

**LA IMPORTANCIA DEL USO DE LOS
INDICADORES BIOLÓGICOS EN LOS ESTUDIOS DE
IMPACTO AMBIENTAL**

JOSE YESID MORENO GUERRERO

NELSON PATARROYO FONSECA

HERNANDO RODRÍGUEZ RAMIREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
NOVIEMBRE 25 DE 2006**

**LA IMPORTANCIA DEL USO DE LOS INDICADORES
BIOLÓGICOS EN LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL**

**Monografía para optar al título de
Especialista en Ingeniería Ambiental**

JOSE YESID MORENO GUERRERO

NELSON PATARROYO FONSECA

HERNANDO RODRÍGUEZ RAMIREZ

DIRECTOR: ING. RICHARD DÍAZ GUERRERO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
NOVIEMBRE 25 DE 2006**

AGRADECIMIENTOS

A Dios fuente de todo conocimiento por su Divina inspiración y la visión renovadora que nos dio, para apoyarnos en la experiencia, de lo que la naturaleza nos puede mostrar con su infinita sabiduría.

A la UIS en especial al Doctor Carlos Guerra por la oportunidad que nos brindo al tener espacios, hechos para hombres y mujeres inquietos en la búsqueda del equilibrio natural.

Al Ingeniero Richard Díaz por el apoyo brindado en el proceso de elaboración y los aportes hechos para la realización de este trabajo.

A Diana León por su incesante aliento para continuar.

A la futura ingeniera Arelys Angélica Fuentes por ese apoyo incondicional y exhaustivo en la elaboración de todo nuestro proceso, y que se siga presentando como una de las mejores forjadoras de destino.

A Hernando Rodríguez y Yesid Moreno por la paciencia y el voto de confianza.

DEDICATORIA

Cuando se habla de triunfos, debemos empezar por saber que detrás de cada uno de nosotros existen personas capaces de motivar los mas sublimes y grandes sentimientos, en especial si ellos saben de nuestras necesidades, sueños y anelos para convertirnos en triunfadores que busquemos ser servidores mas no servidos.

Por todo lo anterior agradecemos a cada una de esas personas que andan en beneficio nuestro y motivaron el presente trabajo como estrategia para mejorar las condiciones naturales de nuestro planeta y en especial de nuestro pais Colombia.

LOS AUTORES

A mi madre por la vida que me dio, por su amor y entrega, a mi padre por su voz de aliento.

A mi Ángel que sigue siendo mi aliciente, compañía y más grande anhelo por convertirme en un hombre de bien

A mi hija para que le sirva de inspiración.

NELSON

CONTENIDO		Pág
INTRODUCCIÓN		
1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
2.	OBJETIVOS	19
2.1.	OBJETIVO GENERAL	19
2.2.	OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
3.	JUSTIFICACION	20
4.	ESTADO DEL ARTE	21
4.1.	UTILIDAD DE LOS BIOINDICADORES EN ESTUDIOS AMBIENTALES	21
4.2.	EL METODO BMWP PARA COLOMBIA (BMWP /Col.)	23
5.	MARCO TEÓRICO	25
5.1.	MARCO LEGAL Decreto 1743 de agosto 3 de 1994	25
5.2.	MARCO CONCEPTUAL	27
5.2.1.	EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL	27
5.2.2.	DESCRIPCION DEL PROYECTO	29
5.2.2.1.	Aspectos A Considerar Dentro De Los Componentes Del Proyecto	29
5.2.2.2	Medidas De Manejo Ambiental	30
5.2.2.3	Diseño Y Formulación Del Plan De Manejo Ambiental (PMA)	34
	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de prevención, corrección, mitigación, control y compensación de impactos ambientales negativos 	34

• Plan de manejo.	37
5.2.3. LOS ASPECTOS BIOLÓGICOS EN LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL	38
5.2.3.1 Mantenimiento De Los Procesos Biológicos Que Sustentan La Vida	39
a. Los Ecosistemas y Los Hábitats	42
b. Ciclos de Nutrientes	42
c. Los Ciclos de Vida	43
d. Los Estados Sucesionales	43
e. Las Redes Alimenticias o Cadenas Tróficas	45
f. Relaciones Interespecíficas	46
g. Tipos de ecosistemas	47
5.2.3.2. Diseño Metodológico Para Abordar Los Aspectos Biológicos	61
5.2.3.3. Preservar La Diversidad Genética	62
a. Los Procesos Evolutivos y Coevolutivos	63
b. Las Especies Claves	64
c. Organismos indicadores en los ecosistemas	65
5.2.4. CONCEPTO DE INDICADOR BIOLÓGICO	67
5.2.4.1. Estresores A Nivel Individual Y Poblacional	68
5.2.4.2 Principios De Bioindicación	70
5.2.4.3. Importancia De Los Indicadores Biológicos	70

5.2.4.4. Utilidad De Los Bioindicadores	70
5.2.4.5. Características De Un Buen Indicador Biológico	72
5.2.4.6. Índices Medibles En Un Indicador Biológico	71
5.2.5. ORGANISMOS INDICADORES	73
5.2.5.1 Para Suelo: Animales	72
a. Lombrices de tierra	72
b. Nemátodos	76
c. Anfibios Y Reptiles	77
d. Caimanes	78
e. Aves	77
f. Insectos	83
5.2.5.1 Para Suelo: Hongos	86
5.2.5.2 Para Suelo: Vegetales	86
5.2.5.3 Para Agua: Microorganismos	86
a. Bacterias	87
b. Virus	90
c. Protozoos	90
d. Helmintos	93
e. Moho Residual	94
f. Algas	94
• ALGAS VERDES: estudio de <u><i>Chlorella vulgaris</i></u>	98
• ALGAS PARDAS: estudio de <u><i>Padina gymnospora</i></u>	100

• ACUMULACIÓN DE METALES EN ALGAS VERDE AZULADAS	100
• ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE ALGAS HIPERACUMULADORAS	102
• ALGAS ROJAS	103
g. Plantas Acuáticas (Macrófitas)	104
• Macrófitas fijas al sustrato	105
• Macrófitas flotantes libres	105
h. Insectos	107
• Macroinvertebrados Bentónicos	107
i. Peces	109
j. Mamíferos Acuáticos	111
5.2.5.5. PARA AIRE	111
a. Plantas	111
b. Líquenes	114
6. METODOLOGIA	118
7. RESULTADOS	120
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	124
9. CONCLUSIONES	126
10. BIBLIOGRAFÍA	127

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla No. 1 Bioindicadores representativos de las zonas de estrés	69
Tabla No. 2 Bioindicadores de campo	70
Tabla No. 3 División de microalgas y su proceso bioindicado	96
Tabla No. 4 Estado trófico de las aguas de acuerdo a su índice de densidad.	97

LISTA DE FIGURAS Y GRÁFICAS

	Pág.
Fig.1 <i>Nemátodo Rudolphi</i>	76
Fig.2 Nemátodos microscópicos	77
Fig.3 <i>Víbora hocicunda</i>	77
Fig.4 Sapo común	78
Fig.5 Martí pescador	80
Fig.6 Insectos: Orden coleóptera	83
Fig.7 Insectos: Orden odonata	83
Fig.8 Insectos: Orden coleóptera	84
Fig.9 Musgo: <i>Fontinalis antypiretics</i>	87
Fig.10 Protozoos: <i>ameba arcella</i>	91
Fig.11 ameba: <i>zacordina azpifilumean</i>	92
Fig.12 Algas bioindicadoras	97
Fig.13 Esquema de las clases de algas verde azules	100
Fig.14 Macrófitas: lechuga de agua	105
Fig.15 Foto macrófitas de agua	105
Fig.16 Buchón de agua	107
Fig.17 Dípteros: <i>Similium</i> sp.	108
Fig.18 Dípteros: <i>Limnophora</i> sp	108
Fig.19 Plecóptera	108
Fig.20 Pez Samara	109
Fig.21 Planta del Tabaco: <i>Nicotina tabacum</i>	112
Fig.22 <i>Tradescantia</i> sp.	112
Fig.23 Ray grass sp	113
Fig.24 Col rizada: <i>Brassica oleracea</i>	113
Fig.25 Esquema de la estructura de un líquen	115
Fig.26 Clases de Líquenes	115
Gráfica No 1. Diagrama de Flujo. Metodología	119

GLOSARIO

Ecología: Estudio de las relaciones entre los seres vivos y su medio. Ciencia que estudia las interrelaciones entre los organismos y su medio ambiente.

Ecosistema: Es el conjunto de organismos que son afectados por su ambiente y a través de los cuales hay un flujo de energía.

Contaminación: Desechos producidos por el ser humano que rebajan la calidad del ambiente. Adición o acumulación de sustancias extrañas al medio ambiente, como subproducto o residuos de actividades económicas humanas.

Bioacumulación: Acumulación de compuestos nocivos en los tejidos vivos y en las cadenas alimenticias.

Biodiversidad: Conjunto de organismos vivos, fauna y flora de áreas o zonas determinadas. Variedad de especies animales y vegetales existentes en un área definida.

Especies indicadoras: son aquellos organismos (o restos de los mismos) que ayudan a descifrar cualquier fenómeno o acontecimiento actual (o pasado) relacionado con el estudio de un ambiente

Hábitat: Dentro de un ecosistema pueden existir uno o más hábitats. Estos son, espacios territoriales definidos por un conjunto de condiciones favorables para la supervivencia de una o más especies vegetales o animales, incluido el ser humano.

Indicadores biológicos son atributos de los sistemas biológicos que se emplean para descifrar factores de su ambiente. Inicialmente, se utilizaron especies o asociaciones de éstas como indicadores y, posteriormente, comenzaron a emplearse también atributos correspondientes a otros niveles de organización del *ecosistema*, como poblaciones, comunidades, etc., lo que resultó particularmente útil en estudios de *contaminación*.

Nicho ecológico.- Lugar específico que ocupa una determinada especie animal o vegetal en el ecosistema.

Ambiente: conjunto de condiciones, leyes, influencias e interacciones de orden físico, químico y biológico que permiten, resguardar y rigen la vida en todas sus formas.

TITULO: LA IMPORTANCIA DEL USO DE LOS INDICADORES BIOLÓGICOS EN LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL

Autores: MORENO GUERERO, Yesid; PATARROYO FONSECA, Nelson; RODRÍGUEZ RAMIREZ, Hernando**

Palabras claves: **ecosistema, degradación, indicadores, estudios de impacto ambiental, bioindicadores, recursos**

La degradación de los ecosistemas puede desembocar en procesos de daño irreversible y ello hace necesario el desarrollo de técnicas de detección precoz de estos problemas. Sobre esta base se han estudiado algunas especies que nos puedan indicar las características y el estado ambiental de los lugares donde habitan dichas especies. Estas se denominan indicadores biológicos.

Los indicadores biológicos son atributos de los sistemas biológicos que se emplean para descifrar factores de su ambiente. Inicialmente, se utilizaron especies o asociaciones de éstas como indicadores y, posteriormente, comenzaron a emplearse también atributos correspondientes a otros niveles de organización del *ecosistema*, como poblaciones, comunidades, etc., lo que resulta particularmente útil en estudios de *contaminación*.

Las especies indicadoras son aquellos organismos (o restos de los mismos) que ayudan a descifrar cualquier fenómeno o acontecimiento actual (o pasado) relacionado con el estudio de un ambiente. Las especies tienen requerimientos físicos, químicos, de estructura del hábitat y de relaciones con otras especies.

La consulta de diferentes estudios con bioindicadores permitió realizar este trabajo donde se analizan los procesos que permitieron describir el uso de la biodiversidad en los cambios que se han generado sobre los ecosistemas y la creación de un manual que presenta de manera específica la aplicabilidad en campo de los indicadores biológicos en un estudio de impacto ambiental

Se propone incluir en la metodología de los Estudios de Evaluación de Impactos Ambientales y posteriores planes de manejo la determinación específica de las especies bioindicadoras del ecosistema a evaluar.

* Trabajo de Grado.

** Escuela de Ingeniería Química. Especialización en Ingeniería Ambiental. Director Ing. Richard Díaz Guerrero.

TITLE: THE IMPORTANCE OF THE USE OF THE BIOLOGICAL INDICATORS IN THE STUDIES OF ENVIRONMENTAL IMPACT[†]

Authors: MORENO GUERERO, Yesid; PATARROYO FONSECA Nelson; RODRÍGUEZ RAMÍREZ, Hernando^{}**

Key words: ecosystem, degradation, indicators, studies of environmental impact, bioindicators, resources

Degradation of the ecosystems can end at irreversible damage process what makes necessary to develop techniques for an early detection of these problems. Many different species that can indicate the different characteristics and environment conditions of where they live had been studied. These species are nominated biological indicators.

They are attributes of the biological systems that are used to detect factors of their own environment. Initially, species were used or associations of the same as indicators and later on what had been used was the different corresponding attributes at the different environment organizations levels, like communities, populations, etc. what became very useful for the different contamination studies.

The indicating species are organisms (or a portion of them) that help to sort out any phenomenon or an actual event (or from the past) related to an environment investigations. The species have specific physical or chemical requirements from their habitats and their relationship with the other species.

The consultancy of the different bioindicators was how we came up with the idea of analyzing the different processes that brought us to describe the application of the biodiversity within the changes that had been generated in the environment and to write an easy-going instructive that explains in detail the different uses in testing grounds of the biological indicators in an investigations of environment impact.

Our proposal is to deliver many professionals (engineers, lawyers, economics, etc.), a useful tool to evaluate the environment impact, for determine the base line, and the planes during the execution.

[†] Monograph

^{**} Chemical Engineer School. Environmental Engineer Specialist. Director. Ing. Richard Díaz Guerrero.

INTRODUCCIÓN

“El control de la presión ejercida por los microcontaminantes sobre el medio ambiente utilizando indicadores biológicos permite, en fin de cuentas, a la naturaleza continuar siendo el sólo juez de la eficacia de las medidas tomadas por el hombre para protegerla”

Dr. Joseph Tarradellas:

La degradación de los ecosistemas puede desembocar en procesos de daño irreversible y ello hace necesario el desarrollo de técnicas de detección precoz de estos problemas. Sobre esta base se han estudiado algunas especies que nos puedan indicar las características y el estado ambiental de los lugares donde habitan dichas especies. Estas se denominan indicadores biológicos.

Los indicadores biológicos son atributos de los sistemas biológicos que se emplean para descifrar factores de su ambiente. Inicialmente, se utilizaron especies o asociaciones de éstas como indicadores y, posteriormente, comenzaron a emplearse también atributos correspondientes a otros niveles de organización del *ecosistema*, como poblaciones, comunidades, etc., lo que resulta particularmente útil en estudios de *contaminación*.

Las especies indicadoras son aquellos organismos (o restos de los mismos) que ayudan a descifrar cualquier fenómeno o acontecimiento actual (o pasado) relacionado con el estudio de un ambiente. Las especies tienen requerimientos físicos, químicos, de estructura del hábitat y de relaciones con otras especies. A cada especie o población le corresponden determinados límites de estas condiciones ambientales entre las cuales los organismos pueden sobrevivir (límites máximos), crecer (intermedios) y reproducirse (límites más estrechos). En general, cuando más estenoica sea la especie en cuestión, es decir, cuando más estrechos sean sus límites de tolerancia, mayor será su utilidad como indicador ecológico. Las especies bioindicadoras deben ser, en general, abundantes, muy sensibles al medio de vida, fáciles y rápidas de identificar, bien estudiadas en su ecología y ciclo biológico, y con poca movilidad.

