de salud del ecosistema; asimismo con el conocimiento integral de las comunidades se pueden advertir cambios a corto y largo plazo de la calidad del agua, permitiendo la posibilidad de manipulación de especies para manejo y control.

La Sociedad española de Ficología (2006) indica que dentro de los grupos taxonómicos propuestos en el anexo V de la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (DMA) para su uso como bioindicadores de la calidad del agua, se recomienda entre otros el empleo de las comunidades fitobentónicas. Dentro del fitobentos, las diatomeas son el grupo generalmente más representativo, reuniendo una serie de particularidades que las convierten en organismos para tal fin. Desde hace varias décadas decenas de estudios han demostrado la eficacia de los índices biológicos basados en las diatomeas, especialmente en la determinación de la calidad química del agua. Siendo la diatomología uno de los campos de investigación más activos dentro de la ficología actual. Desde hace varios años las administraciones españolas han demostrado un notable interés por la aplicación en sus aguas de los métodos biológicos de valoración del estado ecológico.

Pizarro y Alemanni (2005) indican que, en estudios, cuyo objetivo consisten en caracterizar la dinámica y estructura de las comunidades, como así también determinar el estado de salud de los ecosistemas acuáticos, el cálculo estadístico, modelados e índices biológicos son fundamentales. Los tres principales sistemas para la determinación de la calidad del agua a partir de los grupos biológicos son: Índices basados en especies indicadoras: Explican distintas categorías de la calidad del agua teniendo en cuenta parcial o totalmente la comunidad biológica.

A continuación, se presentan algunos de los índices más utilizados.

Índice de Diversidad de Shannon: Toma valores mayores que 0

$$H' = \sum P_i \log P_i$$

Donde:

P_i = probabilidad de la especie i

n_i / N (n_i: abundancia de la especie i; N: número total de especies)

Índice de Dominancia de Simpson: Este índice toma valores entre 0 y 1 dado que calcula la probabilidad de que al extraer dos individuos de una población infinita, pertenezcan a la misma especie.

$$D = 1 - \left[\frac{ni(n-1)}{N(N-1)} \right]$$

Donde:

n = abundancia de la especie i

N = número total de especies

Whitton (1975) indica que, al evaluar la calidad de las aguas, es conveniente complementar el análisis de las variables físicas y químicas del ambiente con estudios biológicos.

Estos estudios incluyen desde la evaluación de los efectos de los contaminantes sobre la morfología y/o fisiología de organismos hasta sobre las propiedades de las comunidades biológicas. El perifiton es una comunidad

que presenta características que la convierten en ideal para su utilización en estudios de biomonitorio de calidad de agua; entre ellas, la imposibilidad de evadir la polución por encontrarse adherida a un sustrato generalmente fijo, reflejando las características históricas del lugar (*Biggs 1996*).

Pizarro y Alemanni (2005) manifiestan que para estudiar la respuesta del perifiton a una perturbación, se pueden analizar sus aspectos estructurales o funcionales. Dentro de los estructurales, además de la composición taxonómica y diversidad específica, pueden evaluarse las distintas fracciones de su masa (autótrofa, heterótrofa e inorgánica) permitiendo inferir aspectos funcionales de la comunidad. En Argentina, son escasos los trabajos en los que se analiza la biota de forma integral con las variables ambientales de ríos urbanos poluídos. En alguno de estos trabajos, se utiliza a la comunidad fitoplanctónica como indicadora de calidad del agua en ríos.

El crecimiento de las algas bénticas está regulado por la interacción de factores como la luz, disponibilidad del sustrato, concentración de nutrientes, hidrodinámica del sistema, presencia de herbívoros y la química del agua (COD, pH, conductividad eléctrica, etc). En ocasiones es difícil cuantificar la importancia y el efecto que cada factor ejerce sobre la composición y la abundancia de la comunidad. Sin embargo, la influencia de dichos factores se puede inferir a partir del cambio de especies, reducción del número total de especies y cambios en la proporción relativa de éstas dentro de la comunidad (*Díaz-Quirós y Rivera-Rondón 2004*).

El nitrógeno y el fósforo son los nutrientes asociados con el proceso de eutrofización y se consideran limitantes para el crecimiento de las algas. Los bioensayos realizados en sistemas lóticos demuestran que la biomasa perifítica

aumenta rápidamente con la adición de estos elementos de forma conjunta o individual. Sin embargo, ante los efectos de un disturbio hidrológico, la relación entre los nutrientes y la biomasa no es fácil de establecer. En las zonas templadas, el papel de los nutrientes es notable en época de verano con valores bajos de flujo (*Chételat et al. 1999*). Por el contrario, a nivel tropical, estos estudios no predicen el efecto de los nutrientes sobre la biomasa, debido a que otros factores, como el uso de terreno, la dinámica de la cuenca hidrográfica y el patrón hidrológico de cada sistema, son variables (*Dodds et al. 2002*).

Durante los últimos años, el fuerte interés por determinar el estado ecológico de un ecosistema condujo a los gobiernos de Europa, Estados Unidos, Canadá y Australia a desarrollar metodologías que empleen los indicadores biológicos (*Niemi y McDonald 2004*). En estos estudios, las algas son uno de los grupos de organismos empleados para este fin, debido a su rápida respuesta a los cambios ambientales. Su uso en el monitoreo de los ríos es cada vez mayor, debido a las limitaciones en el muestreo de los macroinvertebrados y los peces (*Charles 1996*). Dentro de las algas, las diatomeas son estudiadas como indicadoras ya que se encuentran en una amplia variedad de ambientes, son el componente principal del fitobentos de los ríos y reaccionan rápidamente a los contaminantes (*Cox 1991, Harding et al. 2005*).

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. Por tener ciclos de vida cortos, las algas responden rápidamente a los cambios en las condiciones ambientales. Las formas de crecimiento sésil sobre el substrato

no les permiten evitar los contaminantes, y por tanto toleran el ambiente o fallecen (*Hauer y Lamberti 1996; Hering et al. 2006*).

Según, *Hering et al. (2006)*, el uso de las diatomeas bénticas es adecuado en los estudios relacionados con la concentración de nutrientes, ya que en comparación con otros grupos de organismos, como las macrófitas y los macroinvertebrados, las diatomeas presentan una fuerte respuesta y alta precisión en los resultados.

Kelly et al. (1995) mencionan que los índices bióticos que consideran la influencia de la eutrofización sobre la composición de las diatomeas epilíticas son denominados como Índices Tróficos de Diatomeas (TDI), estos han sido desarrollados principalmente en Europa. *Gómez y Licursi (2001)* desarrollaron el Índice de Diatomeas de la Pampa (PDI), para la valuación de la calidad del agua en Argentina. A diferencia de los índices tróficos, el PDI integra los efectos del enriquecimiento por materia orgánica y la eutrofización. Los elementos químicos que limitan con mayor frecuencia la producción autotrófica son fósforo (P), nitrógeno (N) y silicio (Si). El P inorgánico es considerado como el factor limitante del crecimiento de las algas bénticas, el fitoplancton y las macrófitas. Sin embargo, cuando las concentraciones de fósforo son altas y la proporción N: P es menor a 16:1, el N puede volverse limitante (*Agustí et al. 1990, Allan 1995*). Existen diferentes estudios que consideran la respuesta de las algas bénticas a la adición de nutrientes en sistemas lóticos (*Marcus 1980, Lowe et al. 1986, Biggs, 1996, Biggs y Smith 2002*). Estos demuestran que la adición de nitrógeno y fósforo o bien, aumenta la biomasa de algas, o no tiene ningún efecto sobre la riqueza y la composición de las especies. *Lowe et al. (1986)* encontraron que la luz, en lugar de los

nutrientes, juega un papel determinante para la biomasa de algas en las cuencas de áreas boscosas. Sin embargo, la limitación por luz o por nutrientes depende del sitio de estudio y las condiciones climáticas.

En los sistemas lóticos la corriente y las variaciones en el flujo son otros factores que influyen en la distribución y abundancia de los autótrofos. El aumento en la velocidad de la corriente estimula la toma de nutrientes, la fotosíntesis y la respiración; los efectos positivos del flujo han sido observados en diferentes grupos de algas como las diatomeas, algunas cianobacterias filamentosas y las algas rojas. Además de lo anterior, la corriente modifica el sustrato, lo cual afecta la fijación de las especies, que a su vez, muestran diferentes adaptaciones de adhesión. *Martínez y Donato (2003)* encontraron que, en un río de alta montaña, la densidad del perifiton varió con el flujo, siendo menor en el período de mayor velocidad de corriente, y mayor en el período seco. La densidad de algas, por el contrario, fue mayor en los períodos de flujo intermedio, resultado que coincide con lo reportado por diversos autores, para la mayoría de los hábitats (*Stevenson 1996*).

Por otra parte, en los sistemas lóticos el sustrato le proporciona al perifiton estabilidad contra la corriente y los cambios de flujo. Debido a que el perifiton puede colonizar diferentes sustratos (arena, sedimento, rocas, plantas y animales), se considera que el mismo es un factor que determina la abundancia y la composición de la comunidad. El asentamiento en el sustrato, depende de la conformación de la superficie, del tiempo para la colonización y de la modificación que otros organismos, como las bacterias, hagan sobre el mismo. El perifiton se considera como un componente biológico importante en el biomonitoreo del estado trófico del agua. Agencias ambientales como la EPA

y el Servicio de Geología de los Estados Unidos (USGS), incluyen su estudio entre los protocolos de calidad del agua a nivel de los Estados Unidos. Su estudio se fundamenta en la identificación de los taxones más frecuentes o en el conocimiento de la estructura de la comunidad.

D) **Parámetros para evaluar el perifiton:**

Los Parámetros de evaluación del perifiton tenemos:

1.- Densidad (D).

Está referida como el número de individuos de una especie expresados en unidad de volumen o superficie, en este caso N° organismos/cm². Este parámetro es inversamente proporcional a la diversidad, esta se reduce cuando se incrementan las densidades en cada especie (*González 1988*). Las aguas contaminadas son habitadas por pocas especies pero en gran diversidad de individuos por especie (*Patrick 1966*).

2.- Frecuencia (F).

Se enuncia como el número de hábitats, puntos de referencia, estaciones de muestreo y lugares en que aparece una determinada especie, en relación al número total de estaciones (*Franco et al. 1985*).

3.- Dominancia (Do).

Valor referencial que cuantifica el producto de la densidad de una especie, pero el factor que relaciona al número de estaciones en que la especie dominó y el número total de estaciones. Las comunidades más

complejas tienen mayor densidad pero menor dominancia de una o pocas especies sobre las demás (*Franco et al. 1985*).

4.- Diversidad específica (\bar{d}).

Relación entre número de individuos y el número de especies encontradas en un ambiente determinado. Las aguas polutas ejercen presión selectiva sobre especies e competencia, reduciendo los nichos ecológicos. Es decir, tienden a ser habitados por un número pequeño de especies, pero con gran densidad de individuos (*Patrick 1966*).

Franco et al. (1985) cita que uno de los aspectos más impresionantes de las múltiples comunidades naturales es la diferencia de su riqueza específica. Una comunidad es más compleja cuanto mayor sea su número de especies y menor dominancia presenten algunas especies sobre las otras; cuanto mayor es el número de especies, mayor la diversidad. Ese grado de complejidad se llama diversidad, que en su expresión cuantitativa es aún más confusa. Existen muchos índices que estiman la diversidad; aquellas que se basan en la teoría de la información son las que han tenido mayor impulso, entre otras se usan:

- Índice de Simpson (1949):

$$D = \frac{1}{\sum P_i} \quad (0 < D < 1)$$

- Índice de Shannon – Weaver (1963).

$$\bar{d} = - \sum P_i \log_2 P_i$$

$$P_i = n_i / N$$

n_i = número de individuos de la especie i

N = número total de individuos de todas las especies

\bar{d} = índice de la diversidad

El índice de Shannon considera el número de especies y la equidad o uniformidad, la diversidad se incrementa cuando existe un mayor número de especies, o también cuando se da una mayor uniformidad de distribución del número de individuos en cada especie.

Deza (1977) cita que muchos otros índices de diversidad han sido propuestos por diferentes autores como Gleason (1922), Fisher y col. (1974), Preston (1948), Margalef (1956), Menhinick (1964). Es opinión generalizada en los autores, que la diversidad es impactada por muchos factores externos y que entre ellas las aguas servidas comúnmente la reducen.

5. Especies con valor de importancia ecológica:

Es una expresión superlativa reflejada por la sumatoria de las principales cualidades estructurales de una comunidad: densidad, dominancia y frecuencia relativas, de una especie. Usualmente se da una categorización de especies con valor de importancia ecológica, generando una inducción obvia a profundizar estudios sobre ellas (*Franco et al. 1985*).

Whitton (1975), indica que, al evaluar la calidad de las aguas, es conveniente complementar el análisis de las variables físicas y químicas del ambiente con estudios biológicos. Estos estudios incluyen desde la evaluación de los efectos

de los contaminantes sobre la morfología y/o fisiología de organismos hasta sobre las propiedades de las comunidades biológicas. En el ecosistema acuático, la comunidad constituida de microorganismos autótrofos y heterótrofos que viven suspendidos en el seno del agua se denomina plancton, término creado por Hensen en 1887. Se caracterizan por su tamaño pequeño, que varía desde unas pocas micras hasta algunos milímetros, como por su limitada o inexistente capacidad de locomoción cuyos valores de Número de Reynolds (Re) están muy por debajo de 500. Esta condición los incapacita para contrarrestar la fuerza de las corrientes, por lo cual se desplazan con ellas. El nitrógeno y el fósforo son los nutrientes asociados con el proceso de eutrofización y se consideran limitantes para el crecimiento de las algas. Sin embargo, ante los efectos de un disturbio hidrológico, la relación entre los nutrientes y la biomasa no es fácil de establecer. En las zonas templadas, el papel de los nutrientes es notable en época de verano con valores bajos de flujo. Por el contrario, a nivel tropical, estos estudios no predicen el efecto de los nutrientes sobre la biomasa, debido a que otros factores, como el uso de terreno, la dinámica de la cuenca hidrográfica y el patrón hidrológico de cada sistema, son variables (*Dodds et al., 2002*).

Los elementos químicos que limitan con mayor frecuencia la producción autotrófica son fósforo (P), nitrógeno (N) y silicio (Si). El P inorgánico es considerado como el factor limitante del crecimiento de las algas bénticas, el fitoplancton y las macrófitas. Sin embargo, cuando las concentraciones de fósforo son altas y la proporción N:P es menor a 16:1, el N puede volverse limitante (*Agustí et al., 1990; Allan, 1995*).

CAPÍTULO III

DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

3.1 LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:

Los ríos Grande y Porcón se ubican desde una altitud de 3 536 msnm y el río Mashcón a 2 666 msnm, compartiendo los pisos ecológicos de Quechua y Jalca, en el Departamento de Cajamarca.

Las dos sub cuencas de estudio están separadas por el cerro Quilish y otras pequeñas colinas onduladas; hacia la derecha nacen y discurren descendentes en dirección sur este las quebradas Porcón, Chilincaga, Quilish y tributarios menores, que en conjunto forman la sub cuenca del Río Porcón. A la izquierda lo hacen las quebradas Callejón, Encajón, Quishuar Corral y Quengo, que en su trayectoria van conformando la sub cuenca del Río Grande. Ambas confluyen curso abajo después de la Planta de Tratamiento de Agua El Milagro, para formar el río Mashcón. La ubicación geográfica exacta de los puntos de muestreos se presenta a continuación en la Tabla 1, al igual que en la figura 1 y Apéndice B.

Tabla 1

Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo

ESTACIONES DE MUESTREO	UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
		COORDENADAS GEOGRÁFICAS	ALTITUD (msnm)
RIO GRANDE	RG-1	7°04'58,39' S y 78°31'23,74' O'	2 918
	RG-2	7°05'22,18' S y 78°31'14,44' O'	2 892
RIO PORCÓN	RP-1	7°04' 50,88" S y 78°34' 35,43' O'	3 157
	RP-2	7°06'08,5' S y 78°32'56,58' O'	2 876
RIO MASHCÓN	RM	7°06'53,05" S y 78°31'38,40" O	2 779

3.2. DISEÑO METODOLÓGICO

3.2.1. Tipo de Investigación:

Deductiva – Confirmacionista de naturaleza no experimental, de nivel correlacional y longitudinal.

3.2.2. Localización:

El área de estudio corresponde a la cabecera de cuenca del Río Mashcón, ubicada en la vertiente oriental del divortium acuarium de las cuencas del Pacífico y Atlántico del macizo de los andes, enmarcada entre los 07°64'00'' y 07°76'00'' de Latitud Sur y los meridianos 92°12'00'' y 92°28'00'' de Longitud Este, entre los distritos de La Encañada, Baños del Inca y Cajamarca, provincia de Cajamarca

Los Ríos Grande y Porcón se ubican a una altitud de 3 536 msnm y el Mashcón a 2 666 msnm, compartiendo los pisos ecológicos de Quechua y Jalca.

Las dos sub cuencas de estudio están separadas por el cerro Quilish y otras pequeñas colinas onduladas; hacia la derecha nacen y discurren descendentes en dirección sur este las quebradas Porcón, Chilincaga, Quilish y tributarios menores, que en conjunto forman la sub cuenca del Río Porcón. A la izquierda lo hacen las quebradas Callejón, Encajón, Quishuar Corral y Quengo, que en su trayectoria van conformando la sub cuenca del Río Grande. Ambas confluyen curso abajo después de la Planta de Tratamiento de Agua El Milagro, para formar el río Mashcón.

Según *ONERN (1975)*, siguiendo el sistema de Holdridge, la zona de vida identificada en el área es el Páramo muy húmedo-sub alpino tropical (pmh-sat), que limita en la parte inferior con el Bosque Muy Húmedo-Montano

tropical alrededor de los 3 000 msnm. La vegetación está constituida por asociaciones de pastos naturales o pajonales altoandinos; la profundidad de los suelos es muy variable, encontrándose superficiales y profundos, con textura moderadamente gruesa y fina y provistos de materia orgánica en el horizonte superficial que es de color pardo grisáceo muy oscuro a negro, con un pH entre fuerte a estrechamente ácido (*Bazán et al. 1995*).

De acuerdo a la clasificación de Engler, modificado por Mattick (1964), el área de estudio está incluida dentro de la Región Neotropical, que abarca los trópicos americanos desde el sur de los Estados Unidos de N. A. hasta el Estrecho de Magallanes, excepto los bosques patagónicos. Al interior de esta, el área de estudio se ubica en el Dominio andino-Patagónico, Provincia alto andina. Aunque aún es discutible si la posición biogeográfica de los andes del norte del Perú corresponde a Jalca o Puna (*Monasterio 1980*). *Bazán y col. (1995)*, consideran que estos espacios biogeográficos son una transición entre los páramos del norte y de la puna del sur.

De acuerdo a la clasificación del Sistema Thorntwaite, la *ONERN (1977)*, establece (para las partes altas del área de estudio), un clima de tipo BrC'a', húmedo y frío con promedios de 1 400 mm de precipitación anual, y 10° C de temperatura; donde no están claramente definidos una estación seca y el cambio térmico invernal.

Según el informe de *INGETEC (2003)*, reportes de Minera Yanacocha SRL del año 2003, y principalmente los registros de monitoreo de DIGESA/DEMA-DESA Cajamarca del año 2003, se han obtenido los

promedios de oxígeno disuelto, temperatura de agua, pH y conductividad eléctrica, como se indica a continuación:

Tabla 2
Algunos parámetros de los ríos Grande y Porcón, 2003

Parámetros	Río Grande	Río Porcón
Oxígeno disuelto (ppm)	7,25	6,11
pH	6,93	7,4
Temperatura (°C)	12,87	16,3
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	151,73	120,87

Fuente: Stratus Consulting Co. Minera Yanacocha.

ZONA DE TRABAJO

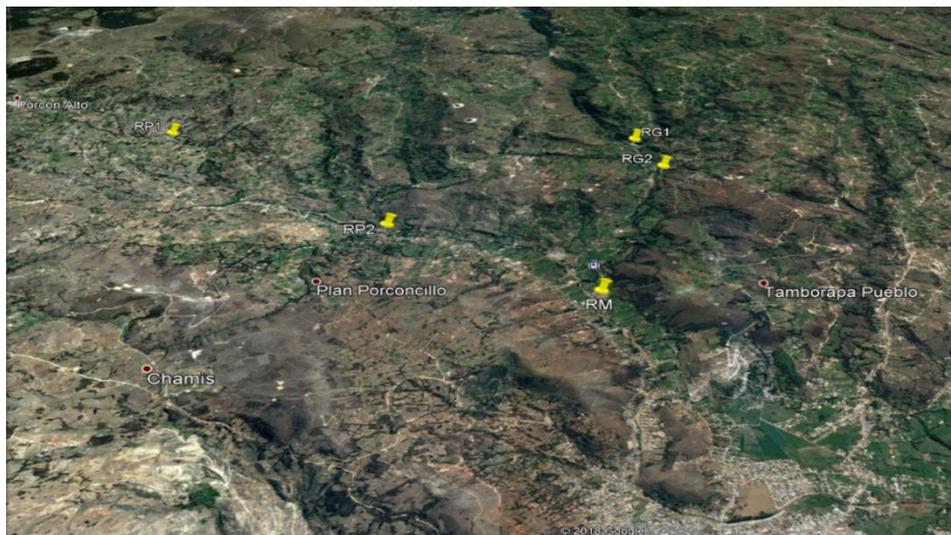


Figura 1. Estaciones de Muestreo en los ríos Grande (RG1, RG2) y río Porcón (RP1 y RP2) y río Mashcón, en la confluencia de los ríos Grande y Porcón (RM)
Fuente: Google earth, 2017

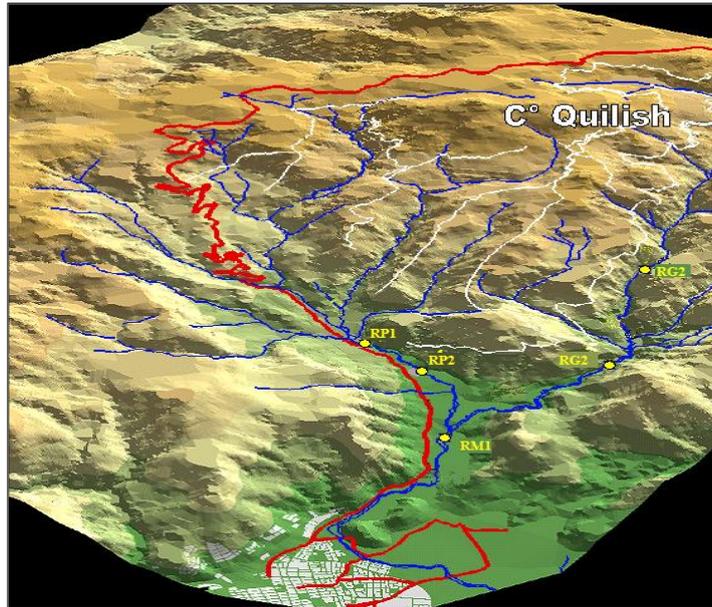


Figura 2. Cuenca del Río Mashcón, con detalles de las sub cuencas de los Ríos Porcón y Grande y ubicación de las estaciones de muestreo.
Fuente: Google earth, 2017

3.2.3. POBLACIÓN Y MUESTRA:

La población está determinada por los organismos capturados en cada estación de muestreo. Las muestras, 02 en cada estación de muestreo, se tomaron mediante un muestreo aleatorio simple, cada 03 meses durante los años 2008 y 2009.

3.2.4. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO

Metodología de campo

Se tomaron muestras cada 03 meses del Perifiton (epilíticas) durante el octubre-2008 a octubre-2009; de 05 estaciones determinadas en los ríos Grande y Porcón, 02 en cada río y 01 en la zona de confluencia de ambos ríos (formación del río Mashcón). De cada estación se seleccionó dos piedras al azar. En cada piedra se colocó un aro de PVC de 2 cm de diámetro y se raspó

el área externa delimitada por el mismo con un cepillo de dientes; esto permitió retirar el sedimento y las algas. Luego, la piedra se enjuagó y el aro fue retirado, para proceder a tomar la muestra del área previamente delineada. Cada raspado se enjuagó con agua de la quebrada hasta obtener una muestra compuesta de 100 ml, que fue depositada en una botella ámbar, y se preservó en formolina al 4 %.

Los materiales empleados para el raspado fueron enjuagados con una solución de hipoclorito de sodio al 10%, para evitar la contaminación en los muestreos posteriores.

