



**ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS ALGAS PLANCTÓNICAS Y PERIFÍTICAS DE
HUMEDALES DE LA MESETA DE POPAYÁN, DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

VIVIAN CAROLINA MORENO INSUASTI

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYÁN
2009**

**ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS ALGAS PLANCTÓNICAS Y PERIFÍTICAS DE
HUMEDALES DE LA MESETA DE POPAYÁN, DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

VIVIAN CAROLINA MORENO INSUASTI

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

Director:

GERARDO I. NAUNDORF SANZ

Magíster en Ciencias – Microbiología Ambiental

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYÁN**

2009

Nota de aceptación

M.Sc. Gerardo I. Naundorf Sanz
Director

M.Sc. José T. Beltrán Vidal
Jurado

M.Sc. Magda Ximena Chilito
Jurado

Fecha de sustentación: Popayán 17 de abril de 2009

Nota de agradecimiento

A Dios, por darme salud, fortaleza y coraje para culminar mi proyecto.

A mis padres, por todo el apoyo incondicional que me brindan y por estar conmigo en cada etapa de mi vida.

A mi hermano por aguantarme y preocuparse por mí cuando las cosas me salían mal.

A Gerardo Naundorf, por haber aceptado dirigir mi trabajo, por su dedicación, por su ejemplo como persona y por concretar este proyecto que es nuestro, ya que juntos trabajamos durante este tiempo.

A Jhan, Sandra, José Beltrán y Magda, porque más que profesores son buenos amigos y de quienes aprendí mucho, además porque me enseñaron que a través del esfuerzo y dedicación, todo se puede lograr.

A la CRC, por darme la oportunidad de poder realizar mi trabajo de grado y compartir con el equipo, experiencias agradables y enriquecedoras.

A mi novio David, gracias por enseñarme a que no debo tener miedo para hacer las cosas y por dejarme claro que los problemas de la vida son pequeños si los vemos desde arriba.

A toda mi familia, por estar conmigo en todo momento de mi vida y apoyarme a pesar de mis tropiezos. No los defraudaré.

A Angélica, por ser la mejor amiga que tengo desde hace mucho tiempo, por su apoyo en todo momento y por brindarme su confianza.

A Margarita y Nathaly, por su paciencia y apoyo incondicional durante el transcurso de este proyecto.

A todas las personas que de una u otra manera aportaron un granito de arena en mi trabajo y que me acompañaron, gracias por todos sus consejos y experiencias; hay mucho para aprender de ustedes.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

1. OBJETIVOS	1
1.1. Objetivo General.....	1
1.1.1. Objetivos Específicos.....	1
2. JUSTIFICACIÓN	3
3. ANTECEDENTES	5
4. ALCANCE	13
5. MARCO TEÓRICO	14
5.1. HUMEDALES.....	14
5.1.1. Tipos de Humedales	15
5.1.2. Humedales en Colombia.....	18
5.1.3. Características generales y ecología de los humedales	19
5.1.4. Factores ecológicos que inciden y condicionan el funcionamiento de los humedales	20
5.2. PERIFITON.....	21
5.2.1. Variables que controlan la producción y distribución del perifiton.....	22
5.2.2. El perifiton como bioindicador de la calidad del agua	24
5.3. FITOPLANCTON	24
5.3.1. Clasificación del Fitoplancton.....	25
5.3.2. Concentración de las poblaciones de Fitoplancton.....	26
5.3.3. Variables que controlan la producción y distribución del fitoplancton	27
5.3.4. Componentes del fitoplancton.....	27
5.4. BIOINDICACIÓN.....	27
5.4.1. Condiciones de un bioindicador	28

6. METODOLOGÍA	30
6.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	30
6.1.1. Aspectos fisiográficos de la Meseta de Popayán.....	32
6.1.2. Zonas de muestreo.....	34
6.2. INVENTARIO DE HUMEDALES.....	36
6.2.1. Municipio de Popayán.....	36
6.2.2. Municipio de Cajibío.....	43
6.2.3. Municipio del Tambo.....	44
6.3. FASE DE CAMPO.....	46
6.3.1. Colecta de organismos fitoplanctónicos.....	46
6.3.2. Colecta de organismos perifíticos.....	46
6.4. FASE DE LABORATORIO.....	47
6.4.1. Caracterización y conteo de organismos planctónicos y perifíticos.....	47
6.4.2. Calculo del Índice de Diversidad.....	48
6.4.3. Análisis Estadístico.....	49
6.5. Muestreo Físicoquímico hídrico.....	49
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
7.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA.....	49
7.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS COMUNIDADES PLANCTÓNICAS Y PERIFÍTICAS.....	60
7.2.1. Fitoplancton y perifiton presentes en los humedales del municipio de Popayán.....	68
7.2.2. Fitoplancton y perifiton presentes en los humedales del municipio del Cajibío.....	70
7.2.3. Perifiton presente en los humedales del municipio del Cajibío.....	72
7.2.4. Perifiton presente en el humedal del municipio del Timbio.....	73
7.3. DOMINANCIA.....	74
7.4. DIVERSIDAD.....	74

7.5. SIMILITUD	77
7.5.1. Similitud (Bray Curtis) para fitoplancton	77
7.5.2. Similitud (Bray Curtis) para perifiton	80
7.6. ESTADO TRÓFICO DE LOS HUMEDALES DE ACUERDO A LA BIOINDICACIÓN Y FISICOQUÍMICA REGISTRADA	82
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	86
BIBLIOGRAFÍA	87
ANEXOS	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de humedales naturales según La Convención Ramsar	17
Tabla 2. Clasificación de los Humedales.....	30
Tabla 3. Zonas de muestreo.....	35
Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos de los humedales ubicados en los Municipios de Cajibío, Tambo y Timbio	50
Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos de los humedales ubicados en el Municipio de Popayán.....	51
Tabla 6. Géneros perifíticos registrados en los Humedales de la Meseta de Popayán.....	60
Tabla 7. Géneros fitoplanctónicos registrados en los Humedales de la Meseta de Popayán.....	63

LISTA DE MAPAS Y FIGURAS

Mapa 1. Ubicación de la Meseta de Popayán	31
Mapa 2. Fisiografía de la Meseta de Popayán	33
Mapa 3. Ubicación zonas de muestreo.....	34
Figura 1. Temperatura de los Humedales de la Meseta de Popayán	52
Figura 2. Oxígeno disuelto y porcentaje saturación de Oxígeno de los humedales de la Meseta de Popayán.....	53
Figura 3. pH de los Humedales de la Meseta de Popayán	54
Figura 4. Alcalinidad Total (mg/L CaCO ₃) y Dureza Total (mg/L CaCO ₃) de los Humedales de la Meseta de Popayán	55
Figura 5. Nitrogeno amoniacal (mg/L) y Nitritos (mg/L) de los humedales de la Meseta de Popayán	56
Figura 6. Conductividad (µMhos/cm) de los humedales de la Meseta de Popayán	57
Figura 7. Géneros perifíticos (Org/L) registrados en los humedales de la Meseta de Popayán	65
Figura 8. Abundancia (%) de géneros perifíticos en los humedales de la Meseta de Popayán.....	66
Figura 9. Numero de organismos (Org/L) fitoplanctónicos registrados en cada humedal de la Meseta de Popayán.....	67
Figura 10. Abundancia (%) de géneros fitoplanctónicos en los Humedales de la Meseta de Popayán	68
Figura 11. Abundancia (%) de géneros fitoplanctónicos en los humedales de Popayán.....	69

Figura 12. Abundancia (%) de géneros perifíticos en los humedales de Popayán.....	70
Figura 13. Abundancia (%) de géneros fitoplanctónicos en los humedales de Cajibío	71
Figura 14. Abundancia (%) de géneros perifíticos en los humedales de Cajibío	72
Figura 15. Abundancia (%) de géneros perifíticos en los humedales de El Tambo.....	73
Figura 16. Abundancia (%) de géneros perifíticos en los humedales de Timbio	74
Figura 17. Índice de Similitud (Bray-Curtis) para fitoplancton en los diferentes humedales de la Meseta de Popayán.....	77
Figura 18. Índice de Similitud (Bray-Curtis) para perifiton en los diferentes humedales de la Meseta de Popayán.....	80

1. OBJETIVOS

El presente estudio pretende caracterizar de manera preliminar las comunidades de algas perifíticas y planctónicas de algunos de los humedales ubicados en la Meseta de Popayán, con el fin de avanzar en el conocimiento de la estructura y función de los mismos, mejorar en la formulación de programas de estudios profundos para la conservación, aprovechamiento racional y sostenible de los mismos, con base en la metodología Ramsar adoptada por el Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Para tales efectos, se proponen los siguientes objetivos:

1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la caracterización preliminar de las comunidades de algas planctónicas y perifíticas presentes en humedales ubicados en la meseta de Popayán.

1.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los géneros predominantes de algas planctónicas y perifíticas de humedales localizados en la meseta de Popayán.
- Establecer la estructura de las comunidades de algas planctónicas y perifíticas en humedales de la meseta de Popayán.
- Determinar el índice de diversidad de las comunidades de algas planctónicas y perifíticas en humedales de la meseta de Popayán.

- Indicar de manera preliminar el estado trófico de humedales de la meseta de Popayán, con base en las algas como bioindicadores de la calidad del agua y la fisicoquímica.

2. JUSTIFICACIÓN

Los humedales son ecosistemas que albergan una gran diversidad biológica y cumple diferentes funciones vitales para el ser humano; los componentes físicos, biológicos y químicos de un humedal, como los suelos, el agua, las plantas y los animales, permiten que el sistema cumpla con las funciones esenciales, como: almacenamiento de agua, mitigación de inundaciones, control de la erosión, purificación de las aguas mediante la retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes; y estabilización de las condiciones climáticas locales, particularmente la precipitación y la temperatura, entre otras. Tales funciones y propiedades de dicho sistema solo se pueden llevar a cabo si se permite que los procesos ecológicos de los humedales continúen funcionando, y para esto se debe hacer uso racional del recurso agua, logrando así el sostenimiento de la vida y un buen aprovisionamiento de la misma, debido a que se incrementa la cantidad de personas que necesitan de este recurso, para los procesos sociales, productivos y ambientales

Con este fin se procede a la elaboración del presente trabajo el cual se basa en los lineamientos propuestos en:

- La Política Nacional de Humedales Interiores de Colombia (Ministerio del Medio Ambiente, 2002), cuyo objetivo es “propender por la Conservación y el Uso sostenible de los Humedales Interiores de Colombia con el fin de mantener y obtener beneficios ecológicos, económicos y socioculturales, como parte integral del desarrollo del país”.

- La Resolución 157 del 2004, mediante el cual se adoptaron unas medidas para garantizar el uso sostenible, conservación y manejo de los humedales en Colombia.
- La Guía para la formulación de planes de manejo de importancia internacional y otros humedales 2004. (MAVDT, 2004), el cual tiene como objetivo fundamental planificar las acciones encaminadas a la conservación y uso racional de los humedales del país, estén o no incluidos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional de la Convención, o bajo cualquier otra categoría de manejo o protección ambiental.

3. ANTECEDENTES

Ramsar es uno de los primeros tratados modernos de carácter gubernamental, aprobado el 2 de febrero de 1971 en Irán. Este trata sobre la conservación y uso sostenible de los recursos naturales, pero en comparación con los más recientes, sus disposiciones son relativamente sencillas y generales. Dicho tratado fue adoptado por el Congreso de la República de Colombia mediante la Ley 357 del 21 de enero de 1997, produciéndose la adhesión de Colombia el 18 de Junio de 1998 y entró en vigencia el 18 de octubre de 1998 (Naranjo, et, al. 1999). Solo desde entonces, Colombia ha empezado a realizar, planes de manejo y de conservación de los humedales, logrando de esta manera un alto nivel de valoración a estos ecosistemas.

A nivel Nacional se cuenta con estudios como los realizados en el Embalse el Peñol por Uribe y Roldán (1973), en el que reportaron aumento de fitoplancton cuando hay incremento de fosfatos debido a las lluvias durante esos periodos en el embalse El Peñol y hablan de ortofosfatos como el factor principal en el crecimiento del plancton a lo largo del año.

Roldán y Ramírez en 1982, en el embalse El Peñol, encontraron como la especie que presentó el mayor porcentaje de individuos el dinoflagelado *Peridinium*, seguido por *Volvox*, *Botrycoccus* y *Schroederia*. Los meses de mayor porcentaje de fitoplancton fueron: febrero 4,47%, mayo con 4,43% y julio con 3,97%.

En 1990, un reporte realizado por Naundorf. G., muestra en el Embalse La Salvajina un total de 25 géneros, siendo los más abundante *Gymnodinium* (Pyrrophyta) en un 54.9%, *Pinnularia* (Chrysophyta) en un 12% y *Tabellaria*

(Chrysophyta) e un 10.4%. El índice de diversidad calculado fue de 2.54 que corresponde a un ecosistema de mediana diversidad

En 1990, un reporte realizado por Naundorf. G., muestra en el Embalse La Salvajina un total de 25 géneros, siendo los más abundante *Glenodinium* (Pyrrophyta) en un 54.9%, *Pinnularia* (Chrysophyta) en un 12% y *Tabellaria* (Chrysophyta) e un 10.4%. El índice de diversidad calculado fue de 2.54 que corresponde a un ecosistema de mediana diversidad

En 1995 y 1996, Peña, V., Pinilla, G.A. Realizaron un estudio denominado, composición, distribución y abundancia de la comunidad fitoplanctónica de la ensenada de Utría, Pacífico colombiano. En el cual la comunidad fitoplanctónica de la ensenada de Utría, se caracterizo por la dominancia de las diatomeas, la baja abundancia de organismos y la elevada diversidad de especies, concluyendo de esta manera que se debía a las condiciones propias del ambiente en este caso por ser oligotróficos costeros. En este trabajo variables físico- químicas que tuvieron cambios relevantes fueron la salinidad y el oxígeno disuelto superficiales, datos que permitieron concluir sobre las modificaciones en la comunidad de microalgas. Los análisis clasificatorios confirmaron que la comunidad fitoplanctónica de la ensenada fue diferente en cada muestreo, a pesar de que los cambios fisicoquímicos no presentaron diferencia significativa en el tiempo, lo cual demuestra que las microalgas son muy sensibles a las condiciones ambientales de la ensenada.

En 1996, Agredo. M., Realizó una identificación y cuantificación del fitoplancton existente en el lago “El Bolsón” ecosistema artificial localizado en la meseta de Popayán, este sistema de acuerdo al índice de diversidad calculado que fue de

2,6, muestra un ecosistema de baja diversidad. La densidad poblacional calculada fue de 15,26 organismos/ml, indicando que es un ecosistema oligotrófico.

Actualmente se cuenta con estudios como los descritos a continuación:

La Corporación Autónoma Regional del Valle (CVC) en el 2002, realiza un estudio sobre la lagunas y madre viejas del departamento del Valle del Cauca, en la cual brevemente realizan una descripción ecológica de 49 humedales, entre ciénagas, madre viejas y lagunas, que hacen parte del complejo hidrológico del Alto del Río Cauca, en la cual se estudio la distribución de aves, peces, zooplancton, fitoplancton y macroinvertebrados en las madres viejas y lagunas. En el presente estudio se realiza la actualización de más de 18 estudios de humedales en el Valle del Cauca teniendo en especial relevancia en la laguna de Sonso.

Entre el mes de Noviembre de 2003 y Febrero de 2004, C. Vásquez, A. Ariza y G. Pinilla⁸. Realizaron una descripción del estado trófico de diez humedales del Altiplano Cundíboyacense, en el que concluyeron, que dichos humedales presentan altos niveles tróficos, posiblemente debido a la fuerte presión antropica a la que están sometidos. Esta influencia humana ocasiona un aumento en algunos nutrientes, principalmente en fósforo, y en la carga de materia orgánica en las cuencas de la región.

En el 2004, Escobar. A., realizó una caracterización físico-química y determinación de las comunidades productoras y de la productividad primaria de un ecosistema altoandino: Laguna Aguas Tibias - Puracé– Cauca, en el cual con respecto a las comunidades productoras, se concluyó lo siguiente: los organismos productores conforman densas comunidades, con diversas poblaciones de algas, las cuales se distribuyen tanto en la columna de agua (ticoplanctónicas) como adheridas al fondo de la laguna (perifítica) como a otras algas (epifíticas). Estas comunidades

se distribuyen formando extensas floraciones de algas, donde predominan algas verdes como *Microspora*, *Desmidiium* y *Ulothrix*, con densas poblaciones de diatomeas adheridas. Se encontraron organismos pertenecientes a 6 divisiones, 14 familias y 20 géneros.

Por otra parte, la comunidad algal detectada forma un importante refugio y fuente de alimento a una gran cantidad de organismos, entre ellos, diversas especies de peces y de macroinvertebrados acuáticos en sus fases adultas y larvales. Por lo tanto, la laguna es un eslabón biológico importante para las condiciones ecológicas de la zona, especialmente para el ecosistema lótico donde desembocan las aguas de la laguna y por último, el índice de diversidad de Shannon– Weaver calculado para el ecosistema, indica condiciones de media a alta diversidad, donde los flujos de materia y energía están controlados por las algas verdes filamentosas y las diatomeas principalmente.

En el 2006, Morales. S., realizó una caracterización de las comunidades del perifiton en tres lagos de la Meseta de Popayán y su uso como indicadores de estado trófico, donde concluye que, de acuerdo al análisis Twispan, se identificaron VII grupos: estenóicas de aguas libres de contaminación, especies indicadoras de concentraciones bajas, especies tolerantes a concentraciones bajas de nutrientes, especies indicadoras de concentraciones medias: Incidencia de otra variable: pH, estenóicas indicadoras de concentraciones altas, eurióicas indicadoras de concentraciones medias: incidencia de otras variables: hierro y cloruros y eurióicas ampliamente tolerantes.

En el 2007 Artunduaga L.D, realizó una caracterización ambiental de los humedales en una franja subandina del Municipio de Popayán – Cauca, en el cual reporta que humedales modificados, que en un principio tan solo fueron construidos como reservorios de agua para desarrollar actividades ganaderas,

agrícolas y de recreación, de uso doméstico en algunos casos, se convirtieron en importantes enclaves para algunas especies animales, constituyendo el hábitat de una gran diversidad de flora como de fauna, siendo decisivos para el cumplimiento de sus ciclos de vida, ahora cada una de las especies encontradas asociadas al humedal sustentan de él de diferentes maneras, de acuerdo a sus necesidades ecológicas y características del suelo, constituyéndose en ecosistemas reservorios de gran biodiversidad de especies asociadas a ellos como insumo para el desarrollo del nivel 3 en la elaboración del plan de manejo de los humedales de la meseta de Popayán.

En el marco de la elaboración del plan de manejo de los humedales de la meseta de Popayán se han desarrollado los siguientes trabajos:

- La Corporación Autónoma Regional del Cauca, en el año 2003 adelantó el Inventario Preliminar de los Humedales de la Cuenca Cauca en convenio con el Fondo Mundial para la Naturaleza WWF, en el cual obtuvieron los siguientes resultados:

Nivel I: Cuenca de captación, corresponde a la cuenca del río Cauca en el departamento del Cauca, la cual comprende un rango de altitudinal entre 900m en el norte del departamento y 4650 m en los páramos del Macizo colombiano.

En esta cuenca se encuentran 21 municipios: Puracé, Sotará, Timbío, Popayán, El Tambo, Totoró, Cajibío, Morales, Piendamó, Caldono, Jambaló, Toribio, Suárez, Buenos Aires, Santander de Quilichao, Caloto, Villa Rica, Puerto Tejada, Padilla, Miranda y Corinto.

Nivel II: Sitio de humedales, los humedales de la cuenca del río Cauca se zonificaron en seis sectores. Como criterio para esta zonificación se tomó el rango altitudinal y la región en la que se encontraban.

- A. Norte del Cauca
- B. Páramos Nevado del Huila
- C. Embalse de Salvajina
- D. Páramos de Totoró
- E. Meseta de Popayán
- F. Páramos de Puracé y Macizo Colombiano

En total se encontraron 281 humedales que corresponden a 4252.14 hectáreas, de las cuales 2282.90 ha son zonas de páramo y 196.24 ha se encuentran en partes bajas.

Nivel III: Hábitat en los humedales. Como zona piloto para la aplicación del nivel III de MedWet se escogieron las haciendas ganaderas Venecia y Cuprecia en Santander de Quilichao, por ser una de las áreas de mayores concentraciones de humedales. Estos humedales están transformados y alterados en su régimen hídrico. En las zonas ganaderas se han construido diques o jarillones que dividen el humedal, para reducir el tamaño del mismo y de esta forma retener la mayor cantidad posible de agua durante todo el año, garantizando el abastecimiento necesario para el ganado.

Para el año 2005 se da inicio a la Formulación del Plan de Manejo de los Humedales de la parte plana del Departamento e inicio del Inventario de los humedales de Popayán y Puracé, el cual se desarrollo en 4 fases obteniendo los siguientes resultados:

- En la fase 1: se identificaron los actores institucionales, empresariales y comunitarios a quienes se les debía hacer la presentación del proyecto Los actores empresariales y comunitarios fueron seleccionados vecinos

- colindantes, o con trabajos en el tema ambiental y se incluyeron junto con los actores institucionales en la lista a quienes se haría la presentación formal del proyecto.