A principios de siglo se propuso la utilización de listas de organismos como indicadores de características del agua en relación con la mayor o menor cantidad de materia orgánica. La idea de usar como indicadores a las especies se generalizó, aplicándose a la vegetación terrestre y al plancton marino. En determinadas zonas las plantas se usaron ampliamente como indicadores de las condiciones de agua y suelo; algunas plantas, de la presencia de uranio, etc.

La mayoría de los estudios estiman características estructurales a diferentes niveles de organización, como cambios en la estructura celular, o en la diversidad de especies, pero, más recientemente, se han incluido características funcionales, como producción y respiración.

Los resultados del estudio de las especies indicadoras de niveles de calidad de agua son más inmediatos, pero requieren un profundo conocimiento para identificar los organismos y sólo son adecuados para las condiciones ecológicas y características regionales; mientras que los resultados numéricos de los estudios de estructura de comunidades, si bien requieren su interpretación ecológica, demandando más tiempo, son independientes de las características geográficas regionales y tienen aplicabilidad aún con informaciones sistemáticas y ecológicas deficientes.

La consulta de diferentes estudios con bioindicadores permitió realizar este trabajo donde se analizan los procesos que permitieron describir el uso de la biodiversidad en los cambios que se han generado sobre los ecosistemas y la creación de un manual que presenta de manera específica la aplicabilidad en campo de los indicadores biológicos en un estudio de impacto ambiental.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas la ecología ha tenido un desarrollo muy importante, puesto que se han venido buscando estrategias o herramientas que permitan conocer el medio ambiente y preservarlo. Una de las estrategias son los estudios de impacto ambiental ya que estos describen el estado y los impactos que se han causado sobre los ecosistemas. Dentro de los aspectos descritos en los estudios de impacto ambiental, el uso de los bioindicadores y sus posibles aplicaciones han sido poco utilizados ya que se realizan estudios de biodiversidad a nivel general, por personal especializado como biólogos, ecologistas, zoologistas, botánicos, etc., pero no se tienen en cuenta en estos estudios, especies específicas como indicadores de los cambios naturales y antrópicos que se presentan en el medio. A partir de lo anterior surge la necesidad de plantear y resolver el siguiente problema:

¿Qué importancia tiene el uso de los indicadores biológicos en los estudios de impacto ambiental?

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la importancia del uso los indicadores biológicos en los estudio de impacto ambiental.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Recopilar la información existente acerca de los estudios sobre bioindicadores conocidos.
- Conocer las ventajas y desventajas de los indicadores de calidad ambiental frente a los bioindicadores.
- Elaborar un manual de bioindicadores conocidos, que sirva como herramienta de muestreo y reconocimiento en los estudios de evaluación de impacto ambiental.

3. JUSTIFICACION

Dada la creciente preocupación por la sustentabilidad del ambiente y del franco deterioro en que se encuentran los ecosistemas, por los fenómenos naturales, la influencia del hombre en los cambios antrópicos que este genera y la falta de instrumentos de base biológica que sirvan de patrón de referencia para una evaluación y diagnóstico de la calidad del medio ambiente se plantea el estudio de los organismos como bioindicadores de calidad en los estudios de impacto ambiental que obedecen a las políticas ambientales de cada país.

Los criterios que enmarcan las nuevas políticas ambientales globales han permitido crear nuevas estrategias, para la identificación de los procesos ecológicos. Por esto es de vital importancia estructurar estas herramientas que permitan hacer que los estudios de impacto ambiental sean mas eficientes y productivos a la hora de tener en cuenta el medio biótico y sus características.

Actualmente se encuentran muchos trabajos aislados que nos hablan de gran parte de la biodiversidad usada como bioindicador pero no existen guías, manuales o cartillas detalladas de los organismos que se pueden encontrar en Iso diferentes ecosistemas. El uso de bioindicadores se está proponiendo como una nueva herramienta para conocer la calidad de los ecosistemas, esto no quiere decir que desplace al método tradicional de los análisis físicos y químicos. Su uso simplifica en gran medida las actividades de campo y laboratorio, ya que su aplicación sólo requiere de la identificación y cuantificación de los organismos basándose en índices de diversidad ajustados a intervalos que califican la calidad del medio en estudio.

Aunque los indicadores biológicos han sido usados en algunos estudios con buenos resultados, no existe una compilación bibliográfica de su utilidad y aplicación en los diversos estudios de impacto ambiental. Es por lo anterior, que se espera que este trabajo sirva como herramienta de evaluación en los EIA, en la detección del riesgo ecológico y permita mantener y preservar nuestros ecosistemas para que sean conocidos por las generaciones futuras.

4. ESTADO DEL ARTE

4.1. UTILIDAD DE LOS BIOINDICADORES EN ESTUDIOS AMBIENTALES

Los primeros esfuerzos por determinar el daño ecológico causado por los residuos domésticos e industriales en los cuerpos de agua fueron realizados en el siglo XIX por **Kolenati** (1848) y **Cohn** (1853), quienes encontraron relaciones entre ciertas especies y el grado de calidad del agua. **Mez** (1898) utilizó los microorganismos para este mismo propósito. Ya en el siglo XX, **Kolkwitz** y **Marsson** (1908, 1909) sentaron las bases del sistema saprobio para Alemania, que actualmente es adoptado en otros países europeos. **Patrik** (1949, 1950) propuso métodos biológicos para evaluar las condiciones ecológicas de las corrientes y **Gaufin & Tarzwell** (1952), a los Macroinvertebrados como indicadores de contaminación de las mismas. En las décadas de los años cincuenta y sesenta comenzó a discutirse el concepto de diversidad de especies basado en índices matemáticos derivados de la teoría de la información (**Shannon** y **Weaven**, 1949; **Simpson**, 1949; **Brillouin**, 1951; **Margalef**, 1951, 1955, 1956, 1958, 1969; **Beck**, 1955; **Wilhm** y **Dorris**, 1966, 1968; **Sheldon**, 1969; **Wilhm**, 1967, 1968, 1970). Dicha teoría parte de que mientras mayor información se tenga acerca de un hecho, suceso o situación, mayor y más preciso será el entendimiento que se tenga de ello.

Hynes (1959, 1963) presentó los Macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua e integró la biología a la contaminación acuática. **Sládecek** (1962) introdujo el sistema limnosaprobio en Checoslovaquia. **Illes** y **Botosanneau** (1963) discutieron los métodos y la zonación de las aguas corrientes y propusieron los términos de rítrón y potamón para referirse a las zonas altas y bajas de los ríos, respectivamente. Este trabajo se considera un clásico de la limnología europea. **Woodwiss** (1964) analizó el sistema biológico de clasificación de corrientes usado por el Trent River Board (directiva para el Río Trent), y encontró una alta correlación entre los parámetros biológicos y químicos de la contaminación. Después, **De pauw & Vanhooren** (1983) discutieron los métodos de la evaluación para Bélgica.

Washintong (1984) hizo una revisión de los índices de diversidad bióticos y de similitud con especial referencia a los ecosistemas acuáticos. Presentó dieciocho índices de diversidad, diecinueve índices bióticos y cinco índices de similitud, y analizó su aplicabilidad a los sistemas biológicos. Para él, la mayoría de los índices aun no son satisfactorios por completo.

Prat, et al., (1986) realizaron en España una comparación entre los índices de calidad del agua: uno que utilizaba parámetros físicos químicos y el otro, parámetros biológicos, y halló una baja correlación entre ellos.

Karr (1991) introdujo el concepto de índice de integridad biológica (IBI), el cual es una herramienta multiparamétrica para la evolución de las corrientes con base en puntajes bióticos y las predicciones basadas en el sistema computarizado conocido como RIPACS (river invertebrate prediction and classification system) para valorar la pérdida de fauna béntica (Wright, et al., 1989) . **Wright** (1995) aplicó el anterior método en la Gran Bretaña y llegó a la conclusión de que no sería válido para otras regiones de Europa, dado que en la isla no existen ríos tan grandes y caudalosos como en el continente.

Barbour et al., (1995) presentaron un total de 63 tipos de mediciones para la evaluación rápida de ecosistemas acuáticos. De ellos: a. ocho corresponden a medidas de riqueza, los cuales se fundamentan en el análisis del número de taxones encontrados; b. quince se refieren a numeraciones que son en realidad cálculos basados en porcentajes de determinados taxones ; c. quince corresponden a índices de diversidad y similitud de la comunidad donde están los mas conocidos; d. doce se refieren a los índices bióticos, de los cuales los mas conocidos son el índice de saprobiedad y BMWP; e. diez índices conocidos como mediciones funcionales en los cuales se consideran el tipo de funciones que desempeñan los organismos en la comunidad, por ejemplo colectores, filtradores, trituradores, depredadores, etc.; f. por último consideran tres medidas denominadas índices combinados, entre las cuales se mencionan el índice de la comunidad de macro invertebrados, el promedio del puntaje biométrico y el puntaje de la condición biológica.

Resh, et al., (1995) desarrollaron en Maryland (USA) métodos rápidos de evaluación de la calidad del agua usando los Macroinvertebrados como bioindicadores. Tanto este método como el del Reino Unido valoran las condiciones del hábitat y predicen la fauna esperada en un determinado sitio. **Trihadiningrum, et al.**, (1996) utilizaron los Macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua en Indonesia. **Alba Tercedor** (1996) adoptó la utilización de los Macroinvertebrados acuáticos en los programas de evaluación de calidad el agua en España, utilizando para ello el índice BMWP adaptado para la península ibérica. **Towsend y Scarsbrook** (1997) calificaron la perturbación en las corrientes en relación con las características de las especies de Macroinvertebrados y la riqueza de dichas especies.

Lorenz, et al., (1997) desarrollaron un sistema de bioindicadores en el Río Rin (Alemania) con base en conceptos teóricos que describen los ríos naturales, entre los cuales se consideran la zonación, la hidráulica, el espiral de nutrientes, la jerarquía de tributarios y el concepto de río continuo, entre otros. **Munne, et al.**, (1998) establecieron un índice de calidad en España

que valora el estado de calidad de conservación del bosque de ribera (QBR). Se trata de comparar el estado actual de sistema que se estudia con el estado de referencia en el que la diversidad y la funcionalidad del sistema solamente estarían influenciadas por perturbaciones de origen natural. **Jacobsen** (1998) discutió el efecto de la contaminación orgánica sobre la fauna de los Macroinvertebrados en las planicies ecuatorianas y **Wantzen** (1998) analizó los efectos de la sedimentación sobre las comunidades bénticas en Mato Grosso (Brasil).

Stubauer y Moog (2000) discutieron las experiencias de monitoreo de la calidad de las aguas de Austria, y **Moog et al.**, (2000) analizaron la distribución de Macroinvertebrados a lo largo del río Danubio, en el tramo de Austria. (**ROLDÁN G.**, 1980)

En Colombia, **Costa Margarita, Gutiérrez Juan Carlos, et al.**, usaron Indicadores edáficos, vegetales y microbianos (ciliados colpódidos) para conocer el grado de degradación del suelo que puede desembocar en procesos de desertificación, para lo cual desarrollaron técnicas de detección precoz de estos problemas. Sobre esta base se estudiaron las características y grado de evolución del suelo en 13 parcelas en Madrid (Cundinamarca), en relación con las comunidades vegetales que soportan, el grado de evolución serial de las mismas y las especies colpódidas presentes. Cabría esperar que los peores suelos portaran la vegetación más degradada a la vez que una mayor riqueza de ciliados colpódidos, así como que alguna especie vegetal y/o ciliada fueran buenas indicadores de distintos niveles de deterioro edáfico.

Los resultados obtenidos son concluyentes con respecto al aspecto de cada suelo así como de la flora y vegetación que soporta, pero no lo son en cuanto a la presencia específica o diferencial de colpódidos en los más degradados. (COSTA, 2002)

4. 2 EL METODO BMWP PARA COLOMBIA (BMWP /Col.)

El Biological Monitoring Working Party (BMWP) fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los Macroinvertebrados como bioindicadores. Las razones para ello fueron básicamente económicas y por el tiempo que se requiere invertir. El método solo requiere llegar hasta el nivel de familia y los datos son cualitativos (presencia o ausencia). El puntaje va de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación orgánica. Las familias más sensibles como Perlidae y Oligoneuriidae reciben un puntaje de 10; en cambio, las más tolerantes a la contaminación, por ejemplo, Turbificidae,

reciben una puntuación de 1 (Armitage, et al., 1983) la suma de los puntajes de todas las familias proporciona el puntaje total de BMWP.

La bioindicación en Colombia se remonta a los años setenta con los trabajos de **Roldán, et al.**, (1973), cuando por primera vez se realizó un estudio de la fauna de Macroinvertebrados como indicadores del grado de contaminación del río Medellín.

Posteriormente, **Matthias y Moreno** (1983) realizaron un estudio físico químico y biológico para el mismo río utilizando los Macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua.

Bohórquez y Acuña (1984) realizaron los primeros estudios para la sabana de Bogota.

Roldán (1988) publicó la primera guía para la identificación de los Macroinvertebrados acuáticos en el departamento de Antioquia, y luego se comprobó su aplicación para la mayoría de los países neotropicales. También en 1992 publicó el libro “fundamentos de limnología neotropical y posteriormente adapto el sistema de BMWP para evaluar la calidad del agua en Colombia mediante el uso de Macroinvertebrados acuáticos

(**Roldán**, 1997, 1999). **Zúñiga de Cardozo**, et al., (1997) hicieron una adaptación de este método para algunas cuencas del valle del Cauca.

Reinoso (1998) realizó el estudio del río Combeima en el departamento del Tolima.

Después, **Zamora** (1999) realizó una adaptación del índice para la evolución de la calidad de las aguas epicontinentales en Colombia.

Finalmente **Roldán** (2001) adaptó el sistema para la cuenca de piedras blancas en el departamento de Antioquia. Con toda esta información y como base en el conocimiento que actualmente se tiene en Colombia sobre los diferentes grupos de Macroinvertebrados hasta el nivel de Familia decidiendo que con todo lo nuevo que se incluyó, no solo sería para los andes, sino para todo Colombia. (ROLDÁN G., 1999)

5. MARCO TEÓRICO

5.1 MARCO LEGAL

DECRETO 1743 DE AGOSTO 3 DE 1994 por el cual se reglamenta parcialmente los títulos VII y XII de la Ley 99 de 1993 sobre otorgamiento de Licencias Ambientales.

CAPÍTULOS IV. DIAGNÓSTICOS AMBIENTALES DE ALTERNATIVAS.

Artículo 19. Contenido. El diagnóstico ambiental de alternativas tendrá el siguiente contenido, sin perjuicios de lo establecido en el artículo 56 de la ley 99 de 1993.

1. objetivo del proyecto, obra o actividad.
2. descripción de diferentes alternativas del proyecto, obra o actividad en términos técnicos, socio- económico y geográfico. Dicha descripción no deberá identificar los ecosistemas sensibles, críticos y de importancia ambiental y social.
3. identificación, estimación y análisis comparativo de posibles impactos, riesgos y efectos derivados del proyecto, obra o actividad sobre el ambiente en sus distintas alternativas.
4. descripción de las posibles estrategias de prevención y control ambiental para cada una de las alternativas.

CAPÍTULO V. ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.

Artículo 22. Concepto. El estudio de impacto ambiental es un instrumento para la toma de decisiones y para la planificación ambiental, exigido por la autoridad ambiental para definir las correspondientes medidas de prevención, corrección, compensación y mitigación de impactos y efectos negativos sobre un proyecto, obra o actividad.