El área total de muestreo se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Área total de muestreo (cm}^2\text{)} = (n)(\pi) (d/2)^2$$

Donde:

n = número de raspados realizados

$\pi = 3,1416$

d = diámetro del aro de PVC, en centímetros

Análisis de laboratorio

En el laboratorio cada muestra fue homogenizadas y se obtuvo una alícuota de 1 mL, las que se colocaron en la cámara de conteo Sedgwick-Rafter y con la ayuda de un microscopio de fluorescencia invertido se hizo la identificación hasta género y especie en los organismos de importancia ecológica, se utilizó el Stream Periphyton Monitoring Manual, *Barry y Biggs (2000)* y la Guía para el estudio de los seres vivos de las aguas dulces de *Needham (1978)* para la identificación.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:

La toma de muestras destinadas al estudio del Perifiton o fitobentos se realiza con la colecta de los primeros 5 -10 mm de la capa superficial de los sedimentos del fondo, considerada la porción fotosintéticamente activa, (*Gómez y Licursi, 2001*). El recuento de fitoplancton y fitobentos se lleva a cabo en cubetas de sedimentación mediante el uso de microscopio invertido. Los resultados de abundancia son expresados en organismos por centímetro cuadrado (org/cm^2) para el fitobentos. La identificación taxonómica se realiza a nivel específico, y/o subespecífico si es necesario para la identificación de **Bioindicadores**.

Para determinar los parámetros físico químicos, se utilizó los métodos de análisis de la APHA (American Public Health Association) – AWWA (American Water Works Association) – WEF y las muestras de agua se recolectaron cada tres meses, midiendo in situ la temperatura, pH y caudal, en cada uno de los puntos de muestreo, previamente determinados.

3.4. ANÁLISIS DE DATOS

Análisis ecológico

De todos los grupos analizados se elaboraron matrices con las abundancias absolutas en org/cm^2 y matrices cualitativas de presencia - ausencia. Con el objetivo de determinar características estructurales de las comunidades se calcularon los índices de diversidad específica de Shannon - Weaver (H') y de dominancia de Simpson (λ).

Para la interpretación de estado trófico y nivel de degradación de materia orgánica se calcularon diversos índices, con la correlación con los parámetros químicos.

Los parámetros poblacionales, se calcularon mediante las respectivas fórmulas:

- Densidad = $\frac{\text{Número de organismos}}{\text{Unidad de volumen}}$

Unidad de volumen

- Frecuencia = $\frac{\text{Número de estaciones en las que aparece una especie}}{\text{Total de estaciones de muestreo}}$

Total de estaciones de muestreo

- Dominancia = Densidad de la especie x $\frac{\text{Nº estac. en que la espec. dominó}}{\text{Nº total de estaciones de muestreo}}$

Nº total de estaciones de muestreo

- Valor de importancia ecológica (VIE) o Índice de Valor de Importancia (IVI)

$IVI = \text{Dens. relativa} + \text{Dom. relat.} + \text{F. relativa}$

- Índice de diversidad específica (d) = $-\sum (n_i/n) \frac{(\log n_i/n)}{\log 2}$

La identificación taxonómica se realizó, con claves taxonómicas de **Needham (1978); Bicudo (1990)**

Para determinar los parámetros físico químicos, se utilizaron los métodos de análisis de **la APHA - AWWA – WEF (2003)**

Para el análisis microbiológico de coliformes se utilizó la técnica del número más probable.

Análisis estadístico

Los datos procesados y tabulados fueron analizados por procedimientos estadísticos inferenciales (correlación) a través del programa estadístico SPSS v.21.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS:

Teniendo en cuenta los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación, se presentan los resultados obtenidos mediante tablas y figuras, asimismo se interpreta la información resultante.

4.1.1. DATOS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 1: Identificar los componentes de la población del Perifiton de los ríos Grande y Porcón.

De acuerdo a los análisis realizados de las muestras del área de estudio se identificaron las siguientes especies de Perifiton cuya ubicación taxonómica y sistemática es la siguiente:

I. DIVISIÓN : CYANOPHYTA

I.1. CLASE : MIXOPHYCEA

A) ORDEN : CHLOROCOCCALES

A1) FAMILIA : CHLOROCOCCACEAE

1. GÉNERO : MICROCYSTIS, Kützing 1833

Especie : *Microcystis aeruginosa* Kütz

2. GÉNERO : ANABAENA

Especie : *Anabaena* sp.

B) ORDEN : HORMOGONALES

B1) FAMILIA : OSCILLATORIACEAE

1. GÉNERO : OSCILLATORIA Vaucher 1803

Especie : *Oscillatoria sp.*

2. GÉNERO : LYNGBYA, C.A. Agardh 1824

Especie : *Lyngbya sp.*

II. DIVISIÓN : EUGLENOPHYTA

II.1. CLASE : EUGLENOPHYCEAE

A) ORDEN : EUGLENALES

A1) FAMILIA : EUGLENACEAE

1. GÉNERO : TRACHELOMONAS Ehrenberg 1833

Especie : *Trachelomonas sp.*

III. DIVISIÓN : CHLOROPHYTA

III.1. CLASE : CHLOROPHYCEA

A) ORDEN : ZYGONEMATALES

A1) FAMILIA : DESMIDIACEAE

1. GÉNERO : COSMARIUM Corda 1834

Especie : *Cosmarium granatum* Bréb.

2. GÉNERO : CLOSTERIUM Nitzsch 1817

Especie : *Closterium leibleinii* Kütz.

A2) FAMILIA : ZYGNEMATACEAE

1. GÉNERO : MOUGEOTIA Agardh 1824

Especie : *Mougeotia sp.*

2. GÉNERO : SPIROGYRA Link 1820

Especie : *Spirogyra sp.*

B) ORDEN : OEDOGONIALES

B1) FAMILIA : OEDOGONIACEAE

1. GÉNERO : OEDOGONIUM Link 1820

Especie : *Oedogonium sp.*

C) ORDEN : CHLOROPHYCEALES

C1) FAMILIA : BOTRYOCOCCACEAE

1. GÉNERO : BOTRYOCOCCUS Küntzing 1849

Especie : *Botryococcus braunii* Küntzing

D) ORDEN : CHLOROCOCCALES

D1) FAMILIA : OOCYSTACEAE

1. GÉNERO : ANKISTRODESMUS Corda 1838

Especie : *Ankistrodesmus sp.*

E) ORDEN : VOLVOCALES

E1) FAMILIA : CHLAMYDOMONADACEAE

1. GÉNERO : CHLAMYDOMONAS Ehrenberg1833

Especie : *Chlamidomonas sp.*

IV. DIVISIÓN : CHRYSOPHYTA

IV.1. CLASE : BACILLARIOPHYTA

A) ORDEN : BACILLARIALES

A1) FAMILIA : NITZSCHIACEAE

1. GÉNERO : NITZSCHIA hASS 1845

Especie : *Nitzschia sp.*

B) ORDEN : PENNALES

B1) FAMILIA : FRAGILARIACEAE

1. GÉNERO : SYNEDRA Ehrenberg 1830

Especie : *Synedra ulna*

2. GÉNERO : DIATOMA Bory de St. Vincent1824

Especie : *Diatoma sp.*

3. GÉNERO : CERATONEIS Kütz

Especie : *Ceratoneis arcus* (Ehr.) Kütz.

4. GÉNERO : FRAGILARIA Lyngb 1819

Especie : *Fragilaria crotonensis* Kitton.

5. GÉNERO : TABELLARIA Ehrenberg 1848
Especie : *Tabellaria fenestrata* (Lyngb) Kütz.
6. GÉNERO : ASTERIONELLA Hass 1855
Especie : *Asterionella formosa* Hass
- B2) FAMILIA : NAVICULACEAE
1. GENERO : NAVICULA Bory St. Vincent 1822
Especie : *Navicula spp.*
2. GÉNERO : CALONEIS Cleve 1891
Especie : *Caloneis obtusa*
3. GÉNERO : DIPLONEIS Ehrenberg 1844
Especie : *Diploneis spp.*
4. GÉNERO : GYROSIGMA Hass.
Especie : *Gyrosigma sp.*
5. GÉNERO : PINNULARIA Ehrenberg 1843
Especie : *Pinnularia spp.*
- B3) FAMILIA : GOMPHONEMATACEAE
1. GÉNERO : AMPHORA Ehrenberg 1840
Especie : *Amphora sp.*
2. GÉNERO : GOMPHONEMA Huso 1831
Especie : *Gomphonema sp.*

3. GÉNERO : GOMPHONEIS Cl. 1894
- Especie : *Gomphoneis sp.*
- B4) FAMILIA : COSCINODISCACEAE
1. GÉNERO : MELOSIRA Kütz. 1824
- Especie : *Melosira itálica* (Ehr.) Kütz.
- B5) FAMILIA : SURIRELLACEAE
1. GÉNERO : FRUSTULIA Rabenh 1853
- Especie : *Frustulia sp.*
2. GÉNERO : SURIRELLA Turp.
- Especie : *surirella sp.*
- B6) FAMILIA : ACHNANTHACEAE
1. GÉNERO : COCCONEIS Ehrenberg 1838
- Especie : *Cocconeis sp.*
- B7) FAMILIA : CYMBELLACEAE
1. GÉNERO : CYMBELLA C.A. Agardh 1830
- Especie : *Cymbella ventricosa*

Se determinaron 33 morfoespecies de algas perifíticas en la zona de estudio, **Tabla 3**, al calcular el porcentaje de riqueza, Chrysophyta fue la división que presentó el 60,61% (20 especies) del total de las especies identificadas, seguido por Chlorophytas con el 24,24% (08 especies), Cyanophyta con el 12,12% (04

especies) y Euglenophyta (01 especie)(**Figura 3a**). En cuanto al porcentaje de abundancia, la División Chrysophyta obtuvo el mayor porcentaje de células en el estudio con un valor del 47,51 %, mientras que la Euglenophyta obtuvo el porcentaje más bajo, (**Figura 3b**).

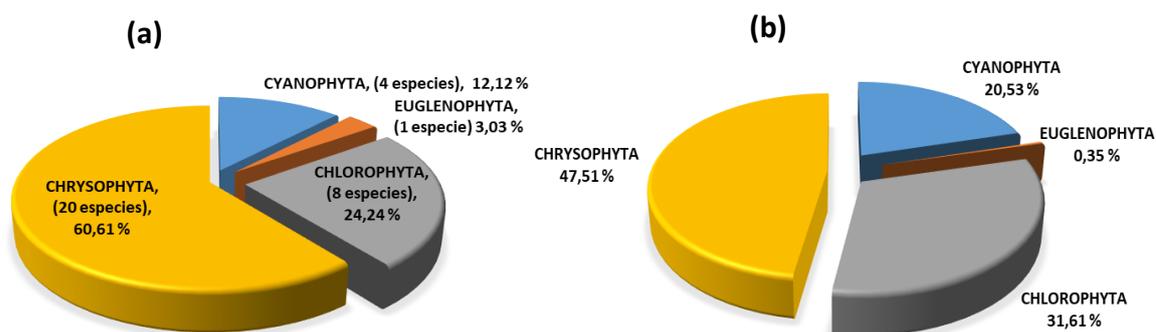


Figura 3. Representación de los grupos taxonómicos. **a:** Porcentaje de Riqueza;
b: Porcentaje de Abundancia

En toda el área de trabajo los Órdenes que presentaron mayor diversidad fueron Pennales, con 19 géneros, el Orden Zygonematales con 4 géneros, que en conjunto alcanzan una buena representatividad del total de las taxas

Tabla 3

Número de especies identificadas por grupo taxonómico en las estaciones de muestreo RG1 y RG2 del Río Grande, RP1 y RP2 del río Porcón y RM (río Mashcón) durante los meses de octubre-98, marzo-99, junio-99 y octubre-99.

DIVISIÓN / ESPECIE	OCTUBRE-2008.					MARZO-2009.					JUNIO-2009.					OCTUBRE-2009.					
	RG1	RG2	RP1	RP2	RM	RG1	RG2	RP1	RP2	RM	RG1	RG2	RP1	RP2	RM	RG1	RG2	RP1	RP2	RM	
CYANOPHYTA	2	3	4	2	1	3	3	4	3	1	2	3	2	2	1	2	2	2	2	2	1
<i>Anabaena sp.</i>	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		
<i>Lyngbya sp.</i>			X					X													
<i>Microcystis aeruginosa</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X				X	X	X
<i>Oscillatoria sp.</i>		X	X			X	X	X	X		X	X				X	X				
EUGLENOPHYTA	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Trachelomonas sp.</i>				X				X	X	X											X
CHLOROPHYTA	6	6	3	3	1	5	5	5	5	0	6	5	4	5	1	5	4	6	6	2	
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	X	X				X			X		X	X		X		X	X	X	X	X	X
<i>Botryococcus braunii</i>	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X				X	X	X
<i>Cosmarium granatum</i>	X	X					X				X	X				X	X	X	X		
<i>Chlamydomonas sp.</i>				X				X	X				X	X					X	X	
<i>Closterium leibleinii</i>	X	X				X	X				X	X				X	X				
<i>Mougeotia sp.</i>			X	X		X		X	X		X		X	X					X	X	
<i>Oedogonium sp.</i>	X	X				X	X	X			X	X				X	X				
<i>Protococcus sp.</i>	X	X	X			X	X	X	X				X	X		X		X	X		
CHRYSTOPHYTA	16	12	7	9	3	19	15	15	8	2	13	15	6	3	3	18	16	6	3	1	
<i>Amphora sp.</i>	X	X	X			X		X				X				X	X				
<i>Asterionella</i>	X		X			X	X	X													
<i>Caloneis obtusa</i>	X			X		X	X	X	X	X	X	X		X		X	X			X	
<i>Ceratoneis arcus</i>		X		X		X	X	X	X		X	X				X		X			
<i>Cocconeis sp.</i>	X	X	X			X	X	X			X	X	X			X	X	X			
<i>Cymbella ventricosa</i>	X	X	X			X	X		X							X					
<i>Diatoma sp.</i>				X		X	X	X							X	X	X				X
<i>Diploneis sp.</i>	X	X				X	X	X			X	X				X					
<i>Fragilaria crotonensis</i>	X	X				X	X	X	X		X	X			X	X	X				
<i>Frustulia sp.</i>	X	X	X	X	X	X	X	X			X		X			X	X			X	
<i>Gomphonema sp.</i>			X	X		X		X	X			X				X	X				
<i>Gomphoneis sp.</i>				X		X		X			X	X	X			X	X	X			
<i>Gyrosigma sp.</i>	X					X	X	X	X		X	X				X	X				
<i>Melosira itálica</i>	X					X					X	X				X	X				
<i>Navicula sp.</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Nitzschia sp.</i>	X	X				X	X	X			X	X	X	X		X	X	X			
<i>Surirella sp.</i>	X	X				X	X	X				X				X	X				
<i>Synedra sp.</i>	X	X		X		X	X		X		X	X				X	X				
<i>Tabellaria fenestrata</i>	X	X			X		X					X					X				
<i>Pinnularia sp.</i>	X			X		X					X		X			X	X	X			
Riqueza	24	21	14	15	5	27	23	25	17	4	21	23	12	10	5	25	22	14	12	4	

De los grupos mayores las Chrysophytas presentan el mayor número de familias (8) y géneros (20) mientras que las Euglenophytas solamente se identificaron 01 familia y 01 género, (*Tabla 4*).

Tabla 4

Sistematización de los grupos taxonómicos del perifiton de la zona de estudios.

	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO/ESPECIE
CYANOPHYTA	1	2	2	4
EUGLENOPHYTA	1	1	1	1
CHLOROPHYTA	1	5	6	8
CHRYSOPHYTA	1	2	8	20

4.1.2. DATOS PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO 2 y 3: Identificar y caracterizar los factores e indicadores de la dinámica poblacional y de la calidad del agua.

4.1.2.1. Dinámica Poblacional:

A) Río Grande

A1) Estación de Muestreo RG1

Con relación a la distribución espacial y la variación temporal de la riqueza de algas perifíticas en la Estación RG1 muestra que en el mes de marzo - 2009, registró un mayor número de especie con un total de 27 especies (27,84 %): 19 Chrysophytas, 05 Chlorophytas y 03 Cyanophytas; seguido con 25 especies (25,77 %) en el mes de octubre-2009: 18 Chrysophytas, 05 Chlorophytas y 02 Cyanophytas, (**Figura 4 y Tabla 5**).

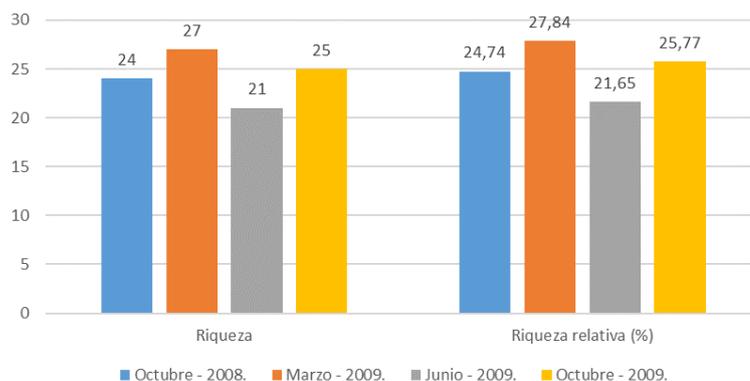


Figura 4. Número de especies identificadas (Riqueza) en la estación RG1 en cada fecha de muestreo

En la **Figura 5**, Se reporta la densidad de especies por grupos taxonómicos en los diferentes periodos de muestreo de la estación RG1. Donde se observa que los picos de densidad se registraron en los meses de octubre-2008 y marzo-2009, siendo las más abundantes las Crisofitas y las Clorofitas. En relación a la abundancia promedio por especie en las diferentes fechas de muestreo, (**Figura 6**), se determina entre las diatomeas más abundantes a *Navicula sp.*, *Synedra sp.* y *Frustulia sp.*; las Clorofitas que más contribuyeron a la densidad total de algas perifíticas fueron *Closterium leibleinii*, *Spirogyra sp.* y *Cosmarium granulatum*; las Cianofitas o Cianobacterias, aunque no presentaron picos elevados de densidad, contribuyeron en gran parte a la composición de la comunidad de algas perifíticas, donde las especies más representativas fueron *Microcystis aeruginosa* y *Anabaena sp.* De acuerdo a la **Figura 7**, podemos determinar que las especies de mayor densidad, en todo el periodo de muestreo, se encuentran *Navicula sp.* (187 org/cm²), *Synedra sp.* (33 Org/cm²) y *Frustulia sp.* (27,75 org/cm²).

En el mes de junio - 2009 se presentaron las más bajas densidades en comparación con los demás meses de muestreo.

Tabla 5

Determinación cualitativa del Perifiton (epilíticas) en la Estación RG1 en cada fecha de muestreo

ESPECIE	FECHAS DE MUESTREO			
	Octubre - 2008.	Marzo - 2009.	Junio - 2009.	Octubre - 2009.
CYANOPHYTA	2	3	2	2
<i>Anabaena sp.</i>	X	X	X	X
<i>Microcystis aeruginosa</i>	X	X		
<i>Oscillatoria sp.</i>		X	X	X
CHLOROPHYTA	6	5	6	5
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	X	X	X	X
<i>Botryococcus braunii</i>	X		X	
<i>Cosmarium granulatum</i>	X		X	X
<i>Closterium leibleinii</i>	X	X	X	X
<i>Mougeotia sp.</i>		X	X	
<i>Oedogonium sp.</i>	X	X	X	X
<i>Spirogyra sp.</i>	X	X		X
CHRYSOPHYTA	16	19	13	18
<i>Amphora sp.</i>	X	X		X
<i>Asterionella</i>	X	X		
<i>Caloneis obtusa</i>	X	X	X	X
<i>Ceratoneis arcus</i>		X	X	X
<i>Cocconeis sp.</i>	X	X	X	X
<i>Cymbella ventricosa</i>	X	X		X
<i>Diatoma sp.</i>		X		X
<i>Diploneis sp.</i>	X	X	X	X
<i>Fragilaria crotonensis</i>	X	X	X	X
<i>Frustulia sp.</i>	X	X	X	X
<i>Gomphonema sp.</i>		X		X
<i>Gomphoneis sp.</i>		X	X	X
<i>Gyrosigma sp.</i>	X	X	X	X
<i>Melosira itálica</i>	X	X	X	X
<i>Navicula sp.</i>	X	X	X	X
<i>Nitzschia sp.</i>	X	X	X	X
<i>Surirella sp.</i>	X	X		X
<i>Synedra sp.</i>	X	X	X	X
<i>Tabellaria fenestrata</i>	X			
<i>Pinnularia sp.</i>	X	X	X	X
Riqueza	24	27	21	25
Riqueza relativa (%)	24,74	27,84	21,65	25,77

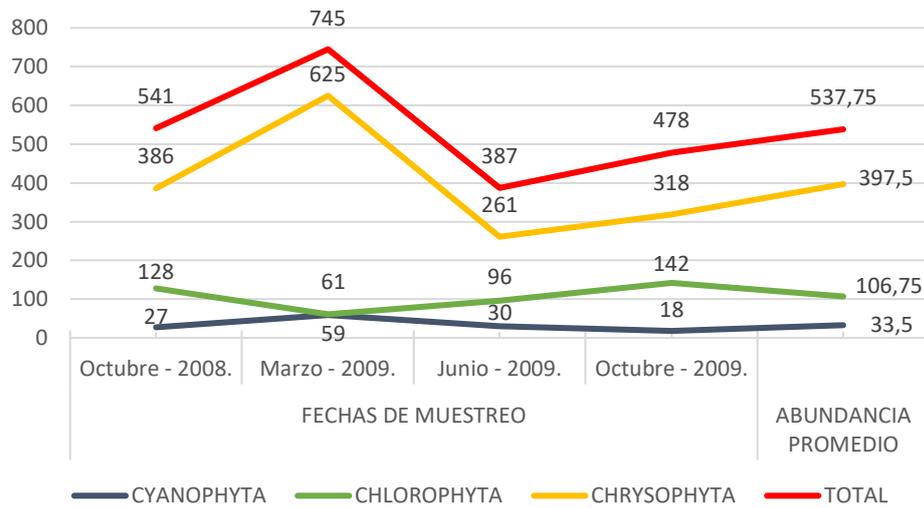


Figura 5. Densidad total por grupo mayor en las diferentes fechas de muestreo en la estación RG1

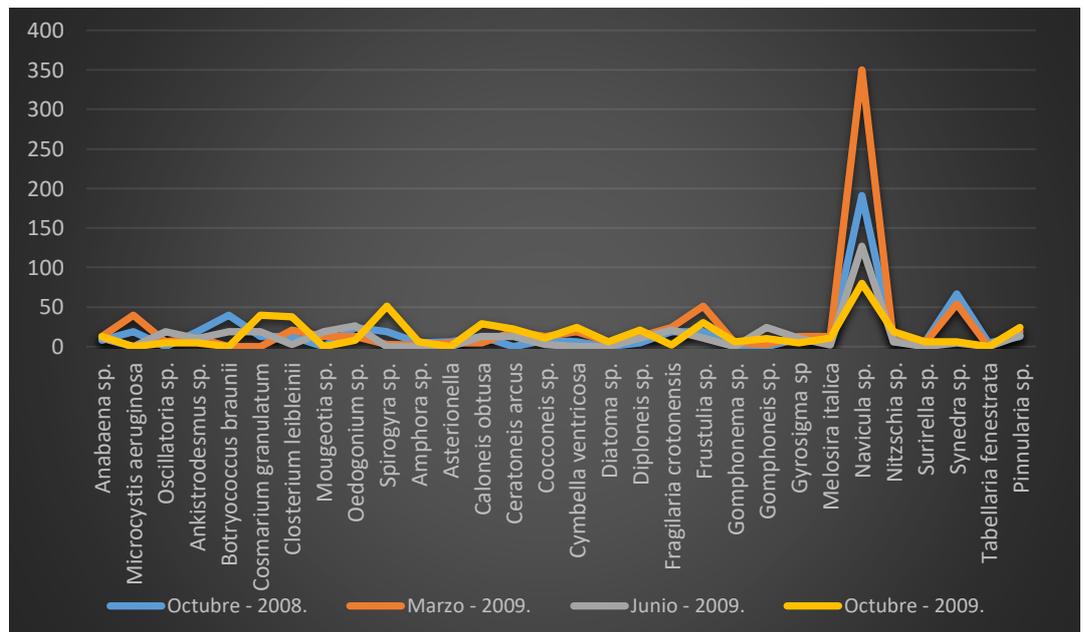


Figura 6. Abundancia promedio por especies y por fechas de muestreo en la estación RG1

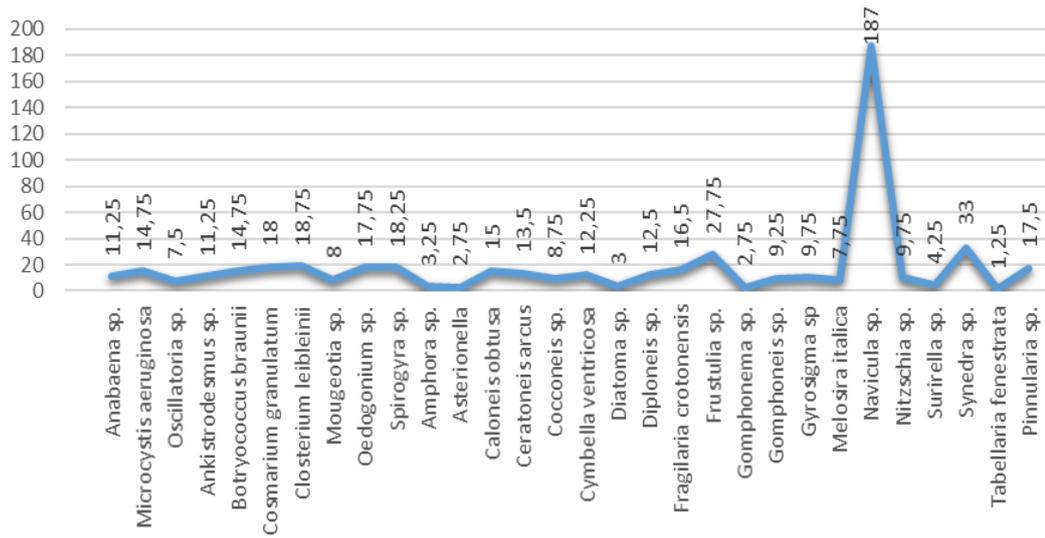


Figura 7. Densidad promedio por especie en la estación RG1

Con respecto a la densidad promedio por grupo mayor en la estación RG1, según la **Figura 8**, las Crisofitas presentan la mayor densidad (397,5 org/cm²) seguido de las clorofitas (106,75 org/cm²). Apéndice A.