- Fase 2: Ampliación-Revisión del diagnóstico:
 - ✓ Un reconocimiento general, de los humedales presentes en la parte plana de los nueve municipios y el consejo comunitario de Pílamó.
 - ✓ Taller de cartografía social y revisión y descripción de los humedales presentes en los municipios.
 - ✓ Sistematización de la información presente en el informe técnico de la primera fase y la levantada en esta fase de acuerdo con la estructura propuesta por la guía.

- Fase 3: Construcción de la fase prospectiva: la cual fue realizada con tres propósitos:
 - ✓ Revisar y avanzar en la información base sobre los humedales levantada en la primera fase.
 - ✓ Priorizar los participativamente de acuerdo a algunos criterios biofísicos y socioeconómicos.
 - ✓ Construir colectivamente el sueño o visión de futuro. Esta visión colectiva se revisó frente a la visión institucional de la CRC 2002-2012 para articular. Igualmente en este espacio se identificaron las alternativas de solución para alcanzar el sueño a futuro de los humedales al 2012.

- Fase 4: Socialización y discusión de los resultados:

La información resultado de la construcción de la fase prospectiva se presentó para su socialización y discusión a los actores en los municipios.

De esta manera y con base en estos trabajos se desarrollo el presente estudio preliminar de las algas planctónicas y perifíticas de los humedales de la Meseta de Popayán Departamento del Cauca con el fin de obtener una información del estado de conservación de los diferentes ecosistemas, para así tener en nuestras manos una herramienta más de trabajo que permita desarrollar un plan de manejo de humedales.

4. ALCANCE

Mediante los resultados de este estudio se busca brindar información básica sobre la composición de la comunidad perifítica y fitoplanctónica de los humedales seleccionados de la Meseta de Popayán, que permita visualizar el estado actual de estos ecosistemas en términos de Calidad de agua.

La información de este estudio aportará herramientas útiles para la elaboración del plan de manejo de los humedales de la Meseta de Popayán, Siendo un recurso que permita la toma de decisiones sobre el uso sostenible y la conservación de los mismos.

De igual manera se busca incentivar a la comunidad en general para llevar a cabo este tipo de estudios contribuyendo con esto al conocimiento de la riqueza y buen uso de los cuerpos de agua.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. HUMEDALES

No existe una única definición de humedal. Pero se conocen los humedales como unidades de paisaje que se han agrupado bajo este término para identificar a los ecosistemas que suceden típicamente en zonas de transición entre sistemas acuáticos y terrestres y comparten características de los dos (Cowardin et al., 1979), de forma general podemos decir que son ecosistemas que albergan en su interior una amplia biodiversidad y gran cantidad de individuos asociadas a él. Estos ecosistemas son muy dinámicos debido a que están expuestos a muchos cambios ambientales y físicos, lo cual afecta de manera apreciable a todas las especies obligándolas a adaptarse a dichos cambios, algunas de las actividades que se vienen realizando y que hacen parte de estos cambios en los humedales, principalmente son: la agricultura, la ganadería, establecimiento de casas aledañas a ellos, entre otros, afectando la función ecológica que ellos desempeñan.

La Convención Ramsar indica que: “Son humedales las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros.”

Los humedales tienen conceptos bastante variados, porque tiene gran diversidad de hábitats acuáticos y además se basan también en el tipo de estudio.

El presente estudio se refiere a humedales interiores de agua dulce, de acuerdo a esto se puede definir humedal de la siguiente manera:

“Los humedales en general, son sistemas intermedios entre ambientes permanente inundados y ambientes normalmente secos. Muestran una enorme diversidad de acuerdo con su origen, localización geográfica, régimen acuático y químico, vegetación dominante y características del suelo y sedimentos. Puede existir una variación considerable en un mismo humedal y entre diferentes humedales próximos a otros, formando no solo ecosistemas distintos, sino paisajes diferentes” (Ramsar, 1996)

Para la identificación de un humedal se tienen en cuenta tres parámetros: el suelo, la hidrología y la vegetación. El suelo se compone primordialmente de sedimentos anaeróbicos y dependen d nivel de inundación y saturación del agua. La hidrología es esencial y varia en tiempo y en espacio, dependiendo de la precipitación, proximidad a las costas y las mareas, y presenta vegetación hidrofítica (Artunduaga, 2007)

Humedal en un contexto nacional, son sistemas que no son verdaderamente terrestres ni acuáticos; pueden ser ambas cosas al mismo tiempo, o ser estacionalmente acuáticos o terrestres. Este carácter dinámico de los humedales afecta a las comunidades de flora y fauna hasta el punto que los humedales son hábitats completamente diferentes de los hábitats acuáticos y terrestres (Minambiente, 2002)

5.1.1. Tipos de humedales

La Convención de Ramsar ha adoptado un Sistema Ramsar de Clasificación de Tipos de Humedales que incluye 42 tipos, agrupados en tres categorías: humedales marinos y costeros, humedales continentales y humedales artificiales.

De acuerdo a la clasificación de La Convención de Ramsar los principales tipos de humedales son: marinos, aquellos que alcanzan una profundidad de hasta 6 m según la Convención de Ramsar, pues al parecer esta es la profundidad máxima hasta la cual los patos marinos bajan o se sumergen a conseguir su alimento, entre estos están: los humedales costeros, lagunas , costas rocosas y arrecifes de coral; estuarinos entre ellos los deltas, marismas de marea y manglares; lacustres que son los humedales asociados con lagos; ribereños son los humedales contiguos a ríos y arroyos y por último los palustres que significa pantanosos, entre ellos los marismas, pantanos y ciénagas.

Igualmente, hay humedales artificiales, entre los que se mencionan los estanques de cría de peces y camarones, estanques de granjas, tierras agrícolas de regadío, depresiones inundadas salinas, embalses, estanques de grava, piletas de aguas residuales y canales.

La necesidad y la importancia de conservar los humedales, se considera por ser una gran fuente de agua y productividad primaria para las especies tanto animales como vegetales que ahí se encuentran y necesitan de estas para subsistir como también, además cabe destacar que es un medio bastante productivo.

Los humedales cumplen funciones vitales como por ejemplo: la depuración de aguas, estabilización de las condiciones climáticas, retención de nutrientes, contaminantes y sedimentos; recarga y descarga de acuíferos que se convierten en aguas para los humedales, entre otras.

Dentro de uno de los mecanismos que se utilizan para conocer el estado trófico del humedal como de la región es la identificación y cuantificación de comunidades fitoplanctónicas y perifíticas, gracias a que ellas muestran el estado del sistema ya sea en la actualidad o en el pasado. A continuación hablaremos de

estos bioindicadores para conocer más a fondo de la importancia de estas comunidades en el estudio de la calidad de las aguas.

Tabla 1. Clasificación de humedales naturales según la Convención Ramsar

ÁMBITO	Sistema	Subsistema	Clase	Subclase		
MARINO Y COSTERO	Marino	Submareal		Aguas marinas sómeras		
			Lecho Acuático	Lecho marino		
			Arrecife	Arrecifes de coral		
		Intermareal	Roca	Playas rocosas		
			No consolidado	Playa de arena y grava		
	Estuarino	Submareal		Aguas estuarinas		
		Intermareal	No consolidado	Planos lodosos intermareales		
			Emergente	Pantanos salados		
			Boscoso	Manglares		
	Lacustre/ Palustre	Permanente/ Estacional		Lagunas salinas y salobres		
INTERIOR	Fluvial	Perenne	Emergente	Ríos/arroyos permanentes		
				Deltas interiores		
	Lacustre				Ríos/arroyos intermitentes	
					Planicies inundables	
					Lagos dulces permanentes	
					Lagos dulces estacionales	
	Palustre	Permanentes		Emergente	Lagos y pantanos salinos permanentes/estacionales	
					Pantanos y ciénagas dulces permanentes	
					Turberas abiertas	
		Estacional			Emergente	Humedales alpinos y de tundra
						Pantanos arbustivos
						Bosque pantano dulce
						Turbera boscosa
Geotérmico				Ojos de agua, oasis		
				Ciénaga estacional dulce		
				Humedales geotérmicos		

Los humedales cubren aproximadamente 1.28 millones de hectáreas de la superficie terrestre, un área 50% más grande que Brasil (MEA 2005). En general, se han podido identificar cinco grandes sistemas de humedales:

Estuarios: Desembocaduras de los ríos en el mar, donde el agua alcanza una salinidad equivalente a la media del agua dulce y salada (por ejemplo, deltas, bancos fangosos y marismas).

Marino – Costeros: Áreas entre tierra y mar (por ejemplo, playas, manglares y arrecifes de coral).

Fluviales: Tierras anegadas periódicamente como resultado del desbordamiento de los ríos (por ejemplo, llanuras de inundación, bosques inundables, islas fluviales y lagos de meandro).

Palustres: Áreas que contienen agua relativamente permanentes (por ejemplo, pantanos, turberas, marismas y ciénagas).

Lacustres: Zonas cubiertas de aguas permanentes caracterizadas por una baja circulación (lagunas, lagos, lagos glaciales y cráteres de volcanes).

5.1.2. Humedales en Colombia

“El área total de estos ecosistemas en Colombia es de 20.252.500 hectáreas, representadas por lagos, pantanos, turberas, lagunas, ciénagas, llanuras y bosques inundados (Ministerio del Medio Ambiente, 1999), excluyendo los marinos y costeros. En total, entre ciénagas y otros cuerpos de agua similares existen 5.622.750 hectáreas, las cuales se encuentran principalmente en los departamentos de Bolívar y Magdalena. Las lagunas representan cerca de 22.950 hectáreas y las sabanas inundables cubren una superficie total aproximada de 9.255.475 hectáreas, ubicadas en los departamentos del Amazonas, Guainía y Guaviare. Los bosques inundables representan aproximadamente 5.351.325 millones de hectáreas y se localizan en la Orinoquia, Amazonas, Bajo Magdalena y en menor medida en la zona Pacífica.”

De acuerdo a la anterior definición de humedal, adoptada por el MINAMBIENTE, 2001. En Colombia los humedales se pueden clasificar, según la región geográfica donde se encuentran ubicados y a sus características así:

Humedales Altoandinos: se caracterizan por presentar turberas, pantanos, e innumerables lagunas, localizadas entre los 3000 y 3500 msnm

Humedales Andinos: donde predominan lagos y embalses, en la cual el 98% del volumen total de las reservas de agua se encuentran en 40 grandes lagunas y embalses.

Humedales de Tierras bajas: se encuentran lagos, ciénagas, pantanos, madre viejas, meandros, sabanas inundables y bosques inundables.

5.1.3. Características generales y ecología de los humedales

Los humedales son ecosistemas muy dinámicos, que se encuentran condicionados por cambios de origen natural como de origen antrópico, lo cual hace que se afecten sus ciclos hidrológicos y morfológicos

Estos ecosistemas acuáticos son zonas de gran interés y su importancia ha sido reconocida por la comunidad científica y organismos internacionales como la UICN, ICLD, UNESCO, etc.; cabe destacar algunas de las funciones importantes como es el almacenamiento de agua; para retención de aguas superficiales, regulación de caudales, mitigación de las inundaciones, recarga y descarga de aguas subterráneas, el control de la calidad del agua: purificación del agua, retención de nutrientes, retención de sedimentos, retención de agentes contaminantes y la regulación del clima local; estabilización del clima, regulación de las precipitaciones y la temperatura, reducción de la evapotranspiración (Artunduaga, 2007).

5.1.4. Factores ecológicos que inciden y condicionan el funcionamiento de los humedales (Seoánez 1999 en: Arcos-Pulido, M. & A. Gómez Prieto, 2005)

Dentro de estos están:

- **Estacionalidad:** temporada de sequía y lluvias
- **Canalizaciones, drenajes, condicionantes ecológicos:** suelo, composición del agua, temperatura, insolación y altitud
- **Dragados, cambios del uso del suelo, acción antrópica:** ganadería, agricultura, industrias, recreación y alteración de los regímenes hidráulicos. Contaminación: vertidos industriales, vertidos de actividades agropecuarias y domésticas y depósitos de residuos.
- **Reducción de aportes:** explotación de acuíferos, uso de fluentes en riego, regulación de caudales de curso de agua.

Estos factores a su vez se ven influenciados por:

La profundidad

- El pH va aumentando desde el fondo a las capas superficiales
- La temperatura, la intensidad lumínica y el oxígeno disuelto son más elevados en la superficie.
- La tensión de CO₂ tiende a aumentar así como se incrementan los sedimentos orgánicos e inorgánicos a medida que nos acercamos al fondo
- Las macrófitas constituyen un gran depósito de nutrientes y carbono
- La disponibilidad de alimento condiciona la existencia y características de las relaciones existentes provocando que cierta fauna sea más abundante a medida que hay mayor proximidad al fondo, dependiendo también del hábitat y el espacio físico donde se desarrolla la comunidad.

La luz

- Este es el factor limitante de las especies vegetales fotosintéticas que a su vez depende de la profundidad donde se establezcan para poder aprovechar la luz que necesitan para su óptimo desarrollo.

Tipo de fondo e intensidad de depósito de los sedimentos orgánicos

- Dependiendo de su constitución (material impermeable, arcillas, grava, roca, arena o limo) y la estabilización de los restos orgánicos se va a suceder más rápida o lentamente especies nuevas que dan origen a diferentes hábitats.

Nivel del agua

- Dependiendo del nivel que alcance el cuerpo de agua la fauna se va a distribuir en diferentes sectores fuera de las orillas, superficie, sedimento, piedras, material vegetal muerto, vegetación viva, entre otros

5.2. PERIFITON

Es toda la población o comunidad compleja de microbiota (algas, bacterias, hongos, insectos y detritus orgánico e inorgánico) asociada que crecen sobre piedras, rocas, troncos y demás material sumergido. La mayoría de los organismos del perifiton presentan diversas adaptaciones para la fijación (Roldán, 1992). El perifiton de origen vegetal se conoce como fitoperifiton y el de origen animal zooperifiton. La composición del perifiton depende del tipo de sustrato, como también del estado trófico del agua. El perifiton que vive sobre el fango es denominado “epipélico”, los que viven sobre rocas “epilítico” y sobre plantas epifítico.

El perifiton se encuentra en todos los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, cobran mayor importancia en las quebradas y los ríos puesto que al haber corrientes, el establecimiento de otras comunidades como el plancton es muy bajo, constituyéndose en los principales productores primarios de estos ecosistemas (Biggs 2000 en Arcos-Pulido, M. & A. Gómez Prieto. 2005)

El perifiton constituye la base alimenticia de muchas especies acuáticas, entre ellos tenemos los peces como el “bocachico” (*Prochilodus reticulatus*) y el “coroncoro” (*Pseudoancistrus* sp, *Ancistrus* sp o *Lancistrus* sp), presenta una alta tasa de reciclaje de nutrientes (Roldán 1992), se encuentra en la base de la cadena alimenticia y provee oxígeno para los organismos aeróbicos (Hauer & Lamberti 1996, Ramirez y Viña 1998 en Arcos-Pulido, M. & A. Gómez Prieto. 2005).

Adicionalmente, forman numerosos microhabitats que sirven de refugio para gran variedad de seres vivos (Naundorf, G. 2002^a).

5.2.1. Variables que controlan la producción y distribución del perifiton

La distribución de las comunidades perifíticas dependen de las condiciones fisicoquímicas del agua y la red de drenaje de los sistemas (Naundorf 2002^a), así como el tipo de sustrato (Peterson & Stevenson 1989 en: Henry & Fisher, 2003), la hidrología (Peterson & Stevenson 1989, Biggs & Hickey 1994, Biggs & Stockseth 1996 en: Henry & Fisher, 2003), la desecación (Peterson 1987 en: Henry & Fisher, 2003), el pastoreo (Hill & Knight 1988 en: Henry & Fisher, 2003), los gradientes (Grima & Fisher 1989, Peterson et al. 1990 en: Henry & Fisher, 2003), la concentración de nutrientes (Pringue 1987, Peterson & Grima 1992 en: Henry & Fisher, 2003) y la luz (Roberts et al. 2004) (en: Arcos-Pulido, M. & A. Gómez Prieto. 2005).

Entre los factores que controlan el desarrollo del perifiton están: (Roldán 1992)

- **Temperatura:** es un factor muy importante en el desarrollo de la mayoría de las especies. Temperaturas cercanas al punto de congelación son tan limitantes para la vida en el agua como también lo son las aguas termales. En las zonas templadas, este factor crea ciclos muy marcados de productividad, siendo esta alta en la primavera, el verano y el otoño, pero muy baja en el invierno.
- **Luz:** la mayoría de algas están adaptadas a vivir en buena intensidad de luz. En zonas templadas durante el invierno, su desarrollo es mínimo, pues existe un impedimento del paso de los rayos solares. En el trópico donde se dispone de la misma cantidad de luz durante todo el año, este factor no es tan limitante, solo será un factor limitante en zonas profundas de lagos y embalses, donde no llega la luz, en las orillas e los lagos y ríos muy sombreados.
- **Nutrientes:** los nutrientes como el fósforo, el nitrógeno y el sílice, son factores limitantes para el desarrollo de las algas, y a su vez estos nutrientes se ven influenciados por el pH, si el pH es ligeramente básico, este estará más disponible para ser utilizado por la comunidad perifítica.

En general, la microalgas prefieren sustratos que le ofrezcan estabilidad y donde la acción de las corrientes sea mínima (Roldán 1992), de acuerdo a esto se presenta la siguiente clasificación:

- **Epipélicas:** viven sobre el fango y están representadas especialmente por diatomeas.
- **Epilíticas:** viven sobre piedras (Roldán 1992), grava, guijarros o cantos rodados (Biggs 2000 en Arcos-Pulido, M. & A. Gómez Prieto. 2005).
- **Epifíticas:** viven sobre las plantas pegadas a la superficie por sustancias gelatinosas o mediante tallos (Roldán 1992).

- **Epizóicas:** viven sobre la superficie de los animales (Wetzel 1981, Biggs 2000 en: Arcos-Pulido, M. & A. Gómez Prieto. 2005).
- **Episámicas:** viven sobre la arena o moviéndose por los espacios intersticiales que se crean al interior de ella (Wetzel 1981, Biggs 2000 en: Arcos-Pulido, M. & A. Gómez Prieto. 2005).
- **Epidendrónicas:** crecen sobre madera (Hauer y Lamberti, 1996 en: Arcos-Pulido, M. & A. Gómez Prieto. 2005).

5.2.2 El perifiton como bioindicador de la calidad del agua

El perifiton es un buen indicador, puesto que es sensible a los cambios y responde con rapidez a un rango amplio de estresores (Biggs 2000 en: Arcos-Pulido, M. & A. Gómez Prieto. 2005). Es por esto que el perifiton define en alto grado la calidad del agua. Existen variedad de algas que viven adheridas a sustratos acuáticos, que se forman parte de las especies indicadoras de aguas oligotróficas, mesotróficas o eutróficas, según sea el caso. Estas especies se convierten en bioindicadores de la calidad de aguas de acuerdo con su presencia y su porcentaje en la composición de la comunidad. (Roldán, 1992)

5.3. FITOPLANCTON

Son de origen vegetal viven flotando en la columna de agua, su capacidad para nadar no le permite superar el movimiento de las mareas, los vientos, las olas, o las corrientes. Son organismos autótrofos capaces de realizar la fotosíntesis. Su importancia es fundamental dado que son los productores primarios más importantes del ecosistema, además porque responde inmediatamente a los cambios ambientales por su ciclo de vida corto, cambios que alteran la estructura de sus comunidades, afectando también las funciones que ellos desempeñan en el ecosistema, esto por su papel de productores primarios, pues es él el encargado de fijar el CO₂ atmosférico, de manera que el carbono pasa a ser parte

de la cadena alimentaria y por tanto fuente de energía. Progresivamente la cadena trófica va enriqueciéndose, pues el fitoplancton es consumido por el zooplancton que a su vez puede ser consumido por determinados peces, etc., convirtiéndose indirectamente alimento para el hombre.

Algunas algas microscópicas del fitoplancton muestran una distribución amplia, otras, ciertas preferencias ambientales y unas terceras alta frecuencia de taxón en aguas fuertemente contaminadas, lo que sugiere su tolerancia o preferencia por algún compuesto químico o bioquímico. Si algún taxón se reconoce como cosmopolita diferenciado, puede evidenciarse cualquier cambio físico o químico en las masas de agua al ocurrir una alteración por contaminantes. El fitoplancton puede adquirir mayor resistencia o tolerancia a diversas sustancias, por ejemplo fertilizantes, e incrementar su desarrollo y abundancia repercutiendo en la eutrofización de las aguas, donde ciertas especies muestran el estado trófico de arroyos, ríos y lagos (De la Lanza et al., 2000)

5.3.1. Clasificación del fitoplancton

Según WETZEL, en la clasificación del fitoplancton se tiene en cuenta, características como: su naturaleza, tamaño, origen, y permanencia

Por naturaleza: en este grupo encontraremos: el bacterioplancton, fitoplancton (vegetal) y zooplancton (animal)

Por tamaño: entre estas se distinguen 4 categorías:

- El picoplancton: tamaño inferior a 2 μm
- el ultraplancton: de 2 a 5 μm
- el nanoplancton: de 5 a 50 μm
- el microplancton: de 50 a 500 μm

Por origen:

- Limnoplanton: procede de los lagos.
- Heleoplanton: procede de lagunas, charcas o aguas estancadas.
- Potamoplanton: procede de los ríos.