Artículo 23. Procedencia. El estudio de impacto ambiental se exigirá entonces los casos que se requiera licencia ambiental de acuerdo con la ley y los reglamentos. El estudio de impacto ambiental deberá corresponder en su contenido y profundidad e las características del proyecto, obra o actividad.

Artículo 24. Objetos Y Alcances. El estudio ambiental tendrá los siguientes objetivos y alcances:

- a. Describir, analizar y caracterizar el medio biótico, abiótico, socioeconómico, en el cual se pretende desarrollar el proyecto, obra o actividad.
- b. Definir los ecosistemas que bajo el análisis ambiental realizado, a que hace referencia el numeral anterior, sean ambientalmente críticos, sensibles y de importancia ambiental e identificar las áreas de manejo especial que deban ser excluidas, tratadas o manejadas de manera especial en el desarrollo o ejecución del proyecto, obra o actividad.
- c. Evaluar la oferta o vulnerabilidad de los recursos utilizados o afectados por el proyecto, obra o actividad.
- d. Dimensionar y evaluar los impactos y efectos del proyecto, obra o actividad, de manera que se establezca la gravedad de los mismos y acciones para prevenirlas, controlarlas, mitigarlas, compensarlas y corregirlas.
- e. Identificar los planes gubernamentales a nivel nacional, regional, o local que existan para el área de estudio, con el fin de evaluar su compatibilidad con el proyecto, obra o actividad.
- f. Señalar las deficiencias de información que generen incertidumbre en la estimación, el dimensionamiento o evaluación de los impactos ambientales.
- g. Diseñar los planes de prevención, litigación, corrección, compensación de impactos y manejo ambiental a que haya lugar para desarrollar el proyecto, obra o actividad.
- h. Estimar los costos y elaborar el cronograma de inversión y ejecución de las obras de acción y manejo ambiental.
- i. Diseñar los sistemas de seguimiento y control ambiental que permita al usuario el comportamiento, eficiencia y eficacia del plan de manejo ambiental.

Artículo 25. Contenido. El estudio de impacto ambiental deberá contener cuanto menos la siguiente información:

1. Resumen del impacto ambiental.
2. descripción del proyecto, obra o actividad, incluirá la localización, las etapas, costos y cronograma de ejecución.
3. Descripción de los procesos y operaciones; identificación y estimación de insumos, productos, subproductos, desechos, residuos, emisiones, vertimientos y riesgos tecnológicos, sus fuentes y sistemas de control dentro del proyecto, obra o actividad.
4. Delimitación, caracterización y diagnóstico de las áreas de influencia directa, así como la cobertura y el grado de los impactos del proyecto, obra o actividad, con base en la afectación que pueda ocasionar sobre los diferentes componentes del medio ambiente.

5. Estimación de los impactos y efectos ambientales. Con base en la información de los numerales anteriores se identificarán los ecosistemas sensibles críticos y de importancia ambiental y social. Igualmente se identificarán, caracterizarán y estimarán los impactos y efectos ambientales, su relación de causalidad y se elaborará el análisis de riesgo.
6. Plan de manejo ambiental: se elaborará el plan para prevenir, mitigar, corregir y compensar los posibles impactos y efectos del proyecto, obra o actividad sobre el medio ambiente. Debe incluir el plan de seguimiento, monitoreo y contingencia.

5.2. MARCO CONCEPTUAL

5.2.1. EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

La evaluación de impacto ambiental (EIA), puede definirse como la identificación y valoración de los impactos (efectos) potenciales de proyectos, planes, programas o acciones normativas relativos a los componentes físicos, químicos, bióticos, culturales y socio - económicos del entorno.

El propósito del proceso, es animar a que se considere el medio ambiente en la planificación y la toma de decisiones para definir las actuaciones que sean más compatibles con el medio ambiente. (CANTER, 1998)

Un sistema ideal de evaluación de impacto ambiental:

- Se aplicaría a todos aquellos proyectos que fuera previsible que tuvieran un impacto ambiental significativo y trataría todos los impactos que previsiblemente se pudieran presentar;
- Compararía alternativas de los proyectos propuestos las técnicas de gestión y las medidas de corrección.
- Generaría un estudio de impacto en el que la importancia de los impactos probables y sus características específicas quedarán claras tanto a expertos como inexpertos en la materia;
- Incluiría una amplia participación pública y procedimientos administrativos vinculantes de revisión; programado de tal manera que proporcionara información para la toma de decisiones; con capacidad para ser obligatorio, e incluirá procedimientos de seguimiento y control.

Los profesionales asociados a un proceso de EIA comprenden el personal de los organismos públicos a nivel Nacional, departamental y municipal, sin

desconocer las diferentes entidades territoriales, sociales y ONG; empresas consultoras de medio ambiente, planificación e ingeniería, así como compañías privadas que han desarrollado personal propio capaz de plantear y dirigir los estudios de impacto ambiental. Los profesionales involucrados en el proceso de EIA incluyen, entre otros, ingenieros, planificadores, biólogos, geógrafos, arquitectos paisajistas y arqueólogos, etc.,.

Para dar cumplimiento a los aspectos enunciados, cualquier estudio ambiental deberá definir el área de influencia que puede afectar desde el punto de vista biótico.

Como mínimo se deberán tener en cuenta los siguientes criterios para su delimitación:

- Con el fin de cumplir con los objetivos específicos relacionados con el estudio de los ecosistemas y recursos naturales, con el ordenamiento de los usos del suelo, se deben delimitar unidades naturales como unidades de paisaje, unidades geomorfológicas, hábitats específicos, cuencas hidrográficas, que sirvan de marco de análisis para el desarrollo, tanto de los aspectos abióticos como de los bióticos, dado que éstos se relacionan entre sí. La definición de unidades naturales como unidades de análisis garantiza que, la información biótica sobre las diferentes temáticas que se desarrollaran, pueda ser referenciada a nivel espacial y permite la definición de límites de las áreas de estudio, sobre criterios objetivos.
- Se deben delimitar así mismo, las posibles áreas de riesgo y contingencia susceptibles de ser afectadas, teniendo como criterio básico la cuenca hidrográfica para aspectos relacionados con el agua y otras unidades que serán definidas en cada caso, de acuerdo con el tipo y magnitud del riesgo, así como, con la potencialidad de actividades, infraestructura y bienes que pueden ser afectados. Para la definición de estas áreas de influencia se tendrá en cuenta el riesgo geomorfológico, el de explosión, el de incendio, el de escapes y fugas de sustancias, el de accidentes de otro tipo, que puedan afectar el componente biótico.
- Para la delimitación del área de influencia se deberán tener en cuenta las actividades a desarrollar por un proyecto dado, considerando la ocupación del espacio y los impactos acumulativos y/o secundarios que se puedan generar. Como punto de partida y con base en el tipo de proyecto en particular, se delimitará la unidad de análisis con la que es más conveniente desarrollar el estudio.

Los primeros aspectos a considerar y que se desarrollan en forma paralela son:

- La descripción del proyecto
- La descripción del medio (línea base de referencia) en el que éste se localiza.

5.2.2. DESCRIPCION DEL PROYECTO

Inicialmente, es importante conocer la información técnica que señala las actividades y procesos que hacen parte del proyecto. Esta información preliminar permite orientar la investigación y hacer una priorización de los aspectos bióticos que se verán más afectados, con el fin de analizar los posibles impactos y efectos sobre el ambiente y definir claramente el área de influencia de cada una de sus actividades.

A pesar de que la descripción detallada del proyecto es específica para cada caso, es posible mostrar un desglose metodológico general.

5.2.2.1. ASPECTOS A CONSIDERAR DENTRO DE LOS COMPONENTES DEL PROYECTO

- **DISEÑO Y FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL**

El diseño y la formulación del plan de manejo ambiental para el proyecto en sus fases de construcción, operación y mantenimiento constituyen la etapa concluyente del estudio de impacto ambiental, y su soporte tecnológico y científico es precisamente el **diagnóstico ambiental**. El plan de manejo ambiental esta basado en la legislación ambiental vigente.

- **DIAGNOSTICO AMBIENTAL**

Comprende la formulación y descripción en detalle de todas y cada una de las implicaciones ambientales negativas que se producen o pueden producirse desde el proyecto en sus diferentes etapas de desarrollo en el medio ambiente. En este orden de ideas, las implicaciones ambientales involucran impactos ambientales negativos, físicos químicos, bióticos, socios económicos, culturales, políticos, riesgos de desastre y otras contingencias, ecosistemas críticos, sensibles, áreas de manejo especial, calidad y oportunidad de la aplicación y cumplimiento de la legislación ambiental vigente local, regional y nacional.

La identificación de impactos ambientales consiste en la detección, nominación y descripción de todos y cada uno de los impactos que se generan desde el proyecto hacia el medio, Teniendo en cuenta que pueden ser reales, potenciales, sociales, económicos, culturales, políticos, geomorfológicos, geológicos, hidrológicos, climáticos, etc.

La identificación de impactos debe contemplar los tratamientos alternativos según el cuadro siguiente:

PRESENCIA DEL IMPACTO AMBIENTAL	TRATAMIENTO ALTERNATIVO
Potencial	Prevención
Real - Reversible	Corrección
Real – Parcialmente reversible	Mitigación
Real – Irreversible	Compensación

El diagnóstico ambiental también debe considerar en forma muy particular algunos ecosistemas y áreas especiales en razón de sus características físicas bióticas y sociales. Bajo estas condiciones considera, analiza y reporta en el detalle que sea posible la siguiente información:

- a- Identificación evaluación y descripción de ecosistemas ambientalmente críticos, sensibles, de importancia ambiental, de importancia social y áreas de manejo especial.
- b- Aplicación de la legislación ambiental vigente: a nivel nacional y regional, convenios y compromisos bilaterales suscritos por el municipio, la comunidad, la CAR, las OG y las ONG, a nivel local.
- c- Deben incorporar el balance ambiental del proyecto el cual será el resultado de la confrontación de la demanda ambiental del proyecto en cada una de sus etapas de desarrollo del proyecto y la oferta ambiental de su área de influencia directa e indirecta.

5.2.2.2. MEDIDAS DE MANEJO AMBIENTAL

Una vez se tiene una proyección de los posibles efectos que cada actividad concreta general, se puede pasar a buscar las alternativas de ubicación, tecnología, tamaño u otra característica de la actividad que sea más aconsejable para reducir o eliminar los efectos adversos.

De igual forma, se debe hacer una planeación del manejo que se hará con la zona afectada durante y después de que la actividad u obra ha sido ejecutada. Normalmente se dice que los efectos adversos de una actividad sobre el medio pueden ser eliminados, mitigados o compensados

Para **eliminar** el efecto se debe considerar la posibilidad de eliminar la actividad que causa el efecto, reubicar el proyecto o modificar los procesos, acorde con la definición de áreas sensibles, críticas o de importancia ambiental.

La **mitigación** se aplica si la actividad o proceso de la obra o actividad se tiene que hacer indiscutiblemente con la mayoría de las condiciones planteadas inicialmente, a pesar que tiene un efecto negativo sobre los recursos vivos. En este caso, se deben buscar estrategias para reducir los efectos. Este sería el caso de la construcción de una carretera que atraviesa un manglar, pero que modifica su proceso construyendo canales para mantener los flujos hídricos de agua dulce y salada, permitiendo que el ecosistema sobreviva. Para lograr plantear esa solución a un efecto adverso, se requiere conocer tanto la dinámica del ecosistema afectado como las actividades y procesos requeridos para la obra o proyectos que se piensa realizar, por esto, la mitigación de los efectos debe ser diseñada por un grupo interdisciplinario de profesionales.

Si las características del proyecto no permiten mitigar los efectos se debe pensar en la posibilidad de **compensar** los daños causados, para lo cual, se usa la simulación del comportamiento del ecosistema en ausencia del hombre y se sobrepone con los efectos. Sobre esta base, se decide que proceso ecológico se puede fomentar a cambio de los daños que se causan en algunas áreas de la zona de influencia del proyecto. Un ejemplo de esto es la conformación de áreas de protección, en las que se permite la regeneración de un corredor ecológico que comunique unidades de bosques que antiguamente estaban en contacto pero que por una actividad antrópica anterior fueron separadas. Otras actividades comunes de compensación son los programas de reforestación, zootecnia, educación ambiental, bancos de germoplasma, para poner algunos ejemplos.

Las medidas de mitigación, compensación y eliminación deben ser programadas para ejecutarse simultáneamente con la obra o actividad y, por lo tanto, deben ser presupuestados como un costo adicional de las mismas. Pero lo más importante de esta acción es que se tengan presentes los principios de preservación de los procesos biológicos fundamentales para la vida presente y futura.

El mantenimiento de la diversidad genética. Pues solo, mediante la comprensión de la complejidad de los sistemas naturales, podemos asumir la responsabilidad de ser la mayor fuerza de acción que actúa sobre la biosfera sin llevar a la destrucción.

Las medidas de mitigación, compensación, restauración y otros aspectos como la investigación posterior, que se deben organizar dentro de un plan de manejo concreto que incluyan proyectos y programas específicos, para los cuales se definan las especificaciones técnicas en el detalle requerido, sus tiempos de ejecución, requerimientos lógicos y de personal profesional y técnico y los costos de su ejecución, de tal forma, que estos aspectos puedan ser involucrados dentro de la programación general del proyecto:

Con la información detallada del área de estudios y con base en el diagnóstico de los ecosistemas del área, la superposición espacio-temporal del proyecto en sus diversas etapas con las de la línea base, se posibilita determinar con relativa facilidad los elementos del proyecto, generadores de alteraciones y de riesgo y, de igual forma, los factores susceptibles de ser afectados. Sin embargo los impactos indirectos y a largo plazo no pueden ser predichos con igual certeza, por lo que debe recurrirse a diversas técnicas que incluyen la proyección de diversos escenarios, el análisis de tendencias y la modelación matemática, entre otros.

La información sucesional del ecosistema y su representación espacial en un mapa permite hacer simulaciones del lugar muchos años después, bajo el supuesto que no se realizara ningún tipo de intervención humana en el área. De igual forma la caracterización de las formaciones vegetales, de los biomas, y de las zonas biográficas pueden ser de gran utilidad para simular como se comportaría el área analizada, en ausencia de intervención.

La simulación computarizada puede ser especialmente útil cuando exista una alta disponibilidad de información y datos, siendo este uno de los problemas más comunes que afrontan los estudios de Impacto Ambiental.

Sin embargo los impactos, pueden ser categorizados y clasificados sobre unos criterios básicos que pueden por lo menos contribuir en el proceso de evaluación. Algunos de estos criterios se citan a continuación:

- **En relación con las actividades que generan impactos:**
 - Beneficios o adversos
 - Reversibles o irreversibles
 - Accidentales
 - Directos o Indirectos
 - Acumulativos o Simples

- **En relación con el tiempo que dura la actividad:**
 - Reversible o Irreversible
 - A corto, largo o mediano plazo
 - Temporales o Permanentes

- **Con respecto al espacio**

- local
- Regional o Global

Los impactos reversibles son aquellos en los que las condiciones del medio pueden retornar a su estado inicial una vez suspendida la actividad impactante, por el contrario, los irreversibles son aquellos que perduran aun después de suspendida las actividades, los impactos de corto plazo aparecen durante el desarrollo de la actividad y pueden desaparecer una vez ella culmine: los que aparecen mucho tiempo después, del inicio de la actividad y que no necesariamente desaparecen al suspender esta, son los denominados a largo plazo.