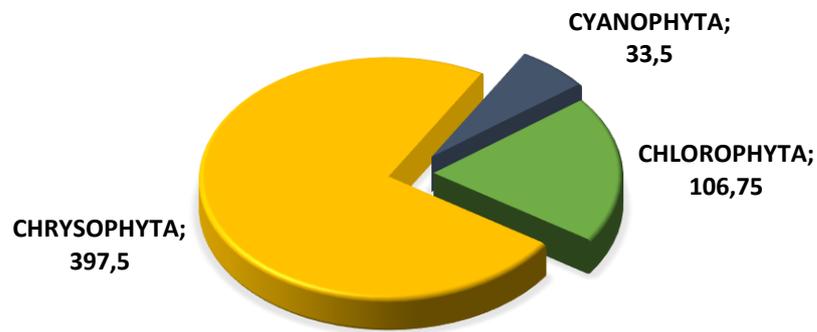


Figura 8. Densidad promedio por grupo mayor en la estación RG1

A2) Estación de Muestreo RG2

Con relación a la distribución espacial y la variación temporal de la riqueza de algas perifíticas en la Estación RG2 muestra que en los meses de marzo y junio-2009, registró un mayor número de especie con un total de 23 especies (25,84 %) en cada una de las fechas indicadas: 15 Chrysophytas, 05 Chlorophytas y 03 Cyanophytas; seguido con 22 especies (24,72 %) en el mes de octubre-2009: 16 Chrysophytas, 04 Chlorophytas y 02 Cyanophytas, (Figura 9 y Tabla 6).

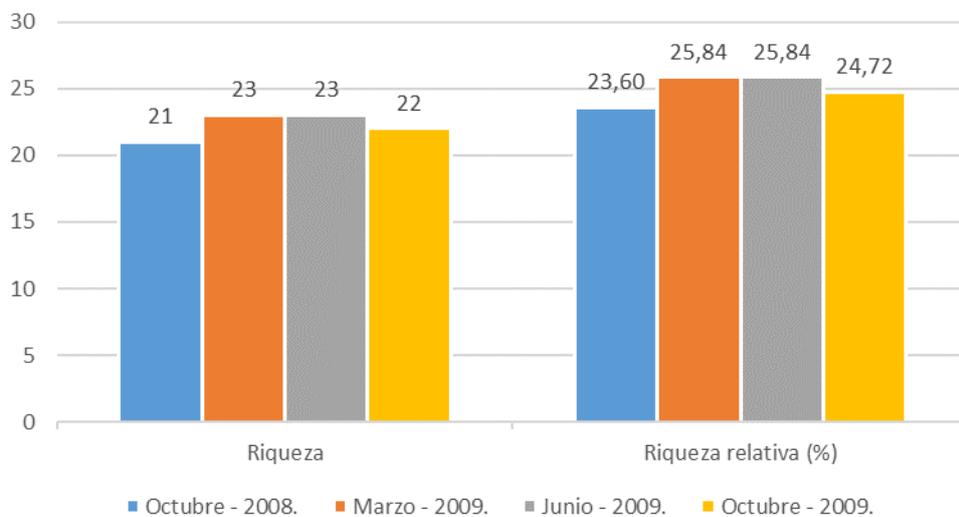


Figura 9. Número de especies identificadas (Riqueza) en la estación RG2 en cada fecha de muestreo

Tabla 6

Determinación cualitativa del Perifiton (epilíticas) en la Estación RG2 en cada fecha de muestreo

ESPECIE	FECHAS DE MUESTREO			
	Octubre - 2008.	Marzo - 2009.	Junio - 2009.	Octubre - 2009.
CYANOPHYTA	3	3	3	2
<i>Anabaena sp.</i>	X	X	X	X
<i>Microcystis aeruginosa</i>	X	X	X	
<i>Oscillatoria sp.</i>	X	X	X	X
CHLOROPHYTA	6	5	5	4
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	X		X	X
<i>Botryococcus braunii</i>	X	X	X	
<i>Cosmarium granulatum</i>	X	X	X	X
<i>Closterium leibleinii</i>	X	X	X	X
<i>Oedogonium sp.</i>	X	X	X	X
<i>Spirogyra sp.</i>	X	X		
CHRYSOPHYTA	12	15	15	16
<i>Amphora sp.</i>	X		X	X
<i>Asterionella</i>		X		
<i>Caloneis obtusa</i>		X	X	X
<i>Ceratoneis arcus</i>	X	X	X	
<i>Cocconeis sp.</i>	X	X	X	X
<i>Cymbella ventricosa</i>	X	X		
<i>Diatoma sp.</i>		X		X
<i>Diploneis sp.</i>	X	X	X	
<i>Fragilaria crotonensis</i>	X	X	X	X
<i>Frustulia sp.</i>	X	X		X
<i>Gomphonema sp.</i>			X	X
<i>Gomphoneis sp.</i>			X	X
<i>Gyrosigma sp.</i>		X	X	X
<i>Melosira itálica</i>			X	X
<i>Navicula sp.</i>	X	X	X	X
<i>Nitzschia sp.</i>	X	X	X	X
<i>Surirella sp.</i>	X	X	X	X
<i>Synedra sp.</i>	X	X	X	X
<i>Tabellaria fenestrata</i>	X	X	X	X
<i>Pinnularia sp.</i>				X
Riqueza	21	23	23	22
Riqueza relativa (%)	23,60	25,84	25,84	24,72

En la **Figura 10**, Se reporta la densidad de especies por grupos taxonómicos en los diferentes periodos de muestreo de la estación RG2. Observándose, que los picos de densidad se registraron en los meses de octubre-2008 y marzo-2009, siendo las más abundantes las Crisofitas y las Clorofitas. En relación a la abundancia promedio por especie en las diferentes fechas de muestreo, (**Figura 11**), se determina entre las diatomeas más abundantes a *Navicula sp.*, *Frustulia sp.* y *Synedra sp.*; entre las Clorofitas los que más contribuyeron a la densidad total de algas perifíticas fueron *Botryococcus braunii*, *Cosmarium granulatum* y *Closterium leibleinii* y entre las Cianofitas o Cianobacterias aunque no presentaron picos elevados de densidad, contribuyeron en gran parte a la composición de la comunidad de algas perifíticas, donde las especies más representativas fueron *Microcystis aeruginosa* y *Oscillatoria sp.* De acuerdo a la **Figura 12**, podemos determinar que las especies de mayor densidad se encuentran *Navicula sp.* (129,25 org/cm²), *Botryococcus braunii* (29,5 org/cm²) y *Frustulia sp.* (24,25 org/cm²).

En el mes de junio - 2009 se presentaron las más bajas densidades en comparación con los demás meses de muestreo.

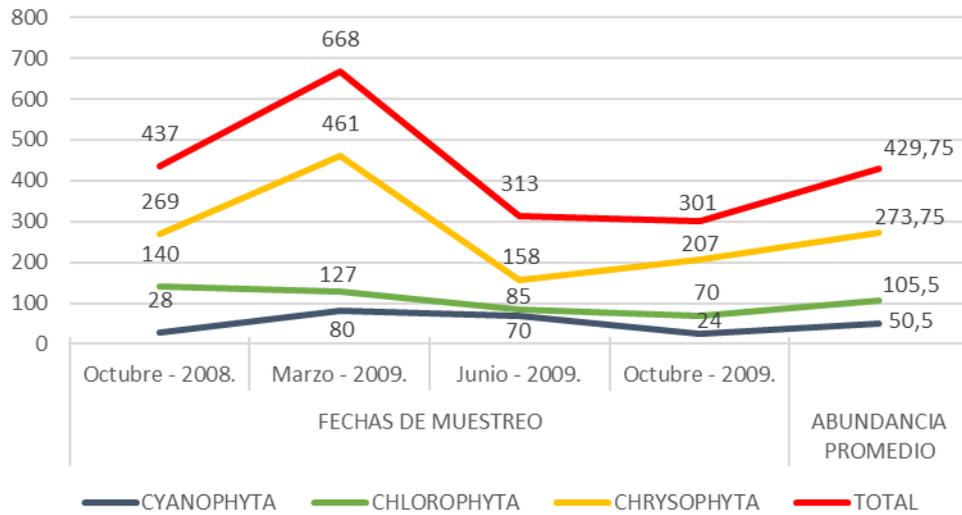


Figura 10. Densidad total por grupo mayor en las diferentes fechas de muestreo en la estación RG2

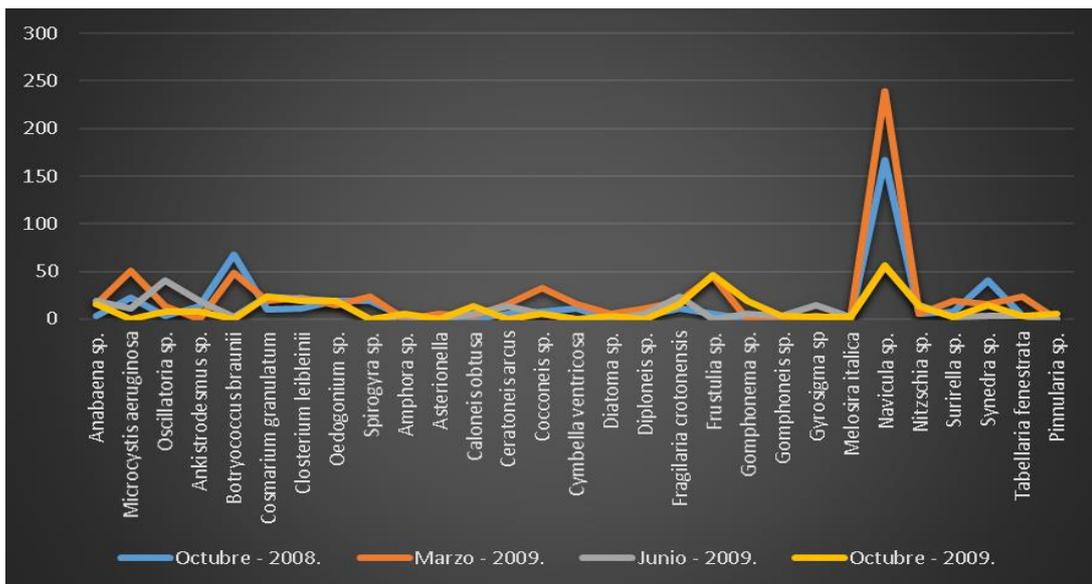


Figura 11. Abundancia promedio por especies y por fechas de muestreo en la estación RG2

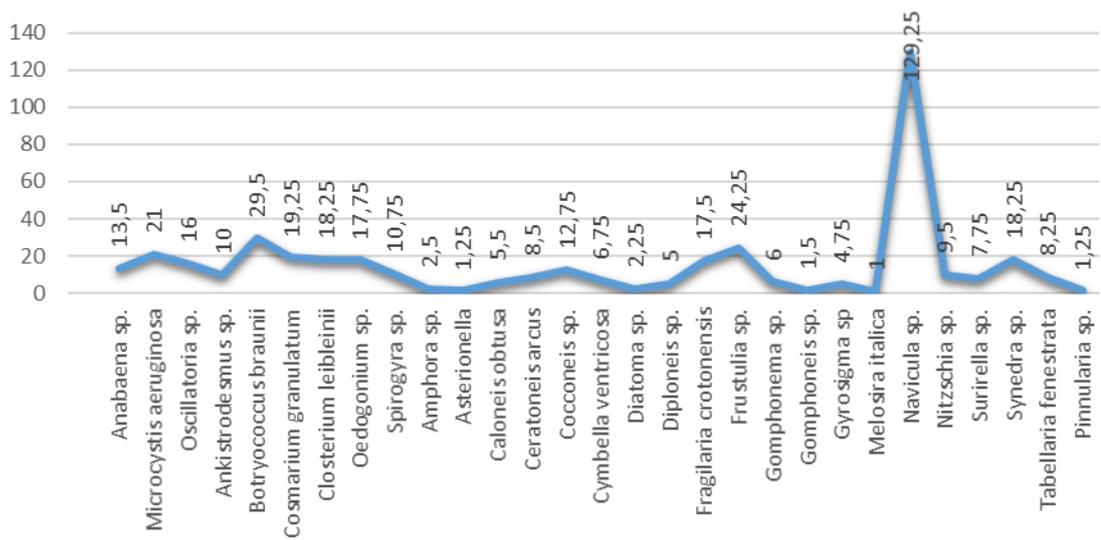


Figura 12. Densidad promedio por especie en la estación RG2

Con respecto a la densidad promedio por grupo mayor en la estación RG2, según la **Figura 13**, las Crisofitas presentan la mayor densidad poblacional ($273,75 \text{ org/cm}^2$) seguido de las Clorofitas ($105,5 \text{ org/cm}^2$). Apéndice A, Tabla 21.

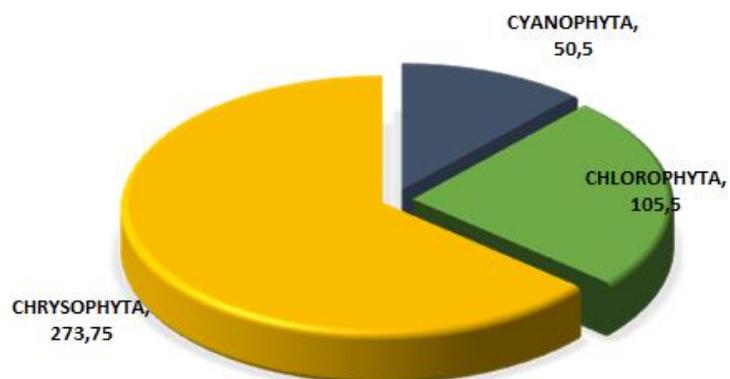


Figura 13. Densidad promedio por grupo mayor en la estación RG2

B) Río Porcón

B1) Estación de Muestreo RP1

Con relación a la distribución espacial y la variación temporal de la riqueza de algas perifíticas en la Estación RP1 muestra que en el mes de marzo - 2009, registró un mayor número de especie con un total de 16 especies (35,56 %): 09 Chrysophytas, 03 Chlorophytas, 03 Cyanophytas y 01 Euglenophyta; seguido con 11 especies (24,44 %) en el mes de octubre-2008: 06 Chrysophytas, 03 Cyanophyta y 02 Chlorophytas, (**Figura 14 y Tabla 7**)

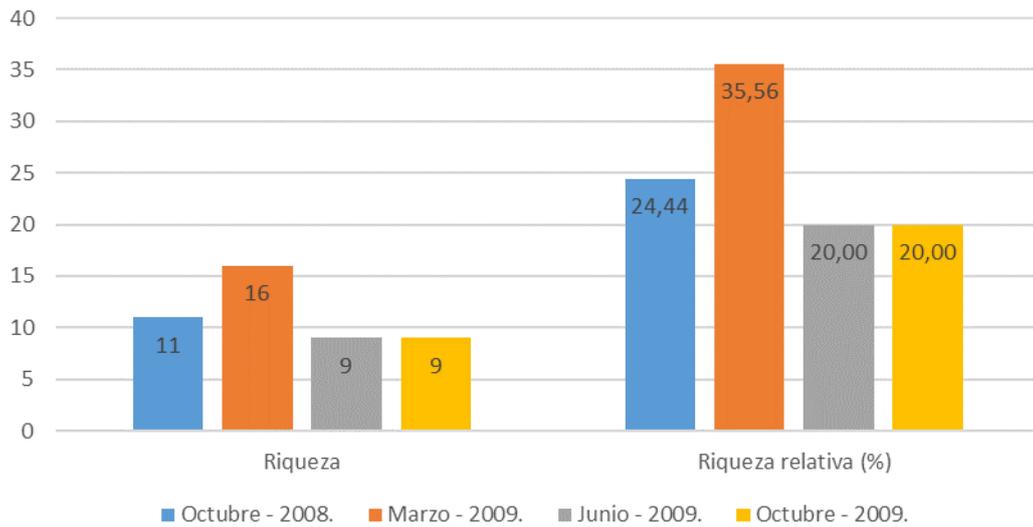


Figura 14. Número de especies identificadas (Riqueza) en la estación RP1 en cada fecha de muestreo

Tabla 7

Determinación cualitativa del Perifiton (epilíticas) en la Estación RP1 en cada fecha de muestreo

ESPECIE	FECHAS DE MUESTREO			
	Octubre - 2008.	Marzo - 2009.	Junio - 2009.	Octubre - 2009.
CYANOPHYTA	3	3	2	2
<i>Anabaena sp.</i>	X	X	X	X
<i>Microcystis aeruginosa</i>	X	X	X	X
<i>Oscillatoria sp.</i>	X	X		
EUGLENOPHYTA	0	1	0	0
<i>Trachelomonas sp.</i>		X		
CHLOROPHYTA	2	3	3	4
<i>Ankistrodesmus sp.</i>				X
<i>Botryococcus braunii</i>	X	X	X	X
<i>Chlamydomonas sp.</i>		X	X	X
<i>Spirogyra sp.</i>	X	X	X	X
CHRYSOPHYTA	6	9	4	3
<i>Amphora sp.</i>	X	X		
<i>Asterionella</i>	X	X		
<i>Cymbella ventricosa</i>	X			
<i>Diatoma sp.</i>		X		
<i>Diploneis sp.</i>		X		
<i>Frustulia sp.</i>	X	X	X	
<i>Gomphonema sp.</i>	X	X		
<i>Gomphoneis sp.</i>		X	X	X
<i>Gyrosigma sp.</i>		X		
<i>Navicula sp.</i>	X	X	X	X
<i>Pinnularia sp.</i>			X	X
Riqueza	11	16	9	9
Riqueza relativa (%)	24,44	35,56	20,00	20,00

En la **Figura 15**, Se reporta la densidad de especies por grupos taxonómicos en los diferentes periodos de muestreo de la estación RP1. Observándose, que los picos de densidad se registraron en los meses de marzo-2009, siendo las más abundantes las Crisofitas y las Clorofitas, y en el mes de octubre-2009 las clorofitas fueron las más abundantes seguido de la Cianofitas. Es necesario resaltar que las Cianofitas predominaron en los meses de octubre-2008 y junio-2009. En relación a la abundancia promedio por especie en las diferentes fechas de muestreo, (**Figura 16**), se determina entre las diatomeas más abundantes a *Navicula sp.*, *Gomphonema sp.*, *Gyrosigma sp.*; entre las clorófitas los que más contribuyeron a la densidad total de algas perifíticas fueron *Botryococcus braunii*, *Spirogyra sp.* y entre las Cianofitas o Cianobacterias aunque no presentaron picos elevados de densidad, contribuyeron en gran parte a la composición de la comunidad de algas perifíticas, donde las especies más representativas fueron *Microcystis aeruginosa* y *Anabaena sp.* De acuerdo a la **Figura 17**, podemos determinar que las especies de mayor densidad se encuentran *Navicula sp.* (88,5 org/cm²), *Botryococcus braunii* (77,75 orgl/cm²) y *Microcystis aeruginosa* (77,75 org/cm²).

En el mes de junio - 2009 se presentaron las más bajas densidades en comparación con los demás meses de muestreo.

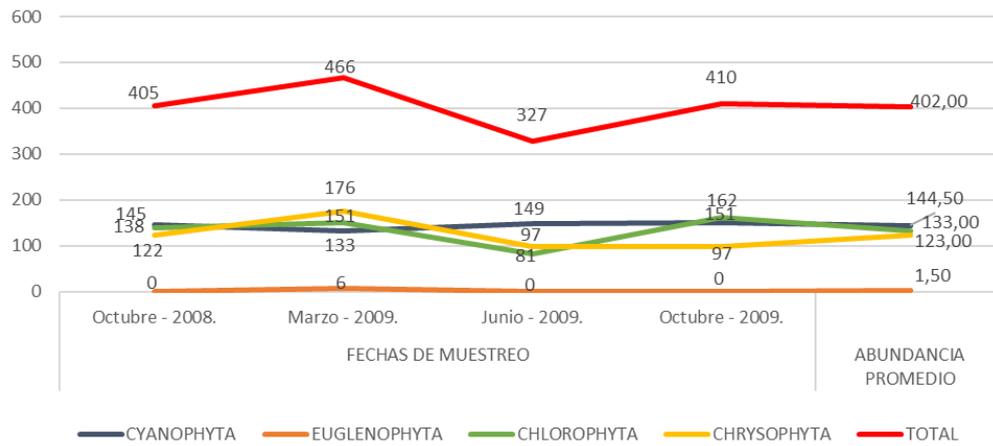


Figura 15. Densidad total por grupo mayor en las diferentes fechas de muestreo en la estación RP1

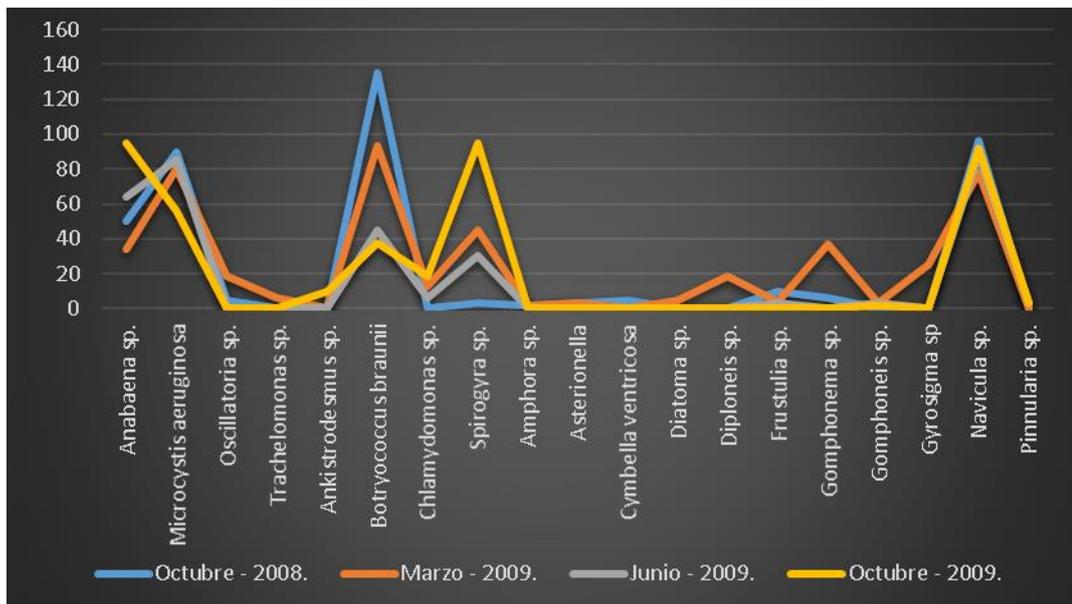


Figura 16. Abundancia promedio por especies y por fechas de muestreo en la estación RP1

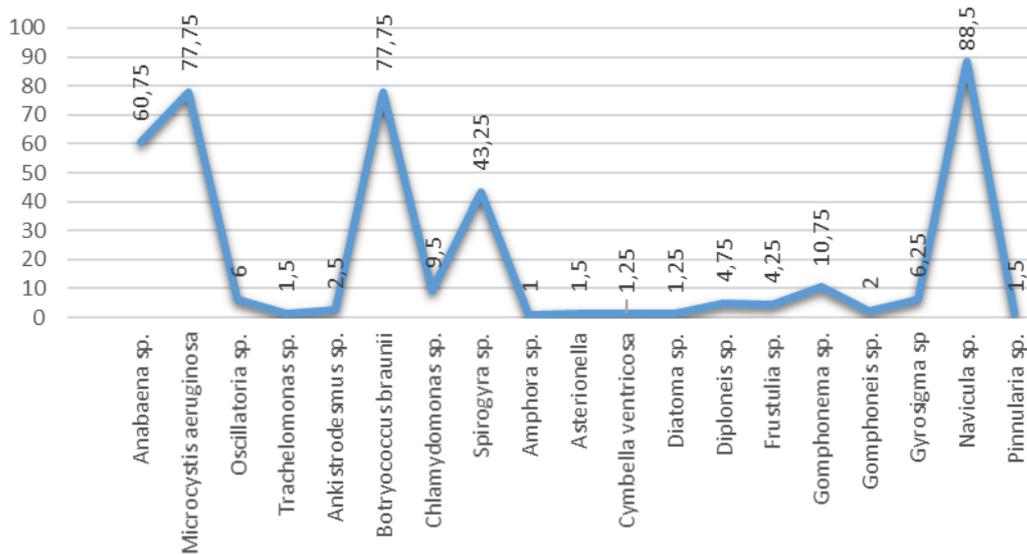


Figura 17. Densidad promedio por especie en la estación RP1

Con respecto a la densidad promedio por grupo mayor en la estación RP1, según la **Figura 18**, las Clorofitas presentan la mayor densidad (133 org/cm²) seguido de las Cianofitas (144,5 org/cm²). Apéndice A, Tabla 22.