Por permanencia:

- Euplanton: Siempre son planctónicos
- Meroplanton: Parte de su ciclo de vida es planctónico
- Pseudoplanton: Conocidos también como ticoplanton. Estos son organismos sésiles o bénticos, ellos se desprenden y flotan en el agua de manera libre.

5.3.2. Concentración de las poblaciones de fitoplancton

La concentración de la poblaciones de fitoplancton varía enormemente de un ecosistema a otro, dependiendo de múltiples factores (nutrientes, factores climáticos, interrelaciones biológicas, contaminación, etc.). Estudios realizados por Margalef parecen indicar que el límite inferior de las poblaciones usualmente no es menor a 20 células/ ml. En el mar, la media en aguas fértiles oscila alrededor de 300 células/ ml. En resumen, se podrían aceptar los siguientes límites:

	Células por mililitro
• Lagos oligotróficos	$10 - 10^2$
• Lagos eutróficos	$10^2 - 10^4$
• Aguas muy eutróficas y cultivos	$10^4 - 10^6$
• Cultivos en condiciones muy especiales	$10^6 - 10^8$

5.3.3. Variables que controlan la producción y distribución del fitoplancton

Si se tiene en cuenta la distribución del fitoplancton el cual está en el estrato superficial del cuerpo de agua por requerir de la luz solar para su actividad fotosintética, podemos deducir que el principal factor determinante en las comunidades es la luz ya que los rayos sólo penetran en estas capas, en donde, a medida que las plantas crecen, aumentan en número. Además de luz solar, necesitan ciertas condiciones para su crecimiento. Entre estas condiciones tenemos: los materiales, esencialmente inorgánicos como el dióxido de carbono, fosforo, nitrógeno entre otras formas energética seguido de liberación de oxígeno, y por último la temperatura contribuyendo con la riqueza trófica de los humedales y por consiguiente la riqueza biológica de estos ecosistemas, por esta razón son buenos indicadores de cambios ambientales, porque afectan directamente a la célula, definiendo su entorno, es por esto que son utilizados como bioindicadores de la calidad del agua (Roldán, 1992).

5.3.4. Componentes del fitoplancton

Las comunidades fitoplanctónicas de aguas dulces se encuentran en dos grandes dominios el procariótico y el eucariótico. En el primero de ellos figura la división *Cyanophyta* y las bacterias fotosintéticas; en el segundo se incluyen las siguientes divisiones: *Chlorophyta*, *Chrysophyta*, *Euglenophyta*, *Pyrrophyta* y *Cryptophyta* (Roldan, 1992). Margalef (1983), incluye como productores primarios a las bacterias *Rhodospirales* dentro de las *Cyanophyta*.

5.4. BIOINDICACIÓN

Se refiere a todos los organismos que por su tolerancia o sensibilidad están presentes bajo ciertas condiciones que presenta el sistema (Chapman, 1992 en: Morales, 2006). Sin embargo son considerados como bioindicadores acuáticos los organismos que con su presencia y abundancia están indicando un proceso en el sistema. “Los indicadores biológicos se han asociado directamente con la calidad

del agua (Manson 1984 en: Pinilla 1998) más que con procesos ecológicos o con su distribución geográfica, sin que ello impida utilizarlos en tales circunstancias” (Pinilla 1998).

La bioindicación, es una herramienta esencial para determinar el estado del medio ambiente, permitiendo evaluar la calidad de un recurso. Un indicador es un elemento de medición asociado a un factor que proporciona una medida cuantitativa o cualitativa de la evolución en magnitud de un fenómeno con base en una función de valores de dichos elementos (Ayala, 1998 en: Morales, 2006)

En corriente de agua, los indicadores biológicos casi siempre se refieren a grupos de organismos que responden fisiológica o conductualmente a un amplio espectro de sustancias o concentraciones tóxicas, sean estas de origen orgánico o inorgánico; natural o de influencia humana.

Los efectos acumulativos a lo largo del tiempo, los cuales se conocen y se observan, permiten medir directamente los parámetros requeridos en un momento dado, ofreciendo resultados confiables (Mohama et al., 2005 en: Morales, 2006)

5.4.1. Condiciones de un bioindicador

Para que una especie sea considerada como un buen bioindicador cumplir ciertas condiciones que se exponen a continuación (Pinilla, 1998 en: Arcos-Pulido, M. & A. Gómez Prieto. 2005)

- Debe ser de fácil colección y medición
- Debe estar relacionado con el efecto que se desea indicar
- Su comportamiento se debe poder modelar o predecir en lo posible
- Debe haber información biológica y ecológica sobre la especie

- Debe mostrar condiciones esteno (no debe presentar mucha variación ambiental)
- Debe ser esencial en el ambiente.
- Se debe poder clasificar hasta especie. Pues especies del mismo género pueden indicar procesos diferentes
- Debe poderse comparar (situaciones y sistemas similares)

6. METODOLOGÍA

6.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El Departamento del Cauca está situado en la parte suroccidental de la República de Colombia entre las regiones Andina y Pacífica. La unidad andina presenta a su vez cinco subunidades entre ellas la del Valle Interandino del Cauca (IGAC, 2006 en: CRC, 2008), el cual se encuentra ubicado entre las cordilleras Central y Occidental, entre la cuchilla del Tambo hasta el departamento del Valle. Dentro de este Valle se destacan dos áreas, la primera que es la Meseta de Popayán, correspondiente al área de estudio del presente trabajo y la segunda área se encuentra en el norte y pertenece a la planicie del valle del río Cauca (IGAC, 2006 en: CRC, 2008)

La Meseta de Popayán, presenta una inclinación hacia el occidente con un área que corresponde a 131901,69 ha, una altura entre los 1600 a 1900 msnm y los municipios que la conforman son Popayán, Cajibío, El Tambo, Timbío, Totoró, Piendamó, Caldono, Suarez, Sotará y Morales (mapa 2).

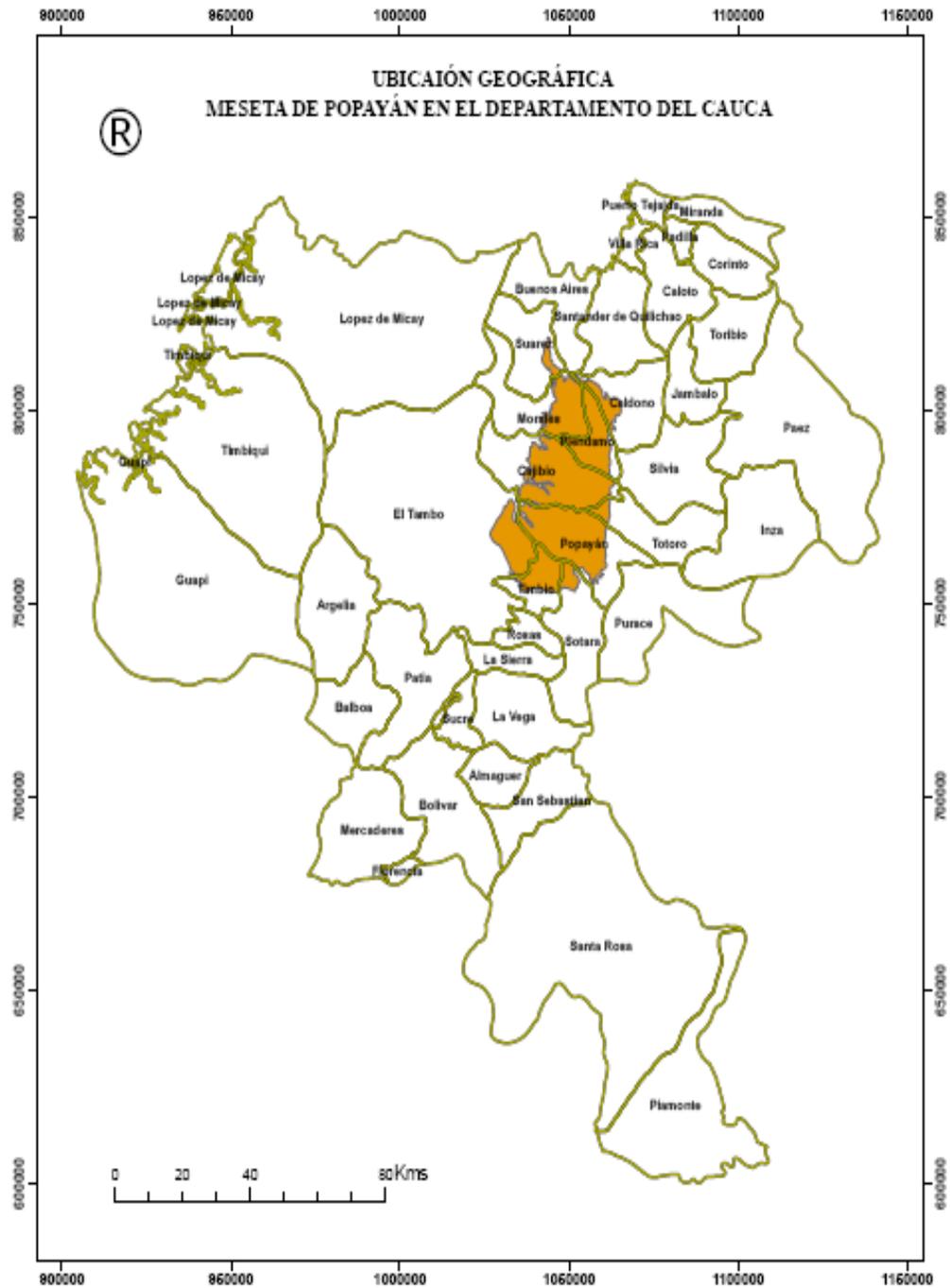
En la zona Central se ubican los municipios que presentan humedales dentro de la Meseta de Popayán que son: Popayán, Cajibío, El Tambo, Timbío. Existen dos tipos de humedales en esta Meseta de acuerdo a su origen: naturales y artificiales

De acuerdo a Ramsar (1971), se pueden clasificar así:

Tabla 2. Clasificación de los Humedales

Ambito	Sistema	Subsistema	Clase	Subclase
Interior	Lacustre	Permanente		Lagos dulces permanentes
	Palustre	Permanente	Emergente	Pantanos y ciénagas dulces permanentes

Mapa 1. Ubicación de la Meseta de Popayán en el Departamento del Cauca



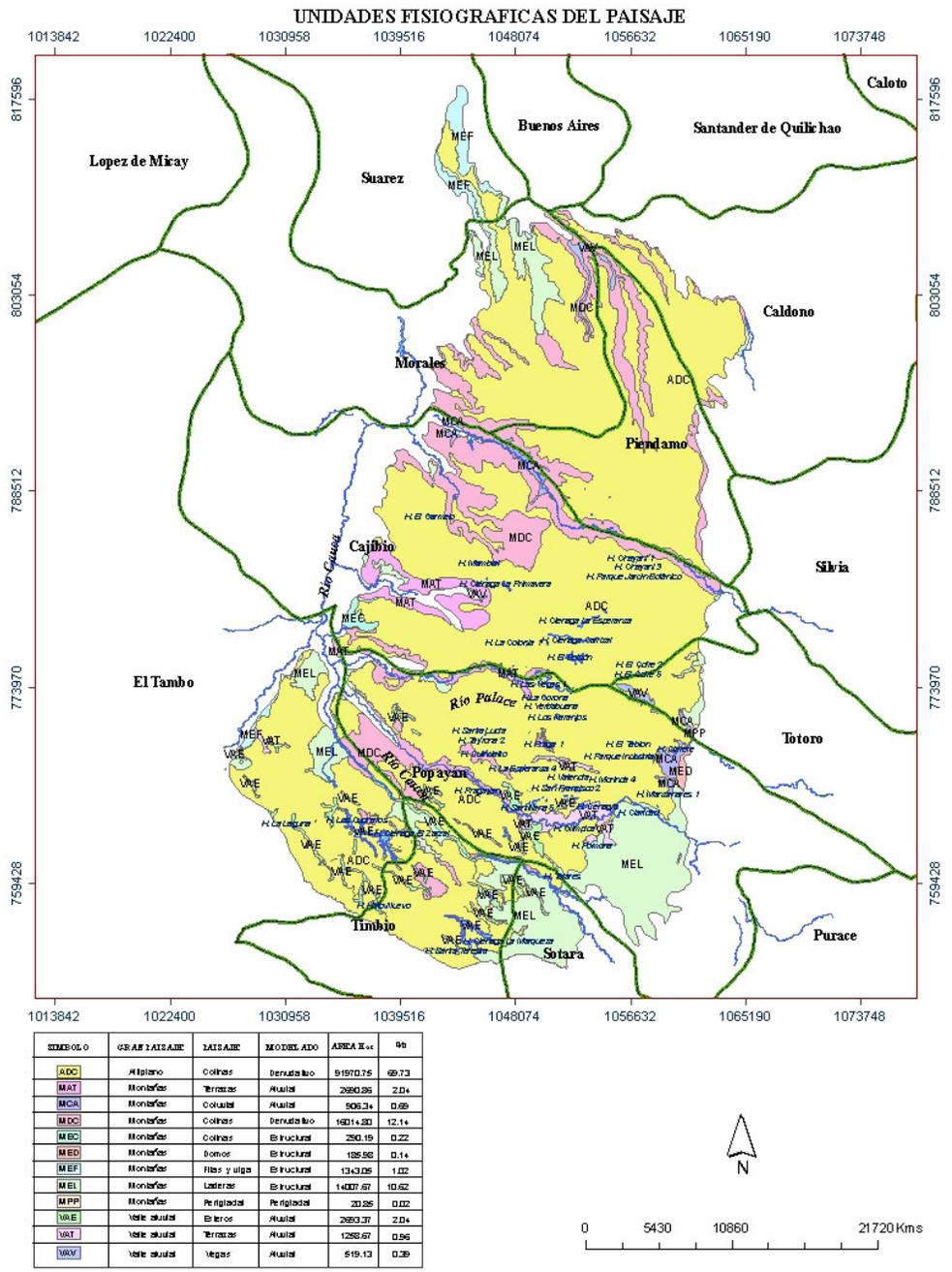
Fuente: Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC)

6.1.1. Aspectos fisiográficos de la meseta de Popayán

La Meseta de Popayán presenta un clima templado húmedo que varía entre los 10° C y los 24°C, con una precipitación media anual entre lo 2000 mm y los 3000 mm, además presenta tres zonas de vida: bosque húmedo premontano (bh-PM), bosque muy húmedo premontano (bmh-PM) y bosque húmedo premontano bajo (bh-PB) (Holdridge, 1978 en: CRC 2008). También es influenciada por las zonas bajas adyacentes al río Cauca y sus afluentes en este caso los ríos: Piendamó, Pedregosa, Mambial, Molino, Cajibío, Urbio, Sucio, Piedras, Hondo Roble, Palacé y la quebradas: el Bosque, Victoria, PISOJÉ y Saté, en donde el nivel freático es muy superficial dependiendo del régimen de lluvias y de los pulsos de nivel de estos cursos fluviales.

De acuerdo a la geogénesis y el modelado posterior, en la meseta de Popayán se encuentran las siguientes unidades fisiográficas del paisaje: Colinas en Altiplanos Denudativos (ADC), Terrazas en Montañas Aluviales (MAT), Coluvios de Clima Frío en Montañas Coluviales (MCC), Colinas en Montañas Denudativas (MDC), Colinas en Montañas Estructurales (MEC), Domos en Montaña Estructurales (MED), Filas y Viga en Montañas Estructurales (MEF), Laderas de Montañas en Montañas Estructurales (MEL), Periglacial en Montañas Periglaciales (MPP), Esteros en Valles Aluviales (VAE), Terrazas en Valles Aluviales (VAT) y Vegas en Valles Aluviales (VAV). (Mapa 2).

Mapa 2. Fisiografía de la Meseta de Popayán



Fuente: Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC)

Los humedales en la meseta de Popayán están distribuidos en 9 unidades geomorfológicas, siendo la unidad Pxa (Valles aluviales de inundación), la unidad que contiene la mayoría de humedales naturales y área de los mismos.

De acuerdo a la información obtenida del la CRC y WWF (2006) y los recorridos preliminares de los humedales por parte del actual equipo técnico, se definieron los siguientes criterios de selección de los humedales a muestrear:

- Unidades geomorfológicas (tomadas de CONIF).
- Numero de fragmentos de bosque asociados al humedal.
- Número de drenajes que surten al humedal.
- Tamaño de los humedales

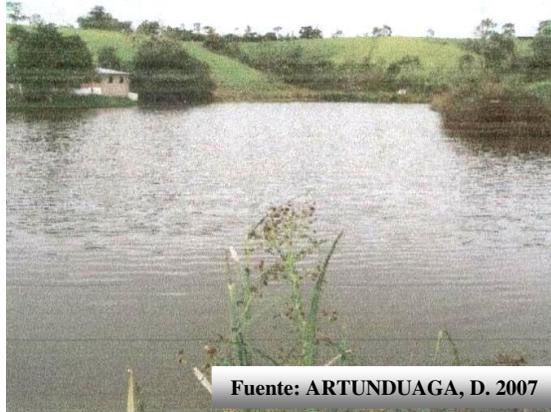
Tabla 3. Zonas de muestreo

MUNICIPIO	NOMBRE	ÁREA (ha)	ORIGEN
Cajibío	H. La Empalizada (HLEmp)	13,62	Natural
Cajibío	H. Ciénaga La Primavera (HLP)	9,57	Natural
El Tambo	H. La Laguna (HLL)	0,42	Natural
El Tambo	H. Ciénaga El Marques 2 (HM2)	22,28	Natural
Popayán	H. Clarete 2 (HC2)	0,45	Natural
Timbio	H. Ciénaga Doria (HCD)	48,03	Natural
Cajibío	H. El Bolsón (HEB)	32,06	Artificial
Popayán	H. El Uvo 2 (HEU2)	0,58	Artificial
Popayán	H. Morinda1 (HM)	0,67	Artificial
Popayán	H. Praga 2 (HP2)	0,08	Artificial
Popayán	H. Claridad (HC)	0,92	Artificial
Popayán	H. Parque Industrial (HPI)	0,79	Artificial
Popayán	H. El Abrazo (HEA)	1,61	Artificial
Popayán	San Francisco 2 (HSF2)	4,454	Artificial
Popayán	Guacas (HLG)	0,142	Artificial
Popayán	H. La esperanza (HLE)	4,45	Artificial

6.2. INVENTARIO DE HUMEDALES

6.2.1. Municipio de Popayán

Humedal el abrazo:



Este humedal no recibe ningún nombre, se encuentra ubicado en el predio El Abrazo.

Coordenadas: N 2° 27' 06.194"

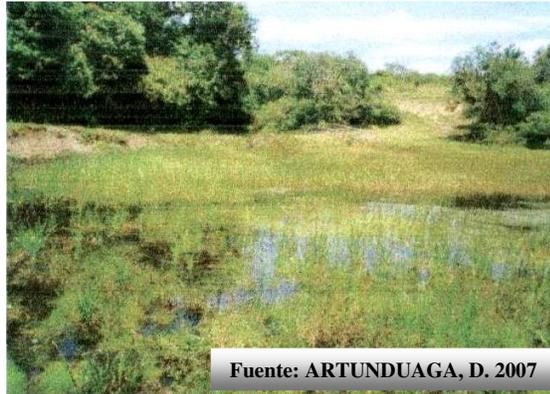
W 76° 39' 09.476"

Uso humedal: reservorio de agua.

Uso franja protectora: construcción a pequeña escala, ganadería y agricultura.

Descripción General: La zona de entrada al humedal presenta una franja de bosque natural original, arbustales y gramíneas, en un principio fue modificado para el cultivo de peces y por el conflicto entre los predios este quedó como reservorio de abastecimiento de agua para el ganado, la actividad de la ganadería extensiva en la franja del humedal, como el criadero de gallos a unos pocos metros está ocasionando daños al suelo como se observó la destrucción de la vegetación y el daño al sistema acuático.

El Uvo 2:



Se identificaron tres humedales producto del represamiento de una quebrada, ubicados en el predio El Uvo.

Coordenadas: N 2° 28' 30"

W 76° 37' 30"

Uso humedal: reservorio

Uso franja protectora: se estableció ganadería y agricultura

Descripción General: rodeado de especies vegetales de bosque original y arbustales, usado como reservorio para el ganado donde gran parte del humedal se encuentra cubierto de pastos, y una parte más pequeña presenta espejo de agua libre de vegetación; este humedal presenta gran presión de la ganadería como de la agricultura, principales actividades que lo afectan.

San francisco 2:



Existen cuatro lagos producto del represamiento de un cauce.

Coordenadas: N 2° 29' 09.936"

W 76° 37' 05.53"

Uso humedal: recreación

Uso franja protectora: relictos de bosque y espacios acondicionados para la recreación

Descripción General: Presenta sobre la entrada de agua relictos de bosque original, arbustos entre otras especies vegetales, es usado como reservorio y recreación.

Sobre la salida de agua del humedal se encuentra un sistema de turbina para extraer y transportar agua por medio de un canal en concreto que alimenta un humedal continuo.

Morinda 1:



Se registran cinco lagos producidos por el represamiento de cauce. Ubicados en el predio Morinda.

Coordenadas: N 2° 29' 45.8"

W 76° 37' 26.6"

Uso humedal: reservorio.

Uso franja protectora: bosque y cultivo de espárragos.