Los impactos directos de otra parte, corresponden a aquellos que son causados por la acción y ocurren al mismo tiempo y en el mismo lugar donde se generan: los que se generan tardíamente o alejados del sitio son los indirectos.

Los efectos se suman sobre el ambiente como el resultado del efecto de varias actividades del proyecto, o cuando se asocian a otras acciones, son los acumulativos, pueden ser el resultado de acciones individuales menores pero colectivamente significativos.

Los efectos secundarios o acumulativos de la alteración de los procesos que sustentan la vida alcanzan relativamente a afectar las comunidades, y aún las poblaciones animales y vegetales, pero en raras ocasiones producen la extinción definitiva de especies. Esto ocurriría más bien, como consecuencia de impactos acumulativos de varios proyectos y actividades humanas en una región, generalmente a causa de desarrollos urbanos.

Por otra parte, la significancia de los impactos puede determinarse teniendo en cuenta criterios como:

- Características únicas del área (ecosistemas especiales, áreas biogeográficas exclusivas, corredores ambientales relevantes, especies endémicas, en vía de extinción, entre otros).
- Grado en que los efectos sobre la calidad del ambiente resulten dudosos o involucren riesgos únicos o desconocidos, para los ecosistemas y la salud humana.

- Nivel en que la acción se relacione con otras acciones individualmente significantes, pero con un impacto acumulativo significativo.
- Grado en que no se logre el cumplimiento de la legislación ambiental vigente.

Por tanto, la identificación de los impactos se realiza por medio de un cuidadoso análisis de cada una de las actividades del proyecto y sus efectos específicos sobre los ecosistemas y la salud humana, así como, a través de una evaluación integral del proyecto que permita determinar los impactos y riesgos y, por lo menos, vislumbrar aquellos acumulativos con el fin de definir los requerimientos posteriores de investigación.

Los riesgos de desastres y otras contingencias menores de todo orden constituyen un elemento ambiental de importancia sobresaliente, pues la interacción o acción agregada de la vulnerabilidad o sensibilidad natural de un ecosistema y la acción antrópica sobre este, producen riesgos para la salud humana, el medio ambiente, y lógicamente para el proyecto que en ese medio se pretende construir y operar.

5.2.2.3 DISEÑO Y FORMULACION DEL PLAN DE MANEJO AMBIENTAL (PMA)

Es la fase concluyente del estudio de impacto ambiental y contempla el diseño y formulación de los planes y programas que se relacionan:

- **PLAN DE PREVENCIÓN, CORRECCIÓN, MITIGACIÓN, CONTROL Y COMPENSACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES NEGATIVOS**

El cual incluye los programas específicos siguientes:

- ✚ Prevención de impactos potenciales
- ✚ corrección de impactos reversibles
- ✚ Mitigación de impactos parcialmente reversibles
- ✚ Compensación de impactos reversibles
- ✚ Control de emisiones, vertimientos, residuos sólidos peligrosos y demás agentes que deterioran el medio ambiente.

- **PLAN DE MANEJO**

Uno de los primeros resultados del diagnóstico ecológico y de la identificación de los impactos ambientales es el de la definición de las áreas sensibles, críticas y de importancia ambiental, y su agrupación en áreas de manejo:

a. Áreas Sensibles y Críticas

Dentro del área de influencia definida y con base en la información de las temáticas estudiadas, se delimitarán y definirán áreas sensibles y críticas en función de los grados, de vulnerabilidad. Se incluirían acorde con lo visto anteriormente, áreas en estados sucesionales avanzados, áreas de humedales, ciénagas, áreas especiales que albergan fauna endémica o en vías de extinción, áreas de cría, reproducción, alimentación de especies animales, áreas de corredores de migración de peces y aves y de desove de corredores de las primeras, entre muchas otras. Estas para efectos de manejo deben ser reagrupadas en diferentes categorías. A continuación se proponen tres categorías las cuales pueden ser ampliadas, variadas o definidas de manera diferente acorde con los ecosistemas y diferentes tipos de proyectos involucrados.

b. Áreas de Manejo

Posteriormente y sobre la definición de áreas sensibles, éstas se agruparán acorde con los diferentes grados de vulnerabilidad.

• PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

El plan deberá definir las directrices para llevar a cabo la planificación y el dimensionamiento del diseño de obras, acciones, actividades, programas, planes y otros encaminados al buen manejo Técnico-ambiental del área de influencia de un proyecto. Debe contener los siguientes programas:

a. Programas de Planificación de Prevención, Control y Rehabilitación

Estarán encaminados a establecer las estrategias y acciones de los procesos de planificación, constructivos y operativos para el desarrollo y operación del proyecto y su área de influencia en lo relacionado con la prevención y control de posibles afectaciones que el proyecto pueda generar sobre el entorno natural. Están determinados por los resultados obtenidos, a través de la zonificación y ordenamiento del espacio y la identificación de áreas sensibles y críticas así como de la definición de categorías de manejo para estas.

b. Programas de Restauración

La restauración es el proceso mediante el cual se reacondicionan los terrenos o áreas intervenidas por las actividades propias del desarrollo y operación de un proyecto.

La estabilización supone que se han alcanzado o creado las condiciones naturales para garantizar la continuidad en la producción biológica del suelo, el control de los procesos erosivos, la restitución de los patrones de drenaje, la reposición de la cobertura vegetal hasta un nivel de auto sostenimiento, la reconformación de las geoformas hasta lograr su integración al paisaje circundante, entre otras. El programa utilizara, en la medida de lo posible, los materiales originales (suelos, vegetación, madera, etc.), removidos al iniciar la intervención, deberán definir las formas y técnicas de almacenamiento y mantenimiento de los mismos para que mantengan sus propiedades y demás para evitar la degradación de estos.

c. Programas de Compensación

Estos programas estarán dirigidos a identificar acciones u obras tendientes a compensar los efectos que las actividades generen sobre los recursos naturales como, por ejemplo, la inevitable afectación de áreas que deben ser ocupadas por las obras propias de las actividades de un proyecto.

Sobre la base de la zonificación de áreas sensibles, críticas y de manejo especial, se deberán establecer programas encaminados a protección o recuperación de zonas que estén dentro del área de influencia del proyecto y que, por sus características ecológicas, sea importante conservarlas. Áreas degradadas o intervenidas que por su importancia o el peligro que presentan para los ecosistemas, para el proyecto o para la vida de las personas, sea necesario recuperar.

Lo anterior significa que los programas deberán, como medida compensatoria con las regiones y con la naturaleza, proteger un área no menor a la afectada por la obras y actividades del campo, sobretodo, en áreas intervenidas antrópicamente o en aquellas cuyas características biogeográficas, ecológicas, étnicas o antropológicas sean relevantes.

d. Programa de Investigación

El diseño de este programa deberá estar dirigido a definir las áreas y aspectos temáticos o de efectos sobre el ambiente cuya definición y análisis presenten un alto grado de incertidumbre, estableciendo claramente los motivos y vacíos de información que la generan.

e. Programa de Emergencia

Este programa deberá definir, con base en las áreas sensibles críticas y de manejo especial en la prevención de desastres naturales y las contingencias propias de la actividad o proyecto, las estrategias generales para el control y atención de emergencias en toda el área de influencia del proyecto, la cual,

como se definió, incluirá todas las áreas susceptibles de riesgo por contingencia de diferente orden.

Cada proyecto deberá contar con un programa de emergencia particular acorde con sus características y análisis de riesgo. Es importante tener establecidos, desde el inicio de la planeación del proyecto, puntos estratégicos para la ubicación de obras de control, lo mismo, que las acciones específicas para la prioridad de atención de áreas que así lo requieran, acciones para el rescate de fauna que quede atrapada en un relicto de bosque, entre otras. De igual manera, se deberán señalar las estrategias a seguir para trabajar conjuntamente con las comunidades en la atención de las contingencias identificadas.

f. Programas de Gestión Ambiental

Se entiende por Gestión Ambiental el conjunto de programas y acciones estructurados, tanto en el orden técnico como en el administrativo, que permitan ejercer un control adecuado y efectivo de las interacciones entre las actividades de desarrollo del proyecto y posterior operación, y las estructuras naturales y antrópicas. Implica la planificación de los procesos de control y la adopción de esquemas operacionales que incentiven y eleven la motivación del recurso humano vinculado a las diferentes etapas de desarrollo del proyecto (en forma directa e indirecta), para generar actitudes y respuestas positivas frente a los problemas o conflictos de tipo ambiental, social o económico que puedan surgir de la inserción del proyecto en un área determinada.

g. Programas de Monitoreo - Parámetros e Indicadores.

El plan de monitoreo, como ya se señaló, deberá llevarse a cabo para las mismas variables, indicadores y procesos analizados en la caracterización del proyecto y su área de influencia.

El monitoreo y seguimiento de los aspectos biofísicos se debe determinar y controlar de manera integra. Por consiguiente, el plan de monitoreo debe planearse conjuntamente con los aspectos climáticos, hidrológicos, edáficos y pedológicos, atmosféricos, etc.

Este plan atenderá los siguientes aspectos: la agrupación por jerarquías de los impactos ambientales de todo orden, la identificación y descripción de cada una de las alternativas de tratamiento de prevención para cada impacto potencial involucrado, la selección de la mejor alternativa, el diseño y formulación de la mejor alternativa seleccionada para cada impacto ambiental, el cronograma de actividades e inversiones y los costos ambientales, financiación y responsables.

h. Diagnóstico inicial o línea base

En el diagnóstico inicial o línea base se describirán, mas que metodologías específicas, algunos elementos de análisis e indicadores, a través de los cuales se procura identificar el estado y calidad de los ecosistemas y de los recursos naturales, a si como de las especies, con el fin, en primera instancia, de producir mínimos impactos sobre los procesos ecológicos que sustentan la vida o sobre la diversidad genética de estos y posteriormente de mitigarlos. (ARISTIZABAL, A., 1998)

5.2.3. LOS ASPECTOS BIOLÓGICOS EN LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL

Los aspectos bióticos son uno de los componentes de mayor importancia a analizar en los Estudios de Impacto Ambiental. Sin embargo, la complejidad que su evaluación demanda, no permite en muchas ocasiones hacer un análisis profundo durante los breves periodos de tiempo que, generalmente, se dedican a la realización de su diagnostico. A esto se suma la escasa información científica básica relativa a la biología y ecología de los organismos que habitan los ecosistemas naturales de nuestro país, y la falta de certeza científica sobre los efectos que generan las acciones humanas sobre la biosfera.

La gran diversidad de ecosistemas que posee el país y las características específicas de cada obra o actividad humana, no permiten hacer una formulación única que nos indique como procede en cada estudio de impacto ambiental. No se puede comparar el efecto que causaría una carretera al pasar por un manglar, con el que generaría una vía equivalente atravesando un páramo. Tampoco se puede comparar el efecto causado por una explotación minera a cielo abierto con el de una hidroeléctrica ubicado en una misma zona.

Los efectos de las acciones antrópicas sobre los organismos vivos depende de: el lugar en el que se realicen, las características biológicas del medio físico y ecosistemas que se encuentren involucrados, el tipo de acción y actividad que se desarrolle, la intensidad y duración de las actividades y las medidas que se tomen para evitar o reducir los efectos.

En este sentido, el componente biológico de los Estudios de Impacto Ambiental, debe propender por mantener los procesos biológicos fundamentales y preservar la diversidad genética sin degradarla. Estos dos objetivos deben ser entendidos en dos dimensiones, ya que se debe garantizar tanto la existencia del hombre, como la de los otros organismos vivos que habitan la tierra.

5.2.3.1 MANTENIMIENTO DE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS QUE SUSTENTAN LA VIDA

Los procesos biológicos fundamentales que sustentan la vida son aquellos que ocurren y/o son generados a nivel de los ecosistemas y son indispensables para la sustentación, desarrollo, crecimiento y estabilidad de las especies, sus poblaciones y las comunidades que estas conforman.

En relación con las poblaciones humanas y acorde con la Estrategia Mundial de la Conservación dichos procesos son vitales para los asentamientos humanos independientemente de su grado de desarrollo, y son aquellos que garantizan la producción de alimentos, la salud y otros aspectos de la supervivencia humana y del desarrollo duradero.

Dentro de los procesos biológicos que sustentan la vida, se pueden considerar los que son relativos a los elementos de relación e interacción ecológica que garantizan la continuidad de los ciclos de vida, supervivencia y permanencia de las especies, comunidades y poblaciones tanto biológicas como humanas.

Entre muchos de los efectos de proyectos y actividades humanas que alteran procesos ecológicos que sustentan la vida encontramos:

- Daño de hábitats y la alteración de los estados sucesionales más avanzados que garantizan la estabilidad de las comunidades y ecosistemas.
- Daño o alteración del estado y calidad de los recursos naturales que como el agua, el aire y el suelo componen y garantizan el funcionamiento de los ecosistemas y hábitats o, simplemente, generan sustratos adecuados para el asentamiento de diversas especies y sus poblaciones.
- Adición de otros factores de distribución de especies como la temperatura, humedad, luz, PH, salinidad, nutrientes y en general, otros factores físicos y químicos.
- Alteración de otras relaciones de intercambio energético y ciclos ecológicos o biogeoquímicos, como los del agua, el carbono, el oxígeno, el nitrógeno y otros nutrientes.
- Afectación de áreas y espacios fundamentales para la distribución, desarrollo físico y de comportamiento de las especies como son las de alimentación, crecimiento, reproducción y cría o, interrupción de otros espacios, como corredores de migración que garantizan los ciclos de vida de las especies.

- Afectación a las cadenas o redes alimenticias y de productividad de los ecosistemas que garantizan la existencia y permanencia de gran diversidad de especies acorde con sus hábitos alimenticios. Este aspecto se encuentra también relacionado con la afectación directa a las especies, por diferentes efectos de los proyectos, que veremos mas adelante.
- Alteración de interacciones entre las especies como aquellas positivas simbióticas de mutualismo y comensalismo o, las negativas de predación y competencia de organismos vivos de comunidades y ecosistemas. Existen otras relaciones simbióticas como las de neutralismo y protocooperación, menos comunes en la naturaleza.

Los aspectos mencionados que, entre otros, afectan los proyectos, se producen generalmente por diferentes causas específicas dentro del desarrollo de éstos. A continuación se mencionan los más comunes:

- Dinamización de procesos geomorfológicos y de suelos.
- Alteración de la dinámica de los ciclos hidrológicos, la interrupción o afectación de cauces y cuerpos de agua lénticos y lóticos o de otros ciclos atmosféricos y biogeoquímicos.
- Intervención directa del proyecto por ocupación del espacio y por tanto cambio de los usos del suelo o del espacio, con la alteración consecuente de los ecosistemas y el paisaje.
- Contaminación directa sobre aguas, aire y suelos con la producción de residuos sólidos y líquidos, domésticos, industriales, tóxicos y emisiones atmosféricas, entre otros.
- Aprovechamiento de los recursos naturales como agua, vegetación, lechos de ríos, etc., para el abastecimiento de materiales de construcción, insumos y servicios para los proyectos.
- Inducción y dinamización de procesos de colonización y asentamientos humanos, en muchos casos masivos, por lo que los afectos ambientales y las causas específicas que los generan, mencionados anteriormente, revisten de mayor magnitud e importancia.

Así, los efectos ambientales de un proyecto no se generarían directamente sobre las especies y sus poblaciones, sino sobre todos aquellos aspectos que garantizan su supervivencia y sostenibilidad.

Por ello los ecosistemas y hábitats poco comunes, los que albergan especies en vía de extinción y los altamente diversos, deben ser especialmente protegidos sobre todo en países como el nuestro donde la única forma de

proteger la diversidad, ante el desconocimiento de la riqueza y abundancia de especies existentes, es conservar los ecosistemas.