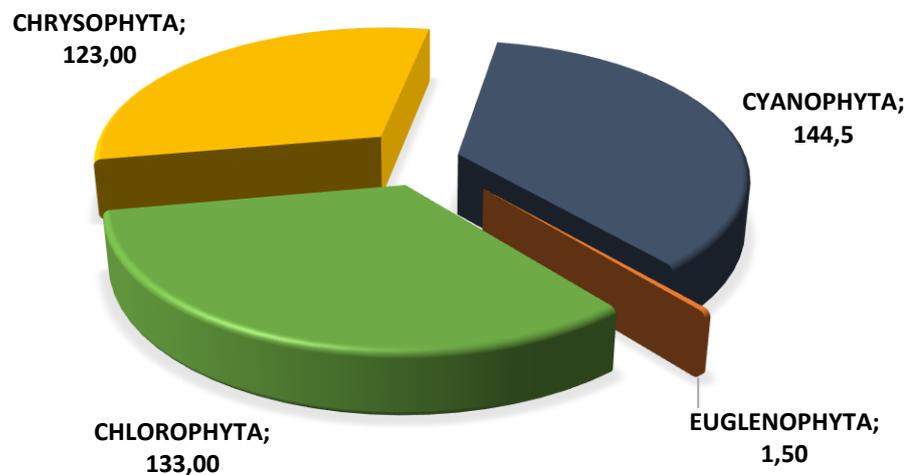


Figura 18. Densidad promedio por grupo mayor en la estación RP1

B2) Estación de Muestreo RP2

Con relación a la distribución espacial y la variación temporal de la riqueza de algas perifíticas en la Estación RP2 muestra que en marzo-2009, se registró un mayor número de especie con un total de 17 especies (31,48 %) de los cuales 08 pertenecen a Chrysophytas, 05 Chlorophytas, 03 Cyanophytas y 01 Euglenophyta; seguido con 15 especies (27,78 %) en el mes de octubre-2008: 09 Chrysophytas, 03 Chlorophytas, 02 Cyanophytas y 01 Euglenophyta, (Figura 19 y Tabla 8).

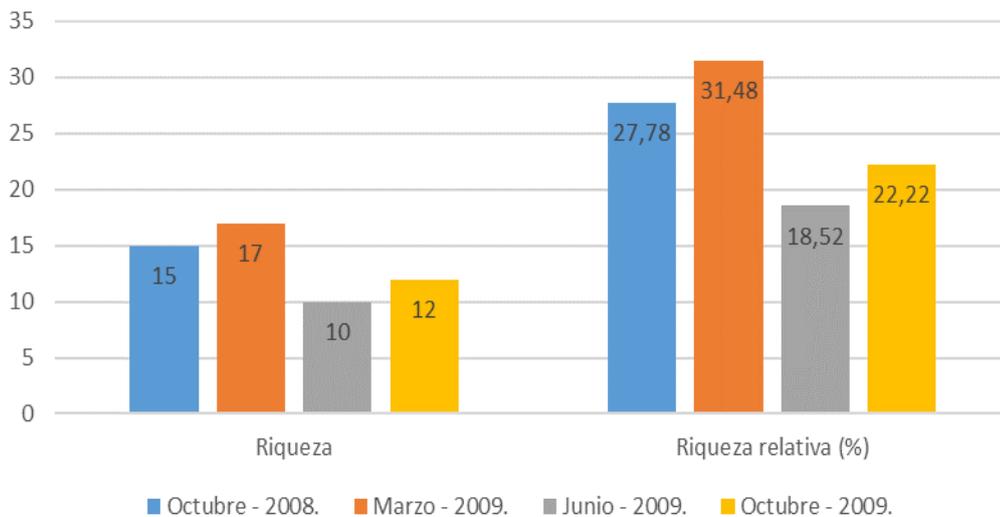


Figura 19. Número de especies identificadas (Riqueza) en la estación RP2 en cada fecha de muestreo

Tabla 8

Determinación cualitativa del Perifiton (epilíticas) en la Estación RP2 en cada fecha de muestreo

ESPECIE	FECHAS DE MUESTREO			
	Octubre - 2008.	Marzo - 2009.	Junio - 2009.	Octubre - 2009.
CYANOPHYTA	2	3	2	2
<i>Anabaena sp.</i>	X	X	X	X
<i>Microcystis aeruginosa</i>	X	X	X	X
<i>Oscillatoria sp.</i>		X		
EUGLENOPHYTA	1	1	0	1
<i>Trachelomonas sp.</i>	X	X		X
CHLOROPHYTA	3	5	5	6
<i>Ankistrodesmus sp.</i>		X	X	X
<i>Botryococcus braunii</i>	X	X	X	X
<i>Cosmarium granulatum</i>				X
<i>Chlamydomonas sp.</i>	X	X	X	X
<i>Mougeotia sp.</i>	X	X	X	X
<i>Spirogyra sp.</i>		X	X	X
CHRYSOPHYTA	9	8	3	3
<i>Caloneis obtusa</i>	X	X	X	X
<i>Ceratoneis arcus</i>	X	X		
<i>Cymbella ventricosa</i>		X		
<i>Diatoma sp.</i>	X			
<i>Fragilaria crotonensis</i>		X		
<i>Frustulia sp.</i>	X			X
<i>Gomphonema sp.</i>	X	X		
<i>Gomphoneis sp.</i>	X			
<i>Gyrosigma sp.</i>		X		
<i>Navicula sp.</i>	X	X	X	X
<i>Nitzschia sp.</i>			X	
<i>Synedra sp.</i>	X	X		
<i>Pinnularia sp.</i>	X			
Riqueza	15	17	10	12
Riqueza relativa (%)	27,78	31,48	18,52	22,22

En la **Figura 20**, Se reporta la densidad de especies por grupos taxonómicos en los diferentes periodos de muestreo de la estación RP2. Observándose, que los picos de densidad se registraron en los meses de junio-2009, siendo las más abundantes las Clorofitas (350) y las Cianofitas (202), y en el mes de marzo-2009, siendo las más abundantes las Crisofitas y Cianofitas. En relación a la

abundancia promedio por especie en las diferentes fechas de muestreo, (**Figura 21**), se determina entre las diatomeas más abundantes a *Navicula sp.*, *Gyrosigma sp.*; entre las Clorofitas los que más contribuyeron a la densidad total de algas perifíticas fueron *Spirogyra sp.* y *Botryococcus braunii* y entre las Cianofitas o Cianobacterias aunque no presentaron picos elevados de densidad, contribuyeron en gran parte a la composición de la comunidad de algas perifíticas, donde las especies más representativas fueron *Microcystis aeruginosa* y *Anabaena sp.* De acuerdo a la **Figura 22**, podemos determinar que las especies de mayor densidad se encuentran *Microcystis aeruginosa* (96,5 org/cm²), *Spirogyra sp.* (89,25 org/cm²) y *Navicula sp.* (88,5 org/cm²).

En el mes de octubre - 2008 se presentaron las más bajas densidades en comparación con los demás meses de muestreo.

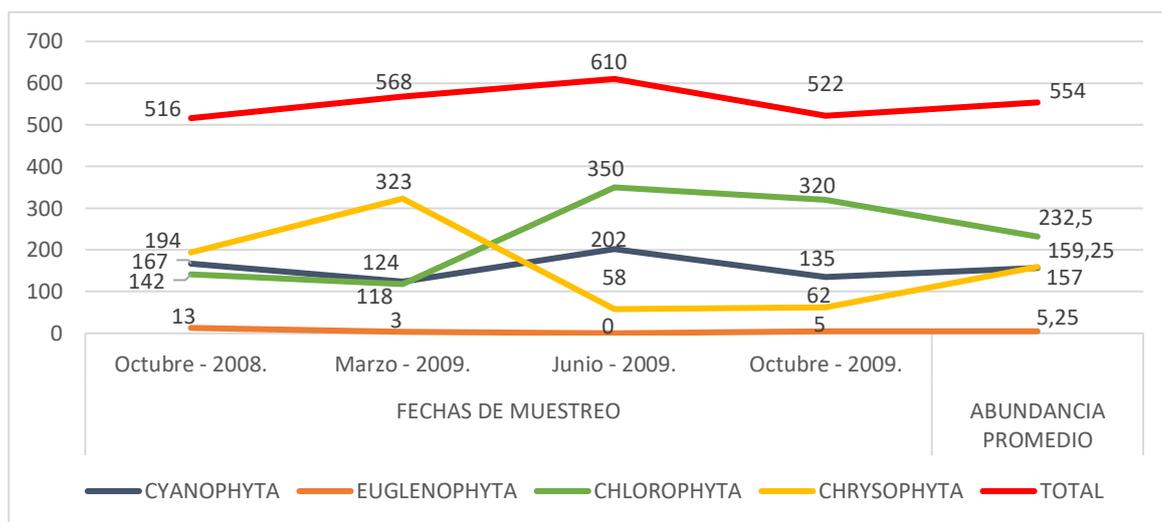


Figura 20. Densidad total por grupo mayor en las diferentes fechas de muestreo en la estación RP2

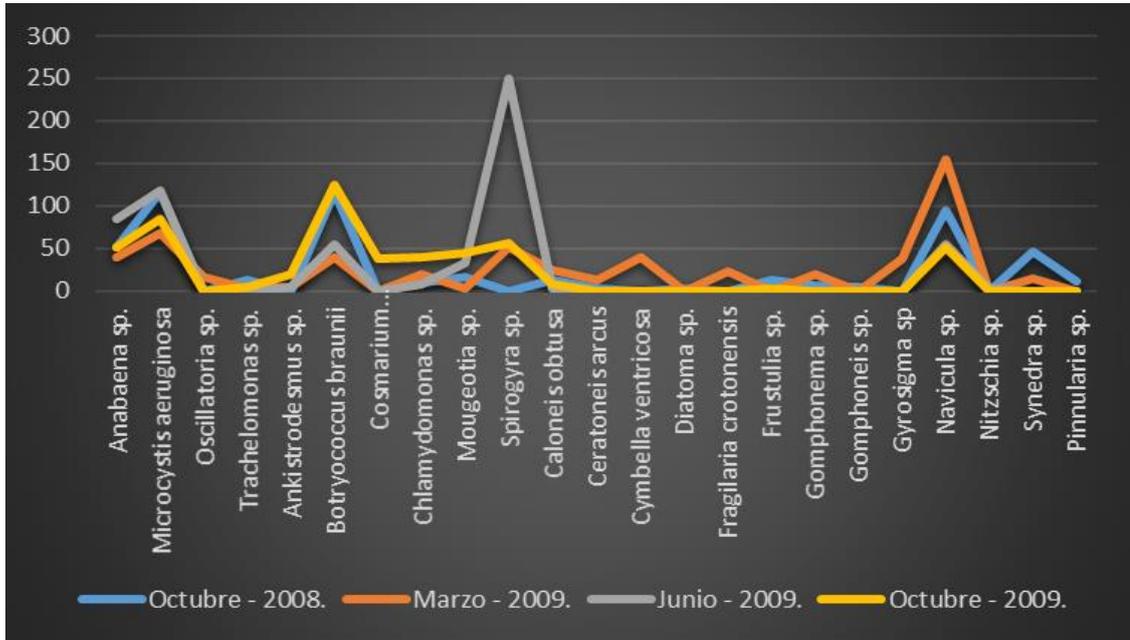


Figura 21. Abundancia promedio por especies y por fechas de muestreo en la estación RP2

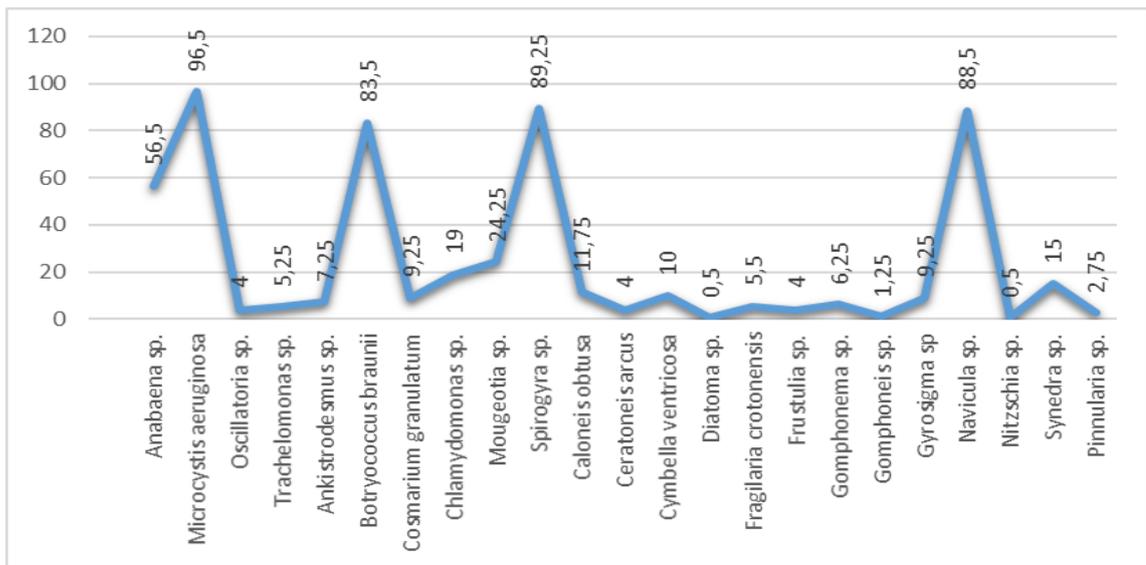


Figura 22. Densidad promedio por especie en la estación RP2

Con respecto a la densidad promedio por grupo mayor en la estación RP2, según la **Figura 23**, las Clorofitas presentan la mayor densidad poblacional (232,5 org/cm²) seguido de las Crisofitas (159,25 org/cm²). Apéndice A, Tabla 23.

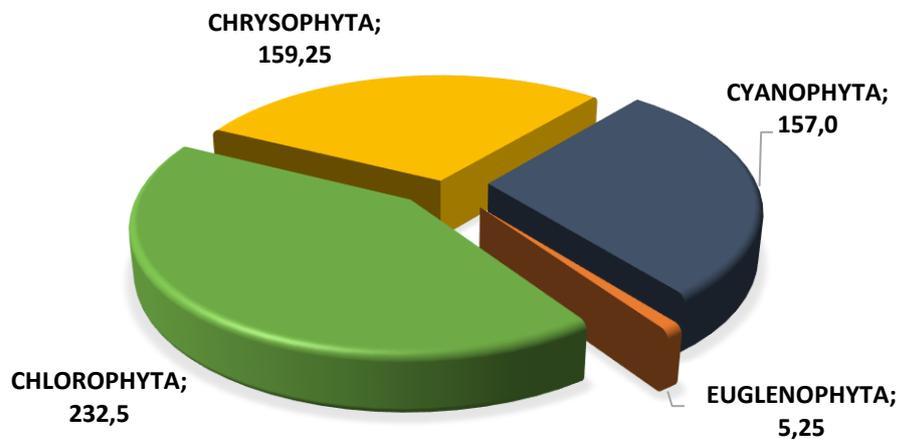


Figura 23. Densidad promedio por grupo mayor en la estación RP2

C) Río Mashcón

C1) Estación de Muestreo RM

Con relación a la distribución espacial y la variación temporal de la riqueza de algas perifíticas en la Estación RM muestra que en octubre-2008, se registró un mayor número de especie con un total de 05 especies (29,41 %) de los cuales 03 pertenecen a Chrysophytas, 01 Chlorophytas, y 01 Cyanophytas; seguido con 04 especies (23,53 %) en los demás meses de muestreo, (**Figura 24 y Tabla 9**).

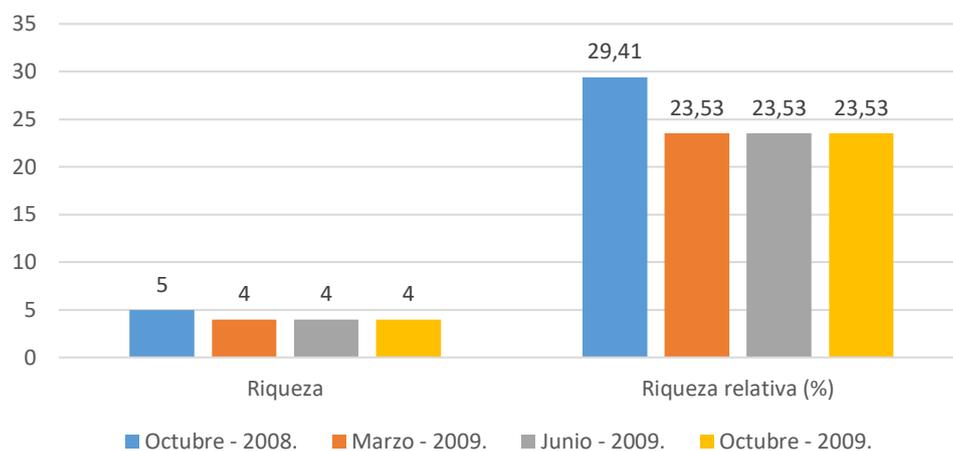


Figura 24. Número de especies identificadas (Riqueza) en la estación RM en cada fecha de muestreo

Tabla 9

Determinación cualitativa del Perifiton (epilíticas) en la Estación RM en cada fecha de muestreo

ESPECIE	FECHAS DE MUESTREO			
	Octubre - 2008.	Marzo - 2009.	Junio - 2009.	Octubre - 2009.
CYANOPHYTA	1	1	1	1
<i>Anabaena sp.</i>		X		
<i>Microcystis aeruginosa</i>	X		X	X
EUGLENOPHYTA	0	1	0	0
<i>Trachelomonas sp.</i>		X		
CHLOROPHYTA	1	0	1	2
<i>Ankistrodesmus sp.</i>				X
<i>Botryococcus braunii</i>	X		X	X
CHRYSOPHYTA	3	2	2	1
<i>Caloneis obtusa</i>		X		
<i>Diatoma sp.</i>			X	X
<i>Frustulia sp.</i>	X			
<i>Navicula sp.</i>	X	X	X	
<i>Tabellaria fenestrata</i>	X			
Riqueza	5	4	4	4
Riqueza relativa (%)	29,41	23,53	23,53	23,53

En la **Figura 25**, Se reporta la densidad de especies por grupos taxonómicos en los diferentes periodos de muestreo de la estación RM. Observándose, que los picos de densidad se registraron en los meses de octubre-2008, siendo las más abundantes las Crisofitas (73 org/cm^2) y las Clorofitas (56 org/cm^2), y en el mes de octubre-2009, siendo las más abundantes las clorofitas (42 org/cm^2) y Cianofitas (21 org/cm^2). En relación a la abundancia promedio por especie en las diferentes fechas de muestreo, (**Figura 26**), se determina entre las diatomeas más abundantes a *Navicula sp.*, *Diatoma sp.*; entre las clorófitas la que más contribuyó a la densidad total de algas perifíticas fue *Botryococcus braunii* y entre las Cianofitas o Cianobacterias aunque no presentaron picos elevados de densidad, contribuyeron en gran parte a la composición de la comunidad de algas perifíticas, donde las especies más representativas fue *Microcystis aeruginosa*. De acuerdo a la **Figura 27**, podemos determinar que las especies de mayor densidad se encuentran *Botryococcus braunii* ($26,5 \text{ org/cm}^2$), *Navicula sp.* ($15,5 \text{ org/cm}^2$) y *Microcystis aeruginosa* ($10,75 \text{ org/cm}^2$).

En el mes de junio - 2009 se presentaron las más bajas densidades en comparación con los demás meses de muestreo.

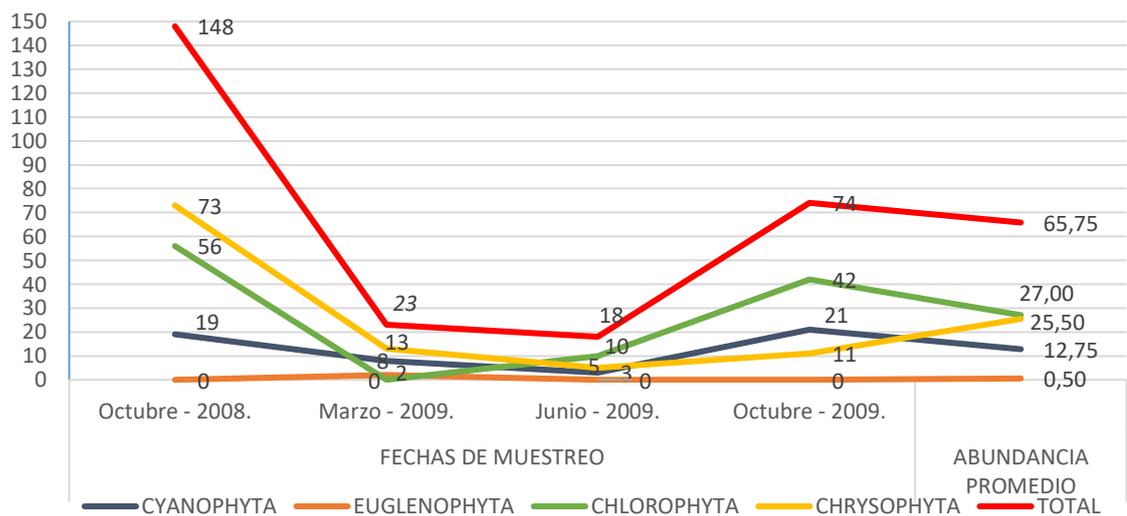


Figura 25. Densidad total por grupo mayor en las diferentes fechas de muestreo en la estación RM

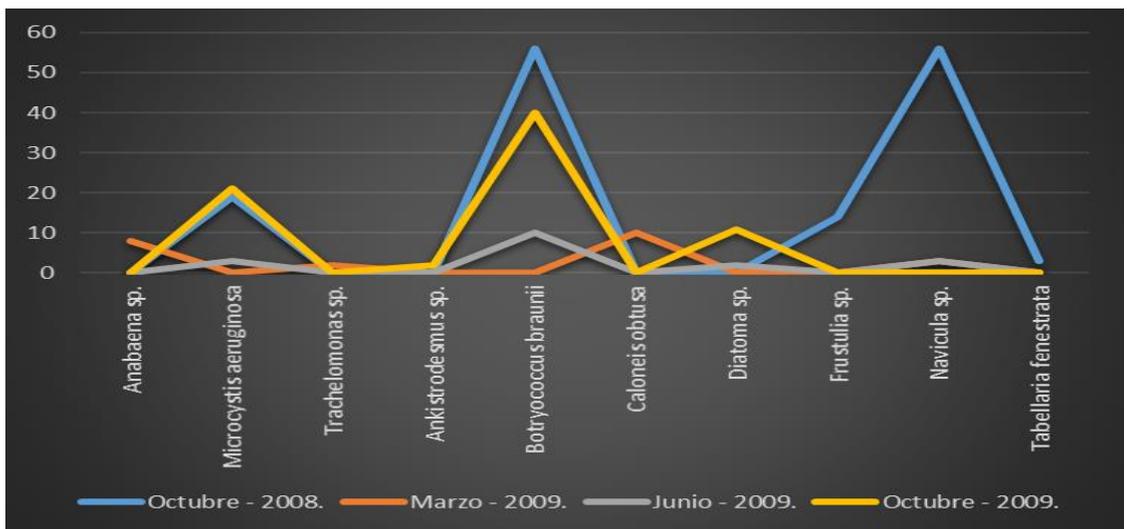


Figura 26. Abundancia promedio por especies y por fechas de muestreo en la estación RM

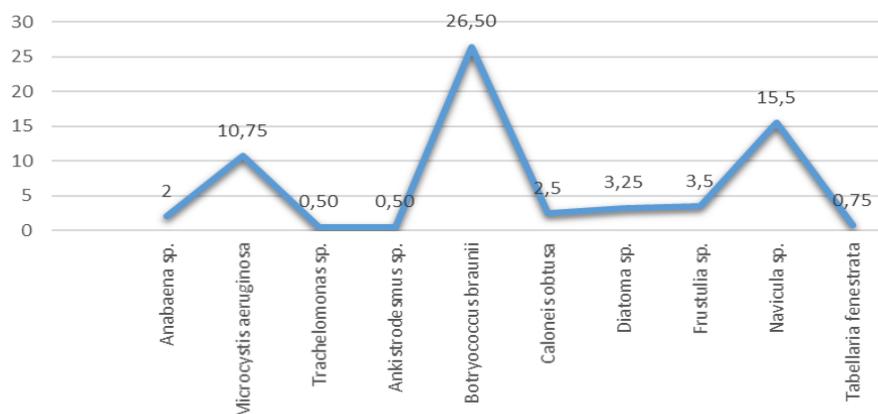


Figura 27. Densidad promedio por especie en la estación RM

Con respecto a la densidad promedio por grupo mayor en la estación RM, según la **Figura 28**, las Clorofitas presentan la mayor densidad poblacional (27 org/cm²) seguido de las Crisofitas (25,5 org/cm²). Apéndice A, Tabla 24.