Descripción General: En la entrada del humedal se presenta una franja de bosque natural original, arbustos y gramíneas, una parte del espejo lagunar está cubierto de algas (“Azolla”).

Humedal La Esperanza:



Se registran cuatro lagos, uno de ellos de origen natural, los tres restantes son producto de represamiento de un cauce. Se encontraron dos predios que tienen el mismo nombre y son contiguos, es probable que los humedales estén en uno de los dos o en ambos predios.

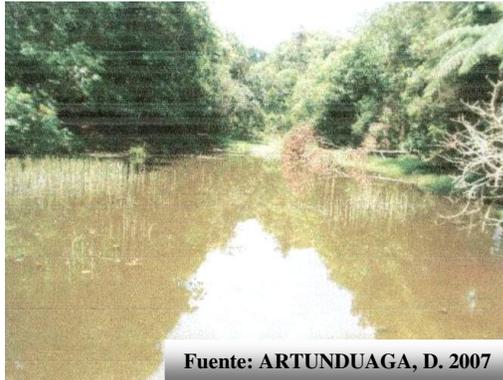
Coordenadas: N 2° 29' 53.8"

W 76° 38' 22.2"

Uso humedal: Reservorio.

Uso franja protectora: Ganadería.

Praga 2:



Coordenadas: N 2° 31' 0"

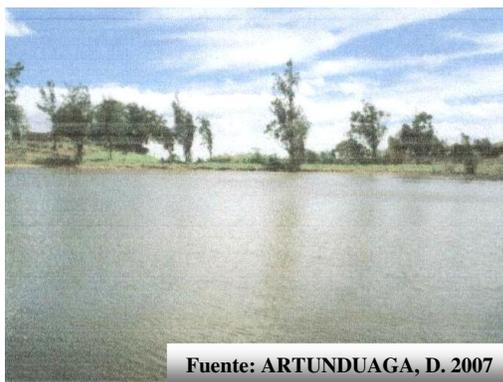
W 76° 38' 0"

Uso humedal: reservorio.

Uso franja protectora: bosque, ganadería

Descripción General: Se registra un lago originado por el represamiento de un cauce y otro desaparecido porque el talud que represaba sus aguas cedió por falta de mantenimiento, este se encuentra rodeado por una franja de bosque natural, arbustos y gramíneas, el pisoteo de ganado está produciendo compactación del suelo afectando el espejo de agua.

Humedal Claridad:



Coordenadas: N 2° 28' 0.78"

W 76° 33' 0.747"

Uso humedal: reservorio y recreación.

Uso franja protectora: recreación.

Descripción General: Es un humedal artificial.

Humedal Guacas:

Es un lago producido por el represamiento de un cauce que se encuentra ubicado en el predio La Selva. El humedal presenta sobre su entrada de agua una franja de bosque original, arbustos y gramíneas, fue modificado para ser usado como reservorio de agua con fines recreativos, alledaño a este está el ganado lo que está ocasionando degradación del suelo, y consigo la disminución del espejo de agua.

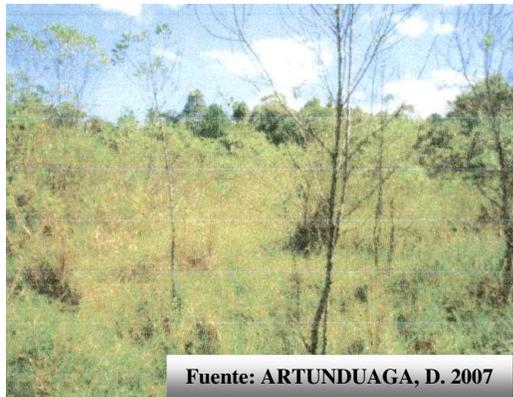
Coordenadas: N 2° 27' 0.345'

W 76° 31' 0.360'

Uso humedal: reservorio.

Uso franja protectora: ganadería.

Humedal Clarete 2:



Fuente: ARTUNDUAGA, D. 2007

Coordenadas: N 2° 30' 4.53"

W 76° 32' 2.97"

Uso humedal: conservación y ganadería.

Uso franja protectora: Bosque y ganadería.

Descripción General: Es un humedal natural dividido en dos por la vía de Clarete, uno de ellos se ubica en el predio El Limonar en donde se conserva su espejo de agua, mientras que el otro predio presenta un avanzado grado de colmatación

Humedal Parque Industrial:



Fuente: ARTUNDUAGA, D. 2007

Coordenadas: N 2° 30' 22.55"

W 76° 33' 50.6"

Uso humedal: Indeterminado aunque existe ganado cerca a su franja protectora, presenta destrucción parcial de vegetación

Descripción General:

Humedal artificial desprovisto de arbustos y bosque circundante, es alimentado por medio de un canal desde una quebrada cercana.

6.2.2. Municipio de Cajibío

Ciénaga La Primavera:

Coordenadas: N 2° 33' 55.667"

W 76° 38' 50.797"

Uso humedal: ganadería.

Uso franja protectora: ganadería

Descripción General: Es una ciénaga de gran tamaño. Se reportan cinco predios colindantes con esta ciénaga, es posible que existan otros predios.

Lago El Bolsón:



Coordenadas: N 2° 34' 26.630"

W 76° 36' 34.569"

Uso humedal: recreación, pesca y reservorio.

Uso franja protectora: bosque pino, recreación y ganadería.

Descripción General: El Bolsón, también es conocido como lago Guangubio por el río que lo alimenta. Es un lago de gran tamaño (aproximadamente 16 ha) muy sedimentado, es originado al parecer de humedales naturales ya existentes en la región; fue creado con el objetivo de incentivar el turismo en la región, empresa que no tuvo éxito por razones de orden público. No se pudieron precisar los predios colindantes por que no estaba actualizada la carta predial con esta

información. Se sabe que son 16 predios y uno de estos pertenece al INCORA, pero está en comodato a CORFEINCO (Corporación Fondo de Empleados del Incora); se tenían en las oficinas de esta corporación los nombres de nueve propietarios colindantes con el lago El Bolsón.

Humedal La Empalizada:

Se encontró una ciénaga de gran tamaño

Coordenadas: N 2° 35' 5.474"

W 76° 34' 48.365"

Uso humedal: ninguno.

Uso franja protectora: bosque pino, ganadería y pancoger

6.2.3. Municipio del Tambo

Ciénaga El Márquez 2:



Coordenadas: N 2° 27' 34.960"

W 76° 45' 26.065"

Uso humedal: desecación, ganadería.

Uso franja protectora: bosque, río piedras, ganadería.

Descripción General: Hace parte de la ciénaga de las tres veredas, que ya ha sido mencionada; se encuentra totalmente colmatada; ha sido intervenida durante muchos años con el objetivo de ser desecada, pero siempre en épocas de lluvias

retorna a su estado natural. Está segmentada por una vía y de acuerdo a los datos brindados por los habitantes de la vereda, cuando el río piedras en épocas de lluvias se desborda inunda la ciénaga; en época de invierno esta vía se vuelve intransitable, ocasionando problemas de comunicación con las veredas aledañas.

Humedal La Laguna:

Coordenadas: N 2° 27' 39.29"

W 76° 47' 55.1770"

Uso humedal: recreación y conservación.

Uso franja protectora: maíz, bosque y pastos.

Descripción General: El humedal La Laguna., es de origen natural y según los habitantes de la vereda era un pozo pequeño que ha ido creciendo lentamente en el transcurso de los últimos cuarenta años. Para los vecinos este humedal es de gran importancia, pues la región es reconocida gracias a él. Es el único humedal mencionado en el PBOT. No se pudo revisar la carta predial de esta vereda porque estaba siendo actualizada. Se sabe que varios predios limitan con el mismo. Se encuentra ubicado en el centro de la vereda la laguna.

Ciénaga Doria:

Coordenadas: N 2° 23' 22.459"

W 76° 40' 12.849"

Esta ciénaga limita con un predio del que no se logro encontrar información.

Uso franja protectora: establecimiento de bosques y ganadería.

Los humedales La Marquesa y Ciénaga Doria, pertenecen a un solo sistema y se denomino Ciénaga La Marqueza.

6.3. FASE DE CAMPO

6.3.1. Colecta de fitoplancton

Los muestreos se realizaron durante los meses de Octubre de 2007 a Enero de 2008. Los puntos de muestreo de cada humedal fueron escogidos al azar, en cada humedal se realizó un solo muestreo. Para la colecta cualitativa de los organismos fitoplanctónicos se empleó una malla de arrastre de 24 μm . Las colectas se realizaron una sola vez para cada humedal entre las 7:00 a.m y las 11:00 a.m., para la toma de estas muestras no se pudo establecer profundidades debido a la falta de elementos adecuados para ello.

Para al análisis cuantitativo, la filtración se realizó a través de una malla de plancton d 24 μm , esta muestra se concentró hasta 100mL y se preservó con lugol (1ml x 100ml de la muestra)

6.3.2. Colecta de organismos perifíticos

En cada humedal se realizó una sola muestra en cinco puntos diferentes cada uno de ellos con un área de 315,12 cm^2 , para la colecta de las comunidades se realizó un raspado del perifiton adherido a diferente sustratos como hojas de plantas acuáticas, tallos y troncos, este raspado se realizo con la ayuda de un pincel y bisturí con el fin de no dañar la muestra. La cual se concentró hasta 100 ml y se preservó con lugol.

Las muestras se sometieron a identificación y conteo de organismos para la determinación de la estructura de las comunidades y estimación de parámetros ecológicos como la densidad, diversidad, abundancia, igualdad y similitud.

6.4. FASE DE LABORATORIO

6.4.1. Caracterización y conteo de organismos planctónicos y perifíticos

Para el conteo de los organismos de las comunidades fitoplanctónicas se utilizaron las cámaras de sedimentación de Sedgwick – Rafter de 1 ml de capacidad, tal como lo recomiendan los métodos estándar (APHA; 1985). Se contó el número de individuos por género observado hasta completar 100 campos de observación microscópica por cada réplica de muestra.

Para calcular el número total de organismos por mililitro se aplicó la fórmula: (Naundorf, G. 2002a).

$$\text{Organismos / mL} = \frac{C \times 1000 \text{ mm}^3}{L \times D \times W \times S}$$

Donde:

C: Número de organismos contados

L: Longitud de cada transecto (mm)

D: Profundidad del transecto (mm)

W: Ancho del transecto (mm)

S: Número del transectos

Para el conteo de organismos perifíticos, se utilizó el método de los transectos o de Lackey (APHA, 1985). Para establecer la densidad de organismos se empleó la fórmula: (Naundorf, G. 2002^a).

$$\text{Organismos / mL} = \frac{C \times A_t}{A_s \times S \times V}$$

Donde:

C: Número de organismos contados

A_t : Área del cubre objetos en mm^2

A_s : Área de un transecto, en mm^2

S: Número de transectos contados

V: Volumen de la muestra bajo el cubre objetos, en ml.

La identificación se realizó hasta el nivel de género empleando diversas claves taxonómicas^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9} Igualmente se consultó bases de imágenes como los de la Universidad de Texas y <http://protist.i.hosei.ac.jp/>, entre otros.

6.4.2. Cálculo del Índice de Diversidad

Se calcularon los índices de Shannon y Margalef, utilizando el programa Bio Diversity Pro, versión 2.0., el cual es de uso libre.

¹ BICUDO, C.E. Y R.M. BICUDO. 1970. Algas de aguas continentais brasileiras Fundação Brasileira para o desenvolvimento de Ensino de Ciências, Sao Paulo.

² BLANCO, L. y SANCHEZ, L. 1984. Contribución al estudio taxonómico de las diatomeas del Orinoco medio, Bajo Caroni y algunas lagunas de inundación (Venezuela). San Félix: Fundación La Salle de Ciencias Naturales

³ HINO, K. y J. TUNDISI. 1984. Atlas de algas da represa do Broa. Sao Carlos: Universidad Federal de Sao Carlos

⁴ SMITH, G. 1920. Wisconsin Geological and Natural History Survey. Bulletin No. 57

⁵ NEEDHAM, J. G. y P. R. Needham. 1982. Guía para el estudio de los seres de las aguas dulces. Barcelona: Editorial Reverté, S. A

⁶ PRESCOTT, G.W. 1984. How to know the freshwater algae. 7th Ed. Wm C. Brown Company Publishers, Dubuque, IW, USA

⁷ RAMIREZ, J.J. 2000. Fitoplancton de agua dulce. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín

⁸ TELL, G. y V. CONFORTI. 1986. Bibliotheca Phycologica: Euglenophytas pigmentadas de la Argentina. Stuttgart: J. Cramer

⁹ BOLD, H. and M. Wayne. 1985. Introduction to the algae. 2nd Ed. Prentice-Hall Inc. Englewoods Cliffs, N.J

6.4.3. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron sistematizados en hojas del cálculo Excel (Microsoft Windows). Para el cálculo de los índices de diversidad tanto el Shannon como el de Margalef, se usó el programa BioDiversity Pro, versión 2.0 (uso libre), con el fin de establecer similitudes y diferencias entre los ecosistemas estudiados.

6.5. Muestreo Físicoquímico – Hídrico (CRC, 2008)

Simultáneamente el equipo de trabajo de la CRC realizó el muestreo de físicoquímico hídrico en cada uno de los humedales tanto naturales como artificiales, tomando muestras simples o puntuales.

In situ, con la ayuda de equipos electrónicos (sonda multiparamétrica **HASH**), se determinaron parámetros como T° del agua (°C), oxígeno disuelto (mg/L), saturación de oxígeno disuelto (%), pH (unidades), conductividad (μ Mhos/cm), sólidos disueltos totales (mg/L), alcalinidad total (mg/L CaCO₃), dureza total (mg/L CaCO₃), nitritos (mg/L) y nitratos (mg/L).

La demanda biológica de oxígeno (DBO₅) y la demanda química de oxígeno (DQO), se determinaron en el laboratorio de la CRC (para estas muestras se consideró lo enmarcado en el decreto 1594 de 1998).

Estos datos fueron utilizados como complemento en el presente trabajo con el fin de correlacionarlos con los resultados obtenidos en la parte biológica.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA

Las tablas 4 y 5 presentan los valores obtenidos para los diferentes parámetros físicos y químicos hídricos

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos hídricos de humedales ubicados en los municipios de Cajibío, Tambo y Timbío.

PARÁMETRO / HUMEDAL	CAJIBIO		TAMBO		TIMBIO
	HLEmp*	HLP*	HLL*	HM2*	HCD*
Temperatura del agua (°C)	18,77	20,40	23,60	23,85	18,75
Oxígeno disuelto (mg/L)	4,63	2,64	4,06	2,65	2,84
Saturación de oxígeno (%)	60,63	36,25	58,90	39,75	37,70
Conductividad (µMhos/cm)	6,08	6,03	10,76	26,95	29,40
pH (Unidades)	4,39	5,05	5,07	5,50	5,70
Turbidez (NTU)	1,20	0,95	2,10	7,05	4,90
SDT (mg/l)	2,40	2,35	4,60	12,35	13,55
SST (mg/l)	6,17	5,00	5,00	9,10	5,00
Color (UPC)	16,33	9,00	25,00	51,50	42,00
Alcalinidad Total (mg/L CaCO ₃)	7,73	5,60	7,20	12,10	21,60
Dureza Total (mg/L CaCO ₃)	1,37	1,20	1,80	4,75	4,75
Sulfatos (mg/L)	25,00	25,00	25,00	25,00	5,00
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Nitritos (mg/L)	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04
Cloruros (mg/L)	1,00	1,00	1,00	1,25	2,50
DBO ₅ (mg/L)	0,70	0,70	0,70	0,75	0,50
DQO ₅ (mg/L)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Coliformes Totales	2419,60	1700,00	2419,60	2076,25	2419,60
Coliformes Fecales	14,90	25,00	8,40	19,05	42,20

* Humedales de origen natural.

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Cauca 2008

Tabla 5. Parámetros fisicoquímicos hídricos de humedales ubicados en el municipio de Popayán.

PARÁMETRO / HUMEDAL	POPAYÁN										
	HC2*	HEB**	HM1**	HP2**	HC**	HEU2**	HPI**	HEA**	HLE**	HSF2**	HLG**
Temp. agua (°C)	20,00	20,50	20,60	19,40	23,60	23,90	22,80	21,70	22,70	22,10	18,20
Oxígeno disuelto (mg/L)	5,71	3,18	5,50	5,56	5,75	4,06	4,64	2,84	4,80	4,60	5,45
Saturación de oxígeno (%)	68,40	43,50	60,00	59,00	65,30	58,90	58,00	39,40	61,00	61,00	70,20
Conductividad (µMhos/cm)	11,30	5,49	14,28	23,40	11,35	13,85	11,37	17,17	11,36	5,27	44,10
pH (Unidades)	5,14	5,41	5,46	5,37	5,98	4,90	5,34	5,73	4,95	5,93	7,20
Turbidez (NTU)	0,30	2,00	8,00	4,40	11,30	1,80	7,70	4,70	6,50	8,10	10,90
SDT (mg/l)	4,80	2,10	6,30	10,70	4,90	6,10	4,90	7,70	4,90	6,80	0,00
SST (mg/l)	5,00	7,50	5,00	5,00	6,50	5,00	5,60	5,00	5,00	13,30	12,50
Color (UPC)	2,00	23,00	8,00	6,00	5,00	41,00	9,00	41,00	7,00	51,00	32,00
Alcalinidad Total (mg/L CaCO3)	8,80	12,00	12,00	12,00	15,20	8,80	15,20	67,20	11,20	11,20	21,60
Dureza Total (mg/L CaCO3)	1,50	1,50	2,20	4,10	5,40	2,20	3,40	3,40	1,80	3,40	8,00
Sulfatos (mg/L)	5,00	25,00	5,00	5,00	5,00	25,00	5,00	5,00	5,00	5,00	20,00
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	0,01	0,01	0,01	0,22	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,10
Nitritos (mg/L)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,07	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02
Cloruros (mg/L)	2,00	1,00	2,60	2,40	3,50	1,00	2,80	2,50	2,00	2,50	2,50
DBO5 (mg/L)	0,50	0,70	0,50	0,50	0,50	0,80	0,50	0,60	0,50	1,70	1,90
DQO5 (mg/L)	10,70	4,10	16,20	11,60	34,20	4,00	9,20	4,00	13,40	4,00	10,00
Coliformes Totales	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6	2419,6
Coliformes Fecales	40,40	29,50	20,30	648,80	238,20	6,30	85,70	2419,6	185,00	79,80	547,50

* Humedales de origen natural. **Humedales de origen artificial.

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Cauca 2008

NOTA: Los nombres de cada humedal se presentan en las tablas 5 y 6 con abreviaturas, para mayor claridad sobre sus nombres remitirse a la Tabla No. 3

La temperatura hídrica fluctuó entre 18.2 y 23,9 °C ($\bar{x}=21,30$), registrando el valor más alto el humedal Uvo 2; y el más bajo el humedal Las Guacas es probable que estos valores se deben al clima, la profundidad, composición química y posición geográfica de los humedales (Roldán, 1992); en este caso se debe principalmente a que los suelos donde se encuentran ubicados los humedales de la Meseta de Popayán, son de origen volcánico (IGAC, 1993).

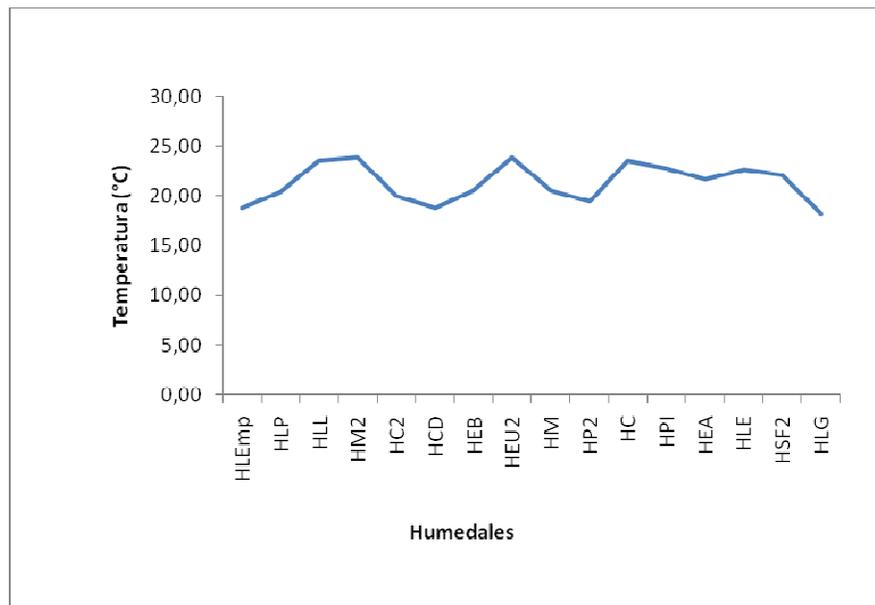


Figura 1. Temperatura de los humedales de la meseta de Popayán.

Las concentraciones de oxígeno disuelto registraron valores desde 2,64 mg/l hasta 5.75 mg/l. El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto osciló entre 70.2% y 37,7%, valores que se encuentran por debajo del mínimo óptimo para el desarrollo normal de la biota acuática (Roldán, 1992). Este parámetro presentó algunas diferencias entre puntos muestreados, principalmente entre los cuerpos de agua de origen natural y artificial; como fue el caso el humedal Ciénaga el Marques.