Sobre las poblaciones humanas, este tipo de procesos biológicos que sustentan la vida, están más que todo determinados por relaciones artificiales que se han determinado por las mismas actividades y asentamientos humanos. En este caso y, por ende, no hablaríamos de la conservación de hábitats o de áreas de cría, pero sí por ejemplo, del mantenimiento de la producción sostenida y de la calidad de los recursos naturales, que hacen posible el desarrollo de las poblaciones y asentamientos humanos, dado que representan insumos básicos para su supervivencia independientemente del tamaño de las poblaciones.

Por lo general, los efectos y daños de los procesos ecológicos que sustentan la vida, son los más comunes y frecuentes y, son causados por la mayoría de los proyectos de desarrollo como los hidroeléctricos, petroleros, viales y de transporte, mineros, industriales, entre otros. Los efectos secundarios o acumulativos de la alteración de dichos procesos alcanzan, por lo general, a afectar las comunidades y aún las poblaciones animales y vegetales, pero en raras ocasiones alcanzan la extinción definitiva de especies.

Algunos de los ecosistemas humanos y naturales más afectados hoy en día son los sistemas agrícolas, los paramos, los bosques, los manglares, humedales y, en general, los sistemas de costa y los cuerpos de agua continentales. Esto se refleja en nuestro país en ejemplos como el de la destrucción del ecosistema de manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta.

Cuando se construyó la carretera que une actualmente a las ciudades de Santa Marta y Barranquilla, no se pensó que la afectación de un ecosistema como ese pudiera causar efectos adversos para el hombre ya que, ni siquiera se contemplo la posibilidad de que se pudiera destruir. El desconocimiento de las correlaciones existentes entre la vegetación de los manglares y las larvas de cientos de peces, crustáceos y moluscos, y la necesidad del manglar de mantenerse en condiciones específicas de salinidad, corriente y temperatura, llevaron no solo a la merma considerable de la población de *Rizophora mangle*, sino a la reducción substancial de la pesca en la región y al incremento de la pobreza de los hombres que habitan las proximidades del lugar.

Como éste podemos encontrar un sinnúmero de casos en los que actividades humanas afectan los procesos biológicos esenciales entre los que se encuentran:

- La utilización de los suelos de aptitud agrícola para ubicar obras de infraestructura como edificaciones o carreteras.
- El uso indiscriminado de pesticidas que afectan las relaciones reguladoras naturales de las poblaciones de insectos haciendo que se altere el control natural sobre las plagas.
- La deforestación, que al desproteger los suelos, causa la erosión de los mismos, modifica el clima local y regional, reduce la disponibilidad de agua, hace que se pierda la regulación de los caudales, entre otros ejemplos, que harían esta lista interminable.

A continuación, se describen brevemente algunos de los conceptos más importantes sobre los procesos fundamentales que sostienen la vida:

h. Los Ecosistemas y Los Hábitats

Según varios autores, los ecosistemas están compuestos por las poblaciones de las especies y las comunidades que estos conforman, denominado como el componente biótico y el componente abiótico compuesto a su vez por elementos inanimados tanto orgánicos como no orgánicos en un área dada.

Los Hábitats son los diferentes ambientes en los cuales ocurre una especie, por lo que se refiere a un concepto de distribución de las especies. El hábitat se puede referir por tanto a los aspectos abióticos de los ecosistemas y puede incluir algunos de los aspectos a los que hacíamos referencia anteriormente, como los recursos naturales de agua, suelo y aire, los factores físicos y químicos, y los ciclos dinámicos que estos realizan. Así mismo, un bosque de niebla, una ciénaga o un manglar pueden servir de hábitat a una especie dada.

i. Ciclos de Nutrientes

Así, las interrelaciones de los ecosistemas no solo se dan entre organismos vivos, las condiciones abióticas son determinantes en su dinámica y estructura y afecta a los organismos de las comunidades que dependen de ellos.

Los organismos vivos toman los elementos químicos como el nitrógeno, el carbono, el oxígeno del ambiente, los usan y posteriormente los devuelven al medio. Los nutrientes pueden ser reciclados. El hombre altera los ciclos de liberación de los compuestos químicos y al hacerlo de manera acumulativa descompensa los ciclos, lo que pueden llevar a la disminución de los nutrientes disponibles para los organismos.

La alteración de los ciclos de nutrientes es un fenómeno que se puede producir a muy largo plazo pero, no por eso, debe ser despreciado cuando se analizan los efectos que una actividad humana podría generar sobre el medio. Adicionalmente, en ecosistemas como los bosques húmedos tropicales la disponibilidad de nutrientes se muy baja, lo que los convierte en elementos críticos para la existencia de todo el sistema.

j. Los Ciclos de Vida

Otro tipo de alteraciones que afecta sustancialmente a los organismos de una especie, es aquella en la que se modifican las condiciones requeridas para que se realicen adecuadamente los ciclos de vida de los organismos.

Este es el caso que se presentaría si, por ejemplo, se modificara la composición de un manglar que sirve como hábitat temporal a las aves migratorias, ó si se contamina la cabecera de una quebrada donde suben a desovar los peces, ó si desaparece el corredor biológico que permite el contacto de un oso de anteojos y su pareja, ó si se extingue la especie o población de plantas que eran requeridas para que una especie de mariposas se alimentara de ellas en una parte de s ciclo de vida.

El rango de distribución de las poblaciones esta determinado por las características del ecosistema y del comportamiento de la especie. Cuando se reducen los hábitats, estas dos características se alteran afectando los patrones reproductivos de los organismos. Una alteración del medio que afecte procesos reproductivos de la especie puede llevar a la desaparición de la población afectada, e incluso en casos extremos, a la extinción de la especie, sobre todo, si ésta es endémica o su número de individuos ya es muy reducido.

k. Los Estados Sucesionales

La Sucesión Ecológica se define como el proceso dinámico por el cual las comunidades y ecosistemas modifican su orden para lograr una mayor estabilidad.

La sucesión es una secuencia de cambios en la composición de las especies de una comunidad, asociada también a una secuencia de cambios en sus propiedades estructurales y funcionales. Se entiende que las secuencias ocurren tanto en el espacio como en el tiempo.

La mayoría de los fenómenos de sucesión pueden ser entendidos como una consecuencia del crecimiento diferencial, la habilidad diferencial para colonizar y para sobrevivir, de las especies adaptadas al crecimiento a niveles y gradientes ambientales diferentes. El reemplazo de unas especies

por otras en los procesos de sucesión resultan de la competencia interespecífica que permite, a unas plantas en una comunidad vegetal, suprimir temporalmente a otras plantas con un crecimiento más lento.

Así, las sucesiones ecológicas se manifiestan en las comunidades vegetales por cambios en su estructura y organización con relación a la vegetación clímax que corresponde a la etapa de equilibrio o estabilización del hábitat.

Las sucesiones pueden ser progresivas hacia el clímax o pueden generarse regresiones debido a la obra o actividad humana o a fenómenos naturales que afectan el equilibrio natural. Cuando existen agentes que condicionen el desarrollo natural de las sucesiones, que son procesos seriales, pueden detenerse en una etapa anterior al clímax. Esto ocurre cuando las modificaciones de las condiciones naturales del lugar son de gran magnitud y duración, como es el caso de la remoción de suelo y cobertura en las obras mineras a cielo abierto, que no revegetalizan rápidamente las zonas intervenidas o de los incendios en sabanas y bosques tropicales. En estos casos, la evolución de la sucesión toma una nueva ruta y posiblemente no recupere el equilibrio original.

Las sucesiones de la vegetación se clasifican comúnmente en:

- Sucesión Primaria o terminal en la cual el ecosistema está en un clímax en cuanto a su funcionamiento y estructura, como por ejemplo un bosque primario en nuestras selvas húmedas, que no ha tenido ninguna intervención humana.
- Sucesiones Secundarias cuando ya ha habido intervención humana en el lugar y el ecosistema se está recuperando para restablecer su composición, estructura y funcionamiento.
- Sucesiones Terciarias en el que la comunidad vegetal está básicamente compuesta por gramíneas y matorrales y es también denominada rastrojo.
- Finalmente, está el Estado Sucesional, en el cual la vegetación está compuesta por sistemas agropecuarios generados por el hombre.

Existen especies vegetales indicadoras del estado sucesional de los ecosistemas que, por su estrecha relación con un carácter o condición del medio ambiente, solo aparecen en estados sucesionales específicos. La identificación de estas especies es un elemento de gran ayuda para lograr evaluar los estados sucesionales de las comunidades bióticas de la zona de influencia de los proyectos o actividades humanas. Así mismo la presencia

de fauna asociada característica de estados del ecosistema puede ser de gran utilidad.

I. Las Redes Alimenticias o Cadenas Tróficas

Las comunidades están compuestas por un gran número de organismos vivos que se relacionan entre sí y que dependen de los sistemas inertes que los rodean. Dentro de las relaciones existentes en los ecosistemas naturales encontramos flujos de energía y de materia, que se desplazan a través de las cadenas tróficas, comenzando desde los organismos fotosintetizadores hasta los organismos consumidores, y desde los elementos inertes hasta los sistemas vivos.

Los organismos fotosintetizadores o productores utilizan del 20% al 30% de la energía lumínica proveniente de los fotones de la luz solar que llega a la superficie de la tierra, para producir carbohidratos y otros compuestos que se convierten en energía química. Estos organismos productores son la base de la pirámide de la cadena trófica por ser los únicos seres capaces de producir su propio alimento, y representan el 99% de la materia orgánica de la biosfera. Ascendiendo en la pirámide están los consumidores, los cuales se denominan Primarios cuando obtienen su alimento directamente de los organismos fotosintetizadores; Secundarios, si lo obtienen de los consumidores primarios y así sucesivamente, hasta llegar a la cima de la pirámide en donde se encuentra un grupo reducido de organismos normalmente carnívoros. Paralelamente a la pirámide, se encuentran los detritívoros que son los encargados de retroalimentar los nutrientes del sistema, por medio de la degradación de los cuerpos muertos y de los desechos de los organismos de toda la pirámide.

Al observar la naturaleza encontramos que las cadenas tróficas o redes alimenticias en las que se vinculan los organismos como presa y predador son muy cortas.

En general, sólo el 10% de la energía que se encuentra almacenada en una planta se convierte en biomasa en el herbívoro que la consume debido a que una parte de la energía se gasta en el metabolismo del mismo; otra se gasta, en la respiración (trabajo y funcionamiento) y se pierde en forma de calor; otra, es invertida en la reproducción y, una última parte, es eliminada del cuerpo sin ser asimilada. Al final, ese 10% de energía que queda como ganancia neta es la que se encuentra disponible para pasar al siguiente eslabón.

La transferencia energética de un eslabón a otro es ineficiente, lo que conduce a que las cadenas tróficas tengan en promedio 4 ó 5 eslabones. Gracias a esto, la presencia de mamíferos y aves pueden ser usados como

bioindicadores de calidad de los ecosistemas, dado que estos organismos son, por lo general, el último eslabón de las cadenas tróficas. En teoría, la ineficiencia de la transferencia energética afecta más rápidamente a los organismos que son eslabones superiores que a los intermedios en la cadena alimenticia.

Sin profundizar mucho más en las complejas interrelaciones que pueden rodear una cadena trófica, es evidente que si alguno de los eslabones de la cadena desaparece, es muy probable que si la relación de dependencia es específica, desaparezca también el resto de la cadena o, en casos menos dramáticos, se modifique buscando, nuevas rutas posibles de encontrar en un largo período de tiempo. La posibilidad de encontrar estas nuevas rutas se da gracias a la flexibilidad que la diversidad genética suministra para responder a las alteraciones del medio.

Por esto, cuando un proyecto afecta una población de una especie, y usemos para esto el mismo ejemplo del manglar correspondiente a un productor primario, se afectarán en gran medida las poblaciones de las especies consumidoras primarias y secundarias de la cadena trófica. Pudiendo aún desaparecer de la región o localidad donde se lleva a cabo la actividad. Así mismo, si se afectan poblaciones de especies consumidoras con hábitos alimenticios herbívoros, se afectarán aquellas poblaciones que consuman estas especies en el siguiente nivel trófico.

m. Relaciones Interespecíficas

Como mencionamos anteriormente, las relaciones interespecíficas negativas son las de competencia y predación.

- La competencia ocurre cuando las poblaciones se afectan adversamente entre sí, por ejemplo, cuando compiten por un mismo alimento cuya oferta es reducida.
- La predación ocurre cuando una población afecta a la otra adversamente pero se beneficia por la interacción, por ejemplo cuando una especie mata y se alimenta de otra, muy común en las aves de rapiña. El parasitismo es un tipo de Predación pero en vez de matar a la otra especie la “explota” o aprovecha por un período de tiempo dado. En este caso, el Parasitismo puede ser considerado como un tipo de predación “débil”.

Gran parte de los problemas de la humanidad han sido causados por la destrucción de este tipo de interacciones. A lo largo de la historia la destrucción de hábitats y ecosistemas, el uso de plaguicidas no selectivos, entre muchos otros factores, han causado que el equilibrio natural entre las

poblaciones se pierda causando la disminución de poblaciones de algunas especies predatoras y aún su extinción. Esto ha generado la posibilidad de especies predadas de reproducirse sin límite cuando encuentran las condiciones apropiadas, y la oferta alimenticia suficiente generando superpoblaciones. Este es el caso de las plagas las cuales encuentran la oferta alimenticia en monocultivos los cuales destruyen para alimentarse. Sus poblaciones solo se agotan cuando han agotado su fuente de alimentación, lo que ha causado grandes pérdidas económicas y en algunas ocasiones fuertes hambrunas, a la humanidad.

En cuanto a las relaciones simbióticas, las más comunes son las de protocooperación, mutualismo y comensalismo. La primera ocurre cuando la cooperación no es obligatoria pero favorece a ambas especies. Es el ejemplo del colibrí y la flor que le da su néctar; el primero se alimenta y al segundo contribuye a dispersar el polen en su pico. El mutualismo, a diferencia del anterior, es necesario para ambas especies y su supervivencia depende de esta interacción. Por ejemplo, las termitas no pueden producir por si mismas las enzimas que requieren para digerir la celulosa de la madera, lo que hacen ciertos protozoos que se reproducen y crían en sus intestinos. Ambas especies se benefician pero dependen obligatoriamente de la otra para subsistir. El *Comensalismo* ocurre cuando una especie se beneficia de otra pero la otra no se afecta. Es el ejemplo de las garzas y el ganado. Las garzas siguen al ganado al acecho de pequeños animales grillos, cucarrones, pequeñas ranas y demás que se muevan cuando el ganado camina.

Relaciones simbióticas prolongadas pueden llevar a modificaciones en la especie como es caso de los líquenes en donde ni el alga ni el hongo pueden existir en ausencia del otro.

Al igual que en el caso de las cadenas tróficas, si la alteración antrópica del medio ambiente afecta las poblaciones de una de las especies de la relación, indiscutiblemente afecta a las poblaciones de otras especies involucradas.

n. Tipos de ecosistemas

- **Ecosistemas terrestres**
- **Aspectos Biogeográficos**

La localización espacial del proyecto y su caracterización se deben hacer partiendo de la identificación de la provincia biogeográfica en que se encuentra ubicado el proyecto.

A manera de información, la biogeografía se ocupa de la distribución espacial de las plantas y animales en grandes o extensas áreas geográficas. Esta busca interpretar y entender los grandes movimientos que en el pasado hicieron las especies, hasta alcanzar su distribución actual.