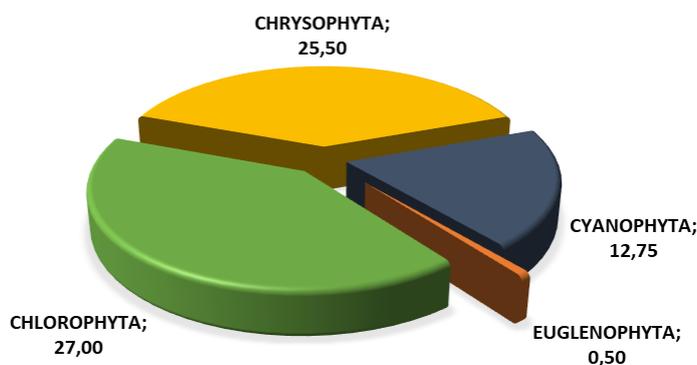


Figura 28. Densidad promedio por grupo mayor en la estación de muestreo RM

D) Resumen de la Dinámica Poblacional de todas las estaciones de muestreo:

D1) Dominancia e Índice de Valor de Importancia (IVI)

Con relación a la distribución espacial y la variación temporal de la riqueza de algas perifíticas en la zona del presente trabajo de investigación y de

acuerdo a la **Tabla N° 10 y Figura 29** podemos indicar que las especies que presentan una dominancia relativa y mayor IVI son: *Navicula sp.* (66,50%, IVI 95,86), *Botryococcus braunii* (21,93%, IVI 38,05), *Spirogyra sp.* (8,35%, IVI 21,94) y *Microcystis aeruginosa* (3,14%, IVI 19,29)

Tabla 10

Resumen de la Dinámica poblacional de las 04 estaciones de muestreo

DIVISIÓN/ESPECIE	Densidad Promedio	Densidad Relativa (%)	Dominancia	Dominancia Relativa (%)	Frecuencia	Frecuencia Relativa (%)	IVI
CYANOPHYTA							
<i>Anabaena sp.</i>	29,8	7,09			0,85	5,65	12,74
<i>Lynbya sp.</i>	4,25	1,01			0,1	0,66	1,68
<i>Microcystis aeruginosa</i>	45,5	10,83	2,275	3,14	0,8	5,32	19,29
<i>Oscillatoria sp.</i>	6,7	1,59			0,5	3,32	4,92
EUGLENOPHYTA							
<i>Trachelomonas sp.</i>	1,45	0,35			0,25	1,66	2,01
CHLOROPHYTA							
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	6,3	1,50			0,6	3,99	5,49
<i>Botryococcus braunii</i>	45,4	10,81	15,89	21,93	0,8	5,32	38,05
<i>Cosmarium granulatum</i>	10,2	2,43			0,45	2,99	5,42
<i>Chlamydomonas sp.</i>	5,7	1,36			0,35	2,33	3,68
<i>Closterium leibleinii</i>	7,4	1,76			0,4	2,66	4,42
<i>Mougeotia sp.</i>	10,05	2,39			0,5	3,32	5,71
<i>Oedogonium sp.</i>	7,4	1,76			0,45	2,99	4,75
<i>Spirogyra sp.</i>	40,35	9,60	6,05	8,35	0,6	3,99	21,94
CHRYSOPHYTA							
<i>Amphora sp.</i>	1,35	0,32			0,4	2,66	2,98
<i>Asterionella</i>	1,1	0,26			0,25	1,66	1,92
<i>Caloneis obtusa</i>	7,85	1,87			0,65	4,32	6,19
<i>Ceratoneis arcus</i>	6,35	1,51			0,5	3,32	4,83
<i>Cocconeis sp.</i>	7,05	1,68			0,6	3,99	5,66
<i>Cymbella ventricosa</i>	6,05	1,44			0,35	2,33	3,77
<i>Diatoma sp.</i>	2,05	0,49			0,35	2,33	2,81
<i>Diploneis sp.</i>	4,45	1,06			0,4	2,66	3,72
<i>Fragilaria crotonensis</i>	9,9	2,36			0,5	3,32	5,68
<i>Frustulia sp.</i>	13,7	3,26			0,6	3,99	7,25
<i>Gomphonema sp.</i>	5,15	1,23			0,4	2,66	3,88
<i>Gomphoneis sp.</i>	2,8	0,67			0,45	2,99	3,66
<i>Gyrosigma sp.</i>	6	1,43			0,45	2,99	4,42
<i>Melosira italica</i>	1,75	0,42			0,3	1,99	2,41
<i>Navicula sp.</i>	96,5	22,97	48,25	66,58	0,95	6,31	95,86
<i>Nitzschia sp.</i>	5	1,19			0,6	3,99	5,18
<i>Surirella sp.</i>	2,65	0,63			0,4	2,66	3,29
<i>Synedra sp.</i>	13,25	3,15			0,5	3,32	6,48
<i>Tabellaria fenestrata</i>	2,05	0,49			0,3	1,99	2,48
<i>Pinnularia sp.</i>	4,6	1,09			0,4	2,66	3,75
TOTAL	420,1	100,00	72,47	100,00	15,05	100,00	291,89

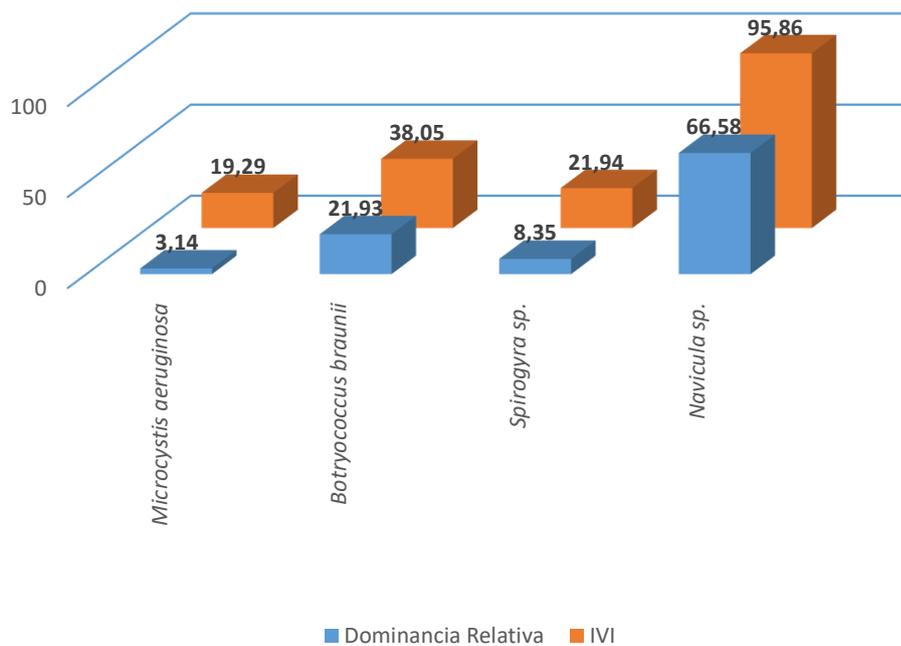


Figura 29. Dominancia relativa e Índice de Valor de Importancia.

D2. Riqueza de las 05 estaciones de muestreo

En la **Figura 30**, podemos observar que en las estaciones de muestreo RG1, RP1 y RP2, en el mes de marzo-2009, registraron el mayor número de especies; en la estación RG2 el mayor número de especies se reportó en los meses de marzo y junio -2009 y en RM en el mes de octubre-2008.

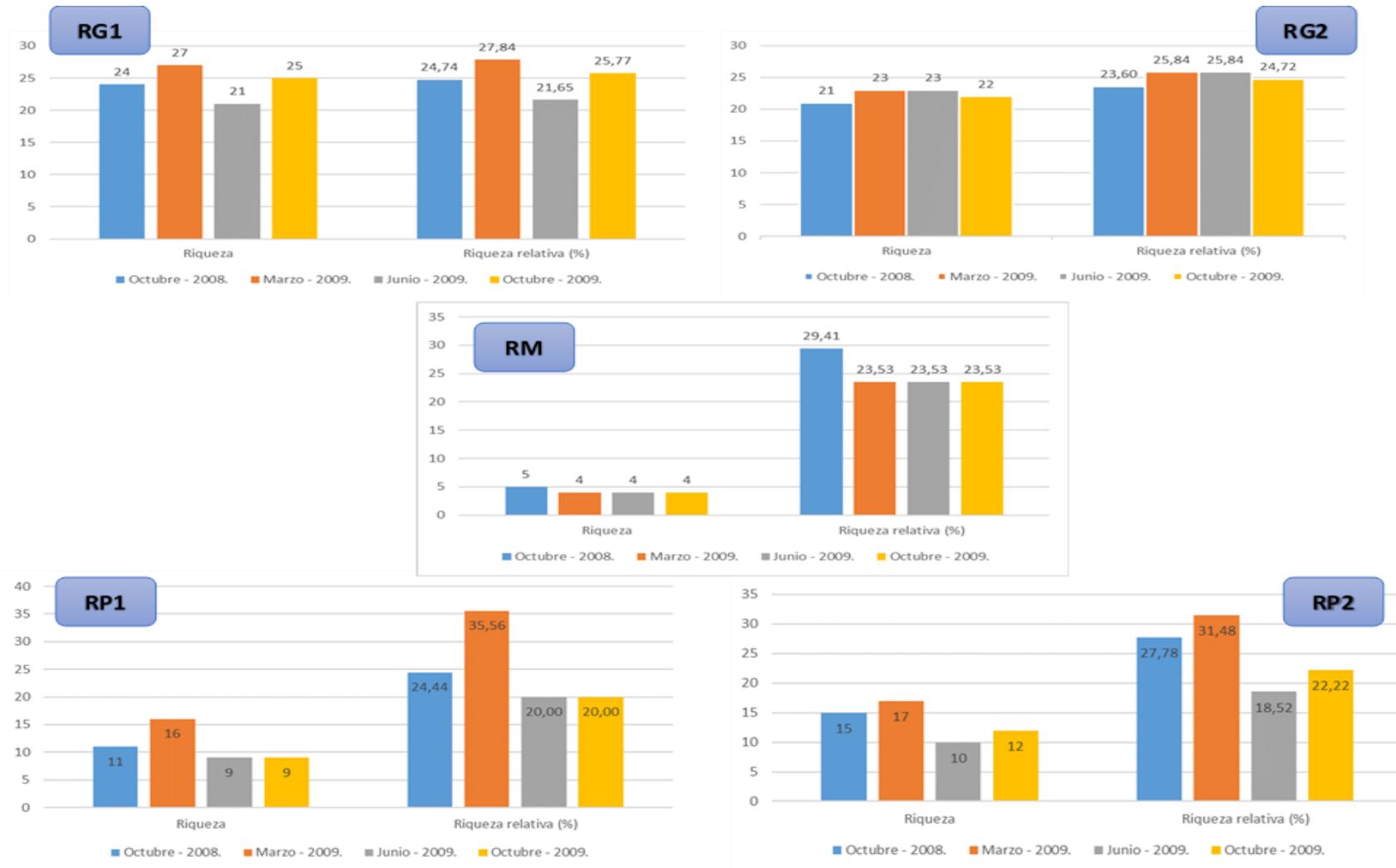


Figura 30. Resumen del número de especies identificadas (Riqueza) en las 05 estaciones de muestreo

D3. Densidad total por grupo mayor:

De acuerdo a la **Figura 31**, podemos indicar que los picos de mayor densidad se registraron en el mes de marzo-2009 en las estaciones de muestreo RG1, RG2 y RP1; en el mes de junio-2009 en RP2 y en el mes de octubre-2008 en RM. Además, se puede visualizar que las 02 estaciones de muestreo ubicadas en el río Grande (RG1 y RG2) las Crisofitas presentan, en todas las fechas de muestreo, dominancia sobre las demás taxas, mientras que en las estaciones de muestreo RP1, RP2 y RM son las Clorofitas, a partir del mes de junio-2009, que su densidad es mayor con relación a los otros grupos, seguido por las Cianofitas; esto nos indica que existe una variación en el orden de sucesión de los grupos mayores que implica algún grado de contaminación mayor o menor en estas estaciones de muestreo.

D4. Densidad promedio en las diferentes fechas de muestreo:

Según la **Figura 32**, se determina entre las diatomeas más abundantes a *Navicula sp.*, *Synedra sp.*, *Frustulia sp.*, *Gomphonema sp.* y *Gyrosigma sp.*; las clorofitas que más contribuyeron a la densidad total de algas perifíticas fueron *Botryococcus braunii*, *Closterium leibleinii*, *Spirogyra sp.* y *Cosmarium granulatum*; las Cianofitas o Cianobacterias, aunque no presentaron picos elevados de densidad, contribuyeron en gran parte a la composición de la comunidad de algas perifíticas, donde las especies más representativas fueron *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena sp.* y *Oscillatoria sp.*



Figura 31. Resumen de la Densidad total por grupo mayor en las diferentes fechas de muestreo de las 05 estaciones de muestreo

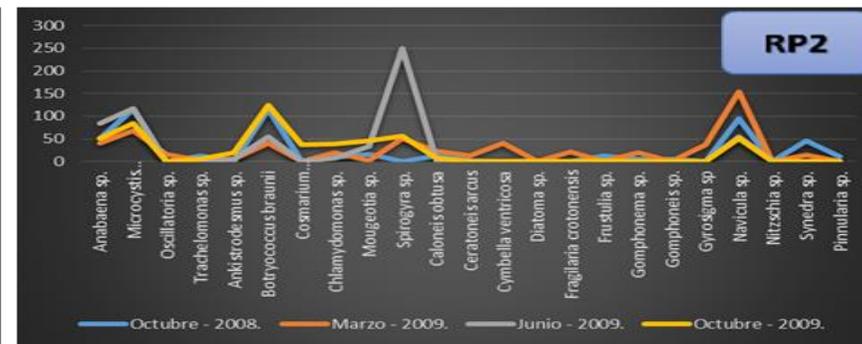
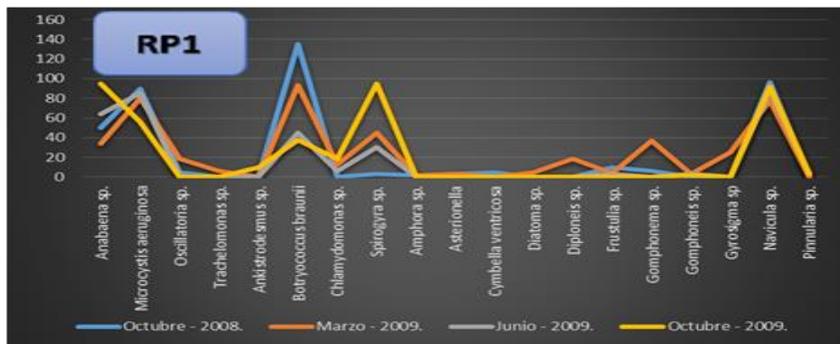
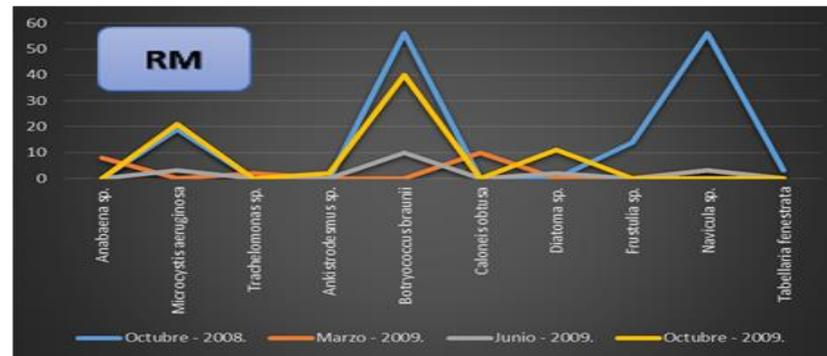
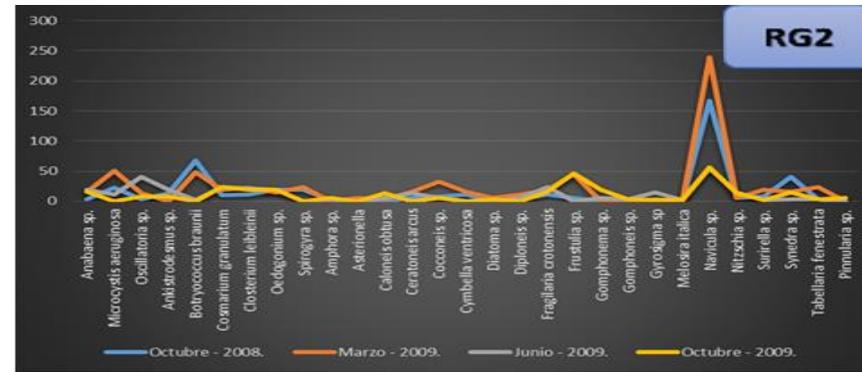
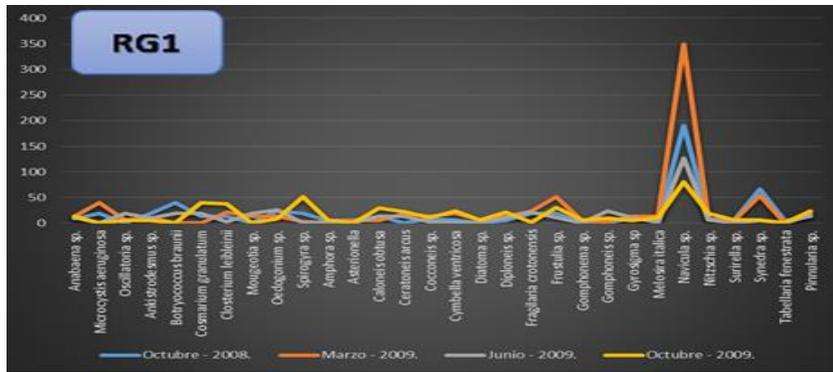


Figura 32. Resumen de la Abundancia promedio por especies y por fechas de muestreo en las cinco (05) estaciones de muestreo.

D5. Densidad promedio por especie en todo el periodo de muestreo:

De acuerdo a la **Figura 33**, podemos determinar que, *Navicula sp.* es la especie de mayor densidad, en todo el periodo de muestreo, en tres estaciones de muestreo como son RG1 (187 org/cm²), RG2 (129,25 org/cm²) y RP1 (88,5 org/cm²). **Kelly, 2000, Silva-Benavides et al., 2008**, mencionan que las especies *Navicula seminulum*, *N. minima* y *N. cryptotenella* son indicadoras de condiciones moderadas de contaminación del agua. En la estación de muestreo RG2 la especie de mayor abundancia fue *Microcystis aeruginosa* (96,5 org/cm²) y en la estación RM *Botryococcus braunii* (26,5 org/cm²), siendo estas dos especies indicadoras de contaminación orgánica.

D6. Densidad promedio por grupo mayor en las 05 estaciones de muestreo:

Con respecto a la densidad promedio por grupo mayor en todo el ámbito del trabajo de investigación, **ver Figura 34**, las Crisofitas presentan la mayor densidad en RG1 (397,5 org/cm²) y en RG2 (273,75 org/cm²); las Clorofitas presentan la mayor densidad promedio por grupo mayor en la estación RP1 (133 org/cm²), RP2 (232,5 org/cm²) y en RM (27 org/cm²). La variación de dominancia de los grupos mayores, principalmente en los ríos Porcón y Mashcón, nos indican que algún factor del ambiente está repercutiendo en la dinámica poblacional, y al realizar los cálculos del índice de diversidad de Shannon nos permite concluir que las aguas de estos ríos están medianamente contaminadas.

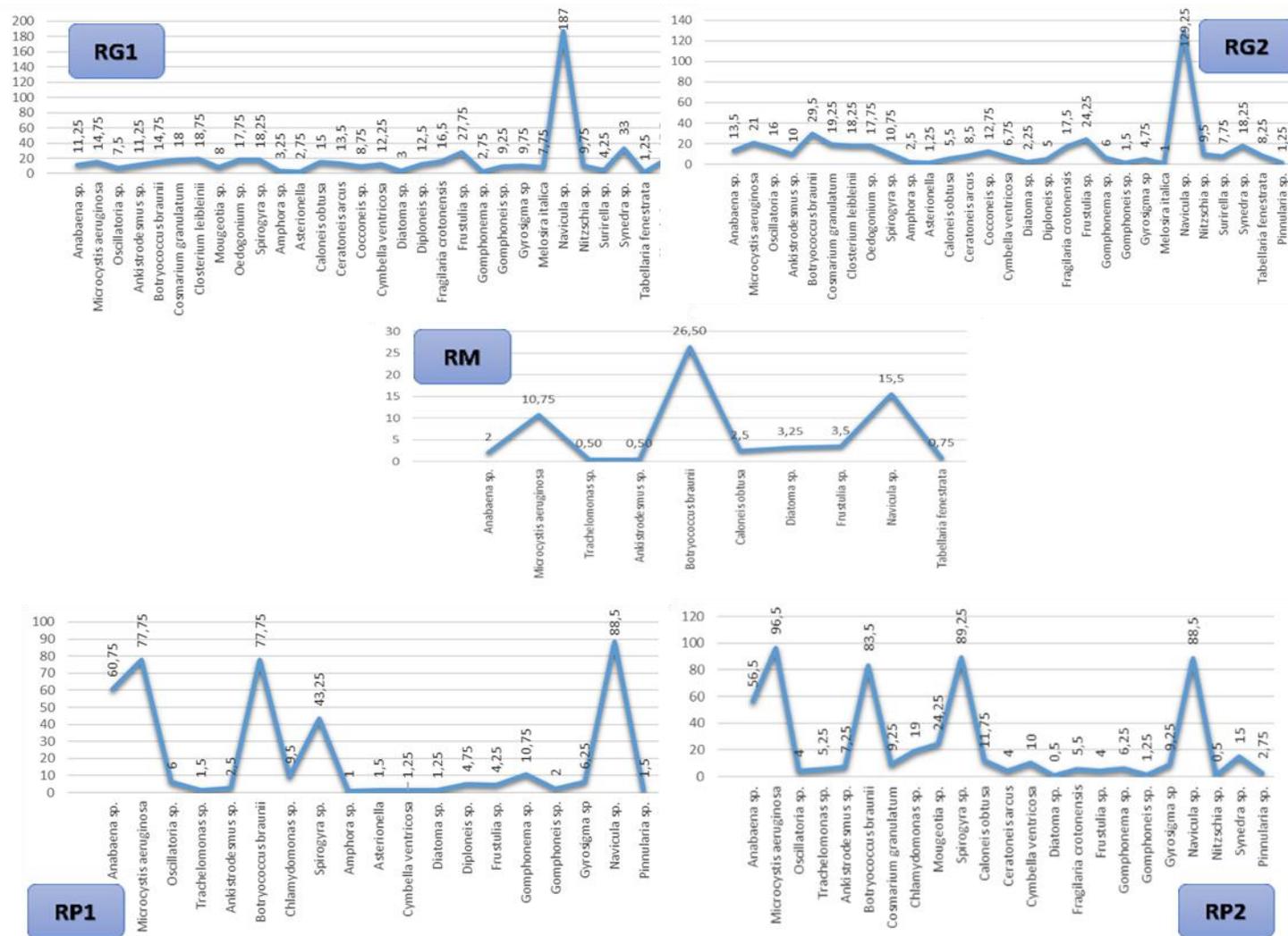


Figura 33. Resumen de la Densidad promedio por especie en todo el periodo de muestreo (octubre-2008 a octubre-2009)

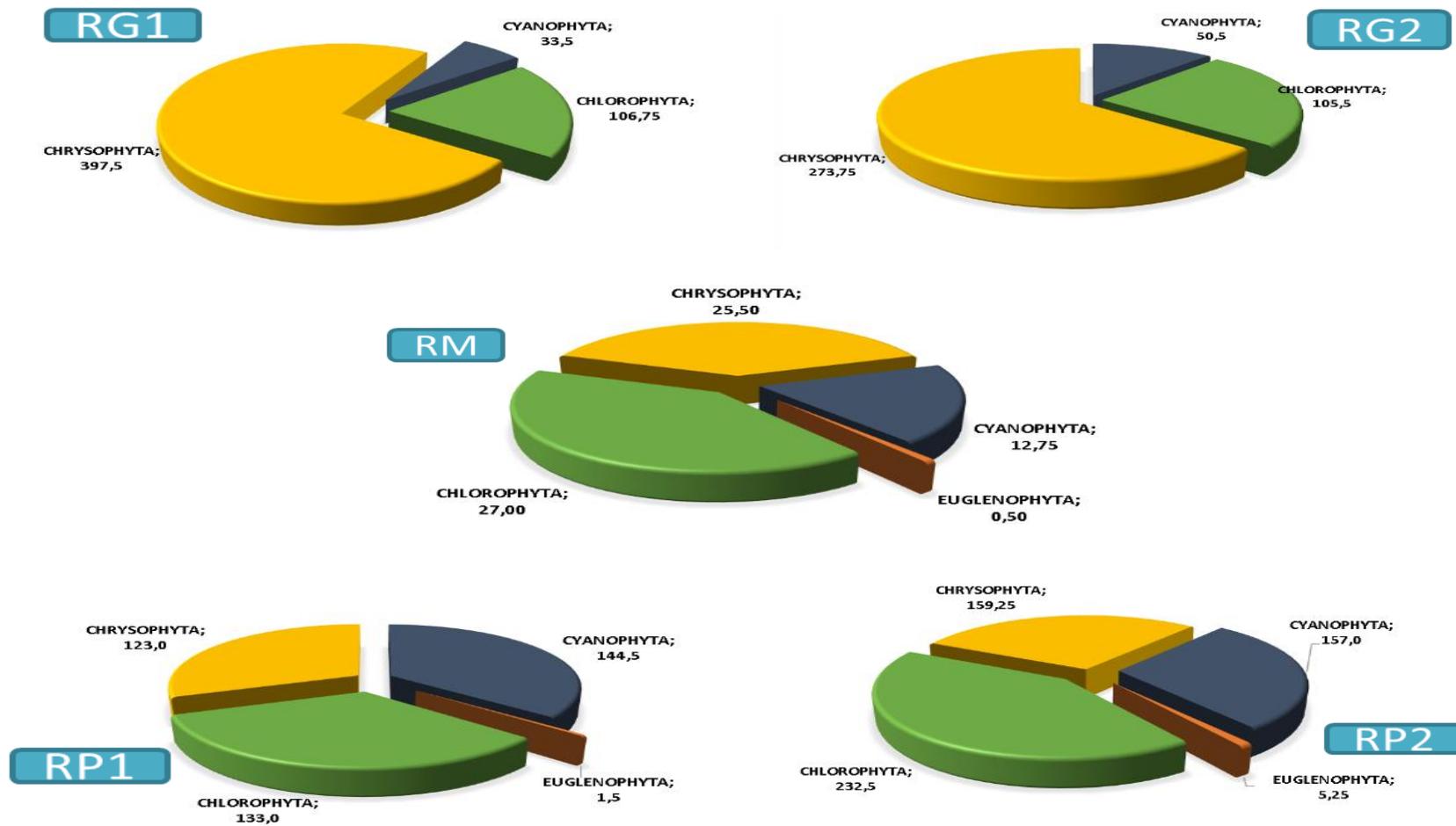


Figura 34. Resumen de la Densidad promedio por grupo mayor en las 05 estaciones de muestreo.