En el caso del humedal Claridad se registró el mayor valor de oxígeno disuelto (5,75 mg/L), este valor puede estar influenciado por el incremento de materia orgánica que favorecen los crecimientos algales, por consecuencia el aumento de concentración del oxígeno (Roldán, 1992). Situación similar se presentó para el Humedal Ciénaga Clarete.

En los humedales artificiales, que presentaron espejo de agua, a excepción del Bolsón y el Abrazo, el porcentaje de saturación de oxígeno registrado fue en promedio del 54,8% y aunque está por debajo del mínimo óptimo se puede considerar como moderadamente bueno, en este tipo de aguas la fuente principal de oxígeno es el proceso de la fotosíntesis realizado por el fitoplancton y las macrófitas. (Roldán, 1992)

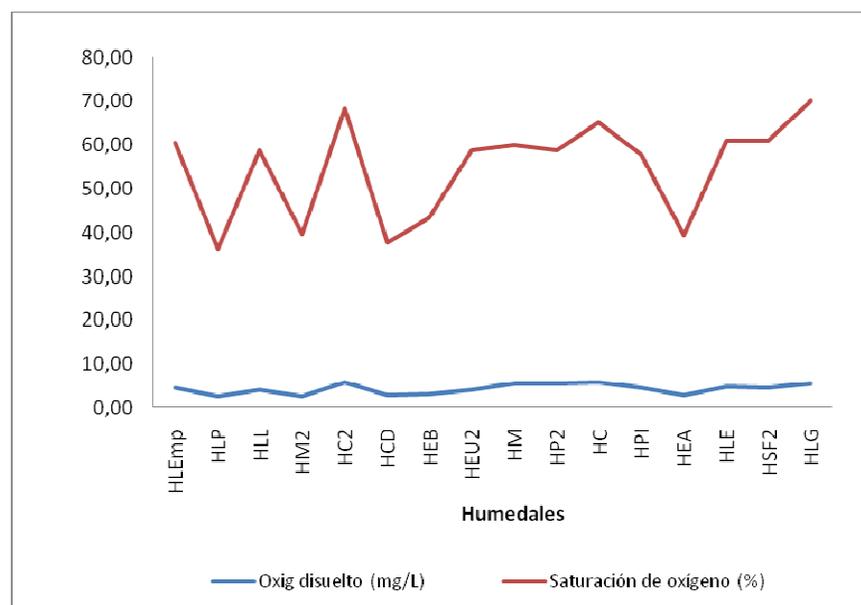


Figura 2. Oxígeno disuelto y porcentaje de saturación de oxígeno de los humedales de la meseta de Popayán.

El pH arrojó valores entre 4,39 y 7,20 Unidades, que indican que los sistemas presentan tendencia a una condición ácida y en algunos casos neutro-ácida, puede deberse a que los suelos de esta zona son de origen volcánico (IGAC, 1993); también el pH puede deberse a reacciones de tipo biológico y químico

(respiración, degradación de materia orgánica, la fermentación microbiana del metano, la nitrificación del amonio entre otros) que eventualmente se presentan en la columna de agua y en el sustrato elevando las concentraciones de CO₂ y disminuyendo los valores de pH.

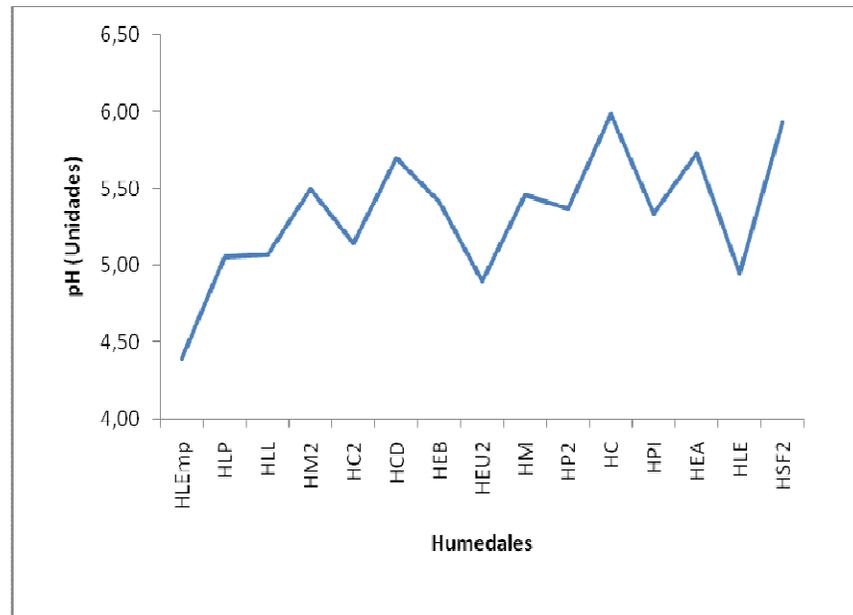


Figura 3. pH de los humedales de la meseta de Popayán.

Con respecto a la dureza total se registraron valores bajos (entre 1.2 y 8 mg/L) que según Vásquez (1992), se catalogan como aguas blandas que en términos biológicos se pueden considerar como aguas poco productivas y en cuanto a la alcalinidad osciló entre 5,60 mg/l y 67,20 mg/l, indicando influencia directa por bicarbonatos y baja conductividad (Vásquez, 1992)

Aunque los conceptos de alcalinidad y dureza pueden relacionarse químicamente, especialmente cuando se maneja la calidad del agua para propósitos acuícolas, no siempre presenta correlación directa (Vásquez, 1992), como es el caso del humedal El Abrazo en donde los valores de alcalinidad total están muy por encima de los de dureza igualmente en los demás humedales, esto debido al aporte y acumulación de elementos alóctonos y nutrientes al sistema, esto se debe al

arrastre de sedimentos por la lluvias, vertimientos de contaminantes domésticos e industriales y por la actividad agrícola, como son los galpones avícolas establecidos en el predio (Roldan, 1992).

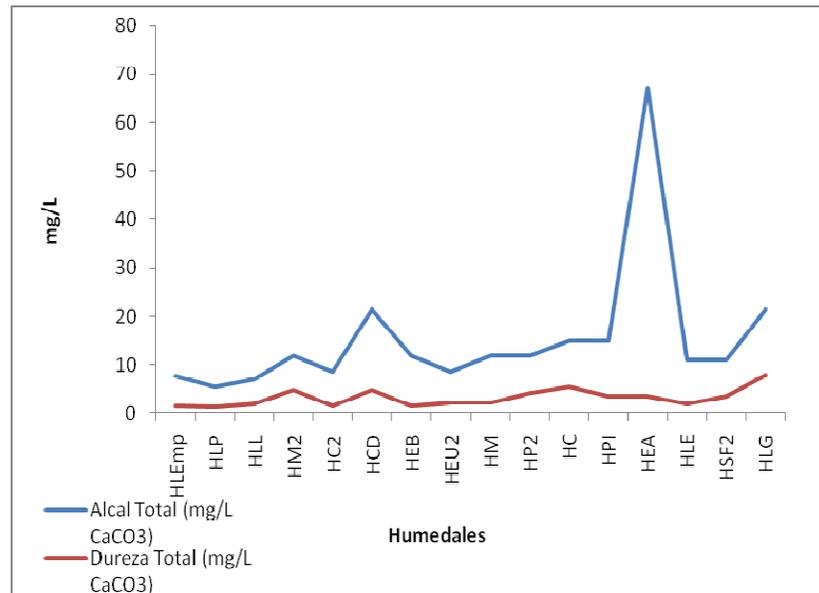


Figura 4. Alcalinidad Total (mg/L Ca CO₃) y Dureza Total (mg/L Ca CO₃) de los humedales de la meseta de Popayán.

Para los indicadores químicos de procesos de degradación de materia orgánica, se registraron valores similares para la mayoría de los humedales (< 0.01mg/L), reflejando procesos normales de síntesis de proteínas correspondientes al ciclo del nitrógeno (Roldan, 1992).

Los valores registrados para nitrógeno amoniacal presentaron un promedio de 0,03 mg/L. El mayor valor se registró para los humedales Praga 2, las Guacas y San Francisco (0,22 mg/L; 0,10 mg/L y 0,05 mg/L respectivamente), y los menores valores se registraron en los humedales La Esperanza Cajibío, La Primavera, La Laguna, El Marqués, Clarete 2, Doria, El Bolsón, El Uvo 2, Morinda 1, Claridad, Parque Industrial, El Abrazo, La Esperanza Popayán (promedio de 0,01 mg/L); indicando la presencia de procesos de descomposición de materia orgánica

(Wetzel, 1983). De igual manera los valores registrados para nitritos en los humedales de la meseta de Popayán indican procesos metabólicos en los cuerpos de agua (Roldán, 1992), en cuanto a esto los humedales El Marques, Doria, El Uvo 2 y San Francisco 2; los niveles de nitritos presentan valores que son limitantes para el establecimiento de muchos organismos (promedio de 0.03 mg/L).

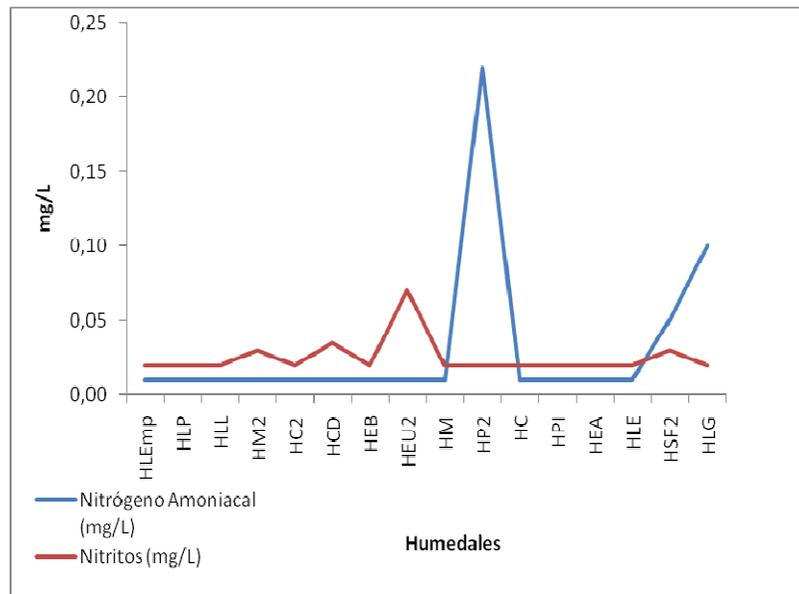


Figura 5. Nitrógeno Amoniacal (mg/L) y Nitritos (mg/L) de los humedales de la meseta de Popayán.

La conductividad presentó valores que oscilaron entre 44,10 y 5,27 mMhos/cm², para el humedal Las Guacas se registro el mayor valor de 44,10 mMhos/cm² y el menor valor 5,27 mMhos/cm² se registró en el humedal San Francisco 2, estos valores pueden deberse a la composición química del sustrato y a procesos de descomposición de materia orgánica. Este parámetro indica ecosistemas con tendencia a eutrofia, que aumentan la cantidad de nutrientes y sólidos disueltos en el agua, debido a la intervención antrópica y a nutrientes aportados por los ríos adyacentes a los humedales (Roldan, 1992).

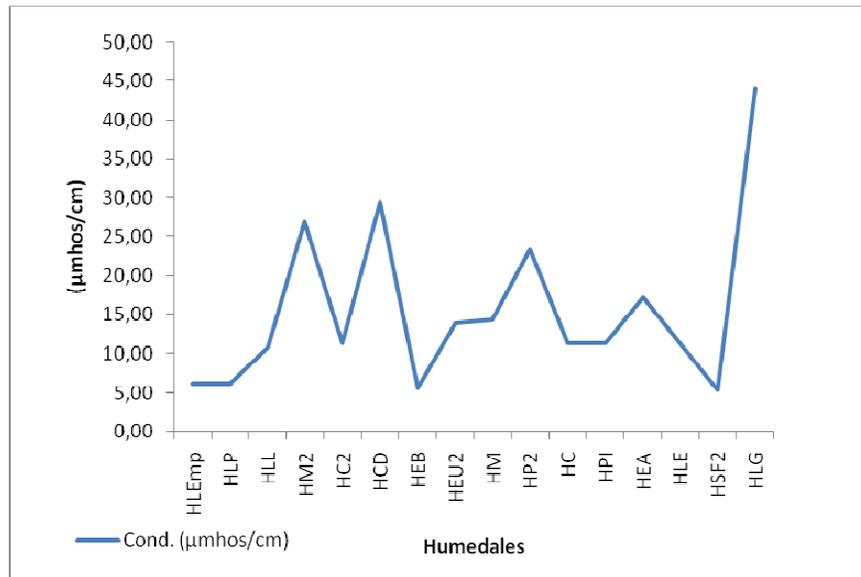


Figura 6. Conductividad (mMhos/cm²), de los humedales de la meseta de Popayán.

En conclusión la concentración de oxígeno disuelto presenta algunas diferencias entre puntos muestreados, esto se debe a que la distribución del oxígeno está dada por la circulación y movimiento del agua provocados por los vientos (Roldán, 1992), en algunos casos puede ser debido a que las aguas de los humedales naturales tienen gran recorrido y en otros casos por no poseer espejo de agua, por esta razón, las concentraciones de oxígeno serán diferentes tanto a la entrada como a la salida del sistema.

Caso concreto es el humedal Ciénaga El Marques quien presenta una amplia diferencia en la concentración de oxígeno en los dos puntos muestreados, esta diferencia se debe a que en la entrada al sistema, el agua presenta movimiento durante todo su recorrido hasta llegar a un punto donde es represada, pero de igual manera el movimiento del agua permite el intercambio de oxígeno con el medio, en este humedal el agua retorna al sistema natural aunque en menor cantidad, debido a que inundan parte del suelo, conformando ciénaga como tal, sin dejar de lado el aporte importante que se hace a través de la precipitación siendo quien determina la extensión del mismo (CRC, 2008). Al inundarse el suelo

y por efecto de la temperatura, se aceleran los procesos de degradación de materia orgánica, requiriendo cada vez más una mayor cantidad de oxígeno, todo esto se traduce en mayor cantidad de alimento, permitiendo el establecimiento de mas comunidades, tanto vegetales (acuática y semiacuática) y como animales (acuáticos), aumentando así los requerimientos de oxígeno en el sistema, eliminando a su vez el existente en el medio, dando como resultado la eutrofización del cuerpo de agua.

En el caso del humedal Clarete (Cajibío), en donde se presento la mayor cantidad de oxígeno disuelto, se debió a la buena dinámica hídrica, favoreciendo el incremento de oxígeno en el medio. En los humedales artificiales, quienes presentan espejo de agua, en la mayoría el porcentaje de saturación de oxígeno es moderadamente bueno (60% en promedio) a pesar de estar por debajo del mínimo optimo. En este tipo de cuerpos de agua la principal fuente de oxígeno es el proceso bioenergético de la fotosíntesis, generado por el fitoplancton y en algunos casos por las macrófitas acuáticas (Roldán, 1992).

En cuanto al pH, se puede inferir que los sistemas presentan condiciones acidas y otras neutro-acidas, debido a que los suelos de la Meseta de Popayán son de carácter acido, es también importante indicar que los procesos fotosintéticos que se dan en los diferentes cuerpos de aguas tienden a disminuir la concentración de CO_2 , aumentando los valores de pH, no obstante también se presentan procesos de degradación de materia orgánica, fermentación microbiana del metano, la nitrificación del amonio y la oxidación de los sulfuros que hacen que la concentración del gas carbónico se eleve disminuyendo los valores de pH (Vásquez, 2001)

De acuerdo a los datos obtenidos para la dureza total, para el caso del Humedal El Abrazo en donde los valores de alcalinidad total (67,20 mg/L CaCO_3) están muy por encima de los de la dureza (3,40 mg/L) y a su vez de los del resto de humedales, esto debido al aporte y acumulación de elementos alóctonos y

nutrientes, que se generan del criadero de gallos, de la actividad ganadera como también de los cultivos que se encuentran a su alrededor, haciendo que por medio de arrate o escorrentía se presente una contaminación con numerosos agentes patógenos (bacterias, virus, etc.) causados por las excretas de los gallos y ganado, también se ocasiona una contaminación por metales contenidos en la orina y las heces (Peña, E.J., E. et al. 2005)

Según la clasificación para nitritos se considera, entre 0,0 – 0,05 aguas oligotróficas, entre 0,5 - 5,0 aguas mesotróficas y entre 5,0 – 15,0 aguas eutróficas; teniendo en cuenta estos valores, y los valores observados para los humedales de la Meseta de Popayán se puede inferir que son oligotróficos, reflejando procesos normales de degradación correspondientes al ciclo del nitrógeno. (Vollenweider 1968 en Roldán, 1992).

Los valores encontrados de coliformes fecales y totales, se debió a la gran contaminación orgánica en las aguas causadas principalmente a la actividad de la ganadería siendo esta la más intensiva en las franjas protectoras de los humedales, aumentado de esta manera la materia orgánica por medio de las deposiciones y que por acción de la escorrentía o lixiviación esta llega a las fuentes de agua, estos valores oscilaron entre 6,30 y 2419,60 siendo para el humedal el Abrazo el valor más alto, y para coliformes totales los valores oscilaron entre 1700 y 2419,60; de acuerdo a estos datos y a los criterios de calidad bacteriológica del agua utilizados por la OMS (1978) (Roldán, 1992), el agua contenida en los humedales se debe someter a proceso de descontaminación; para valores entre 0-50, mayores de 50-5000 requiere de la aplicación de métodos como la coagulación y filtración y en cuanto al uso se recomienda solo para agricultura y en algunos casos para acuicultura.

7.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS COMUNIDADES FITOPLANCTÓNICAS Y PERIFÍTICAS.

Tabla 6. Géneros perifíticos registrados en los humedales de la Meseta de Popayán

DIVISIÓN	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	No. Ind
CYANOPHYTA	CHROOCOCCALES	Chroococcaceae	Aphanocapsa	40
			Chroococcus	358
			Merismopedia	314
	NOSTOCALES	Nostocaceae	Anabaena	67
			Nostoc	5
		Oscillatoriaceae	Borzia	10
			Lyngbia	2
			Oscillatoria	170
			Spirulina	43
	STIGONEMATALES	Stigonemataceae	Leptopogon	81
			Hopalosiphon	4
DIATOMOPHYTA	COSCINODISCALES	Coscinodiscaceae	Melosira	45
	DIATOMALES	Diatomaceae	Fragillaria	242
			Synedra	554
			Tabellaria	45
	EUNOTIALES	Eunotiaceae	Actinella	18
			Eunotia	939
	NAVICULALES	Naviculaceae	Amphora	28
			Cymbella	1043
			Frustulia	617
			Girocygma	428
			Gomphonema	535
			Navícula	4212
			Neidium	473
			Pinnularia	758
			Pleurocygma	419
Nitzschiaceae			Nitzschia	48
Surirellaceae	Surirella	8		

Tabla 6. (Continuación) Géneros perifíticos registrados en los humedales de la Meseta de Popayán

DIVISIÓN	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	No. Ind
CHLOROPHYTA	CHLOROCOCCALES	Chlorococcaceae	Chlorococcum	75
			Tetraedrum	4
		Dictyosphaeriaceae	Dictyosphaerium	4
		Hydrodictyceae	Tetrallantus	12
		Oocystaceae	Nephrocytium	97
			Oocystis	184
			Selenastrum	82
	Scenedesmaceae	Crucigenia	50	
		Scenedesmus	329	
TETRASPORALES	Gloeocystaceae	Gloeocystis	7	
VOLVOCALES	Volvocaceae	Haematococcus	4	
EUGLENOPHYTA	EUGLENALES	Euglenaceae	Euglena	1896
			Phacus	164
			Trachelomona	208
PYRRROPHYTA	PERIDINALES	Gymnodiniaceae	Gymnodinium	714
RHODOPHYTA	COMPSOPOGONALES	Compsopogonaceae	Compsopogon	3
ULOTHRICOPHYTA	CHAETOPHORALES	Chlorosarcinaceae	Chlorosphaeropsis	13
			Chaetophoraceae	Stigeoclonium
	OEDOGONIALES	Dicranochaetaceae	Bulbochaete	3
			Oedogoniaceae	Oedogonio
	ULOTHRICALES	Microsporaceae	Microspora	443
XANTOPHYTA	MISCHOCOCCALES	Pleurochloridaceae	Meringosphaera espinosa	28
ZYGOPHYTA	ZYGNEATALES	Desmidiaceae	Closteridium	362
			Closterium	908
			Cosmarium	1649
			Desmidium	1050
			Euastrum	183
			Hyaloteca	13
			Spinoclosterium	9
			Staurastrum	1579
			Tetmemorus	74
			Pleurotaenium	135
			Xanthidium	202

Tabla 6. (Continuación) Géneros perifíticos registrados en los humedales de la Meseta de Popayán

DIVISIÓN	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	No. Ind
ZYGOPHYTA	ZYGNEATALES	Desmidiaceae	Closteridium	362
			Closterium	908
			Cosmarium	1649
			Desmidium	1050
			Euastrum	183
			Hyaloteca	13
			Spinoclosterium	9
			Staurastrum	1579
			Tetmemorus	74
			Pleurotaenium	135
		Xanthidium	202	
		Mesotaeniaceae	Netrium	599
		Zignemataceae	Mougeotia	1
Spirogyra	729			
Zygnema	32			
CYANOBACTERIA	Sin determinar	Sin determinar	Cianobacteria	31