Colombia está cubierta por 4 provincias biogeográficas:

La Provincia del Chocó que comprende parte de América central y los bosques tropicales fluviales de la costa pacífica que se extienden desde Colombia hasta el Ecuador, la Provincia de los Andes, del norte de Suramérica, que comprende las cordilleras oriental, occidental, centrales Colombia y los Andes en Venezuela, la provincia del Orinoco, que comprende las sabanas y regiones áridas de los llanos orientales de Colombia y su continuación en Venezuela y se extiende hacia el norte de Colombia cubriendo los bosques xerófitos y sub-xerófitos del Caribe y la provincia Amazónica que comprenden las selvas del complejo amazónico y las selvas húmedas del Orinoco.

Esta primera aproximación de la zona permite identificar en la bibliografía científica, información preliminar acerca de la distribución de las especies que se van a encontrar en el área de forma general axial como algunas indicaciones sobre el funcionamiento y dinámica de las comunidades y ecosistemas existentes en el área.

- **Clasificación De La Vegetación Y Sus Comunidades**

La vegetación existente en un área determinada se convierte en uno de los principales temas de estudio. La vegetación corresponde al primer nivel trófico de las redes de alimentación existentes cualquier área, además de servir de hábitat a las diferentes poblaciones animales y otras vegetales, dependiendo de los estados sucesionales de las comunidades que la conforman. Por otra parte también acorde con este último punto, las comunidades vegetales tendrán una estructura y funcionalidad diferentes, las cuales sirven como indicadores de muchas de las características bióticas como las características del suelo, humedad, nutrientes, etc.

La vegetación puede ser definida como el resultado de la asociación espacio temporal de elementos biológicos vegetales característicos y de componentes bióticos, los cuales conforman comunidades estructurales y funcionales, también dependiendo de sus características, las comunidades vegetales prestarán lo que se conoce como servicios ambientales en la protección de las aguas, los suelos y la atmósfera axial como de sus ciclos respectivos.

- **La Cobertura Vegetal y los Estados Sucesionales**

La cobertura Vegetal se refiere a la vegetación real existente a un área dada. Esta información se levanta sobre las unidades naturales que se han seleccionado como unidades de análisis, al definir el área de influencia del proyecto. La información de cobertura vegetal se debe levantar de manera georreferenciada. Implica por tanto un levantamiento de tipo cartográfico a un nivel más detallado. En este levantamiento se busca identificar los diferentes tipos de vegetación existentes, todavía a nivel cartográfico, que servirán de base para el muestreo de la vegetación en el campo.

En principio y también con base en la clasificación de la vegetación a nivel geográfico, se identificarán los diferentes tipos de ecosistemas presentes y aquellas áreas de gran importancia ecológica y que merecen especial atención y protección tales como páramos, bosques de niebla y en general bosques alto-andinos, bosques subtropicales, manglares y humedales, vegetación riparia, etc. Sobre estos se pueden identificar los estados sucesionales de las comunidades vegetales tales como bosque primario, secundario, terciarios o rastrojos, etc. Esta última se podrá hacer conjuntamente con la cartografía de usos del suelo que además de los estados sucesionales de la vegetación identificará las áreas agrícolas, las urbanas, áreas de degradación por erosión, etc.

Con la explicación de los estados sucesionales se podrá entonces hacer una definición preliminar de las áreas sensibles y de importancia ambiental y sus respectivas áreas de manejo, así mismo, se pueden ubicar áreas para conformar corredores o unir áreas con estados sucesionales avanzados, por que se pueden identificar desde ahora algunas áreas de recuperación para lograr la continuidad de los primeros. Acorde con ello se podrá empezar a planificar la ubicación y trazados de las diferentes actividades de un proyecto procurando evitar al máximo atravesar o interrumpir dichas áreas.

- **El Estudio de la Vegetación – Estructura y Fisonomía**

Existen diferentes formas de agrupar la vegetación para su estudio como su fisiología, (Estacionalidad), su composición florística, su estructura (Fisonomía) entre otros posibles criterios.

Con base en la clasificación realizada de los estados sucesionales y la cobertura vegetal, se podrá realizar un diseño de muestreo de la vegetación desde el punto de vista de su estructura y fisonomía. Esto implica, de hecho la realización de un muestreo selectivo. Este debe incluir como mínimo las áreas ya identificadas como de importancia ecológica y de importancia que puedan ser recuperadas a partir del manejo del proyecto. Así mismo, debe incluir una buena representatividad de los diferentes estados sucesionales de los distintos ecosistemas definidos anteriormente. Igualmente se podrán

identificar y muestrear, ya en el campo, los entornos que se forman en los límites en las diferentes unidades de vegetación existente, las cuales tendrán características especiales tanto en su estructura y fisonomía como en la representatividad de especies.

El análisis de la estructura y fisonomía de la vegetación implica ya un trabajo detallado, a nivel de campo.

Se podrán caracterizar, como mínimo, las siguientes variables:

- Descripción fisonómica de estratos (arbóreo; arbustivo; herbáceo; epigeo; entre otros)
- Densidad (Individuos por unidad de área)
- Otros índices de clasificación ecológica y forestal (Diversidad, dominancia, abundancia e índices relativos por especies)
- Áreas de importancia ecológica y forestal.
- Estimación de biomasa existente y remover por el proyecto.

El trabajo se podrá realizar por medio de transeptos lineales que atraviesen varias de las áreas a seleccionar, los cuales pueden además considerar diferentes alturas, o por medio de muestreos por área, por ejemplo, de una porción definida de hectárea. Este último es más útil en el estudio de la fisonomía y estructura de la vegetación mientras que los transeptos lineales son en general más útiles para la colección de nuestra floradizo que permiten muestreos más extensos y recorrer mayor cantidad de áreas representativas, aun cuando en los muestreos de área también se recolectaran especies.

- **Flora y Fauna**

El último nivel de estudio de la vegetación corresponde al estudio de la flora existente en las diferentes áreas seleccionadas. Los niveles anteriores analizan principalmente los aspectos relacionados con estudio de los procesos ecológicos que sostienen la vida, mientras que el estudio de la flora esta mayormente enfocado al de la preservación de la diversidad biótica axial, el estudio de la composición florística, tienen como objetivo el de identificar aquellas especies de importancia ecológica, según criterios como:

- Biodiversidad como aquellas claves, endémicas o en vía de extinción.
- Forestal: que incluyen especies de importancia socio-económica con diversos usos como construcción comercial, leña, etc.
- Cultural: especies de importancia mítica, medicinal, etc., de importancia para los habitantes locales.

- Indicadoras: especies que por su presencia y/o ausencia contribuyen a la definición y descripción de los aspectos tratados anteriormente, como la identificación de especies bioindicadoras de sucesión ecológica, estructura de la comunidad vegetal, calidad ambiental, etc., índices de diversidad y abundancia de especies.

Además de los métodos de trayectos lineales o muestra de área para la identificación y cuantificación de especies, las cuales requieren la colección de especímenes para su clasificación posterior. En este, los especialistas identifican la vegetación en el campo sin necesidad de coleccionar los especímenes, a nivel taxonómico de familia y género, y en algunas ocasiones, logran identificar hasta el nivel de especie por observación, tacto, olfato; características tales como forma, rugosidad, vellosidad, esencia, sabor y disposición de las hojas, forma y tipos de los tallos, etc.

El estudio de la fauna y la vida silvestre implicará desde el principio la selección de los grupos de interés, ya sea por su representatividad en las unidades vegetales, y demás ecosistemas muestreados para la vegetación, ó por su importancia en relación con la biodiversidad cultural ó como indicadores del estado de la vegetación y en general de los ecosistemas, sin embargo, y con el ánimo de incluirlos, se debe hacer una revisión para definir si en el estudio de la vegetación se dejaron por fuera algunos ecosistemas o hábitats que no tenían interés para el estudio de la vegetación pero que si lo tienen para el de la fauna como humedales, salados, etc.

En este sentido el muestreo de anfibios, reptiles, aves y mamíferos los cuales requieren de mayores áreas para mantenerse en equilibrio natural, deberá ser selectivo dado que en general será muy difícil incluirlos a todos, por ejemplo, en áreas con estados sucesionales avanzados o en clímax, será interesante el muestreo de especies carnívoras, especialmente mamíferos, como indicadoras del estado de las cadenas tróficas en ese ecosistema. En ecosistemas húmedos serán mas comunes los anfibios y en los secos, algunos reptiles. Las aves en general se encuentran en los diferentes ecosistemas, siendo varias de sus especies muy buenas indicadoras de condiciones específicas. Es por que las aves son particularmente muy útiles en desarrollo de Estudios de Impacto Ambiental.

Por otra parte, los muestreos preliminares en campo servirán para detectar especies de importancia acordes con los criterios descritos, las cuales podrán ser específicamente incluidas con los grupos a muestrear. Especies como la nutria o perro de agua, el mico ti ti, la danta del pacífico y de páramo, el cóndor, los paujiles, el gallito de roca, las tortugas, los caimanes que habitaron nuestro país; el águila arpía, las ballenas jorobadas, los delfines de río, el oso de anteojos y los venados, son los nombres comunes de algunas de las especies animales que se encuentran reportadas como especies en vía de extinción y además de ser indicadoras de hábitats

funcionales, su presencia debe ser considerada al definir estrategias de conservación, dado que su preservación es importante no solo a nivel local sino a nivel nacional, permitiendo apoyar el objetivo fundamental de preservar la diversidad genética que deben guiar los estudios de impacto ambiental.

Con base en lo anterior, debe quedar claro que un listado de especies está muy lejos de ser la mejor aproximación a un diagnóstico ambiental y por lo tanto los inventarios florísticos y faunísticos deben ser atendidos de manera integral dentro de la dinámica de los ecosistemas.

Las especies identificadas podrán ser cartografiadas conjuntamente con las unidades de vegetación y ecosistemas identificados. Ubicando isóneas de distribución de especies. Del análisis anteriores espera obtener también un mapa que reseñe, en una memoria explicativa, la distribución de la fauna y determine los hábitats singulares (con endemismos) o aquellos considerados como frágiles o de importancia ecológica para la identificación de áreas sensibles o corredores de paso u ocupación de fauna, que deben ser protegidos y/o restaurados.

Una vez identificadas las especies de importancia, ya sea por representatividad como especies claves, endémicas o en vías de extinción, o por su importancia forestal, cultural o como indicadoras, se deberá definir el rango de su distribución y se podrán realizar estudios más profundos sobre el estado de sus poblaciones con el fin de delimitar también, las áreas y el manejo de restauración ecosistémico que éstas requerirían para su desarrollo y funcionamiento normal.

En relación con los diferentes niveles del estudio sobre los ecosistemas terrestres hay un aspecto fundamental en relación, tanto en el proyecto como en las actividades de la región, y es el del uso que se haga del suelo ya sea para la ubicación o expansión de actividades humanas, ó como receptor contaminante. Estos factores influenciarán de forma decisiva la degradación en mayor o menor grado de los ecosistemas terrestres. De igual forma, aunque en mucho menor grado, sucederá con los usos que se hagan del aire como recurso natural clave en el desarrollo de especies animales y vegetales.

Un ejemplo ampliado lo constituye el del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto hidroeléctrico Miel II en el departamento de Caldas (1992), en este se identificaron los ecosistemas terrestres y las diferentes áreas sucesionales de su vegetación, sobre los cuales vale la pena mencionar dos casos:

Se encontró un área de vegetación riparia en buen estado del río La Miel, es una zona que se extendía aguas debajo de lo que iba a ser el sitio de presa. En campo, se identificaron algunos especímenes de la especie Saguinis

leocopus conocido como mico ti ti en peligro de extinción. De igual forma, se identifico el corredor de vegetación existente y las interrupciones que este presentaba para el desplazamiento continuo de dicha especie. Sobre esta información se definió un corredor continuo sobre el río La Miel. Se recomendó, como medida de compensación del proyecto, comprar aquellas áreas de dicho corredor que estuvieran por fuera de la cota de los causes que son bien del Estado, con el fin de garantizar la protección y restauración de la vegetación que da sustento a dicha población. además, se reubicaron varios botaderos del material proveniente de la construcción de la presa que iban a ser ubicados en áreas coincidentes con el corredor.

Posterior a la finalización del estudio, Interconexión Eléctrica S.A. estimuló la elaboración de un estudio específico sobre la población restante del mico ti ti en la zona, con el fin de detallar aspectos relativos al manejo de dicha población antes de que se iniciara el proyecto.

En la cartografía elaborada para unidades de vegetación, se encontró un área importante de bosque primario que colindaba con la cuenca vecina. Dado que la unidad de análisis se limitaba a la cuenca hidrográfica del río Miel, se amplió la delimitación de la unidad de análisis a la cuenca vecina con el fin de incluir la totalidad de este bosque. Se encontró que se trataba de un área de gran extensión que protegía tanto la cuenca del proyecto Miel II como la cuenca vecina correspondiente a la del proyecto hidroeléctrico Miel I.

En campo se hicieron varios muestreos de vegetación y fauna comprobándose la importancia de esta zona como ecosistema natural axial, pues, el Estudio de Impacto Ambiental propuso la conservación de esa zona y que se denomina con alguna clasificación de Sistemas de Parques Nacionales o como reserva regional, no solo por su importancia ecológica, sino por ser un área en estado natural representativa del piso térmico templado cafetero, las cuales son prácticamente inexistentes en el país. Esta propuesta tuvo gran acogida tanto por la Interconexión Eléctrica S.A. como por otras entidades del departamento de Caldas y el INDERENA. Este último, conjuntamente con la Fundación Natura, realizó estudios más profundos de biodiversidad, fauna, flora, etc., conocidos como estudios de base, con el fin de determinar su importancia para ser incluidos dentro del sistema Nacional de parques naturales. Estos estudios demostraron y confirmaron el altísimo índice de biodiversidad de la zona. Actualmente, el área ha sido incluida dentro de la propuesta de nuevas áreas dentro del Sistema de Parques, del Ministerio del Medio Ambiente.

Posteriormente, en 1992, el **INDERENA** hizo suspender la construcción de un camino vecinal que se estaba construyendo desde Samaná hasta dicho bosque, la cual tenía como objetivo el aprovechamiento del bosque. Esto en

razón a la importancia reconocida de este parque y la carretera carecía de estudio de Impacto Ambiental.

- **Ecosistemas Acuáticos**

El agua, además de ser una sustancia imprescindible para la vida, por sus múltiples propiedades, es ampliamente utilizada en actividades diarias tales como la agricultura (70% al 80%), la industria (20%), el uso doméstico (6%), entre otras, convirtiéndose en uno de los recursos más apreciados en el planeta. De ahí la importancia de conservar y mantener la calidad de las fuentes naturales, de manera que se garantice su sostenibilidad y aprovechamiento para las futuras generaciones (ONU, 1992).

La eutrofización es un proceso natural en los ecosistemas acuáticos, producido por el enriquecimiento del cuerpo de agua con nutrientes (RAMIREZ, A. 2000), durante los últimos 200 años el hombre ha acelerado estos procesos de eutrofización modificando tanto la calidad de las aguas, como la estructura de las comunidades biológicas debido al aumento en la carga orgánica e inorgánica de los cuerpos de agua (BURKHOLDER J, 2001). La eutrofización reduce considerablemente los usos potenciales que tienen los recursos hídricos puesto que induce a la mortalidad de especies animales, la descomposición del agua y el crecimiento de microorganismos (bacterias). Además, en muchas ocasiones los microorganismos se convierten en un riesgo para la salud humana, como es el caso de los agentes patógenos transmitidos por el agua, que constituyen un problema de salud mundial (VARGAS, 1996).