4.1.2.2. Calidad del agua:

A) Parámetros físicos

Según la **Tabla 11**, podemos observar que los parámetros físicos se encuentran, en la mayoría de estaciones de muestreo, dentro de los ECAs a excepción de la estación RG1 (Octubre-2008) y RM (Octubre-2009), pero no es significativo.

B) Parámetros químicos

En relación a los parámetros químicos los Nitratos tiene un aumento en las estaciones de muestreo RG2 y RM, en octubre 2009, por encima del ECA. El nitrato está presente en el agua de forma natural pudiéndose incrementar su concentración por actividades humanas, como son el uso de fertilizantes (abonos nitrogenados tipo nitrato potásico o nitrato amónico), uso de herbicidas y plaguicidas que contienen nitratos, actividades industriales y urbanas (vertidos efluentes, aguas residuales, etc.), estiércol y purines derivados de las actividades ganadera. El mayor problema sanitario a la exposición elevada de nitratos/nitritos en el agua es la metahemoglobinemia (niños azules), que sólo se produce en niños menores de 4 meses que consumen aguas con más de 50 mg/L de ión nitrato, en nuestro caso el mayor registro de nitrato fue de 13 mg/L.

Con respecto al Arsénico, en el mes de octubre – 2008 se obtuvo un registro muy por encima del ECA en todas las estaciones de muestreo, el arsénico es un elemento natural de la corteza terrestre; ampliamente distribuido en todo

el ambiente, en su forma inorgánica es muy tóxico, puede provenir, también, de los plaguicidas a base de arseniato de plomo (OMS, 2012).

El cadmio es el elemento que en dos fechas de muestreo (octubre-2008 y marzo-2009) se registró, en todas las estaciones de muestreo, un aumento por encima de los ECAs (0,003 mg/L), pero no significativo. Debido a que, la capacidad de autodepuración biológica de las aguas superficiales y subterráneas se ve perturbada a partir de una cantidad de 0,1 mg/L de cadmio (DVGW, 1988), el registro más alto, durante la ejecución de la presente tesis, fue de 0,09 mg/L. En Asia, las altas concentraciones de cadmio en el arroz, son las responsables de la enfermedad "Itai-Itai" que destruye los eritrocitos y produce proteinuria, rinitis, enfisema y bronquitis crónica. El cadmio, como elemento traza, circula ininterrumpidamente en las estructuras biológicas y no biológicas del ambiente. El impacto que el cadmio ejerce en forma natural sobre el ambiente (unas 40 toneladas anuales en todo el mundo) es leve si se lo compara con la estimación de las emisiones antrópicamente inducidas.

(www.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/ENV/envsp/Vol314e.htm, 13, de mayo de 2016).

De forma natural grandes cantidades de Cadmio son liberadas al ambiente, sobre 25 000 toneladas al año. La mitad de este Cadmio es liberado en los ríos a través de la descomposición de rocas y algún Cadmio es liberado al aire a través de fuegos forestales y volcanes. El resto del Cadmio es liberado por las actividades humanas, como es la manufacturación. Otra fuente importante de emisión de Cadmio es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales. Parte del Cadmio terminará en el suelo después de que el fertilizante es aplicado

en las granjas y el resto del Cadmio terminará en las aguas superficiales cuando el residuo del fertilizante es vertido por las compañías productoras. (<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm#ixzz48UHEeHVJ>, 12 de mayo de 2016).

El Plomo registró en RG1, octubre-2008, un aumento no significativo.

C) Parámetros biológicos (Coliformes totales)

De acuerdo el **Tabla 11**, Las estaciones de muestreo RP1, RP2 tienen una alta contaminación con coliformes, en Octubre 2008 y junio 2009 y RM en octubre-2009, que superan los 3 000 NMP establecido en el ECA, y según los criterios de la OMS en la clasificación de las aguas esta cuenca estaría considerada como de calidad bacteriológica que requiere la aplicación de métodos habituales de tratamiento como de coagulación y filtración , (**Tabla 12**).

Tabla 11.

Parámetros físicos, químico y biológicos(Coliformes) de las diferentes estaciones de muestreo.

PARÁMETROS	INDICADORES	Octubre - 2008.					Marzo - 2009.					Junio - 2009.					Octubre - 2009.					ECA
		RG1	RG2	RP1	RP2	RM	RG1	RG2	RP1	RP2	RM	RG1	RG2	RP1	RP2	RM	RG1	RG2	RP1	RP2	RM	
FÍSICOS	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}^2$	281	265	156	164	169	438	285	151	167	142	749	664	179	170,3	534	516	483	187.6	267	472	1600
	Turbiedad (NTU)	120	40	18	16	19	35	29	36	30	28	16	18	59	36	35	7	43	9	49	111	100
	Sólidos DisueltosTotales (mg/L)	318	280	142	237	325	221	34	65	183	225	365	323	85.6	81.3	259	250	234	89.7	128	228	1000
	Caudal (m^3/s)	945	937	983	921	946	892	340	169	324	359	999	998	999	998	743	836	1338	543	673	1081	
	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	12.3	11,7	17,8	17,1	13,5	15,6	13,8	17,1	19,1	18,3	12	13,1	14,3	14,8	14	13,4	13,6	15,6	20,6	17,3	
QUÍMICOS	pH	8	8,5	7,9	7,8	7,5	6,7	6,6	6,7	7,1	7,3	6,28	6,41	6,44	7,29	7,13	7,3	7,5	7,5	8	7,5	5,5 - 9,5
	Oxígeno Disuelto (mg/L)	3,1	2,9	3,5	3,7	3	3,6	3,8	3,2	3,6	3,5	8,5	8,2	8,8	8,2	8,3	8	8,3	6,8	8,1	9,9	≥ 5
	Nitratos (mg/L)	0,03	0,03	0,01	0	0,02	3,72	2,48	0,62	0,62	1,78	3,7	9,7	8	8,2	7,4	9,6	10,3	4,2	5,8	13	10
	Sulfatos (mg/L)	2,04	1,25	1,06	1,04	1,07	142,2	95,1	57,2	15,9	32,1	>80	>80	>80	54	>80	>80	>80	>80	>80	>80	**
	Arsénico (mg/L)	43,9	13,8	1,58	1,28	1,15	0,00325	0,00048	<0,00010	0,00012	<0,00010	<0,00402	<0,00402	<0,00402	<0,00402	<0,00402	<0,00402	<0,00402	<0,00402	<0,00402	<0,00402	0,01
	Cromo (mg/L)	<0,029	<0,029	<0,029	<0,029	<0,029	<0,021	<0,021	<0,021	<0,021	<0,021	<0,000537	<0,000537	<0,000537	<0,000537	<0,000537	<0,000537	<0,000537	<0,000537	<0,000537	<0,000537	0,05
	Cadmio (mg/L)	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,000852	<0,000852	<0,000852	<0,000852	<0,000852	<0,000852	<0,000852	<0,000852	<0,000852	<0,000852	0,003
Plomo (mg/L)	0,063	<0,023	<0,023	<0,023	<0,023	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,027	<0,00526	<0,00526	<0,00526	<0,00526	<0,00526	<0,00526	<0,00526	<0,00526	<0,00526	<0,00526	0,05	
BIOLÓGICOS	Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	<2	<2	1100	1100	<2	<2	23	23	1100	1100	<2	<2	1000	110	<2	<2	<2	1354	1000	2728	2000
	Coliformes totales (NMP/100mL)	<2	<2	9000	9000	<2	23	1100	1100	1100	1100	210	480	5000	8000	149	372	400	3250	2100	4300	3000

** No significativo

 Por encima de ECAs

Tabla 12.

Criterios utilizados por la OMS (1978) para la clasificación de las aguas de acuerdo con el número más probable (NMP) de coliformes totales en 100 mL

N°	CLASIFICACIÓN	NMP de Coliformes totales
I	Calidad bacteriológica que no exige más que un simple tratamiento de desinfección	0 – 50
II	Calidad bacteriológica que requiere la aplicación de métodos habituales de tratamiento como coagulación y filtración	50 - 5 000
III	Contaminación intensa que obliga a tratamientos más activos	5 000 - 50 000
IV	Contaminación extrema, que hace inaceptable el agua a menos que se recurra a tratamientos especiales	> 50 000

Fuente: OMS, 1978

4.1.3. OBJETIVO GENERAL: Determinar la relación entre la dinámica poblacional del perifiton y la calidad del agua.

4.1.3.1. Índice de Diversidad de Shannon – Weaver. VS Estado trófico de las aguas.

Los índices matemáticos en el estudio de los microorganismos y de las comunidades animales y vegetales, son ampliamente utilizados. Para la descripción de la comunidad perifítica, en términos de número de especies y proporciones que puedan indicar cambios debido a modificaciones en las condiciones ambientales o procesos biológicos, se utiliza el Índice de diversidad de Shannon y Weaver. Este Índice es el más ventajoso por su fácil aplicación y su

independencia del tamaño de la muestra, arrojando valores que van desde 0 hasta 5, donde 5 es la máxima diversidad; en la **Tabla 13** se presenta los valores del índice de diversidad de Shannon – Weaver de cada estación de muestreo **Roldan (1992)**, presenta una clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo al índice de diversidad, (**Tabla 14**).

Teniendo en cuenta la **Tabla 13** y la **Tabla 14** podemos determinar que las aguas de los ríos Porcón y Mashcón en las estaciones de muestreo deben ser consideradas como aguas medianamente contaminadas.

Tabla 13
Determinación del Índice de diversidad de Shannon – Weaver

ESTACIÓN DE MUESTREO	INDICE DE DIVERSIDAD
RG1	3,9
RG2	3,9
RP1	2,9
RP2	2,8
RM	2,4

Tabla 14.
Estado trófico de las aguas de acuerdo a su índice de diversidad

CALIDAD DEL AGUA	ÍNDICE DE BIODIVERSIDAD
Aguas muy contaminadas	0,0 – 1,05
Aguas medianamente contaminadas	1,5 – 3,0
Aguas muy limpias	3,0 – 5,0

Fuente: Roldán, 1992

4.1.3.2. Determinación de la correlación de Spearman entre la densidad poblacional del perifiton y algunos parámetros que determinan la calidad del agua

En estadística, el coeficiente de correlación de Spearman, ρ (rho) es una medida de la correlación (la asociación o interdependencia) entre dos variables aleatorias continuas. La interpretación de coeficiente de Spearman es igual que la del coeficiente de correlación de Pearson. Oscila entre -1 y +1, indicándonos asociaciones negativas o positivas respectivamente, 0 cero, significa no correlación, pero no independencia.

A) *Estación de muestreo RGI*: Teniendo en cuenta la Tabla 15, se puede indicar que la densidad total del perifiton en esta estación de muestreo tuvo una correlación negativa, significativa, con la conductividad, sólidos disueltos totales, y el oxígeno y una correlación positiva, significativa, con la turbiedad y la temperatura. Además, existe una correlación significativa entre turbiedad y conductividad (-0,80), temperatura y caudal (-0,80), pH y conductividad (-0,80), Oxígeno con turbiedad y pH (-0,80) y altamente significativa entre temperatura y sólidos disueltos totales (-1,00), asimismo entre el oxígeno disuelto y la conductividad (1,00)

Tabla 15.

Rho de Spearman entre la densidad poblacional y algunos parámetros que determinan la calidad del agua en la estación de muestreo RG1

PARAMETROS	Densidad Total	Conducti- vidad	Turbiedad	Sólidos Disueltos Totales	Caudal	Tempera- tura (C)	pH
Conductividad	-0,80						
Turbiedad	0,60	-0,80					
Sólidos Disueltos Totales	-0,80	0,40	0,00				
Caudal	-0,40	0,20	0,40	0,80			
Temperatura	0,80	-0,40	0,00	-1,00**	-0,80		
Ph	0,40	-0,80	0,40	-0,20	-0,40	0,20	
Oxígeno Disuelto	-0,80	1,00**	-0,80	0,40	0,20	-0,40	-0,80

Nota: ** Correlación altamente significativa

B) *Estación de muestreo RG2*: De acuerdo a la Tabla 16, se puede indicar que la densidad total del perifiton en esta estación de muestreo tuvo una correlación negativa, significativa, con la conductividad (-0,60), oxígeno disuelto (-0,80) y Nitrógeno (-0,80) y una correlación negativa, altamente significativa, con el caudal (-1). Además, existe una correlación negativa, significativa, entre temperatura y solidos disuelto totales, pH y conductividad, coliformes totales y temperatura, coliformes totales y pH; una correlación positiva, significativa, entre caudal y conductividad, temperatura y SDT, pH y turbiedad, oxígeno disuelto con conductividad y caudal, nitrato con conductividad caudal con turbiedad y pH (-0,80) y altamente significativa entre nitratos y oxígeno disuelto (1,00)

Tabla 16.

Rho de Spearman entre la densidad poblacional y algunos parámetros que determinan la calidad del agua en la estación de muestreo RG2

PARAMETRO	Densidad Total	Conductividad	Turbiedad	Sólidos Disueltos Totales	Caudal	Temperatura	pH	Oxígeno Disuelto	Nitratos
Conductividad	-0,60								
Turbiedad	-0,40	-0,40							
Sólidos Disueltos Totales	-0,40	0,40	-0,40						
Caudal	-1,00**	0,60	0,40	0,40					
Temperatura	0,20	0,20	0,00	-0,80	-0,20				
Ph	0,00	-0,80	0,80	-0,20	0,00	-0,40			
Oxígeno Disuelto	-0,80	0,80	0,20	0,00	0,80	0,40	-0,40		
Nitratos	-0,80	0,80	0,20	0,00	0,80	0,40	-0,40	1,00**	
Coliformes totales	0,40	0,40	-0,60	-0,40	-0,40	0,80	-0,80	0,20	0,20

Nota: ** Correlación altamente significativa

C) *Estación de muestreo RPI:* Teniendo en cuenta la Tabla 17, se puede indicar que la densidad total del perifiton en esta estación de muestreo tuvo una correlación negativa, significativa, con el oxígeno disuelto (-0,80) y coliformes totales (-0,80); y altamente significativa con el caudal (-1,00). Además, existe una correlación significativa entre sólidos disueltos con turbiedad (-0,60); temperatura con conductividad (-0,60); el pH con turbiedad (-0,80), sólidos disueltos y temperatura (0,80); oxígeno disuelto con conductividad (0,80), caudal (0,80) y temperatura (-0,80); los nitratos con la conductividad (0,60), pH (-0,80) y oxígeno disuelto (0,80); coliformes termotolerantes con conductividad (0,80), turbiedad (-0,80), sólidos disueltos (0,80) y pH (0,60); los coliformes totales con sólidos disueltos (0,80) y caudal (0,80); y altamente significativa entre nitratos y temperatura (-1,00)

Tabla 17

Rho de Spearman entre la densidad poblacional y algunos parámetros que determinan la calidad del agua en la estación de muestreo RP1

PARAMETROS	Densidad Total	Conductividad	Turbiedad	Sólidos Disueltos Totales	Caudal	Temperatura	pH	Oxígeno Disuelto	Nitratos
Conductividad	-0,40								
Turbiedad	-0,40	-0,40							
Sólidos Disueltos Totales	-0,40	0,40	-0,60						
Caudal	-1,00**	0,40	0,40	0,40					
Temperatura	0,40	-0,60	-0,40	0,40	-0,40				
Ph	0,20	0,00	-0,80	0,80	-0,20	0,80			
Oxígeno Disuelto	-0,80	0,80	0,20	0,20	0,80	-0,80	-0,40		
Nitratos	-0,40	0,60	0,40	-0,40	0,40	-1,00**	-0,80	0,80	
Coliformes Termotolerantes	-0,20	0,80	-0,80	0,80	0,20	0,00	0,60	0,40	0,00
Coliformes Totales	-0,80	0,20	0,00	0,80	0,80	0,20	0,40	0,40	-0,20

Nota: ** Correlación altamente significativa

D) *Estación de muestreo RP2:* Teniendo en cuenta la Tabla 18, se puede indicar que la densidad total del perifiton en esta estación de muestreo tuvo una correlación negativa, significativa, con los sólidos disueltos (-0,80) y el pH (-0,60); y una correlación positiva, significativa, con los nitratos (0,80). Además, existe una correlación significativa entre sólidos disueltos con conductividad (-0,80) y con la turbiedad (-0,80); temperatura con el caudal (-0,60); oxígeno disuelto con conductividad (0,60), turbiedad (0,60), sólidos disueltos (-0,80) y caudal (0,80); los nitratos con la conductividad (0,80), turbiedad (0,80) y oxígeno disuelto (0,80); los coliformes termotolerantes con caudal (0,80) y la temperatura (-0,60); y altamente significativa entre turbiedad y conductividad (1,00) y entre nitratos y sólidos disueltos (-1,00).

Tabla 18.

Rho de Spearman entre la densidad poblacional y algunos parámetros que determinan la calidad del agua en la estación de muestreo RP2

PARAMETROS	Densidad Total	Conductividad	Turbiedad	Sólidos Disueltos Totales	Caudal	Temperatura	pH	Oxígeno Disuelto	Nitratos
Conductividad	0,40								
Turbiedad	0,40	1,00**							
Sólidos Disueltos totales	-0,80	-0,80	-0,80						
Caudal	0,20	0,00	0,00	-0,40					
Temperatura	-0,40	0,40	0,40	0,20	-0,80				
Ph	-0,60	0,40	0,40	0,00	0,20	0,40			
Oxígeno Disuelto	0,40	0,60	0,60	-0,80	0,80	-0,40	0,40		
Nitratos	0,80	0,80	0,80	-1,00**	0,40	-0,20	0,00	0,80	
Coliformes Totales	-0,40	-0,40	-0,40	0,20	0,80	-0,60	0,40	0,40	-0,20

Nota: ** Correlación altamente significativa

E) **Estación de muestreo RM:** Teniendo en cuenta la Tabla 19, se puede indicar que la densidad total del perifiton en esta estación de muestreo tuvo una correlación, significativa, con el caudal (0,60) y el pH (0,95). Además, existe una correlación significativa entre turbiedad y conductividad (0,60); el pH con el caudal (0,74); el oxígeno disuelto con la conductividad (0,60); los nitratos con la conductividad (0,60); los coliformes totales con la turbiedad (0,80), sólidos disueltos (-0,80), la temperatura (0,80), Oxígeno disuelto (0,80) y nitratos (0,80); y altamente significativa entre la temperatura y los sólidos disueltos (-1,00); el oxígeno disuelto con la turbiedad (1,00); y los nitratos con la turbiedad y el oxígeno disuelto (1,00)

Tabla 19.

Rho de Spearman entre la densidad poblacional y algunos parámetros que determinan la calidad del agua en la estación de muestreo RM.

PARAMETROS	Densidad Total	Conductividad	Turbiedad	Sólidos Disueltos Totales	Caudal	Temperatura	pH	Oxígeno Disuelto	Nitratos
Conductividad	-0,40								
Turbiedad	-0,40	0,60							
Sólidos Disueltos Totales	0,40	0,40	-0,40						
Caudal	0,60	0,40	0,40	0,40					
Temperatura	-0,40	-0,40	0,40	-1,00**	-0,40				
Ph	0,95	-0,32	-0,11	0,21	0,74	-0,21			
Oxígeno Disuelto	-0,40	0,60	1,00**	-0,40	0,40	0,40	-0,11		
Nitratos	-0,40	0,60	1,00**	-0,40	0,40	0,40	-0,11	1,00**	
ColiformesTotales	-0,20	0,00	0,80	-0,80	0,20	0,80	0,11	0,80	0,80

Nota: ** Correlación altamente significativa

4.2. Discusión:

Cruz y Salazar (1989), indican que la estructura y organización de las comunidades que integran un ecosistema dirigen la dinámica funcional del mismo y la importancia de cada una de ellas estará de acuerdo a sus aportes a los procesos fundamentales como es la producción primaria total del ecosistema, De ahí, la importancia del presente trabajo de investigación que nos permite tener una referencia de la dinámica poblacional del perifiton que se complementa con otros trabajos realizados en la zona de muestreo, como son del fitoplancton ejecutado por *Plasencia (2010)*.

Es necesario indicar que, en la mayoría de proyectos de investigación sobre evaluación de ecosistemas acuáticos, específicamente en Cajamarca, los parámetros químicos del agua han sido determinantes en la calificación de la calidad de los cuerpos de agua dulce. En la actualidad, la mayoría de los países de la comunidad europea, le han dado el reconocimiento y uso de diferentes grupos taxonómicos, entre los que destacan las diatomeas, que son considerados en algunos casos como elementos definatorios y/o complementarios en la determinación de la calidad biológica de los ambientes acuáticos.

Por ello, las diatomeas se están utilizando con gran eficiencia para supervisar el cambio ambiental, ya que responden rápida y sensiblemente a cambios físicos, químicos y biológicos que se producen en su medio (*Lopez y Beltrone, 2011*). En el presente trabajo las Crisofitas presentan una riqueza de 60,61% y una dominancia relativa de 76,51% y un IVI de 155,27, siendo la *Navicula sp* la especie representativa. López y Beltrone, 2011, mencionan que el conocimiento en general de las diatomeas en México es muy pobre, más aún en aguas continentales, resulta frecuente que cuando se emprende un estudio sobre ellas resulte útil y novedoso no sólo para la entidad en la que se realice, sino para el país en general, en su fase cuantitativa de su trabajo de investigación “LAS DIATOMEAS como indicadores de la calidad ecológica de los oasis de Baja California Sur” registraron que sólo ocho taxones contribuyeron con aproximadamente 70% de las valvas contabilizadas, sobresaliendo *Denticula kuetzingii* con 36%, *Achnantheidium minutissimum* con 13%, *Nitzschia amphibia* con 6% y *Achnantheidium exiguum* con 6% y a pesar de que no pudieron determinar con precisión cuáles especies podrían utilizarse como bioindicadores, por el comportamiento en términos de abundancia relativa y frecuencia de aparición de las especies antes mencionadas, concluyeron que es probable que éstas puedan ser las indicadas. Tomando en cuenta los resultados obtenidos en la presente tesis, las especies que sobresalieron fueron *Navicula sp.* (22,97%), *Frustulia sp.* (3,26%), y *Synedra sp* (3,15%), en diatomeas, y en Clorofitas fueron *Botryococcus braunii* (10,81%), *Spirogyra sp.* (9,60 %) y en Cianofitas *Microcystis aeruginosa* (10,83%) podríamos concluir que estas son las especies que podrían ser consideradas como bioindicadores de la calidad del agua en los ríos Porcón, Grande y Mashcón.