Tabla 7. Géneros fitoplanctónicos registrados en los humedales de la Meseta de Popayán

DIVISIÓN	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	No. Ind
CHROMOPHYTA	OCHROMONADALES	Dinobryaceae	Dinobryon	27
CYANOPHYTA	CHROOCOCCALES	Chroococcaceae	Actinastrum	2
			Aphanocapsa	9
			Chroococcus	32
			Merismopedia	2
	NOSTOCALES	Microchaetaceae	Leptochaete	69
			Nostocaceae	Anabaena
		Oscillatoriaceae	Borzia	2
			Lyngbia	4
			Oscillatoria	131
			Spirulina	2
STIGONEMATALES	Stigonemataceae	Leptopogon	22	
		Hopalosiphon	3	
DIATOMOPHYTA	COSCINODISCALES	Coscinodiscaceae	Melosira	5
	DIATOMALES	Diatomaceae	Synedra	43
			Tabellaria	26
	EUNOTIALES	Eunotiaceae	Eunotia	89
	NAVICULALES	Naviculaceae	Amphora	11
			Anomoeoneis	27
			Cymbella	60
			Frustulia	19
			Girosygma	24
			Gomphonema	28
			Navicula	684
			Neidium	46
			Pinnularia	79
Pleurosygma			51	
Surirellaceae	Surirella	2		
CHLOROPHYTA	CHLOROCOCCALES	Chlorococcaceae	Tetraedron	5
			Ankistrodesmus	2092
		Oocystaceae	Oocystis	9
			Selenastrum	21

Tabla 7. (Continuación) Géneros fitoplanctónicos registrados en los humedales de la Meseta de Popayán

DIVISIÓN	ORDEN	FAMILIA	GÉNERO	No. Ind
CHLOROPHYTA	CHLOROCOCCALES	Scenesdesmaceae	Coelastrum	3
			Crucigenia	3
	VOLVOCALES	Chlamydomonaceae	Chlamydomona	243
			Volvocaceae	Volvox
EUGLENOPHYTA	EUGLENALES	Euglenaceae	Euglena	394
			Phacus	84
			Trachelomona	831
PYRRROPHYTA	PERIDINALES	Gymnodiniaceae	Gymnodinium	4
RHODOPHYTA	COMPSOPOGONALES	Compsopogonaceae	Compsopogon	2
ULOTHRICOPHYTA	CHAETOPHORALES	Chaetophoraceae	Stigeoclonium	4
	OEDOGONIALES	Oedogoniaceae	Oedogonio	35
	ULOTHRICALES	Microsporaceae	Microspora	33
XANTOPHYTA	MISCHOCOCCALES	Pleurochloridaceae	Meringosphaera espinosa	4
ZYGOPHYTA	ZYGNEATALES	Desmidiaceae	Closterium	126
			Cosmarium	286
			Desmidium	9
			Hyaloteca	27
			Staurastrum	211
			Tetmemorus	9
			Pleurotaenium	152
			Xanthidium	23
		Zignemataceae	Mougeotia	3
	Spirogyra	7		
CYANOBACTERIA	Sin determinar	Sin determinar	Cianobacteria	121

Para los 14 humedales de la Meseta de Popayán se registraron 77 géneros perifíticos, 29 familias pertenecientes a 19 ordenes. El mayor número de organismos se observó en el humedal La Esperanza (Popayán) con 2962 org/cm², el humedal Ciénaga Doria fue el menos abundante con 976 org/cm², y se puede considerar el humedal el Marques con 1513 org/cm² como medianamente abundante (Fig. 7)

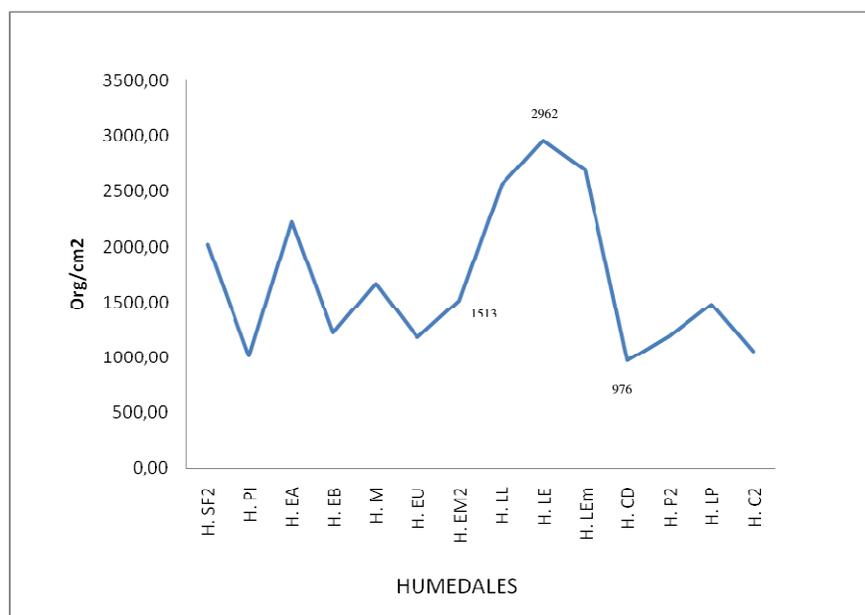


Figura 7. Géneros perifíticos (Org/cm²), registrados en la Meseta de Popayán

El género más abundante fue *Navícula* (17,69%) seguido por los géneros *Euglena* (7,96%), *Cosmarium* (6,93%), *Staurastrum* (6,63%) y *Desmidium* (4,41%); el menos abundante fue *Mougeotia* (0,004%) seguido por los géneros *Lyngbia* (0,008%), *Bulbochaete* y *Compsopogon* (0,012%) y *Dyctiosphaerium* (0,017%) (Fig. 8).

El género *Navícula* se encontró en todos los puntos de muestreo, indicando procesos de mesotrofia y este género se considera cosmopolita y tolerante a los cambios que puedan presentarse en el sistema.

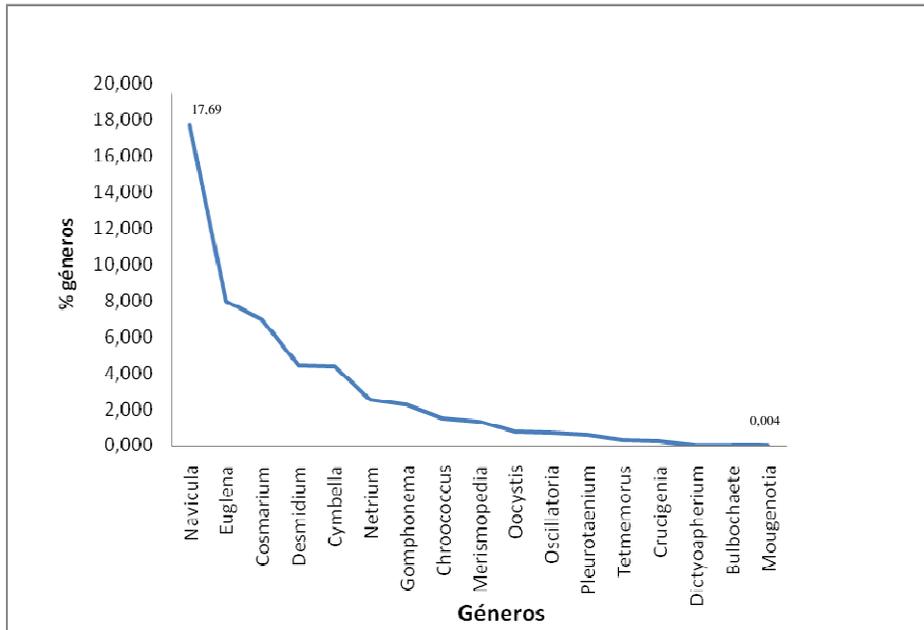


Figura 8. Abundancia (%) de géneros perifíticos

Para las comunidades fitoplanctónicas se muestrearon 8 humedales en los cuales se presentaron, 56 géneros y 26 familias pertenecientes a 19 ordenes. El mayor número de organismos se observó en el humedal El Abrazo con 22.890 Org/L, el humedal Parque Industrial fue el menos abundante con 1.350 Org/L, y se puede considerar el humedal el Marques con 9.350 Org/L como medianamente abundante (Fig. 9)

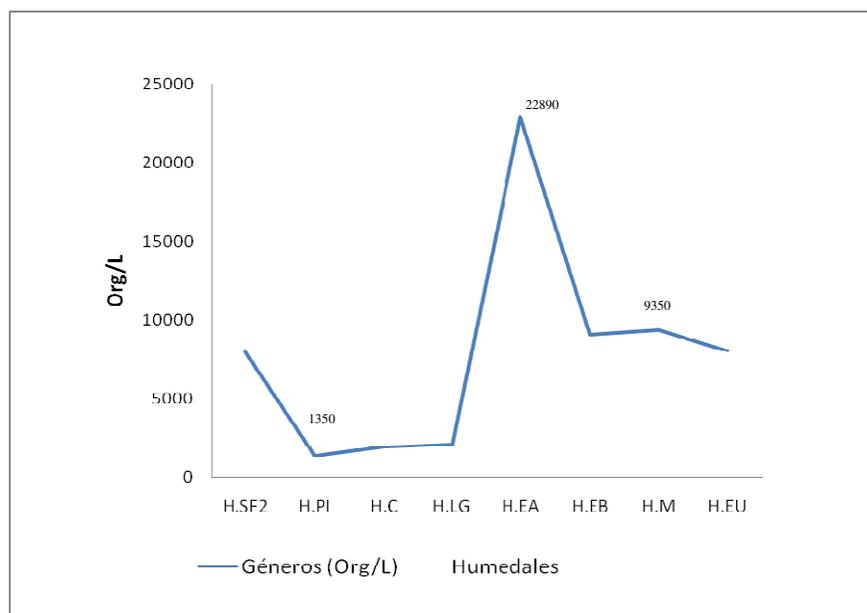


Fig 9. Número de organismos (Org/L) fitoplanctónicos, registrados en cada humedal

El género más abundante fue *Ankistrodesmus* (33.40%) seguido por los géneros *Trachelomona* (13.27%), *Navícula* (10.98%), *Euglena* (6,29%) y *Cosmarium* (4.57%); los menos frecuentes *Actinastrum* (0,03%), seguido por *Crucigenia* (0,05), *Gymnodinium* (0,06%) (Fig. 10)

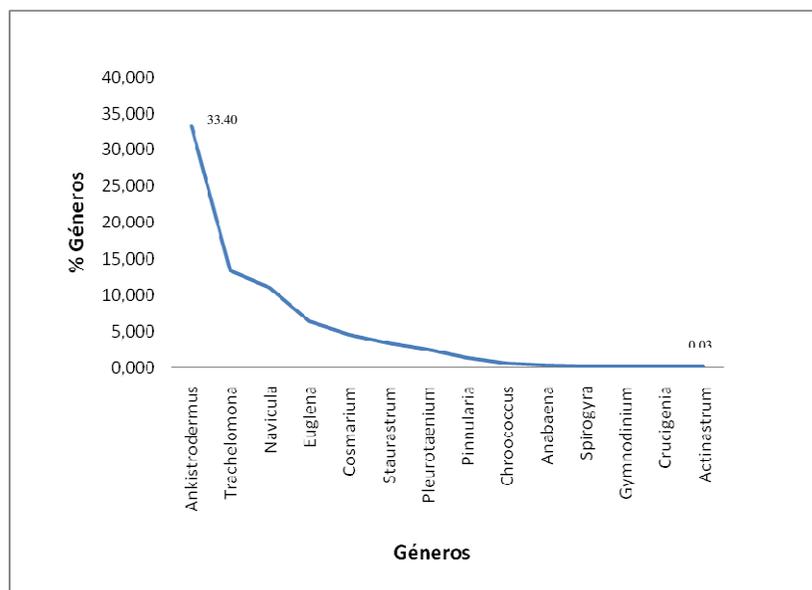


Fig 10. Abundancia de Géneros (%) fitoplanctónicos, registrados en los Humedales de la Meseta de Popayán

7.2.1. Fitoplancton y perifiton presentes en los humedales del municipio de Popayán.

Los géneros fitoplanctónicos más abundantes encontrados en el Municipio de Popayán, fueron *Merismopedia* (45,95%), seguido por el género *Desmidium* (8,65), *Oedogonium* (8,43%) y *Trachelomona* (6,15%) y los menos abundantes fueron *Oscillatoria* y *Actinastrum* (0,04%), seguido de los géneros *Melosira* (0,07%) y *Staurastrum* (0,09%) (Fig. 11)

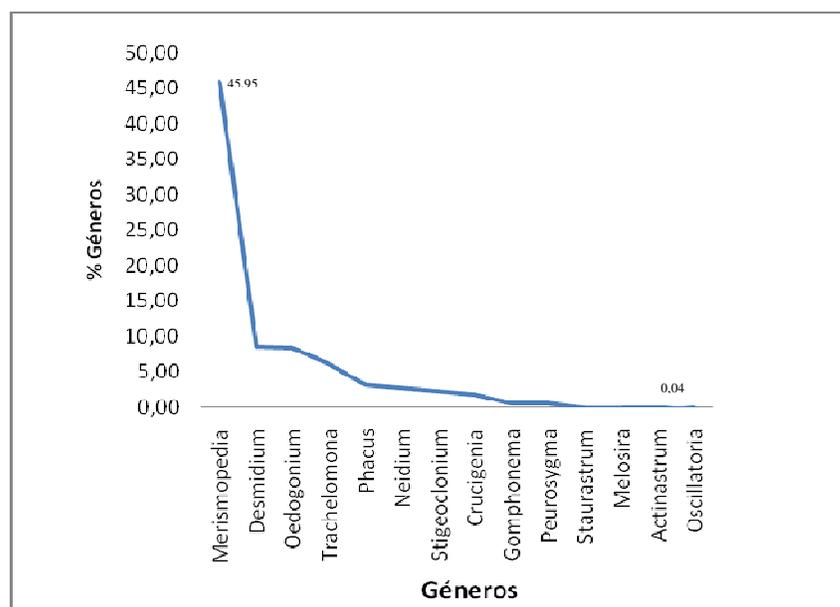


Fig 11. Abundancia (%) de géneros fitoplanctónicos en los humedales de Popayán

En cuanto al perifiton, los géneros más abundantes fueron *Navícula* (19,88%), seguido de los géneros *Staurastrum* (9,27%), *Cosmarium* (6,03%) y *Spyrogira* (5,41%). Los menos abundantes fueron *Mougeotia* y *Dictyosphaerium* (0,01%), seguidos de los géneros *Bulbochaete* y *Compsopogon* (0,02%), *Melosira* (0,07%) y *Dinobryon* (0,08%). (Fig. 12)

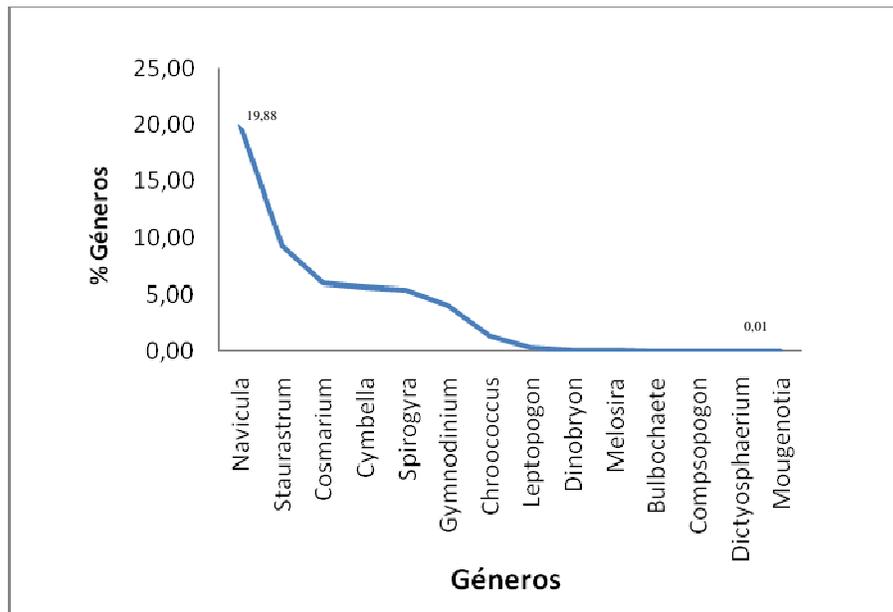


Fig 12. Abundancia (%) de géneros perifíticos en los humedales de Popayán

7.2.2. Fitoplancton y perifiton presentes en los humedales del municipio del Cajibío

Para las comunidades fitoplanctónicas el Humedal el Bolsón arrojó los siguiente datos, el género más abundante fue *Chlamydomona* (25,55%), seguido de los géneros *Navícula* (24,23%), *Cosmarium* (12,72%) y *Trachelomona* (6,53%) y los menos abundantes fueron *Oedogonium* (0,03%), *Meringosphaera espinosa* (0,04%), *Tetraedrum* (0,05%) y *Girocygma* (0,06%) (Fig. 13)

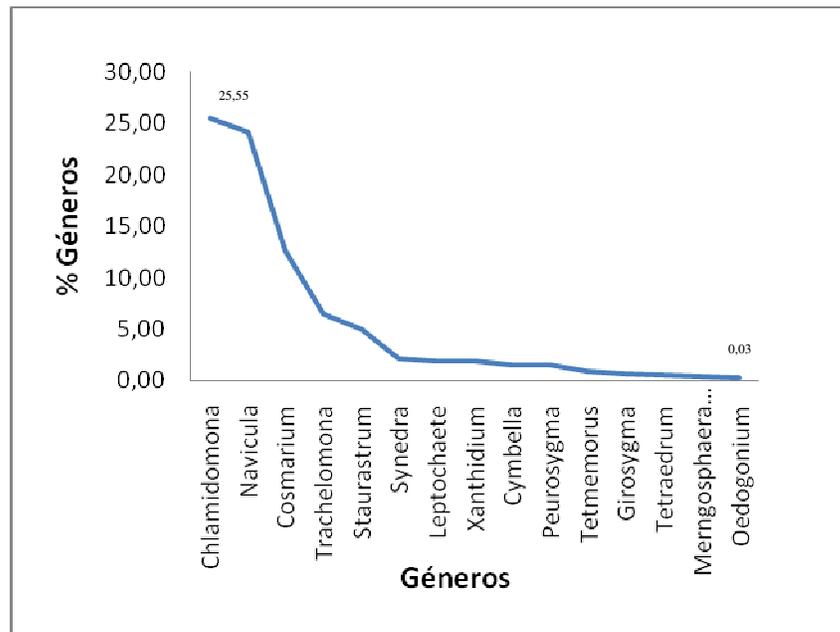


Fig 13. Abundancia (%) de géneros fitoplanctónicos en los humedales de Cajibío

En las comunidades perifíticas el género más abundante fue *Euglena* (23,89%), seguido de los géneros *Desmidium* (17,01%), *Cosmarium* (11,03%) y *Navícula* (9,46%) y lo menos abundantes fueron, *Selenastrum* (0,13%), seguido de los géneros *Actinella* (0,20%), *Aphanocapsa* (0,22%) y *Xanthidium* (0,28%) (Fig. 14)

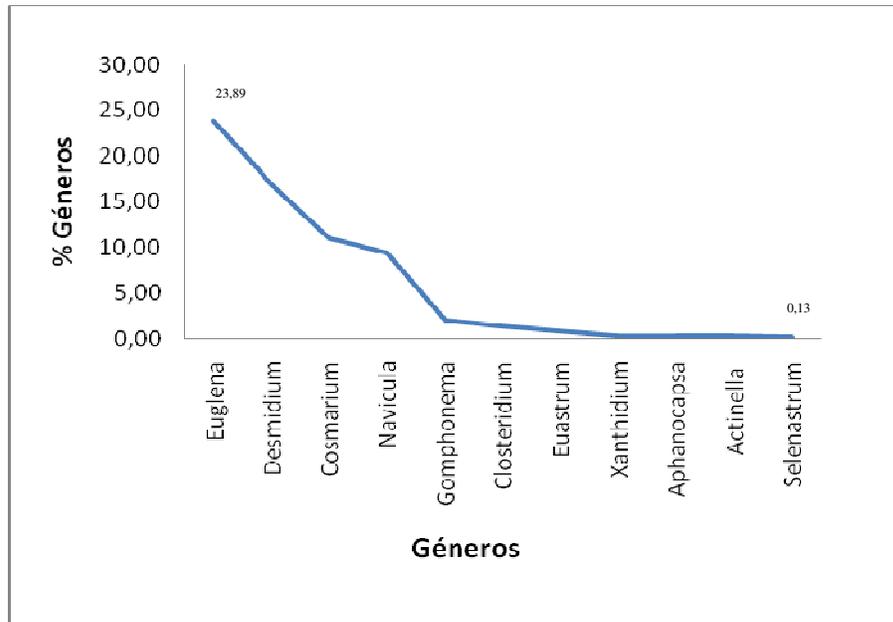


Fig 14. Abundancia (%) de géneros perifíticos en los humedales de Cajibío

7.2.3. Perifiton presente en los humedales del municipio del Tambo

El género más abundante para este humedal fue *Navícula* (21,57%), seguido de los géneros *Closterium* (9,08%), *Cosmarium* (5,87%), *Staurastrum* (5,55%), y *Pinnularia* (5,50%) y los menos abundantes fueron *Borzia* (0,02%), seguido de los géneros *Dyctiosphaerium*, *Lyngbia* y *Nostoc* (0,05%), *Leptopogon* (0,07%) y *Haematococcus* (0,10%). (Fig. 15)