La contaminación fecal de las aguas superficiales que sirven como fuente de abastecimiento es uno de los problemas más preocupantes en los países en vías de desarrollo, esta contaminación se debe al vertimiento de los desagües sin ningún tratamiento, hecho que es usual en las grandes ciudades. En las zonas rurales la contaminación se origina en la defecación a campo abierto y a la presencia de animales domésticos y silvestres que actúan como reservorios de agentes patógenos.

El agua apta para consumo humano puede contaminarse cuando entra al sistema de distribución, a través de conexiones cruzadas, rotura de las tuberías del sistema de distribución, conexiones domiciliarias, cisternas y reservorios defectuosos, grifos dañados y durante el tendido de nuevas tuberías o reparaciones realizadas sin las mínimas medidas de seguridad (OMS, 1995-1996).

De igual manera, la construcción defectuosa en las estructuras de pozos o depósitos y ausencia o irregular mantenimiento de estas instalaciones son causas que predisponen el ingreso y multiplicación de microorganismos a partir de distintas fuentes. Además, existen otros factores que permiten el desarrollo de microorganismos en el agua dentro de los sistemas de distribución y almacenamiento como: cantidad y tipo de nutrientes, oxígeno, temperatura, pH, concentración de desinfectante y material de las tuberías (GALARRA, E. ,1994).

Los agentes patógenos implicados en la transmisión hídrica de enfermedades son las bacterias, virus, protozoos, helmintos y cianobacterias. Estos microorganismos pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad, desde una gastroenteritis simple hasta cuadros graves de diarrea, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea. La transmisión hídrica es solo una de las vías, pues estos agentes patógenos también pueden ser transmitidos a través de alimentos, de persona a persona debido a malos hábitos higiénicos, de animales al hombre, entre otras rutas (PRESCOTT L,1996).

Es importante destacar que cada vez es más frecuente que las enfermedades de origen hídrico, estén relacionadas con la presencia de microorganismos emergentes y reemergentes. Las enfermedades emergentes son aquellas cuya incidencia en los seres humanos ha aumentado en las dos últimas décadas; dengue, cólera. Las enfermedades reemergentes son las que reaparecen después de una disminución significativa en su incidencia; malaria, tuberculosis, peste (RODRIGUEZ, D.,2001). El aumento de este tipo de microorganismos esta relacionado con cambios drásticos en el ambiente y en la población aumentada por los procesos de urbanización, la expansión de la pobreza, la ocupación de regiones no habitadas anteriormente, las migraciones no controladas con gran número de refugiados y desplazados, la facilidad y rapidez en los desplazamientos y el movimiento creciente de animales y de productos de origen animal (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2003). A esto se suma que la resistencia a los agentes antimicrobianos continúa reduciendo la eficacia de los medicamentos incrementando los niveles de mortalidad y de costos sanitarios (PARVEEN S, 1998). Este grupo de microorganismos no está limitado a ninguna región en el mundo ni se circunscribe a países en desarrollo o desarrollados; representa una amenaza general, que exige una respuesta coordinada de los servicios de salud de todos los países. Asimismo constituyen una carga financiera que obliga a gastos enormes para el control de brotes epidémicos y la atención medica y de salud pública.

Determinar el tipo de microorganismos presentes en el agua y su concentración proporciona herramientas indispensables para conocer la

calidad de la misma y para la toma de decisiones en relación al control de vertidos, tratamiento de aguas y conservación de ecosistemas, evitando así el riesgo de contaminación de las personas y el ambiente.

No obstante, existe una gran dificultad para determinar la presencia de todos los microorganismos patógenos implicados en los procesos de contaminación ambiental. Dicha determinación implica costos elevados, tiempo, y laboratorios especializados. Frente a estas dificultades y a la necesidad de hacer una evaluación rápida y fiable de la presencia de patógenos en el agua, se ha planteado la necesidad de trabajar con determinados grupos indicadores. (CAMPOS C., 1999)

Los microorganismos indicadores son aquellos que tienen un comportamiento similar a los patógenos, concentración y reacción frente a factores ambientales, pero son más fáciles, rápidos y económicos de identificar. Una vez se ha demostrado la presencia de grupos indicadores, se puede inferir que los patógenos se encuentran presentes en la misma concentración y que su comportamiento frente a diferentes factores como pH, temperatura, presencia de nutrientes, tiempo de retención hidráulica o sistemas de desinfección es similar a la del indicador (CAMPOS C., 1999).

Un microorganismo indicador de contaminación fecal debe reunir las siguientes características:

- Ser un constituyente normal de la flora intestinal de individuos sanos.
- Estar presente, de forma exclusiva, en las heces de animales homeotérmicos.
- Estar presente cuando los microorganismos patógenos intestinales lo están.
- Presentarse en número elevado, facilitando su aislamiento e identificación.
- Debe ser incapaz de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos.
- Su tiempo de supervivencia debe ser igual o un poco superior al de las bacterias patógenas, su resistencia a los factores ambientales debe ser igual o superior al de los patógenos de origen fecal.
- Debe ser fácil de aislar y cuantificar.
- No debe ser patógeno.

La evaluación de impactos sobre los ecosistemas acuáticos se deben predecir con base en el diagnóstico de las comunidades de los ecosistemas lóticos (agua en movimiento), lénticos (agua estancada), de aguas subterráneas o marinas que estén involucradas en las zonas de influencia directa e indirecta del proyecto. (FERNÁNDEZ, 2001)

Las comunidades acuáticas, al igual que las terrestres, se encuentran determinadas por las condiciones del medio abiótico. Por lo tanto, se requerirá el análisis previo de la información hidrológica de caudales y ciclos,

los sedimentos y sus aportes, los cambios de calidad del agua, las corrientes en el caso de los ecosistemas marinos, entre otra información, con el fin de entender la dinámica básica del ecosistema acuático bajo estudio.

En relación con lo anterior, dos aspectos son fundamentales en el análisis hidrológico que son: los usos del agua, tanto por los habitantes de la región como por el proyecto, axial como los vertimientos existentes o que se generan a causa del último, dado que dependiendo de las condiciones que se definan con estas variables se afectarían las comunidades acuáticas.

Para el estudio de los ecosistemas acuáticos se analiza principalmente la comunidad de organismos del medio acuático, pues se considera que es más confiable de la evaluación del ambiente tomándolo en su conjunto que utilizando un solo organismo indicador en particular. El estudio mismo de estas comunidades se toma como el indicador. Sin embargo, se identifican las especies acuáticas que representen algún interés a nivel ecológico, económico o cultural para la región.

Existen indicadores del estado de los ecosistemas acuáticos tanto marinos como continentales. Los ecosistemas lenticos pueden ser evaluados indirectamente y se puede determinar su estado sucesional, si al estudiar la presencia, diversidad acuática y abundancia de las comunidades de macrofitas acuáticas, perifiton, (grupo de individuos asociados a plantas acuáticas), de fitoplancton, zooplancton, fauna béntica y neuston.

En el caso de los ecosistemas marinos, los estuarios, manglares y arrecifes coralinos son ecosistemas sensibles a los cambios del medio y atraviesan por diferentes etapas de sucesión dependiendo del grado de intervención humana y natural al que hallan sido sometidas, convirtiéndolos en excelentes bioindicadores de calidad ambiental.

La información de invertebrados y microorganismos acuáticos complementa la información de la ictiofauna cuya diversidad, degradación genética, ciclos de vida y poblaciones deben ser evaluados lograr predecir los efectos que la actividad humana puede generar sobre ella. La información científica preexistente y el conocimiento de la gente de la región, puede ser determinada para hacer una mejor evaluación del ecosistema y de los organismos que la conforman.

Con el fin de planificar los muestreos y sistematizar la información limnológica se pueden cartografiar los habitats y ecosistemas acuáticos y semiacuáticos presentes en el área de influencia, sobre los cuales se llevarán a cabo los muestreos de las diferentes comunidades. Dado que la información sobre la clasificación de las unidades naturales para los

ecosistemas acuáticos en el trópico esta aun en proceso de estudio, esta se deberá definir con base en las características del área.

Dependiendo del área de estudio y de los ecosistemas acuáticos presentes se seleccionara el muestreo y análisis de todas o algunas de las comunidades que se describen a continuación:

La metodología de muestreo y análisis de estas se encuentran en varios textos de limnología o en textos especializados en análisis empíricos y métodos de hidrobiología o específicos de las comunidades que mencionaremos. Estos indican en general los métodos apropiados para diferentes casos y tipos de ecosistemas acuáticos. (SZAUER, T., 2002)

- El Bentos

Determinarán la estructura cualitativa y cuantitativa de las comunidades de bentos en los diferentes sistemas donde sean representativos y puedan asumirse como indicadores; macrobentos (organismos $>500\mu$). El bentos, en corrientes de agua de montaña, es generalmente un buen indicador dado que esta se constituye en una de las comunidades más representativas.

Se harán los respectivos análisis de comunidades con base en los índices ecológicos, tales como:

- Especies y abundancias relativas
- índices de Diversidad
- índices de Dominancia de Especies
- Traslape de especies, entre otros.

Los métodos y análisis de esta comunidad se hacen generalmente sobre unidad de área determinada, dado que su distribución depende de los sustratos de un río. (SZAUER, T., 2002)

- Las Macrofitas

Se determina la estructura cualitativa y cuantitativa de la vegetación en los diferentes ecosistemas de habitats y se identificaran las posibles especies que puedan servir como indicadores del estado de los ecosistemas y que en el largo plazo podrán ser monitoreadas.

Con los resultados obtenidos se espera señalar los habitats con posibles endemismos, especiales indicadores de contaminación y establecer las principales unidades fisonómicas, axial como determinar cuantitativamente la estructura florística de los gradientes hídricos posible de ser afectados. (SZAUER, T., 2002)

- Los Macroinvertebrados asociados a macrófitas acuáticas

Se determina la estructura taxonómica y cuantitativa de las comunidades de macroinvertebrados que se encuentren asociadas a la vegetación flotante.

Como resultado se espera obtener un conocimiento acerca de la dinámica estacional y su susceptibilidad a las intervenciones antrópicas y naturales. (SZAUER, T., 2002)

- El Fitoplancton y el Zooplancton

Se deberá determinar la estructura cualitativa y cuantitativa de las comunidades del fitoplancton en los diferentes sistemas presentes en el área de estudio. En tal sentido, se espera tipificar las comunidades según sus relaciones con los diferentes factores estudiados.

El análisis servirá para determinar, entre otros, el grado de eutrofización de diferentes cuerpos de agua donde el fitoplancton se pueda desarrollar, para lo cual se utilizarán las metodologías de análisis establecidas para tal fin.

El fitoplancton se encuentra de forma representativa en sistemas lénticos y en menor proporción en sistemas lóticos pero de aguas lentas. Por tanto es excelente indicador en estudio de lagos, lagunas, ciénagas, etc.

Los métodos y análisis de estas comunidades se miden generalmente en unidad de volúmenes por tiempo de muestreo, dado que estas comunidades flotan en el agua y deben ser recogidas por mallas.

Su análisis se hace igualmente en términos de análisis y abundancia de especies en individuos. (SZAUER, T., 2002)

- El Perifiton

Se deberá hacer una caracterización de los hábitats según la estructura cualitativa y cuantitativa de las comunidades perifíticas presentes. Se espera determinar los organismos susceptibles de indicar tantas diferencias en las condiciones físico-químicas como alteraciones significativas del medio.

- La Ictiofauna

La ictiofauna constituye uno de los parámetros más importantes de los ecosistemas acuáticos por su importancia, tanto en las cadenas tróficas de esto si no por su utilidad para los seres humanos. (SZAUER, T., 2002)

Inicialmente se estudiará y delimitará la distribución de las especies identificando las posibles barreras naturales, tanto físicas como químicas, que la determinan como estrechos y rápidos, caídas, temperatura o, por ejemplo, la presencia de algunas sustancias específicas que sean lavadas a las corrientes, o que provengan del tipo de lecho o aun de las aguas freáticas o subterráneas. Esto permitirá identificar si el proyecto cambia estos patrones.

Axial mismo y con base en lo anterior, se podrán determinar los procesos migratorios de las especies identificadas. También se hará un estudio de las poblaciones de las especies existentes con el fin de determinar el estado actual de estas, definiendo posibles zonas para desove, cría y reproducción o áreas de alimentación.

En síntesis, la información recolectada en el diagnóstico de la zona se puede sintetizar y ubicar sobre mapas del área de influencia de la acción antrópica. La información proveniente del diagnóstico y de la recopilación bibliográfica debe ser integrada.

Con esa información se puede determinar las zonas de mayor interés ecológico y las de mayor conflicto la actividad que se va a realizar y la conservación de los ecosistemas presentes en el área.

La superposición de información cartográfica, hidrológica, topográfica, edáfica, de unidades vegetales, de uso actual del suelo, de uso potencial del suelo, con la representación especial del área de influencia del proyecto debe ser analizada para identificar las zonas de mayor atención, las de conflicto, y la identificación de posibles áreas de compensación por los efectos causados por la actividad.

Adicional a la información cartográfica, especialmente, de aquella relación con la identificación de hábitats, ecosistemas y unidades de vegetación, se considera el estudio de la dinámica de las comunidades y poblaciones animales y vegetales axial como de las especies presentes en los primeros. Esta información debe ser referenciada a la información que es especializada o cartografiada.

El tipo y grado de uso de los recursos naturales por el proyecto como el suelo, el aire y el agua, ya sea en relación con la cantidad o como receptores de residuos, vertimientos y emisiones, determinará en gran medida y en diferentes grados la afectación a los ecosistemas terrestres y acuáticos y a las especies que los habitan y conforman. Una noción importante que debe quitar la síntesis de la información es la extrapolación del principio de la búsqueda del eslabón más débil del ciclo de vida del organismo, lo que aplicado a los Estudios de Impacto Ambiental significa, que se deben buscar

las etapas y procesos críticos del sistema con el fin de predecir mejor los efectos.

Finalmente y teniendo en cuenta la información detallada del proyecto, se deben definir las zonas que por su grado de degradación actual requieren de una acción urgente para que no desaparezcan, comúnmente llamadas sensibles, críticas, de importancia ambiental, o ecológica. (SZAUER, T., 2002)

5.2.3.2. DISEÑO METODOLOGICO PARA ABORDAR LOS ASPECTOS BIOLÓGICOS

La complejidad y diversidad de los sistemas vivos no permite proponer una metodología común para abordar su estudio; sin embargo, hay algunas recomendaciones que es posible proponer para realizar un estudio de impacto ambiental, de tal forma, que se constituya en una orientación dentro del mar de información que se requiere para analizar los efectos que una actividad humana puede generar sobre los organismos vivos en un momento y lugar determinados.

Las actividades antrópicas más comunes se podrían agrupar en aquellas obras de infraestructura que ocupan extensos corredores tales como: carreteras, oleoductos, líneas de transmisión, vías férreas, ductos, etc.: y en obras que ocupan áreas “puntuales” como obras de minería, represas e hidroeléctricas, puertos, explotación maderera, etc.