Las características hidrológicas, físicas y químicas, así como los disturbios y la heterogeneidad espacial y temporal en los ríos, definen la distribución, la dispersión, la

colonización y la respuesta de los organismos al medio (Martínez & Donato, 2003). Zapata y Donato, 2005, en su trabajo “Cambios diarios de las algas perifíticas y su relación con la velocidad de corriente en un río tropical de montaña (río Tota – Colombia), establecieron que la variable con mayor explicación de estos cambios es la velocidad de la corriente (20,6 %) junto con el nitrógeno total (20,6 %) y el pH (14,7%). En el presente trabajo de investigación estos parámetros, de acuerdo al rho de Spearman tienen una correlación significativa en la mayoría de estaciones de muestreo lo que indica que estos parámetros tienen una influencia en la dinámica poblacional del perifiton.

Potapova y Charles (2003), mencionan que la comunidad de algas bénticas se emplea como monitor de los cambios ambientales ocasionados por la variación en la conductividad; las especies que la conforman, en especial las diatomeas, presentan un rango amplio de respuesta a la composición y al contenido iónico. De acuerdo a los resultados obtenidos se demuestra que la variación de la población del perifiton en todas las estaciones de muestreo fue significativa con relación a la conductividad. *Pero, Biggs (2000)*, indica que se debe tener en cuenta que en las aguas continentales la conductividad depende de la litología de la cuenca, el clima, la vegetación y los factores antropogénicos. Sin embargo, su uso como parámetro de evaluación es limitado, y debe considerarse con la concentración de nutrientes, que en nuestro caso tuvo una correlación significativa entre ellos (conductividad y nitratos) y ambos con la densidad total del perifiton. Además, el nitrato sobrepasó el ECA en el mes de octubre de 2009 en dos estaciones de muestreo (RG2 y RM), según Pacheco, 2002, este nutriente se deriva de dos fuentes (naturales y artificiales), la primera se origina por la descomposición de materia orgánica y la segunda por los fertilizantes nitrogenados

utilizados en los cultivos agrícolas, teniendo en cuenta la presencia de los géneros de *Anabaena sp.*, *Microcystis aeruginosa* y *Botryococcus braunii* podemos afirmar que las aguas de los ríos Grande, Porcón y Mashcón son ricas en materia orgánica, Por lo que, se determina como aguas medianamente contaminadas de acuerdo al nivel trófico del agua en relación al **Índice de Diversidad de Shannon – Weaver** .

Weiss et al (2010), citado por *MD & Guiry (2018)*, menciona que *Botryococcus braunii* tiene capacidades biosintéticas de hidrocarburos líquidos y, por lo tanto, es una fuente prometedora de combustibles de hidrocarburos renovables. La presencia de esta Clorofita en los ríos evaluados podría ser tema de un posterior trabajo de investigación con fines de tratamiento terciario de aguas residuales y la producción de hidrocarburos.

Stevenson, 1996, menciona que el incremento de la velocidad del agua y arrastre de sedimento (turbiedad), el perifiton tendría poco desarrollo, que se confirma de acuerdo a los resultados obtenidos entre la densidad poblacional en la mayoría de estaciones de muestreo que tienen una correlación negativa. Teniendo en cuenta los resultados de rho de Spearman, se puede determinar que existe una correlación significativa entre la densidad total del perifiton y la conductividad, Sólidos disueltos, temperatura y el oxígeno disuelto en la estación de muestreo RG1; en la estación RG2 existe una correlación entre la densidad total con la conductividad, caudal, oxígeno disuelto y nitratos: en la estación RP1 con el caudal y el oxígeno disuelto; en RP2 con sólidos disueltos, pH y nitratos; en RM entre caudal y pH. Por lo que, podemos indicar que la calidad del agua influye en la dinámica poblacional del perifiton.

Aunque, los resultados obtenidos corresponden al periodo de octubre-2008 a octubre-2009, la presente tesis contribuirá a establecer, ratificar y promover nuevas bases para

evaluar la calidad de un cuerpo de agua a través de algunas especies del perifiton, consideradas como bioindicadores, y aportará una nueva herramienta para homologar y consensuar los protocolos de trabajo en el ámbito de nuestra Región. Además, será fuente de datos de interés sobre comunidades del perifiton de los ríos Grande, Porcón y Mashcón en Cajamarca.

Dada la importancia de los ríos Grande y Porcón para Cajamarca debido que en estos dos ríos se ubican la zona de captación de agua para abastecer de agua potable a la ciudad, es que se plantea el proyecto “Evaluación limnológica y de los niveles de concentración de metales pesados de las aguas y sedimentos de los ríos Grande y Porcón y del agua potable de la planta el Milagro de Cajamarca”

CAPITULO V

CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones:

Se determinaron 33 morfoespecies de algas perifíticas en la zona de estudio, siendo la Chrysophyta la división que presentó el 60,61% (20 especies) del total de las especies identificadas, seguido por Chlorophytas con el 24,24% (08 especies), Cyanophyta con el 12,12% (04 especies) y Euglenophyta (01 especie)

El mayor número de especies, en la estación RG1 y RG2, se registró en el mes de marzo 2008 y marzo – junio 2009, respectivamente; destacándose *Navicula sp.* la de mayor abundancia en la distribución espacial.

El mayor número de especies en RP1, se registró en el mes de marzo- 2009, destacando *Botryococcus braunii*, *Microcystis aeruginosa* y *Navicula sp.* las de mayor abundancia en la distribución espacial.

El mayor número de especies en RP2, se registró en el mes de marzo-2009, destacándose *Navicula sp.*, *Frustulia sp.*, *Microcystis aeruginosa* y *Botryococcus braunii* las de mayor abundancia en la distribución espacial.

El mayor número de especies en RM, se registró en el mes de octubre-2008, destacándose *Navicula sp.* y *Botryococcus braunii* las de mayor abundancia en la distribución espacial.

De los parámetros químicos que sobrepasaron los límites de los ECAS fueron: los nitratos, en las estaciones de muestreo RG2 y RM, en el mes de octubre 2008; el arsénico, en el mismo mes, en todas las estaciones de muestreo y el cadmio en octubre 2008 y marzo 2009, incremento no significativo.

Las especies que sobresalieron fueron *Navicula sp.* (22,97%), *Frustulia sp.* (3,26%), y *Synedra sp.* (3,15%), en diatomeas, y en Clorofitas fueron *Botryococcus braunii* (10,81%), *Spirogyra sp.* (9,60 %) y en Cianofitas *Microcystis aeruginosa* (10,83%). Por lo tanto, estas son las especies que podrían ser consideradas como bioindicadores de la calidad del agua en los ríos Porcón, Grande y Mashcón.

Los coliformes totales en octubre 2008 y junio 2009 sobrepasaron el ECA, y de acuerdo a los criterios de la OMS en la clasificación de las aguas, esta cuenca estaría considerada como de calidad bacteriológica que requiere la aplicación de métodos habituales de tratamiento como de coagulación y filtración

Las aguas de los ríos Grande, Porcón y Mashcón son aguas medianamente contaminadas, principalmente en materia orgánica, de acuerdo al índice de diversidad de Shannon - Weaver.

De acuerdo al índice de correlación de Spearman existe una estrecha correlación entre la dinámica poblacional de perifiton y la calidad del agua.

Los resultados del presente trabajo se obtuvieron en el periodo de octubre-2008 a octubre-2009, pero son aplicables para el uso de bioindicadores y relacionar la calidad del agua con la dinámica poblacional.

Se elaborará una propuesta para monitoreo de la calidad del agua en los ríos Grande, Porcón y del agua potable de la PTAP “El Milagro”

Propuesta del Tesista del proyecto para monitoreo de la calidad del agua en los ríos Grande,
Porcón y del agua potable de la PTAP “El Milagro”

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE POSGRADO**

LINEAMIENTOS GENERAL

**“EVALUACIÓN LIMNOLÓGICA Y DE LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE
METALES PESADOS DE LAS AGUAS Y SEDIMENTOS DE LOS RÍOS
GRANDE Y PORCÓN Y DEL AGUA POTABLE DE LA PLANTA EL MILAGRO
DE CAJAMARCA”**

1.0. DENOMINACIÓN DEL PROYECTO:

“EVALUACIÓN LIMNOLÓGICA Y DE LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS DE LAS AGUAS Y SEDIMENTOS DE LOS RÍOS GRANDE Y PORCÓN Y DEL AGUA POTABLE DE LA PLANTA EL MILAGRO DE CAJAMARCA”

2.0. ÁREA DE CONOCIMIENTO DEL PROYECTO:

Ciencias Ambientales y Minería

3.0. TIPO DE INVESTIGACIÓN: Básica

4.0. INVESTIGADORES: (Multidisciplinario)

4.1. INVESTIGADORES RESPONSABLES ESCUELA DE POSGRADO

4.2. COINVESTIGADORES:

Departamento de Ciencias Biológicas

Departamento de Ciencias Químicas y Dinámicas

5.0. ENUNCIADO DEL PROBLEMA:

La generación de sustancias contaminantes por efecto de las actividades antrópicas, principalmente las industriales, se está incrementando en forma acelerada, causando diferentes alteraciones en los ecosistemas y seres vivos.

En los últimos años la disponibilidad de agua dulce viene siendo un tema preocupante porque este importante recurso natural se ha transformado no solamente en un recurso básico para la vida, sino también que se torna limitante para el normal desarrollo de seres vivientes. En países como el nuestro, donde las precipitaciones son estacionales y el mar frío frente a nuestras costas determina una suerte de clima desértico (neotropical), debe tenerse sumo cuidado en la disponibilidad de agua dulce para beber y para todo proceso productivo.

Toda presencia humana alrededor de un cuerpo de agua, ejerce una presión sobre la calidad de esta. Por lo tanto, si consideramos que en los últimos años se ha incrementado en Cajamarca la actividad minera y teniendo en cuenta que en general los centros mineros se ubican en la parte alta de la cordillera, zona de nacimiento de los ríos que recorren las diferentes cuencas, permitiendo el desarrollo de las diferentes formas de vida; se hace imprescindible el monitoreo de la calidad del agua, expresada en metales pesados y metaloides, tóxicos no solo para el hombre, sino para los ecosistemas en general.

En Cajamarca se encuentra en operación empresas mineras de gran envergadura dedicadas a la extracción de oro, una de ellas se ubica en zonas que son nacientes de los ríos Grande y Porcón, ríos que proporcionan agua a los pobladores de Cajamarca y forman parte de la cuenca del Río Cajamarquino. A la fecha existe duda de la calidad del agua que usan los

cajamarquinos, principalmente porque no hay instituciones confiables en la evaluación de contaminantes. La Universidad Nacional de Cajamarca, a través de su Escuela de Postgrado, debe tomar este reto de ofrecer a la comunidad en general, resultados confiables de la calidad de agua que utiliza para beber, así como para su uso en agricultura y ganadería; actividades económicas extendidas en la región.

Todo estudio de la calidad de agua se ocupa en dos clases de procesos: Los procesos que determinan la ocurrencia de las propiedades físicas, químicas y biológicas en el espacio y tiempo que en general se dan a lo largo de cualquier cuenca hidrográfica; y los procesos continuos bioenergéticos que abarcan la dinámica entre subsistemas y que estarán incursos en cualquier medida del acoplamiento entre ellos. Generalmente los primeros procesos tienen que ser descritos mediante muestreos de campo. Los segundos son por lo general objetos de estudio de laboratorio y raramente pueden ser medidos satisfactoriamente si no se dispone de facilidades de laboratorio y equipos (Dickie y Valdivia, 1981).

La flora acuática, referente al fitoplancton y perifiton, de los ambientes acuáticos constituye el índice de fertilidad por representar el primer eslabón de la cadena alimenticia y energética de una comunidad acuática.

El comportamiento de cualquier cuerpo de agua lótico o léntico está determinado por su productividad. Los estudios limnológicos son importantes para determinar si la calidad de agua es óptima para ser usada en cualquier actividad humana: explotación piscícola, agrícola, industrial y consumo humano directo.

Todo lo anteriormente expuesto nos permite plantear la siguiente interrogante:

¿Cuáles son las características limnológicas y los niveles de concentración de metales pesados de las aguas y sedimentos de los ríos Grande y Porcón y del agua potable de la Planta El Milagro de Cajamarca?

6.0. JUSTIFICACIÓN:

Existen en nuestro país muchas ciudades que presentan en este momento condiciones ambientales bastantes deterioradas por efectos de la actividad humana, especialmente la minera a las que se suman otras actividades industriales. Muchos de estos lugares tienen problemas ambientales que han comenzado desde hace pocos años como es el caso de la minería aurífera en Cajamarca. Sin embargo, aunque el deterioro no ha podido ser cuantificado hasta el momento según los datos históricos o algunos estudios eventuales, muchos de estos lugares de gran importancia por la población que sostienen o por actividades humanas tradicionales, se han visto trastocadas por las actividades económicas antes enunciadas.

Los últimos años se ha venido discutiendo el menoscabo de la calidad de agua que recibe Cajamarca ciudad, de la parte alta de la cuenca, sin que, hasta la fecha, organización alguna haya podido ofrecer datos confiables a la población. Se tiene quejas de los pobladores de la ciudad y del área rural de cambios dramáticos en la calidad de agua, lo cual no ha podido aún monitorearse sistemáticamente.

En el presente estudio se han considerado analizar los principales parámetros limnológicos y metales pesados en aguas de los ríos Grande y Porcón, principales tributarios de agua potable para más de doscientos mil habitantes de la ciudad de Cajamarca y que además sostienen las actividades productivas de miles de campesinos pertenecientes a diversas comunidades. Asimismo, se plantea análisis básicos de parámetros relacionados con la salud humana, de la red de agua en la ciudad de Cajamarca, que se origina en la Planta El Milagro. Con el fin de generar una propuesta de un Plan de Seguridad del Agua (PSA). Es necesario, que la Universidad Nacional de Cajamarca cuente con implementación de modernos equipos, frente al reto de la industrialización en la región, lo que por su naturaleza genera diferentes tipos de contaminantes. La UNC cuenta con los recursos humanos altamente capacitados, los que serán capaces de evaluar nuestros recursos, determinar el grado de contaminación y programar alternativas de solución.

Se busca ofrecer un laboratorio moderno para ejecución de tesis y proyectos de investigación desarrollados por los alumnos, tanto de pregrado y postgrado, de la UNC. A mediano plazo, se espera dar servicio de análisis de aguas suelos y organismos vivos a la comunidad. Por otro lado, a mediano plazo, se busca también la certificación nacional e internacional del laboratorio a implementar.

Los datos con que se cuenta actualmente sobre la biota acuática y de parámetros físicos, químicos y biológicos de la cuenca del Río Mashcón son aún insuficientes para contar con una línea de base y determinar su calidad, por ello se ha creído conveniente realizar un estudio limnológico en esta cuenca importante por su aporte significativo de agua para consumo humano y demás actividades del poblador cajamarquino. Por otro lado, es necesario que la Universidad Nacional de Cajamarca, en su aporte a la comunidad, contribuya a monitorear, no solo la calidad del agua que alimenta el valle, sino las mismas aguas que bebe la población.

7.0. OBJETIVOS:

Los objetivos del presente trabajo de investigación son:

OBJETIVO GENERAL

Determinar la calidad de agua y sedimentos de los ríos Grande y Porcón y del agua potable originada en la Planta El Milagro.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar los niveles de concentración de metales pesados de las aguas de los ríos Grande y Porcón y del agua potable producida por la planta de tratamiento de agua El Milagro.

Determinar temperatura, pH, caudal, turbidez, alcalinidad, cianuro, conductividad, dureza total, dureza cálcica, sólidos totales, sólidos disueltos totales, cloruro, amoníaco, nitrito, nitrato, sulfato, y sílice de las aguas de los ríos Grande y Porcón y de las aguas de la Planta El Milagro.

Comparar los resultados de concentración de los metales pesados con los valores establecidos por la legislación peruana e internacional.

Determinar la composición específica, distribución, biomasa y cambios de composición y abundancia del fitoplancton en el área de estudio.
Determinar la composición específica, distribución, biomasa y cambios de composición y abundancia del perifiton en el área de estudio.
Evaluación de invertebrados macrobénticos.
Determinación de NMP de Coliformes totales y termotolerantes.
Determinación de quistes y huevos de parásitos humanos.
Determinar la cobertura vegetal en el área de estudio.
Determinar la flora y fauna acuática macroscópica.
Determinar las actividades que contaminan el agua de los ríos Grande, Porcón y Mashcón.
Proponer un Plan de Seguridad del Agua (PSA)

8.0. MARCO TEÓRICO:

Generalidades:

Así haya emisiones “legales” hacia las aguas libres, por parte de las diversas industrias, existe el riesgo de tener sustancias extrañas en el ambiente, que alteran la calidad de las aguas, amenazando la estabilidad de los ecosistemas. Las aguas de origen industrial poseen sustancias peligrosas, algunas de las cuales son carcinógenas, mutágenas o teratógenas. Por este motivo, es necesario conocer la calidad de las aguas industriales, antes de cualquier uso (Miller, 1992).

La presencia de actividades industriales en la cabecera de cuenca, donde se generan las aguas que alimentan la planta El Milagro, de donde beben 100 mil habitantes de la ciudad de Cajamarca; el uso mismo que se da, como aguas crudas por casi 15 mil campesinos que la utilizan casi sin tratamiento alguno, así como su empleo en actividades agropecuarias, inducen a conclusiones preliminares en el sentido de afectar la calidad de este importante recurso natural.

A pesar de la existencia de metales traza, que actúan como oligoelementos, como es el caso de hierro, cobre, manganeso, molibdeno, cobalto, zinc, etc; hay elementos que son liberados en procesos industriales e incorporados al ambiente natural, cuya toxicidad es indudable. Se ha asociado efectos ambientales adversos en los ecosistemas por metales como plomo, mercurio, cadmio, etc. y aún en altas concentraciones de oligoelementos, que en elevada ocurrencia pierden sus propiedades benéficas (Rand & Petrocelli, 1985)

La dinámica de los metales pesados en los ambientes acuáticos es muy complicada. Algunos metales, como el cromo, deja de ser oligoelemento al cambiar a valencia +6, volviéndose como agente causante de cáncer. Algunos metales forman complejos, como mercurio, pasando por diversas fases de formación de sales y otros compuestos tóxicos. Para el caso de arsénico, un metaloide de gran preocupación ambiental, su liberación es peligrosa, si las concentraciones que entran a las cadenas alimenticias son altas (Laws, 1991).

Las variables a evaluar son parámetros limnológicos y metales pesados.

Análisis de metales pesados y cianuro en el área de estudio:

Se plantea análisis de aluminio, arsénico, cadmio, cromo, cobre, hierro, manganeso, mercurio, plata, plomo, selenio, talio, uranio y zinc, en esta etapa del estudio, en las cuencas de los ríos Grande y Porcón. Además se monitoreará cianuro, preferentemente en la parte alta de las micro cuencas en estudio.

Toma de muestras de agua:

Se seguirán protocolos descritos, para lo cual se colectará las muestras en frascos de polietileno previamente esterilizadas y tratadas convenientemente. Las muestras se conservarán con pH bajo, agregando 2 mL de ácido nítrico o sulfúrico con pureza 99.99 %. Posteriormente se almacenarán a baja temperatura para su transporte al laboratorio.

Análisis en laboratorio

Para análisis de metales pesados, algunos requieren previa digestión con ácido o álcali fuerte. Esto se hará inmediatamente después de la llegada de la toma de muestras. Caso contrario, después de haber almacenado las muestras en la refrigeradora. Metales como plomo o mercurio requieren horno de grafito previamente, antes de pasar al espectrofotómetro de absorción atómica.

9.0 MATERIALES Y METODOLOGÍA

Para la ejecución del presente trabajo de investigación se utilizará los siguientes materiales y equipos:

Materiales:

Material experimental:

- Muestras de agua de los ríos Grande y Porcón
- Muestras de agua potable producida por la Planta de tratamiento El Milagro

Equipos, materiales e instrumentos de laboratorio/campo

Equipo e Instrumental:

La relación de equipos e instrumental estará de acuerdo a las determinaciones que el grupo de trabajo lo determine.

Parámetros limnológicos a evaluar:

Parámetros físicos:

Temperatura del aire y agua:

Los datos de temperatura del aire se tomarán al inicio de cada muestreo (siempre a la misma hora) con la ayuda de 01 termómetro de canastilla, con precisión de 0,5 °C.

Transparencia y turbidez del agua:

En la fase de campo se realizará con la ayuda de un disco de Secchi y en laboratorio con la ayuda de un espectrofotómetro.

Nubosidad:

Se determinará según el método de Octavas

Parámetros Químicos de importancia en Limnología:

Se determinarán: Oxígeno disuelto, anhídrido carbónico libre, alcalinidad total, dureza total, fosfatos, nitratos, nitritos, silicatos, sulfatos y cloruros.

Parámetros Biológicos:**Análisis de fitoplancton y perifiton:**

Se ejecutara de acuerdo a las normas de recolección de muestras; se harán análisis cualitativos y cuantitativos.

a) Colección de las muestras:

Se hará con una periodicidad mensual.

b) Análisis cualitativo:

Se identificarán grupos principales con la ayuda de un microscopio de luz y claves taxonómicas.

c) Análisis cuantitativo:

Se utilizará el método de la cámara de Neubauer. Para ello, la muestra obtenida se conservará en formalina al 5% y luego se realizará el conteo respectivo en el laboratorio

d) Macrofauna ribereña:

- Los mamíferos menores son capturados mediante trampas con compuerta activada en forma automática
- Las aves son capturados con redes de neblina de 12 m x 4 m
- Las culebras y lagartijas, mediante lazos corredizos o directamente con la mano, al igual que los anfibios. Todos los ejemplares capturados son pesados, medidos, fotografiados y registrados, in situ, luego son liberados, siempre evitando ocasionarles daños físicos
- Los datos registrados son procesados estadísticamente para establecer su estado de conservación, mediante los parámetros cualitativos como: común, poco común, raro, no registrado

Adicional se harán evaluaciones de bentos, flora ribereña.

Análisis del NMP de coliformes totales y termotolerantes:

Utilizando frascos esterilizados de un litro de capacidad, se recogerán muestras en cada estación de muestreo y luego serán trasladadas al laboratorio para el respectivo procesamiento.

Con el agua potable se determinará la presencia de *Escherichia coli* a través de los métodos del número más probable (NMP) y de filtración por membrana.

Metodología para metales pesados:

Para determinar los niveles de concentración de metales pesados, así como de otros parámetros físico químicos, se utilizarán los métodos de análisis de la APHA - AWWA –

WEF y las muestras de agua se recolectarán cada quince días, midiendo in situ la temperatura, pH y caudal, en cada uno de los puntos de muestreo, previamente determinados. Para el caso de análisis limnológicos, los muestreos se realizarán mensualmente. Los métodos limnológicos, se describen seguidamente.

Determinación de actividades contaminantes en la zona:

Se coordinará con los diferentes sectores (Salud, agricultura, minería, senasa, etc) para determinar si existe control de los insumos utilizados en las diferentes actividades y luego se aplicará encuestas a la población.

10.0 RESULTADOS PREVISTOS

Conocer la calidad de agua proveniente de las cuencas y agua potable en estudio.
Implementar un laboratorio de alta calidad en la Universidad Nacional de Cajamarca.
Capacitar recursos humanos en el manejo de equipos de última generación

11.0 IMPACTOS PREVISTOS

Mejora de la calidad de agua potable proveniente de la planta El Milagro al plantear un Plan de Seguridad del Agua (PSA)

12.0 BENEFICIARIOS PREVISTOS

Los primeros beneficiarios serán pobladores de las cuencas de los ríos Grande y Porcón, así como los de la ciudad de Cajamarca. Adicionalmente las poblaciones de las provincias de Cajamarca, bajo el ámbito de influencia del presente proyecto (Cajamarca, San Marcos, Cajabamba).