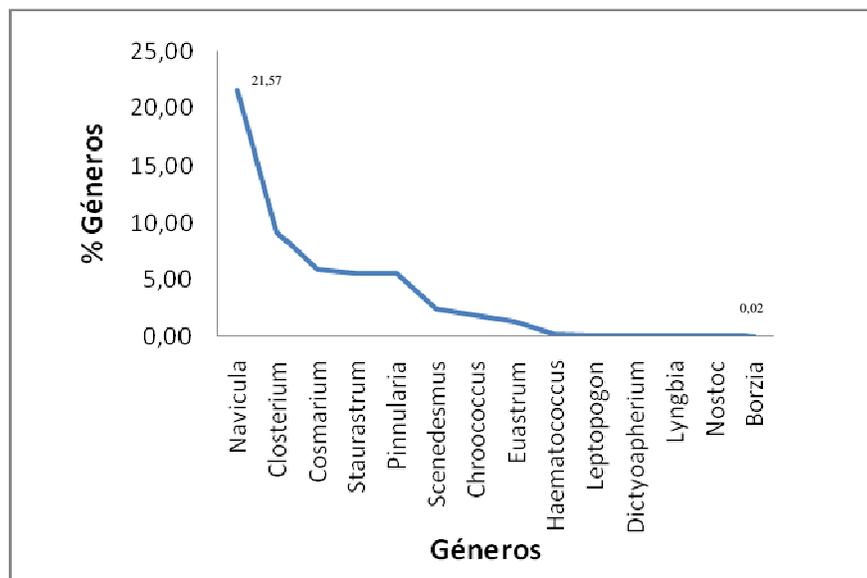


Fig 15. Abundancia (%) de géneros perifíticos en los humedales de Tambo

7.2.4. Perifiton presente en el humedal del municipio de Timbío

El género más abundante para este humedal fue *Euglena* (21,62%), seguido de los géneros *Navícula* (14,45%), *Closteridium* (13,01%), *Cymbella* (9,84%), y *Pinnularia* (7,89%) y los menos abundantes fueron *Anabaena* (1,84%), seguido de los géneros *Meringosphaera Spinosa* (1,95%), *Trachelomona* (2,25%) y *Oscillatoria* (3,69%) (Fig. 16)

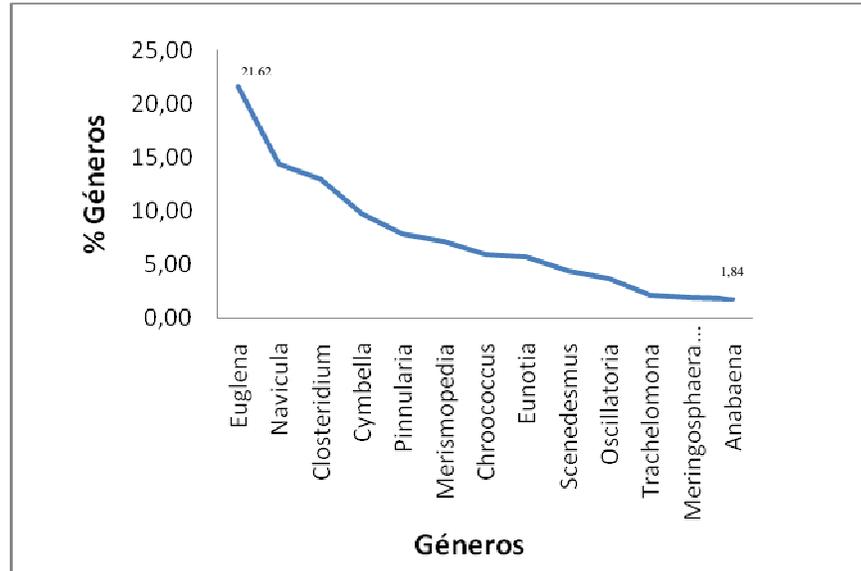


Fig 16. Abundancia (%) de géneros perifíticos en los humedales de Timbio

Las géneros más abundantes de los humedales fueron indicadores biológicos del estado o proceso en que se encontraron estos cuerpos de agua. De acuerdo con Pinilla (1998 y 2000); y Peña, et al (2005), el género *Euglena* indica procesos de eutrofia (Resistencia a pesticidas y presencia de materia orgánica). Como indicadores de meso - eutrofia se encontraron *Navícula* (resistencia a pesticidas, turbulencia, sedimentos y conductividad altos) *Staurastrum* y *Trachelomona*, el género *Ankistrodesmus* indica procesos de oligotrofia, por su parte el género *Desmidium* y el género *Spirogyra* indica procesos oligo-mesotróficos, por último el género *Chlamydomona* es indicador de presencia de aguas negras

7.3. DOMINANCIA

En todos los humedales de la Meseta de Popayán se observó la presencia del género *Navícula* no siendo este el género dominante. En el Abrazo, el género *Ankistrodermus* fue el dominante, *Chlamydomona* en el humedal El Bolsón, *Euglena* en el humedal San Francisco 2, *Trachelomona* en el humedal el Uvo 2,

Staurastrum en el humedal Morinda 1, Desmidium en el humedal La Empalizada y Spyrogira en el humedal Clarete.

Los humedales en los que dominó el género *Navícula* fueron: San Francisco 2, Parque Industrial, El Abrazo, Ciénaga El Marqués, La Laguna, La Esperanza, Praga 2 y la Primavera.

En general en los humedales de la Meseta de Popayán se reportaron organismos indicadores de oligotrofia hasta eutrofia, pero dominaron más los géneros indicadores de agua mesotróficas a eutróficas como: *Euglena*, *Spyrogira*, *Staurastrum*, *Navícula*, *Trachelomona*, *Anabaena*, *Melosira*, *Merismopedia*, *Oscillatoria*, *Pinnularia*, *Anomoeoneis*, *Eunotia*, *Frustulla*, *Hyalotheca*, *Mougeotia*, *Scenedesmus*, *Spirulina*, *Tetraedron*, *Crucigenia*, *Lyngbya*, *Synedra*, *Tabellaria*, *Closterium*, *Oedogonium*, *Staurodesmus* y *Fragillaria* (Branco, 1986; Canosa & Pinilla, 1999; Donato, 1987; Donato & Duque, 1992; Margalef, 1983; Marqués y Guillot, 1988; Parra, 1995; Prescott, 1962; Pinilla, 2000; Ramírez, 1986 y 2000; Peña. Enríque et al, 2005), con respecto a estos datos se puede decir que en general los humedales se encuentran en un estado meso-eutróficos debido a la influencia de las actividades antrópicas.

7.4. DIVERSIDAD

El índice de Shannon, para las comunidades fitoplanctónicas oscilo entre 0,954 y 1,362 indicando ecosistemas medianamente diversos, los humedales San Francisco 2, el Abrazo y el Bolsón (1,362) fueron los más diversos y el menos diverso fue el Uvo 2 (0,954).

Para las comunidades perifíticas el Índice de Shannon osciló entre 0,8 y 1,5, siendo el humedal La Laguna el más diverso y el menos diverso el humedal Clarete 2.

El Índice de Diversidad de Margalef, para las comunidades fitoplanctónicas osciló entre 4,93 y 7,77, indicando ecosistemas de alta diversidad, el Humedal Parque Industrial fue el más diverso, seguido de los humedales San Francisco y el Uvo2 con una diversidad de 5,70 y por último el Humedal El Abrazo con una diversidad de 4,93.

Para las comunidades perifíticas, el índice de Margalef osciló entre 5,72 y 6,65 indicando ecosistemas de alta diversidad, en este caso el Humedal Ciénaga Doria fue el más diverso seguido del Humedal Parque Industrial (6,61) y por último el Humedal La Esperanza con una diversidad de 5,72.

Las divisiones fitoplanctónicas como perifíticas más representativas fueron Cyanophyta, Chlorophyta y Euglenophyta. Las dos primeras representan algas que son indicadoras de ecosistemas meso-eutróficos (Pinilla, 2000), y las últimas se encuentran normalmente en cuerpos de aguas con materia orgánica (Ramírez, 2000).

7.5. SIMILITUD

7.5.1. Similitud (Bray Curtis) para perifiton

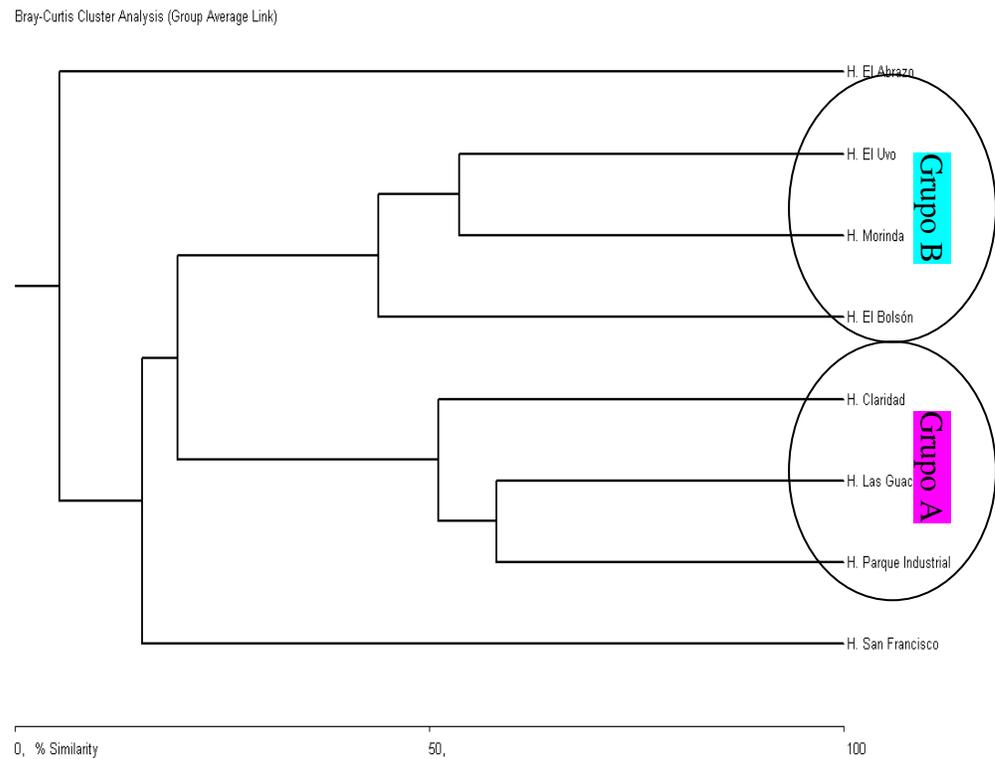


Fig 17. Índice de Similitud (Bray-Curtis) para fitoplancton en los diferentes humedales de la Meseta de Popayán.

Para fitoplancton se presenta una similaridad del 58,06% entre los humedales Parque Industrial y Las Guacas, esto es debido a que estos dos humedales comparten los siguientes géneros: *Cosmarium*, *Euglena*, *Navícula*, *Oscillatoria*, *Pinnularia*, *Staurastrum*, *Synedra*, *Tabellaria* y *Trachelomona*, siendo el género más abundante *Euglena*, su presencia se relaciona principalmente con condiciones de eutrofización y contaminación orgánica y en particular con el incremento del fósforo, (Nalewajko y Lean, 1980; Frizzo, 2004; Conforti 2006 - com. Personal en: Morales, S. 2006), el incremento del fósforo debido

principalmente al uso de fertilizantes y que por acción de la lixiviación y escorrentía llega a las aguas.

A estos dos humedales se adhiere el Humedal Claridad con una similaridad del 51,10%, esta similaridad se debe a que comparte los mismos géneros con los anteriores humedales, siendo para este el género más abundante *Staurastrum*, la presencia de este género, indica procesos de eutrofía, por lo que está asociado con aguas de alto contenido de materia orgánica, (Wetzel, 1981). Este género también es un buen indicador de concentraciones de hierro (Charles, 2002 en: Morales, S. 2006). Estos humedales conforman un primer grupo denominado **grupo A**.

Existe un segundo grupo denominado **Grupo B** formado por el Humedal el Uvo 2 y Morinda con una similitud de 53,62%, los cuales comparten géneros como: Cianobacterias N.N, *Closterium*, *Cosmarium*, *Eunotia*, *Navícula*, *Staurastrum* y *Trachelomona* siendo para estos humedales el género *Trachelomona* el más abundante, indicando procesos de eutrofía (Pinilla 1998) debido al alto contenido de materia orgánica. A estos dos humedales se suma el Humedal El Bolsón con una similaridad del 43,84%, a diferencia de los anteriores humedales este humedal tiene géneros como: *Anabaena*, *Anomoeoneis*, *Chlamydomona*, *Cymbella*, *Girocygma*, *Leptochaete*, *Meringosphaera spinosa*, *Oedogonium*, *Pinnularia*, *Pleurocygma*, *Synedra*, *Tabellaria*, *Tetmemorus*, *Tetraedrum*, *Volvox*, *Xanthidium*, siendo el más abundante *Chlamydomona*, indicando procesos de eutrofía (Pinilla, 1998), al igual que los humedales mencionados anteriormente estos humedales tiene también altas descargas de materia orgánica, debido a las actividades que se desarrollan en su franja protectora (ganadería y agricultura)

Por último se observan claramente el Humedal San Francisco 2 y el Humedal El Abrazo con una diferencia muy notable de los demás. En el caso del Humedal San Francisco 2 con una similaridad solo del 15,28% entre los humedales Parque Industrial y Las Guacas, debido principalmente a que no comparte con ningún otro

humedal géneros como: *Dinobryon*, *Gymnodinium*, *Leptopogon*, *Phacus*, *Pleurotaenium*, *Spirulina*, *Stigeoclonium* y *Surirella*, siendo el más abundante el género *Pleurotaenium*, este género indica procesos de oligotrofia, presente en aguas de conductividad baja, acidas y blandas (Duque & Donato, 1992). Este género se considera de sucesión con distribución pantropical (Duque y Donato, 1992 en: Morales, S. 2006) por encontrarse en ambientes ácidos.

En el caso del humedal el Abrazo, en su franja protectora se encontró, criadero de gallos, ganadería, agricultura y además construcción a pequeña escala, este humedal no comparte con los otros humedales géneros como: *Actinastrum*, *Ankistrodermus*, *Aphanocapsa*, *Hopalosiphon*, *Hyaloteca*, *Merismopedia* y *Mougeotia*, siendo en este caso el género más abundante *Ankistrodesmus*, indicando gran descarga de materia orgánica, arrastre de sedimentos, contaminación por agentes patógenos y contaminación por metales presentes en la orina y las heces fecales.

Para este grupo de humedales los géneros *Cosmarium*, *Navícula* y *Staurastrum* están presentes en todos los humedales siendo el más abundante *Navícula*, este género indica procesos de mesotrofia.

7.5.2. Similitud (Bray Curtis) para perifiton

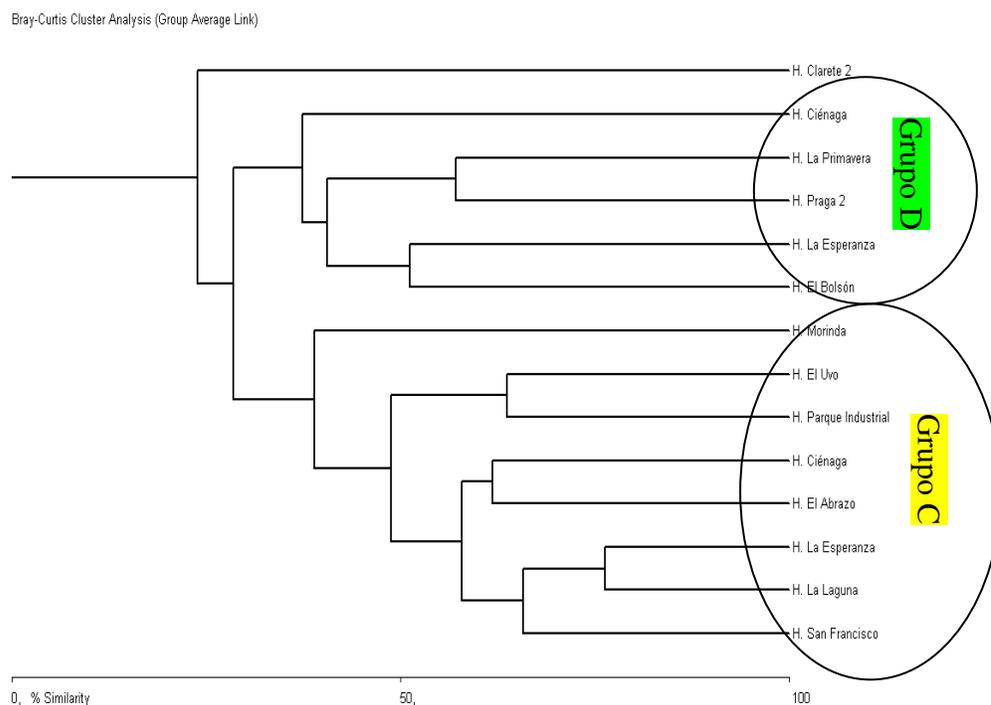


Figura 18. Índice de Similitud (Bray-Curtis), para perifiton, en los diferentes humedales de la Meseta de Popayán

Para perifiton se presenta una similitud del 76,32% entre los humedales La Esperanza y La Laguna, esto se debe a que estos dos humedales comparten géneros en mayor abundancia: *Navícula*, *Closterium*, *Staurastrum*, *Cosmarium*, *Gymnodinium*, *Euglena*, *Pinnularia*, *Eunotia*, *Cymbella*, *Frustulia*, *Synedra*, *Girocygma*, *Neidium*, *Gomphonema*, *Scenedesmus*, *Xanthidium*, *Chroococcus*, *Euastrum*, a estos dos humedales se suma el Humedal San Francisco 2 con una similitud del 65,82%, a pesar de que no comparte géneros como *Actinella*, *Dinobryon* y *Tetrallantus*, sigue siendo el género *Navícula* el de mayor abundancia, junto a estos se observa otros dos humedales Ciénaga el Marqués y El Abrazo con una similitud del 61,87%, simultáneamente se une a estos los humedales Parque Industrial y El Uvo, aunque la similitud no es del 100%, para todo los anteriores humedales el género abundante fue *Navícula*, indicando

procesos de mesotrofía, resistencia a pesticidas, esto puede deberse principalmente a la actividad ganadera y agrícola que se presenta en su franja, en algunos puntos se observo relictos de bosque, criaderos de gallos y pastos por lo tanto hay gran descarga de materia orgánica a las aguas, como también la aplicación de fertilizantes en los cultivos el cual por medio de la lixiviación es arrastrado al sistema aportando gran descarga de nutrientes que da lugar a la eutrofización; (Donato, 1987), por último se observa una diferencia del Humedal Morinda con respecto al resto a pesar de compartir gran parte de los géneros, en este caso el género dominante fue el *Staurastrum*, indicando procesos de Eutrofía debido a que en su franja protectora existen cultivos de espárragos, bosque y parte de su espejo de agua está cubierto de Azolla, el crecimiento de estas plantas acuáticas es una de las consecuencias de la eutrofización de la aguas (Ongley 1997 en Peña, E.J., E. et al. 2005), estos humedales conforman un tercer grupo denominado **Grupo C**.

Se observa la formación de un cuarto grupo denominado **Grupo D**, distribuido de la siguiente manera, se evidencia una cercanía entre los humedales La Empalizada y El Bolsón con una similitud del 51,17%, estos comparten géneros en mayor abundancia como: *Euglena*, *Cosmarium*, *Navícula* y *Staurastrum*, siendo el de mayor abundancia el género *Euglena*, este es indicador de procesos de eutrofía (Pinilla, 1998), en este caso por el uso que se observó en su franja protectora como la recreación, bosques de pino y ganadería, principalmente estas aguas reciben descargas de materia orgánica y arrastre de sedimentos por escorrentía.

Junto a estos dos humedales encontramos los humedales La Primavera y Praga 2, con una similaridad del 57,14%, en estos humedales dominó el género *Navícula*, que como ya se ha expuesto anteriormente es indicador de procesos de mesotrofía.

A estos se suma el Humedal Ciénaga Doria, con una similaridad del 37,44% con respecto al grupo del Humedal El Bolsón, principalmente se debe a que en este caso el género dominante es *Navícula*, por último tenemos un humedal que se aleja en un 76,16% del resto de humedales, debido a que en él dominó el género *Spirogyra*, que indica procesos de mesotrofia, correspondientes a las características del lugar, ya que en él se desarrolla principalmente la actividad ganadera, causando grandes descargas de materia orgánica a sus aguas.

7.6. ESTADO TRÓFICO DE LOS HUMEDALES DE ACUERDO A LA BIOINDICACIÓN Y FÍSICO QUÍMICA REGISTRADA

En los humedales Claridad y Morinda 1, el género más abundante fue *Staurastrum*, para el Uvo 2 el género más abundante fue *Trachelomona*, estos dos géneros están relacionados directamente con las concentraciones de hierro (Charles 2002 en: Morales, S. 2006), esto se debe a las actividades de ganadería y agricultura, además el uso del estiércol como medio de aplicación de fertilizantes provoca en las aguas aumento de metales (Peña, E.J., E. et al. 2005).

El género *Navícula*, presente en los humedales San Francisco 2, Parque Industrial, El Abrazo, El Marques 2, La Laguna, La Esperanza, Praga 2 y la Primavera, fue el más abundante considerándose como cosmopolita y tolerante a las fluctuaciones de conductividad, temperatura y concentración de nutrientes.

Como se mencionó anteriormente el Género *Euglena*, presente en los humedales, San Francisco 2 y Las Guacas está directamente relacionado con descarga de materia orgánica y nutrientes en las aguas.

Ferreira (1999 en: Morales, S. 2006) plantea a *Spirogyra*, encontrado en el Humedal Clarete 2, como género de amplio rango de distribución, con preferencia a ambientes alterados, ya que sus cuerpos de aguas tienen entradas importantes de materia orgánica, esto es evidente pues la actividad de borde es la ganadería intensiva.

El pH se propone como una de las variables físicas más importantes, en el desarrollo del género *Chlamydomona* (Round ,1991; Cox ,1996; Pan *et al.*, 1996 en: Morales, S. 2006) registrado para el Humedal El Bolsón junto con la disponibilidad de nutrientes. Esto parece indicar la capacidad que tiene para tolerar aguas acidas, lo que las clasifica como acidófilas. (Se desarrollan en pH < 7 a 5.5; Winter y Duthie, 2000; Fore y Grafe 2002). Charles (2002), revela que la deposición acida ha tenido efectos significativos en comunidades acuáticas en muchos lagos

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los datos registrados para las características fisicoquímicas hídricas de cada uno de los humedales de la Meseta de Popayán, principalmente los registros para nitritos, valores que oscilaron entre 0,02 mg/L y 0,07 mg/L se puede inferir que son humedales de aguas oligo-mesotróficas, reflejando procesos normales de degradación correspondientes al ciclo del nitrógeno (Vollenweider, 1968, en: Roldán, 1992).

La mayoría de los humedales presentaron bajo contenido de oxígeno disuelto, posiblemente por la concentración de materia orgánica y sedimentos alóctonos que conlleva a la inestabilidad de los ecosistemas. Otro aspecto muy importante es el bacteriológico, los humedales de la Meseta de Popayán, tienen una clasificación II de acuerdo con el NMP de coliformes totales en 100 ml, los cuales son criterios utilizados por la OMS (1978) (Roldán, 1992), pues los valores oscilaron entre 1700 y 2419,60; para esta calidad bacteriológica se propone la aplicación de métodos habituales de tratamiento como coagulación y filtración.

Los valores registrados para las características fisicoquímicas hídricas, el aporte de nutrientes favorecen el crecimiento de las algas, conformando grandes comunidades fitoplanctónicas y perifíticas, las cuales son las encargadas de la productividad primaria y total respectivamente (Roldán, 1992).

Los géneros algales más abundantes en los humedales de la Meseta de Popayán, tales como Euglena, Navícula, Staurastrum, Trachelomona, Ankistrodesmus, Desmidium, Spirogyra, Chlamydomona, fueron indicadores de los procesos de meso a eutrofia.

En cuanto al perifiton se presentó gran abundancia de algas en los humedales la Esperanza (2962 Org/cm²), la Empalizada (2703 Org/cm²), y La Laguna (2562 Org/cm²). Para fitoplancton el humedal con mayor abundancia de organismos fue el Humedal El Abrazo, para ambos casos la abundancia se debió a la gran descarga de materia orgánica y escorrentía de nutrientes que dan lugar a la eutrofización y a una posible contaminación dando lugar al excesivo crecimiento de algas (Peña, E.J., E. et al. 2005)

Los valores de diversidad para el Índice de Shannon y Margalef, nos indican que los humedales de la Meseta de Popayán son bajos a medianamente diversos

RECOMENDACIONES

Se propone realizar muestreos periódicos de la calidad del agua en los humedales, tanto en época de lluvias como en épocas secas para contar con datos históricos de su calidad y observar los efectos que se presenten al aplicar las acciones de saneamiento.

Se sugiere realizar más muestreos a nivel biológico para tener muestras más representativas y poder realizar comparaciones entre los humedales.

Se sugiere que los sitios a monitorear sean los mismos que se determinaron para este estudio y que se incluyan en el programa de la red de monitoreo de calidad del agua

Controlar y proteger la calidad del agua de estos importantes ecosistemas acuáticos, para que además de cumplir con su función de almacenamiento y riego agrícola, sea posible mantener su capacidad de asimilación de contaminantes para posteriormente ofrecer a la población servicios tales como:

- Preservar un valor estético que puede ser utilizado con fines recreativos.
- Mantener un espacio para la conservación de la biodiversidad generando hábitats adecuados para el desarrollo de la biota, la cual puede ser empleada incluso con fines comerciales bajo un enfoque de sustentabilidad, por medio de espacios de ecoturismo

BIBLIOGRAFÍA

AGREDO, M. Identificación y cuantificación del fitoplancton existente en el lago “El Bolsón” ecosistema artificial localizado en la meseta de Popayán. Tesis de grado: (licenciada en biología), Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. Universidad del Cauca. Popayán. 1996

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION -APHA.1985. Standard Methods for determination of water and wastewater. 15 th. Ed. Washington, D. C: APHA

ARCOS, P. M. *et al* 2004. Diagnóstico del estado actual del Humedal de Jaboque, Localidad de Engativá Bogotá D. C a partir de la microalgas que conforman la comunidad perifítica. Convenio ICN/UNC-EAAB. Investigación Aplicada en Restauración Ecológica del Humedal de Jaboque. Informe final.

ARTUNDUAGA, D. Caracterización ambiental de los Humedales en una franja subandina del Municipio de Popayán – Cauca. Tesis de grado (Bióloga), Facultad de Ciencias Naturales Exacta y de la Educación. Universidad del Cauca. Popayán. 2007.

BARTRAM, J. Y BALLANCE, R. 1996. Water Quality Monitoring: A practical Guide to the Design of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmers. Chapman Hill. Londres. 383 p. [On line]. Disponible en:
<http://www.iztapalapa/uam.mx/contactos/n60ne/Bio-agua.pdf>

BICUDO, C.E. y R.M. Bicudo. 1970. Algas de aguas continentais brasileiras. Fundação Brasileira para o desenvolvimento de Ensino de Ciencias, Sao Paulo.

BLANCO, L. y SANCHEZ, L. 1984. Contribución al estudio taxonómico de las Diatomeas del Orinoco medio, Bajo Caroni y algunas lagunas de inundación (Venezuela). San Félix: Fundación La Salle de Ciencias Naturales

BOLD, H. and M. Wayne. 1985. Introduction to the algae. 2nd Ed. Prentice-Hall Inc. Englewoods Cliffs, N.J

BRANCO, S.M. 1986. Hidrobiología aplicada a la Ingeniería Sanitaria. 3 ed. Cetesb/Ascetesb, Sao Paulo, 640 p.

CHARLES, D. 2002. Diatomeas de agua dulce: Indicadores del cambio del ecosistema. Academia de ciencias naturales, Philadelphia. Academia de ciencias. San Francisco de California 2002.

COLE, G. 1983. Textbook of Limnology. 3rd e. The C.V. Mosby Company, Toronto.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA (CVC). Lagunas y Madres Viejas del Departamento del Valle del Cauca. Colombia. 2002

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA – (CRC), FONDO MUNDIAL PARA LA NATURALEZA (WWF) – COLOMBIA. Caracterización ambiental preliminar de los humedales de la Cuenca del río Cauca en el departamento del Cauca. 2003

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA – (CRC). Caracterización y problemática ambiental de los humedales de la Meseta de Popayán como insumos para la formulación del plan de manejo. 2008

COURTEMACH, D. L. *et al* 1989. Incorporation of biological information in water quality planning. *Environmental Management*. 13, 35-41. [On line]. Disponible en: <http://www.iztapalapa/uam.mx/contactos/n60ne/Bio-agua.pdf>

COWARDIN, L. M., Carter, F. Golet & E.T. Larose. 1979. Classification of wetlands and deeper habitats of the United States. U.S. National Oceanographic and Atmospheric Office of Coastal Zone Management, Washington, D.C. 20235

DE LA LANZA, E. G., HERNÁNDEZ, P. S. y CARVAJAL, P. J. L. 2000. Organismos Indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (Bioindicadores). Plaza y Valdés. México. 633 p.

DONATO, J.C. 1991. Fitoplancton y aspectos físicos y químicos de la laguna de Chingaza en Cundinamarca, Colombia. *Caldasia*, Vol. 16 (79), 489-500.

_____. 2001. Fitoplancton de los lagos andinos del norte de Sudamérica (Colombia). Composición y factores de distribución. Academia Colombiana de Ciencias exactas, Físicas y Naturales, Colección Jorge Álvarez

DUMAC. 2003. Inventario y Clasificación de Humedales en México. Parte 1. Ducks Unlimited De México A. C. Monterrey, México.

DUQUE, S. y J. C. DONATO. 1988. Estudio del fitoplancton durante las primeras etapas de llenado del embalse de la central hidroeléctrica de Betania.

ESCOBAR, A. Caracterización físico química y determinación de las comunidades productoras y de la productividad primaria de un ecosistema Altoandino: Laguna Aguas Tibias - Puracé – Cauca. Tesis de grado: (bióloga), Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. Universidad del Cauca. Popayán. 2004.

FIGUEROA, R. *et al.* 1999. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua. Resúmenes Sexta Jornada del Comité Chileno para el Programa Hidrológico internacional. 1-24. [On line]. Disponible en Internet:<http://www2.udec.cl/~rfiguero/PDF/CURRICULUMWEB.pdf>

HAUER, R & G. LAMBERTI. 1996. Methods in stream ecology. Academic Press. The United States of America. 674 p.

HINO, K. y J. TUNDISI. 1984. Atlas de algas da represa do Broa. Sao Carlos: Universidade Federal de Sao Carlos

HERNÁNDEZ, C.A. y MÁRQUEZ, G.E. 1991. Producción primaria en el ecosistema. Ciénaga Grande de Santa Marta, Laguna costera del Caribe colombiano. Bogotá: Trianea (Act. Cient. Tecn INDERENA), 4: 385-407.

IDEAM. Determinación de aguas. www.ideam.gov.co

KUSLER, J.A.; MITSCH, W.J & LARSON, J. S. 1994. Humedales. Investigación y ciencia 210: 6-13

LAWS, A. E. 1981. Aquatic Pollution. Wiley Interscience Publication. E.U.A. 482 p. [On line]. Disponible en:
<http://www.iztapalapa/uam.mx/contactos/n60ne/Bio-agua.pdf>

MARGALEF, R. 1983. Limnología. Ediciones Omega, S.A., Barcelona.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Política Nacional para los Humedales Interiores de Colombia: Estrategia para su Conservación y Uso Sostenible. República de Colombia. Santa Fé de Bogotá. Colombia (2002). 67 p.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL-MAVDT- República de Colombia. Resolución No. 196, 01 de febrero de 2006. Guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia

MORALES, S. Caracterización de las comunidades del perifiton en tres lagos de la meseta de Popayán y su uso como indicadores del Estado Trófico. Tesis de Maestría en Recursos Hidrobiológicos, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. Universidad del Cauca. Popayán. 2006

MORGAN SMITH, G. 1920. Wisconsin Geological and Natural History Survey. Bulletin No. 57.

NAUNDORF, G. Caracterización de la comunidad fitoplanctónica y determinación de la productividad primaria del Embalse “La Salvajina” y su área de influencia. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas. Vol. 4, no 2. (1990); p. 143 – 228

NAUNDORF, G. G. L. VÁSQUEZ y H. ZAMORA. 1994. Determinación de la productividad primaria en el embalse de La Salvajina, como un parámetro para la evaluación y seguimiento de la calidad del agua. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas, Vol. 8, No. 2: 7-19.

NAUNDORF, G. 2002a. Las comunidades microbianas, fitoplanctónicas y perifíticas en ecosistemas acuáticos. Universidad del Cauca. Material del curso Biotá Acuática I. Maestría en Recursos Hídricos Continentales. Popayán, Colombia.

NEEDHAM, J. G. y P. R. Needham. 1982. Guía para el estudio de los seres de las aguas dulces. Barcelona: Editorial Reverté, S. A

PEÑA, E., M, Palacios. y N, Ospina. 2005. Algas como indicadores de contaminación. Ed. Universidad del Valle. Santiago de Cali.

PEÑA, V. Y Pinilla Gabriel A. Composición, distribución y abundancia de la comunidad fitoplanctónica de la Ensenada de Utría, Pacífico colombiano. En: Revista de Biología Marina y Oceanografía. Bogotá. Vol. 37, no. 1 (jul. 2002); p. 67 – 81

PINILLA, G. 2000, Indicadores Biológicos En Ecosistemas Acuáticos Continentales de Colombia. Compilación Bibliográfica. Centros de Investigaciones Científicas. Fundación Universitaria Jorge Tadeo Lozano. ISBN: 958-9029-15-9.

PRESCOTT, G.W. 1984. How to know the freshwater algae. 7th Ed. Wm C. Brown Company Publishers, Dubuque, IW, USA Lleras, No. 19.

RAMIREZ, J. J. 1987. Contribución al conocimiento de las condiciones limnológicas de la laguna del Parque Norte, Medellín. Actual. Biol. 16 (59): 12 – 30.

_____. 2000. Fitoplancton de agua dulce. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín.

RAMSAR COP7 DOC. 16.1. La función de los humedales en el ciclo hidrológico. [On line]. Disponible en internet URL : http://www.ramsar.org/cop7_doc_16.1_s.htm

RAMSAR 1996. Manual de la Convención de Ramsar: Una guía a la Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional. Oficina de la Convención de Ramsar.

ROLDÁN, G. Estudio limnológico de la Represa de “El Peñol”. Medellín: Actualidades Biológicas. Vol. 13, no. 50 (1982); p. 94 – 105

_____, CORREA, G., MACHADO, T., VELASQUEZ, L. F. y ZULUAGA, F. 1984. Estudio Limnológico de la represa de “El Peñol”. Medellín, Revista Actualidades Biológicas, Vol. 13, No. 50

ROLDÁN, G. Fundamentos de Limnología Neotropical. Medellín: 1^{ra} ed. Universidad de Antioquia. 1992. Colombia. 325 – 341, 357 – 377

SECRETARIA DE LA CONVENCION RAMSAR, 2006. Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre Humedales (Ramsar, Irán, 1971, 4^a. ed. Secretaría de la Convención Ramsar, Gland (Suiza)

SMITH, G. 1920. Wisconsin Geological and Natural History Survey. Bulletin No. 57

TELL, G. y V. CONFORTI. 1986. Bibliotheca Fhycologica: Euglenophytas pigmentadas de la Argentina. Stuttgart: J. Cramer.

VÁZQUEZ, G. 2001 Diversidad y distribución de las comunidades de fitoplancton y peces de ríos y lagunas del volcán San Martín de la reserva de la biosfera Los Tuxtlas Informe final* del Proyecto S022. México. D.F

VÁSQUEZ, C., ARIZA, A Y PINILLA G. Descripción del Estado Trófico de diez Humedales del Altiplano Cundíboyacense. En: UNIVERSITAS SCIENTIARUM, Revista de la Facultad de Ciencias. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Vol. 11, no. 2 (jul. – dic. 2006); p. 61 – 75

VOLLENWEIDER, R.A. 1968. Scientific fundamentáis of lake and stream eutrophication, with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factors. *Technical Report DAS/DSI/ 68.27. OECD. París, Francia.*
274 pp

WALMSLEY, R.D. 1.984. Un sistema de clasificación del estado trófico en función de la clorofila a para embalses sudafricanos. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 13, No. 1:97-104.

WATANABE, T., 1985. Etude de la Relation entre Le Peryphyton et al Qualité Chimique. De L'eau des Riviers : Utilisation de Bioessais "in situ"

WETZEL, R. 1983. *Limnología*. 2nd Edition. Saunders College Publishing. Philadelphia.

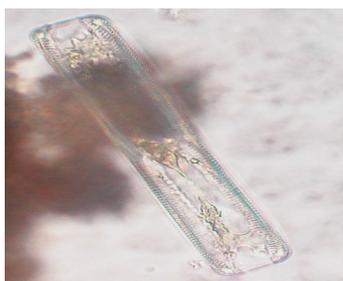
WWF, CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA. 2006. Caracterización ambiental preliminar de los Humedales de la Meseta de Popayán y Puracé en el departamento del Cauca. Santiago de Cali. 187

ANEXO A

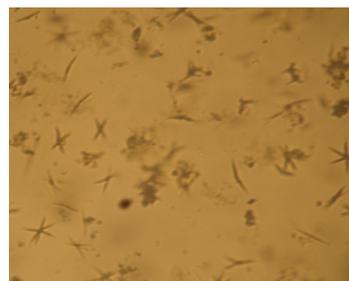
GÉNEROS PLANCTÓNICOS Y FITOPLANCTÓNICOS DE HUMEDALES DE LA MESETA DE POPAYÁN



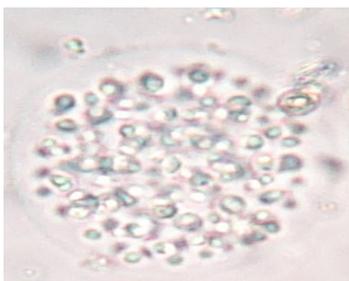
Anabaena



Anomoeoneis



Ankistrodesmus



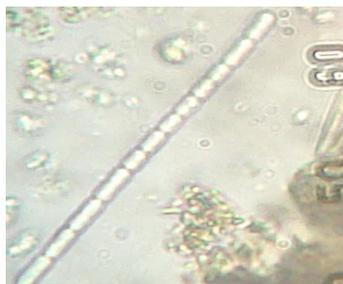
Aphanocapsa



Borzia



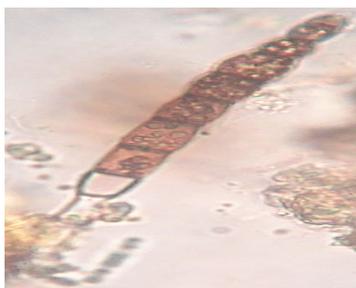
Chlamydomonas



Cyanobacteria



Closterium



Compsopogon



Cosmarium



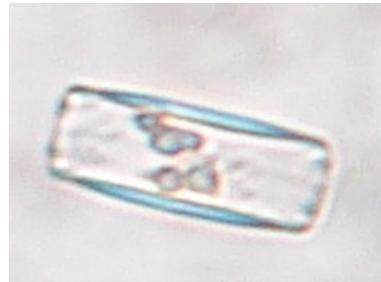
Crucigenia



Desmidium



Euglena



Eunotia



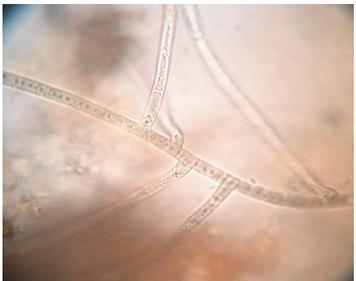
Fragillaria



Gymnodinium



Haematococcus



Hapalosiphon



Hyaloteca





Leptochaete



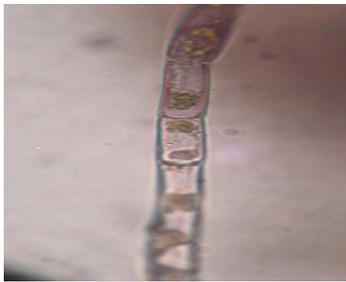
Leptopogon



Lyngbia



Merismopedia



Mougeotia



Navicula



Nostoc



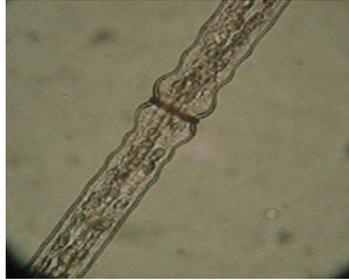
Oedogonium



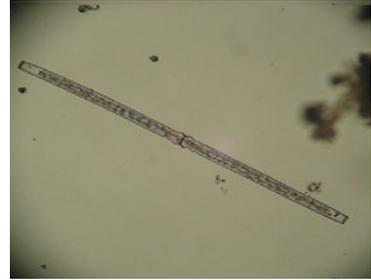
Oocystis



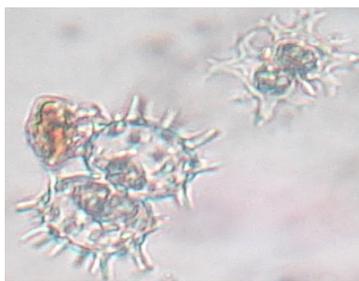
Oscillatoria



Pleurotaenium



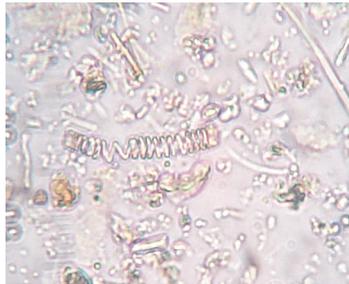
Scenedesmus



Staurastrum



Spinoclosterium



Spirulina



Tabellaria



Tetrallantus



Trachelomona



Volvox