13.0 DIFUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados serán de acceso a toda la población y serán expuestos en eventos públicos local y regionalmente

LISTA DE REFERENCIAS

- Agustí, S; Duarte, M; Canfield Junior, D. 1990. Phytoplankton abundance in Florida lakes: evidence for the frequent lack of nutrient limitation. *Limnology and Oceanography* 35(1):181-188.
- Aldave, P. 1989. Algas. Editorial Libertad E.I.R.L. Primera Edición. Trujillo. 458 p.
- Allan, D. 1995. Stream Ecology. Structure and function of running waters. Chapman & Hall. London. 388 p.
- American Public Health Association (APHA). 2003. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association. Washington. 1193 p.
- Azabache, L. 2005. "Identificación del fitoplancton y del estado situacional de su comunidad en la Cuenca del río Mashcón". Tesis. Cajamarca-Perú. 97 p.
- Bazán, H. et al. 1995. Biodiversidad y ecología de las áreas bajo denuncia de Minera Yanacocha, Cajamarca. Perú.
- Bazán, H. et al. 1998. Caracterización ecológica y biodiversidad en el área de concesión de Minas Conga S.R. Ltda. Cajamarca, Perú.
- Biggs, B. 2000. Stream Periphyton Monitoring Manual. NIWA, P.O. Box 8602, Christchurch, New Zealand.
- Biggs, B. 1996. Patterns in benthic algae of streams. Pp. 31-56. in: RJ Stenvenson; ML Bothwell & RL Lowe (eds.). *Algal Ecology. Freshwater Benthic Ecosystems*. Academic Press. New York. 753 p.
- Biggs, B; Smith, R. 2002. Taxonomic richness of stream benthic algae: effects of flood disturbance and nutrients. *Limnology and Oceanography* 47(4):1175-1186.
- Bicudo, D. 1990. Considerações sobre metodologias de contagem de algas do perifiton. *Acta Limnol. Brasil* 3:459-475.

- Casco, M. y 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(1-2): 115-134.
- Charles, D. 1996. Use of algae for monitoring rivers in the United States: Some examples. En: B. A. Whitton y E. Rott (eds.). *Use of Algae for Monitoring Rivers II*, pp. 109-118. Institut für Botanik, Universität Innsbruck, Innsbruck, Austria.
- Chételat, J; Pick. F; Morin, A; Hamilton, P. 1999. Periphyton biomass and community composition in rivers of different nutrient. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 56(4): 560-569.
- Cruz, V. & Salazar, P. 1989. Biomasa y producción primaria del Perifiton en una sábana inundable de Venezuela. Instituto de zoología tropical. Universidad Central de Venezuela. Caracas. *Rrv. Hydrobiol. frop* 22 (,3). Pág. 213-222.
- Cox, E. 1991. What is the basis for using diatoms as monitors of river quality?, En. B. Whitton, E. Rott y G. Friedrich (eds.). *Use of algae for monitoring rivers*, pp. 33-41. Univ. Innsbruck. Austria.
- Deza, N. 1977. Estructura de las Comunidades Principales del Zooplancton en el Reservorio Tinajones, Lambayeque. Tesis. Bachiller CC. Biológicas. UNT. 30 p.
- Deza, N; Lara, D; Plasencia, C; Rodriguez, V. 2006 Informe sobre derrame de petróleo por Gold Fields La Cima.
- Díaz- Quirós, C;. Rivera- Rondón, C. 2004. Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. *Caldasia* 26 (2): 381-394.
- Dodds, W; Smith, V; Lohman, K.2002. Nitrogen and phosphorus relationships to benthic algal biomass in temperate streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 59(5): 865-874.

- Franco, J. et al. 1985. Manual de Ecología. Editorial Trillas
- Gómez, N; Licursi, M. 2001. The Pampean Diatom Index (DPI) for assessment of rivers and streams in Argentina. *Aquatic Ecology*. 35:173-191.
- González, A. 1988. El plancton de las aguas continentales. Secretaría General de la OEA. Programa Regional de Desarrollo y Tecnología, Washington, D.C. 130 p.
- Gualtero, Diana 2007. Composición y Abundancia de las algas bentónicas de cinco sistemas loticos de Puerto Rico. Tesis Maestría en Biología. Universidad de Puerto Rico. Recinto Universitario de Mayagüez. 124 p.
- Harding, W; Archibald, C; Taylor, J. 2005. The relevance of diatoms for water quality assessment South Africa. *Water SA* 31(1): 41-46.
- Hauer, FR; Lamberti, GA. 1996. Methods in streams ecology. Academic Press, USA.
- Hegewald, E; Aldave, P. 1973. Report in the algological excursions in Peru. Abteilung für algenforschung and algentechnologie, Dortmund-Germany. U.N.T. Dpto. de Ciencias Biológicas, Trujillo. Perú.
- Hering, D; Johnson, R; Kramm, S; Schmutz, S; Szoszkiewicz, K; Verdonshot, PFM. 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.
- INGETEC S.A. 2003. Auditoría Ambiental y Evaluaciones Ambientales de las Operaciones de la Minera Yanacocha en Cajamarca-Perú. Inf. de Auditoría y Evaluación Ambiental. Vol. 1, de 1. Revisión 1. Doc. N° AAMY/D-04.
- Kelly, M.O. 2000. Identification of common benthic diatoms in rivers. *Field Studies* 9, 583-700.

- Kelly, M; Penny, C; Whitton, B. 1995. Comparative performance of benthic diatom indices to assess river water quality. *Hydrobiologia* 302:179-188.
- Liboriussen, L. 2003. Production, regulation and ecophysiology of periphyton in shallow freshwater lakes. Tesis PhD. National Environmental Research Institute Ministry of the Environment. University of Aarhus, Denmark.
- López Fuerte, F. O. y D. A. Siqueiros Beltrones. 2011. Diatomeas como indicadores de la calidad ecológica de los oasis de Baja California Sur, México. *CONABIO. Biodiversitas*, 99:8-11
- Lowe, R; Golladay, S; Webster, J. 1986. Periphyton response to nutrient manipulation in streams training clearcut and forested watersheds. *Journal of North American Benthological Society* 5(3):221-229.
- Marcus, M. 1980. Periphytic community response to chronic nutrient enrichment by a reservoir discharge. *Ecology* 6(2):387-399.
- Martín, G, Alcalá, E, Solá, C, Plazuelo, Burgos, M^a D, Reyes, E y Toja, J. 2004. Efecto de la contaminación minera sobre el perifiton del río Guadamar Limnetica 23(3-4): 315-330 (2004). Asociación Española de Limnología, Madrid. Spain. ISSN: 0213-8409
- Martínez, L; Donato, J. 2003. Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical. Boyacá, Colombia. *Caldasia* 25(2):337-354.
- Monasterio, M. 1980. Estudios ecológicos en los páramos andinos. Ediciones Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- Needham, J; Needham, P. 1978. Guía para el estudio de los seres vivos de las aguas dulces. ed. Reverté S.A. España. 131 p.

- Niemi, G; McDonald, M. 2004. Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. ProQuest Biology Journals.
- ONERN. 1975. Inventario, evaluación y uso racional de los recursos naturales de la zona norte del departamento de Cajamarca. Vol. I y II. Oficina Nacional de Recursos Naturales del Perú. Lima.
- Pajares, C. 2004. Impacto de la Actividad Humana y Agropecuaria en la Calidad Sanitaria del Agua del Río Porcón (Cajamarca). Perú. Tesis Maestría en Ciencias. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Patrick, R. 1966. The Catherwood Foundation Peruvian Amazon Expedition. *Limnological and Systematic Studies*. Monog. Acad. Nat. Philadelphia 14: 1 – 495.
- Pizarro, H. M. Alemanni. 2005. Variables físico-químicas del agua y su influencia en la biomasa del perifiton en un tramo inferior del Río Luján (Provincia de Buenos Aires). *Asociación Argentina de Ecología*. *Ecologia Austral* 15: 73-78. Argentina.
- Plasencia C. 2010. Relación entre la calidad del agua y la dinámica poblacional del Fitoplancton de los ríos Grande y Porcón – Cajamarca durante el periodo 2008 – 2009. Tesis para optar el Grado de Doctor en Ciencias. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Potapova, M. y Charles, D.F. 2003. Distribution of benthic diatoms in U.S. rivers in relation to conductivity and ionic composition. *Freshwater Biology* 48:1311-1328.
- Roldán, P. G. 1992. *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Silva-Benavides, M., Sili, C. & Torzillom, G. 2008. Cyanoprocariota y microalgas (Chlorophyceae y Bacillariophyceae) bentónicas dominantes en ríos de Costa Rica. *Revista Biología. Tropical* 56(4), 221-235.

- Sladeckova, A. 1962. Limnological investigation methods for the periphyton community. *Botanical Review* 28(2): 286 – 326.
- Stevenson, R. 1996. The stimulation and drag of current. En J. Stevenson, M. Bothwell R. Lowe (eds.). *Algal ecology: freshwater benthic ecosystem*, 321-336 pp. Academic Press, California, USA.
- Sociedad Española de Ficología. 2006. Algas. *Boletín de la Sociedad Española de Ficología* N° 36. ISSN: 1695-8160. Madrid-España.
- Wetzel, R. 1975. *Limnology*. Sanders Publ. Co. Philadelphia. 716 p.
- Whitton, B. 1975. *River Ecology*. University of California Press. Berkeley, California, USA.
- Zapata, A. Donato, J. 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(3-4): 327-338. Madrid. Spain.
- MD Guiry en Guiry, MD & Guiry, GM 2018. *Algae Base*. Publicación electrónica mundial, Universidad Nacional de Irlanda, Galway. <http://www.algaebase.org>; buscado el 10 de marzo de 2018.
- <https://www.interempresas.net/Energia/Articulos/42002-La-biomasa-algal-una-potente-fuente-de-energia.html>, buscado el 11 de marzo de 2018.
- www.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/ENV/envsp/Vol314e.htm, buscado el 13, de mayo de 2016
- <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm#ixzz48UHEeHVJ>, buscado el 12 de mayo de 2016

ANEXOS

ANEXO 1. Decreto supremo 002-2008-MINAM



DECRETO SUPREMO Nº 002 - 2008 - MINAM

APRUEBAN LOS ESTANDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA

CONSIDERANDO:

Que, en el inciso 22 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida; señalando en su artículo 67° que el Estado determina la Política Nacional del Ambiente;

Que, el artículo I del Título Preliminar de la Ley N° 28611- Ley General del Ambiente, establece que toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país;

Que, el artículo 1° de la Ley N° 28817- Ley que establece los plazos para la elaboración y aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y de Límites Máximos Permisibles (LMP) de Contaminación Ambiental, dispuso que la Autoridad Ambiental Nacional culminaría la elaboración y revisión de los ECA y LMP en un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la vigencia de dicha Ley;

Que con fecha 16 de junio de 1999 se instaló el GESTA AGUA, cuya finalidad fue elaborar los Estándares de Calidad Ambiental para Agua - ECA para Agua, estando conformado dicho Grupo de Trabajo por 21 instituciones del sector público, privado y académico, actuando la Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA como Secretaría Técnica;

Que, mediante Oficio N° 8262-2006/DG/DIGESA de fecha 28 de diciembre de 2006, la Dirección General de Salud Ambiental –DIGESA, en coordinación con el Instituto Nacional de Recursos Naturales -INRENA, en calidad de Secretaría Técnica Colegiada del GESTA AGUA, remitió al CONAM, la propuesta de Estándares de Calidad Ambiental-ECA para Agua con la finalidad tramitar su aprobación formal;

Que, por Acta del Grupo de Trabajo GESTA AGUA, de fecha 24 de octubre de 2007, se aprobó la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua;

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013 se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, señalándose su ámbito de competencia sectorial y regulándose su estructura orgánica y funciones, siendo una de sus funciones específicas la de elaborar los Estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles;



Que, contando con la propuesta de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, corresponde aprobarlos mediante Decreto Supremo, conforme a lo establecido en el artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013;

De conformidad con lo dispuesto en la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 y el Decreto Legislativo N° 1013;

En uso de las facultades conferidas por el artículo 118° de la Constitución Política del Perú;

DECRETA:

Artículo 1°.- Aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

Aprobar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, contenidos en el Anexo I del presente Decreto Supremo, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.



Artículo 2°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente.

DISPOSICION COMPLEMENTARIA TRANSITORIA

UNICA.— El Ministerio del Ambiente dictará las normas para la implementación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, como instrumentos para la gestión ambiental por los sectores y niveles de gobierno involucrados en la conservación y aprovechamiento sostenible del recurso agua.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los treinta días del mes de julio del año dos mil ocho.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

ANEXO I
ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA
CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL

PARAMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	A2 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	A3 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	B1 Contacto Primario	B2 Contacto Secundario
		VALOR	VALOR	VALOR	VALOR	VALOR
FISICOS Y QUIMICOS						
Acetres y grasas (MEH)	mg/L	1	1,00	1,00	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,005	0,022	0,022	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	0,08	0,08	0,08	**
Cloruros	mg/L	250	250	250	**	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	15	100	200	sin cambio normal	sin cambio normal
Conductividad	us/cm (e)	1 500	1 600	**	**	**
D.B.O. ₅	mg/L	3	5	10	5	10
D.Q.O.	mg/L	10	20	30	30	50
Dureza	mg/L	500	**	**	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	na	0,5	Ausencia de espuma persistente
Fenoles	mg/L	0,003	0,01	0,1	**	**
Fluoruros	mg/L	1	**	**	**	**
Fósforo Total	mg/L P	0,1	0,15	0,15	**	**
Materiales Flotantes		Ausencia de material flotante	**	**	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos	mg/L N	10	10	10	10	**
Nitritos	mg/L N	1	1	1	1(5)	**
Nitrogeno amoniacal	mg/L N	1,5	2	3,7	**	**
Olor		Acceptable	**	**	Acceptable	**
Oxigeno Disuelto	mg/L	>= 6	>= 5	>= 4	>= 5	>= 4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0	6-9 (2,5)	**
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500	**	**
Sulfatos	mg/L	250	**	**	**	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**	**	0,05	**
Turbiedad	UNT (b)	5	100	**	100	**

UNT Unidad Nefelométrica Turbiedad

** Se entenderá que para esta subcategoría, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente determine.



ANEXO I
ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA
CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable				Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2	
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto Primario	Contacto Secundario	VALOR
INORGANICOS							
Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	0,7	0,7	**
Berilio	mg/L	0,004	0,04	0,04	0,04	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	0,5	0,75	0,5	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,01	0,01	0,01	**
Cobre	mg/L	2	2	2	2	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	1	1	0,3	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,5	0,1	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	0,025	0,025	0,02	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	**
Zinc	mg/L	3	5	5	3	3	**

** Se entenderá que para esta subcategoría, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente determine.



ANEXO I
ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA AGUA
CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección VALOR	A2 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional VALOR	A3 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado VALOR	B1 Contacto Primario VALOR	B2 Contacto Secundario VALOR
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes (44,5 °C)	NMP/100 mL	0	2 000	20 000	200	1 000
Coliformes Totales (35 - 37 °C)	NMP/100 mL	50	3 000	50 000	1 000	4 000
Enterococos fecales	NMP/100 mL	0	0		200	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	0	0		Ausencia	Ausencia
Formas parasitarias	Organismo/Litro	0	0		0	Ausencia
<i>Giardia duodenalis</i>	Organismo/Litro	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Salmonella</i>	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia	0	0
<i>Vibrio Cholerae</i>	Presencia/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

NMP/ 100 mL. Número más probable en 100 mL

** Se entenderá que para esta subcategoría, el parámetro no es relevante, salvo casos específicos que la Autoridad competente determine.



APENDICE

Apéndice A. Análisis cuantitativo del perifiton en las 05 estaciones de muestreo

Tabla 20. Análisis cuantitativo del perifiton en la estación de muestreo RG1

ESPECIES	FECHAS DE MUESTREO				ABUNDANCIA PROMEDIO
	Octubre - 2008.	Marzo - 2009.	Junio - 2009.	Octubre - 2009.	
CYANOPHYTA	27	59	30	18	33.5
<i>Anabaena sp.</i>	8	13	11	13	11.25
<i>Microcystis aeruginosa</i>	19	40	0	0	14.75
<i>Oscillatoria sp.</i>	0	6	19	5	7.50
CHLOROPHYTA	128	61	96	142	106.75
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	19	11	10	5	11.25
<i>Botryococcus braunii</i>	40	0	19	0	14.75
<i>Cosmarium granulatum</i>	13	0	19	40	18.00
<i>Closterium leibleinii</i>	13	21	3	38	18.75
<i>Mougeotia sp.</i>	0	13	19	0	8.00
<i>Oedogonium sp.</i>	24	13	26	8	17.75
<i>Spirogyra sp.</i>	19	3	0	51	18.25
CHRYSOPHYTA	386	625	261	318	397.5
<i>Amphora sp.</i>	5	2	0	6	3.25
<i>Asterionella</i>	6	5	0	0	2.75
<i>Caloneis obtusa</i>	13	5	13	29	15.00
<i>Ceratoneis arcus</i>	0	19	13	22	13.50
<i>Cocconeis sp.</i>	8	13	3	11	8.75
<i>Cymbella ventricosa</i>	6	19	0	24	12.25
<i>Diatoma sp.</i>	0	6	0	6	3.00
<i>Diploneis sp.</i>	5	13	11	21	12.50
<i>Fragilaria crotonensis</i>	19	24	21	2	16.50
<i>Frustulia sp.</i>	19	51	11	30	27.75
<i>Gomphonema sp.</i>	0	5	0	6	2.75
<i>Gomphoneis sp.</i>	0	3	24	10	9.25
<i>Gyrosigma sp.</i>	10	13	11	5	9.75
<i>Melosira itálica</i>	5	13	2	11	7.75
<i>Navicula sp.</i>	191	350	127	80	187.00
<i>Nitzschia sp.</i>	8	6	6	19	9.75
<i>Surirella sp.</i>	6	5	0	6	4.25
<i>Synedra sp.</i>	67	54	5	6	33.00
<i>Tabellaria fenestrata</i>	5	0	0	0	1.25
<i>Pinnularia sp.</i>	13	19	14	24	17.50
TOTAL	541	745	387	478	537.75

Tabla 21. Análisis cuantitativo del perifiton en la estación de muestreo RG2

ESPECIE	FECHAS DE MUESTREO				ABUNDANCIA PROMEDIO
	Octubre - 2008.	Marzo - 2009.	Junio - 2009.	Octubre - 2009.	
CYANOPHYTA	28	80	70	24	50.5
<i>Anabaena sp.</i>	3	16	19	16	13.5
<i>Microcystis aeruginosa</i>	22	51	11	0	21
<i>Oscillatoria sp.</i>	3	13	40	8	16
CHLOROPHYTA	140	127	85	70	105.5
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	13	0	19	8	10
<i>Botryococcus braunii</i>	68	48	2	0	29.5
<i>Cosmarium granulatum</i>	10	19	24	24	19.25
<i>Closterium leibleinii</i>	11	22	21	19	18.25
<i>Oedogonium sp.</i>	19	14	19	19	17.75
<i>Spirogyra sp.</i>	19	24	0	0	10.75
CHRYSOPHYTA	269	461	158	207	273.75
<i>Amphora sp.</i>	2	0	3	5	2.5
<i>Asterionella</i>	0	5	0	0	1.25
<i>Caloneis obtusa</i>	0	3	6	13	5.5
<i>Ceratoneis arcus</i>	5	16	13	0	8.5
<i>Cocconeis sp.</i>	8	33	5	5	12.75
<i>Cymbella ventricosa</i>	11	16	0	0	6.75
<i>Diatoma sp.</i>	0	6	0	3	2.25
<i>Diploneis sp.</i>	3	11	6	0	5
<i>Fragilaria crotonensis</i>	11	19	24	16	17.5
<i>Frustulia sp.</i>	6	45	0	46	24.25
<i>Gomphonema sp.</i>	0	0	5	19	6
<i>Gomphoneis sp.</i>	0	0	3	3	1.5
<i>Gyrosigma sp.</i>	0	3	14	2	4.75
<i>Melosira itálica</i>	0	0	2	2	1
<i>Navicula sp.</i>	167	239	55	56	129.25
<i>Nitzschia sp.</i>	5	6	14	13	9.5
<i>Surirella sp.</i>	8	19	2	2	7.75
<i>Synedra sp.</i>	40	16	3	14	18.25
<i>Tabellaria fenestrata</i>	3	24	3	3	8.25
<i>Pinnularia sp.</i>	0	0	0	5	1.25
TOTAL	437	668	313	301	429.75

Tabla 22. Análisis cuantitativo del perifiton en la estación de muestreo RP1

ESPECIE	FECHAS DE MUESTREO				ABUNDANCIA PROMEDIO
	Octubre - 2008.	Marzo - 2009.	Junio - 2009.	Octubre - 2009.	
CYANOPHYTA	145	133	149	151	144.50
<i>Anabaena sp.</i>	50	34	64	95	60.75
<i>Microcystis aeruginosa</i>	90	80	85	56	77.75
<i>Oscillatoria sp.</i>	5	19	0	0	6
EUGLENOPHYTA	0	6	0	0	1.50
<i>Trachelomonas sp.</i>	0	6	0	0	1.5
CHLOROPHYTA	138	151	81	162	133.00
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	0	0	0	10	2.5
<i>Botryococcus braunii</i>	135	93	45	38	77.75
<i>Chlamydomonas sp.</i>	0	13	6	19	9.5
<i>Spirogyra sp.</i>	3	45	30	95	43.25
CHRYSOPHYTA	122	176	97	97	123.00
<i>Amphora sp.</i>	2	2	0	0	1
<i>Asterionella</i>	3	3	0	0	1.5
<i>Cymbella ventricosa</i>	5	0	0	0	1.25
<i>Diatoma sp.</i>	0	5	0	0	1.25
<i>Diploneis sp.</i>	0	19	0	0	4.75
<i>Frustulia sp.</i>	10	4	3	0	4.25
<i>Gomphonema sp.</i>	6	37	0	0	10.75
<i>Gomphoneis sp.</i>	0	3	3	2	2
<i>Gyrosigma sp.</i>	0	25	0	0	6.25
<i>Navicula sp.</i>	96	78	88	92	88.5
<i>Pinnularia sp.</i>	0	0	3	3	1.5
TOTAL	405	466	327	410	402

Tabla 23. Análisis cuantitativo del perifiton en la estación de muestreo RP2

ESPECIE	FECHAS DE MUESTREO				ABUNDANCIA PROMEDIO
	Octubre - 2008.	Marzo - 2009.	Junio - 2009.	Octubre - 2009.	
CYANOPHYTA	167	124	202	135	157
<i>Anabaena sp.</i>	51	40	84	51	56.5
<i>Microcystis aeruginosa</i>	116	68	118	84	96.5
<i>Oscillatoria sp.</i>	0	16	0	0	4
EUGLENOPHYTA	13	3	0	5	5.25
<i>Trachelomonas sp.</i>	13	3	0	5	5.25
CHLOROPHYTA	142	118	350	320	232.5
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	0	5	5	19	7.25
<i>Botryococcus braunii</i>	116	40	54	124	83.5
<i>Cosmarium granulatum</i>	0	0	0	37	9.25
<i>Chlamydomonas sp.</i>	10	19	8	39	19
<i>Mougeotia sp.</i>	16	3	33	45	24.25
<i>Spirogyra sp.</i>	0	51	250	56	89.25
CHRYSOPHYTA	194	323	58	62	159.25
<i>Caloneis obtusa</i>	13	24	2	8	11.75
<i>Ceratoneis arcus</i>	3	13	0	0	4
<i>Cymbella ventricosa</i>	0	40	0	0	10
<i>Diatoma sp.</i>	2	0	0	0	0.5
<i>Fragilaria crotonensis</i>	0	22	0	0	5.5
<i>Frustulia sp.</i>	13	0	0	3	4
<i>Gomphonema sp.</i>	6	19	0	0	6.25
<i>Gomphoneis sp.</i>	5	0	0	0	1.25
<i>Gyrosigma sp.</i>	0	37	0	0	9.25
<i>Navicula sp.</i>	95	154	54	51	88.5
<i>Nitzschia sp.</i>	0	0	2	0	0.5
<i>Synedra sp.</i>	46	14	0	0	15
<i>Pinnularia sp.</i>	11	0	0	0	2.75
TOTAL	516	568	610	522	554

Tabla 24. Análisis cuantitativo del perifiton en la estación de muestreo RM

ESPECIE	FECHAS DE MUESTREO				ABUNDANCIA PROMEDIO
	Octubre - 2008.	Marzo - 2009.	Junio - 2009.	Octubre - 2009.	
CYANOPHYTA	19	8	3	21	12.75
<i>Anabaena sp.</i>	0	8	0	0	2.00
<i>Microcystis aeruginosa</i>	19	0	3	21	10.75
EUGLENOPHYTA	0	2	0	0	0.50
<i>Trachelomonas sp.</i>	0	2	0	0	0.50
CHLOROPHYTA	56	0	10	42	27.00
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	0	0	0	2	0.50
<i>Botryococcus braunii</i>	56	0	10	40	26.50
CHRYSOPHYTA	73	13	5	11	25.50
<i>Caloneis obtusa</i>	0	10	0	0	2.50
<i>Diatoma sp.</i>	0	0	2	11	3.25
<i>Frustulia sp.</i>	14	0	0	0	3.50
<i>Navicula sp.</i>	56	3	3	0	15.50
<i>Tabellaria fenestrata</i>	3	0	0	0	0.75
TOTAL	148	23	18	74	65.75

Apéndice B. Fotos de las estaciones de muestreo



Figura 35. Estación de muestreo RG1



Figura 36. Estacion de muestreo RG2



Figura 37. Estación de muestreo RP1



Figura 38. Estación de muestreo RP2



Figura 39. Estación de muestreo RM