Cuando los proyectos ocupan corredores extensos afectan una gran cantidad de ecosistemas, diversos en su estructura y dinámica. El análisis de estos efectos presenta una dificultad particular que, según Gast, 1989, radica en que: los efectos ambientales se diluyen linealmente en el espacio, las obras atraviesan áreas con condiciones ecológicas (clima, suelo, vegetación y topografía) cambiantes, y para determinar los efectos ambientales se requiere de una gran cantidad de información, por lo general inexistente. (Gast, 1989)

Los proyectos “puntuales” por su parte presentan otras dificultades, dado que los efectos se concentran en su mayoría directamente en una sola zona, aunque indirectamente puedan involucrar gran extensión.

Los proyectos que afectan “corredores” y áreas “puntuales” tienen en común que requieren de información científica básica de los ecosistemas que muchas veces no existe en el país. (SZAUER, T., 2002)

5.2.3.3. PRESERVAR LA DIVERSIDAD GENETICA

La preservación de la biodiversidad, además de ser un compromiso moral es una inversión para el futuro. La diversidad genética es la que permite mantener y mejorar la productividad agrícola conservando opciones para responder a los cambios futuros del medio, es materia prima para las innovaciones científicas e industriales, y permite preservar los ecosistemas.

Para que la diversidad genética cumpla con su papel amortiguador ante las presiones de selección, no basta con conservarla ex-situ, debe ser conservada in-situ.

En la naturaleza las alteraciones sobre las especies y sus poblaciones se basan en la intrusión de nuevas fuerzas de selección que modifican el equilibrio natural y alteran las frecuencias genéticas debido, generalmente, a modificaciones del medio ambiente, lo que puede llevar a la alteración de las poblaciones y en casos extremos a la extinción de las especies.

El hombre desde el principio de su existencia ha cambiado la naturaleza generando múltiples extinciones, lo preocupante es que su capacidad destructiva va en aumento y sobrepasa ya, la de la naturaleza para recuperarse. Se estima que actualmente desaparecen cerca de 100 especies por día, dato aterrador si se piensa que en una semana desaparecen más especies que las que se extinguieron en los últimos 300 años.

Los afectos principales de proyectos y actividades humanas que alteran o afectan las especies y sus poblaciones y por ende las comunidades que estas últimas conforman:

- Afectación a las cadenas o redes alimenticias de las especies.
- Alteración de interacciones entre las especies como aquellas positivas de mutualismo y comensalismo, o las negativas de predación y competencia.
- Afectación directa sobre las poblaciones animales y vegetales, la cual dependiendo del grado de afectación puede alcanzar la extinción de una o varias especies.

Los aspectos mencionados que, entre otros, afectan los proyectos se producen generalmente por diferentes causas específicas dentro del desarrollo de estos. A continuación se mencionan los más comunes:

- Intervención directa por ocupación del espacio y por tanto cambio de los usos del suelo o del espacio con la alteración consecuente de los ecosistemas. (SZAUER, T., 2002)

- Introducción de especies animales o vegetales exógenas a la región donde se lleva a cabo el proyecto, cambiando las interacciones entre las especies así como sus cadenas alimenticias entre otros.
- Caza, eliminación o aprovechamiento de especies claves dentro de los ecosistemas.

Por lo general la afectación directa sobre las especies y sus poblaciones es causada por proyectos de aprovechamiento o reproducción de recursos animales y vegetales como aquellos de zootecnia, aprovechamiento forestal, reforestación y menos por proyectos de desarrollo, a no ser que éstos utilicen y alteren grandes áreas que alberguen ecosistemas muy especiales donde existan especies en vías de extinción o endémicas, es decir, que sólo se encuentran en ese sitio.

Un ejemplo de este tipo de efectos se vio claramente con la introducción a las corrientes de las áreas montañosas Cundi-boyacenses de la trucha Salmo gairdneri, la cual generó la merma absoluta de la población, desaparición de algunos sitios y casi extinción del capitán de la Sabana. Pygidium bogotense siendo ésta una especie endémica de esta zona. Adicionalmente, la población de la trucha Salmo gairdneri se encuentra totalmente degenerada en condiciones naturales dado que, aún cuando prosperó al principio alimentándose de los pequeños peces de Capitán de la Sabana, posteriormente no encontró la oferta alimenticia adecuada, al no existir en nuestras corrientes varios eslabones de la cadena trófica que existen en las corrientes de agua de sus áreas de origen.

La afectación directa a las especies y por ende a la diversidad genética causa afectación sobre los procesos biológicos que sustentan la vida se como las cadenas tróficas y las interacciones sobre las demás especies de un ecosistema. Dicha alteración incidirá no solo directamente sobre las especies, sino también sobre los procesos coevolutivos y evolutivos en general de las especies. (SZAUER, T., 2002)

a. Los Procesos Evolutivos y Coevolutivos

Desde la década de los 70 la ciencia de la ecología, hasta entonces meramente descriptiva, se vio influenciada por una fuerte tendencia denominada Ecología Evolutiva. Esta trata de explicar, interpretar todos los aspectos que hemos tratado aquí, acerca de las comunidades, las poblaciones y sus interacciones tanto con otras especies como en el ambiente, en términos de la teoría de selección natural. Los eventos ecológicos pueden ser siempre considerados dentro de un marco evolucionista y viceversa. De esta manera, el mensaje que obtenemos es

como al afectar a las especies se alteran de una u otra forma los patrones evolutivos definidos por la naturaleza.

En términos generales, la coevolución se refiere a la evolución conjunta de dos o más especies que tienen relaciones ecológicas cercanas, pero que no intercambian genes, y en las cuales operan presiones selectivas recíprocas para hacer que la evolución de cada especie involucrada dependa de la evolución de la otra.

Así, en la coevolución se crean relaciones de estrecha dependencia, gracias a la interacción selectiva que una especie ejerce sobre la otra. Es el caso de las flores campanuladas y el colibrí en la que los reservorios de la flor se encuentran dispuestos estructuralmente, de tal manera, que el pico del ave entra a través de un espacio definido y se llena de polen al tomar el néctar, sirviendo así, de polinizador de la siguiente flor de la misma especie. (SZAUER, T., 2002)

b. Las Especies Claves

Una especie clave es aquella que es indispensable para el ecosistema en algún período del año o bajo alguna situación particular.

Este es el caso del *ficus*, un árbol del bosque húmedo tropical. Este árbol posee una fenología particular y una relación simbiótica mutualista con una especie de avispas que le permite fructificar en una época del año en la que la oferta de frutos del bosque es muy baja.

La relación mutualista del *ficus* con la avispa, le da al árbol la posibilidad de florecer y fructificar en asincronía con el resto de los árboles del bosque y a la avispa le suministra alimento para la primera etapa del ciclo de vida de sus descendientes, los cuales se desarrollan al interior de los frutos.

En teoría, la mayoría de los árboles de cada unidad de bosque florecen y fructifican de manera simultánea, pues esto les resulta ventajoso para lograr mayores eficiencias en la polinización cruzada y en la dispersión de sus semillas; pero el *ficus* posee su polinizador específico y se vale de esa ventaja para tener una gran cantidad de dispersores, entre ellos, aves de diferentes familias, primates de más de cinco especies, murciélagos y otra gran variedad de organismos para los cuales la existencia de esa especie de árbol se vuelve fundamental, clave, en los períodos del año en los que la oferta de alimento es baja.

En este tipo de casos se hace más evidente el efecto que una actividad humana puede causar en todo un ecosistema, pues con solo modificar uno de los elementos que lo conforman, podría alterar el equilibrio de decenas de especies e incluso de todo el sistema ecológico. (SZAUER, T., 2002)

c. Organismos indicadores en los ecosistemas

El uso de organismos indicadores de contaminación requiere conocer las tolerancias ecológicas y los requerimientos de las especies, así como sus adaptaciones para resistir contaminantes agudos y crónicos. Las investigaciones sobre organismos indicadores de polución comprenden el estudio autoecológico, en el laboratorio, para establecer los límites de tolerancia de una especie a una sustancia o a una mezcla de ellas mediante *ensayos de toxicidad*; y el sinecológico, que se basa en la observación y análisis de las características ambientales de los sitios en los cuales se detectan con más frecuencia poblaciones de organismos de cierta especie. Algas, bacterias, protozoos, macroinvertebrados y peces son los más usados como indicadores de contaminación acuática.

Las especies euritípicas son aquellas que toleran amplias variaciones de las condiciones ambientales presentando, Por tal razón, gran diseminación especial y temporal en los ecosistemas.

Las especies astenotípicas se desarrollan bajo condiciones ambientales con estrechos rangos, por lo que su presencia esta restringida en tiempo y espacios, condiciones particulares de los ecosistemas. (SZAUER, T., 2002)

5.2.4. CONCEPTO DE INDICADOR BIOLÓGICO

En sentido general, todo organismo es un indicador de las condiciones del medio en cual se desarrolla, ya que de cualquier forma su existencia en un espacio y momento determinado responde a su capacidad de adaptarse a los distintos factores ambientales. Sin embargo, en términos más estrictos, un indicador biológico se ha considerado como aquel cuya presencia y abundancia señalan algún proceso o estado del sistema en el cual habita, en especial si tales fenómenos constituyen un problema de manejo de los recursos del ecosistema.

Es pertinente aclarar que más que un organismo, el indicador biológico se refiere a la población de individuos de la especie indicadora y en el mejor de los casos, al conjunto de especies que conforman una comunidad indicadora.

Otro concepto de aproximación a la idea de lo que es un bioindicador puede encontrarse en la observación del comportamiento de algunas plantas y animales ante ciertos cambios atmosféricos. El considerar que habrá buen tiempo si la lechuza canta en la noche o el gallo durante el día, si los pájaros

vuelan alto, o si las arañas tejen sus redes; o que habrá lluvia si las golondrinas vuelan bajo, las orugas se inmovilizan, el trébol o la alfalfa se abren y las hojas del frijol se levantan (KOHLENER, 1981), son nociones empíricas que conllevan algo de validez científica pero que carecen de una relación unívoca causa-efecto. Sin embargo, nos muestran algo interesante: hay plantas y animales que poseen una sensibilidad mayor que la nuestra ante cambios de su medio ambiente.

“Un indicador es un parámetro que caracteriza el estado de un sistema (natural)”. “Un indicador es un medio del que dispone un hombre para observar con sus sentidos en un tiempo breve un fenómeno que escapa a su percepción normal”. (HONSBERGER, 1988).

Todas las especies que componen la biocenosis de un medio son potencialmente indicadores biológicos, sin embargo, dependiendo del enfoque que se desee darle a su utilización (ecológico o ecotoxicológico) se presenta una primera “selección”. En un enfoque ecológico se busca establecer la ocurrencia de la especie, su composición, su abundancia, su biomasa, su evolución en el tiempo o una mezcla de los anteriores parámetros, En un enfoque ecotoxicológico se busca llegar a un diagnóstico del estado de contaminación y para ello se necesita un bioindicador que sea fácilmente disponible y del que se tengan conocimientos que permitan comparar resultados ya sea globales o locales.

Para hacer una caracterización fina de un medio es necesario utilizar indicadores químicos, físicos y biológicos. Entre los primeros vale destacar el empleo de los propios productos contaminantes a sustancias trazas; con su estudio se busca determinar presencia o ausencia del contaminante, así como su localización en los diferentes comportamientos ecológicos y sus niveles de concentración y también su evolución en el espacio y el tiempo. Algunos productos son trazas sintomáticas de ciertas contaminaciones complejas (por ejemplo boro \approx vertimiento de aguas negras domésticas) o de cierto estado físico- químico del medio (ejemplo oxígeno \approx eutrofización). Entre los productos químicos se pueden distinguir:

- Los macro contaminantes, productos que a menudo son poco o nada tóxicos intrínsecamente, pero cuyas concentraciones en el medio perturban los ciclos de los elementos (ejemplo N y P en los problemas de eutrofización de lagos y ríos).
- Los microcontaminantes, que son productos tóxicos desde dosis débiles y pueden distorsionar los mecanismos bioquímicos fundamentales [ejemplo metales pesados (Pb, Cd, Hg...); contaminantes orgánicos (pesticidas, PCB, dioxinas, clorofenol,...)].

Los parámetros físicos (temperatura, turbiedad, conductividad, etc.) u objetos físicos (biotopo, sedimentos,...) permiten ver la evolución y las variaciones cuantitativas; los indicadores biológicos la evolución específica del estado de la contaminación. (KOHLENER, 1981),

Distintos organismos planctónicos se utilizan como indicadores de *eutroficación*.

En oceanografía los bioindicadores se utilizan en estudios de hidrología, geología, transporte de sedimentos, cambios de nivel oceánico, o presencia de peces de valor económico, por ejemplo. Los indicadores hidrológicos son organismos mediante los cuales se pueden diferenciar las distintas masas de agua de mar (masas que difieren en sus características físicas, químicas, de flora y fauna, y que se caracterizan, en general, por su temperatura y salinidad) y determinar sus movimientos. Los organismos pueden ser usados como sensores de una masa de agua, requiriéndose que sean fuertemente estenoicos para que no sobrevivan a condiciones diferentes a las de la masa de agua que caracterizan, o bien como trazadores de una corriente, si son más o menos resistentes a los cambios ambientales y sobreviven en condiciones diferentes, indicando la extensión de una corriente que puede atravesar varias masas de agua. Estos métodos biológicos son más útiles que las determinaciones físicas o químicas especialmente en las zonas marginales, de cambio, y, además, informan sobre el grado de mezcla de dos tipos de agua en las zonas intermedias.

La utilización de organismos vivos como indicadores de contaminación es una técnica bien reconocida. La composición de una comunidad de organismos refleja la integración de las características del ambiente sobre cierto tiempo, y por eso revela factores que operan de vez en cuando y pueden no registrarse en uno o varios análisis repetidos. La presencia de ciertas especies es una indicación relativamente fidedigna de que durante su ciclo de vida la polución no excedió un umbral.

Muchos organismos, sumamente sensibles a su medio ambiente, cambian aspectos de su forma, desaparecen o, por el contrario, prosperan cuando su medio se contamina. Cada etapa de *autodepuración* en un río que sufrió una descarga de materia orgánica se caracteriza por la presencia de determinados indicadores. Según su sensibilidad a la polución orgánica se clasificaron especies como *intolerantes*, *facultativas*, o *tolerantes*.

Los indicadores de contaminación por desechos industriales generalmente son resistentes a la falta total o parcial de oxígeno, la

baja intensidad de luz, etc. Los *monitoreos* biológicos son muy útiles, ya que, por ej., la acumulación de metales pesados en organismos acuáticos puede ser 10 millones de veces mayor a la del ambiente donde viven. (MEJÍA, 1993)

Se Distinguen dos clases de indicadores biológicos:

- **Bioindicadores:** en sentido estricto: presentan efectos visibles tras ser expuestas a la contaminación.
- **Bioacumuladores:** no presentan efectos visibles tras su exposición, sino que acumulan el contaminante. (COSTA, 2002)

Los bioindicadores pueden tener un rango de respuesta desde el nivel biomolecular al poblacional y de comunidad. Los bioindicadores generalmente se usan para evaluar los efectos de estresores ambientales sobre la salud de los organismos dentro del proceso de Evaluación de Riesgo Ecológico (OAK RIDGE NAT.LAB, 1995; Jain et al., 1993).

5.2.4.1. ESTRESORES A NIVEL INDIVIDUAL Y POBLACIONAL

Dado que los organismos están sujetos a una variedad de agentes estresantes en su ambiente, se necesitan múltiples medidas de salud que ayuden a identificar y separar los efectos de los estresores inducidos por el hombre (tales como los contaminantes) de los efectos de los estresores naturales (tales como la disponibilidad de alimento). De tal manera, midiendo las respuestas de salud en términos de tiempo de respuesta y niveles de organización biológica, los investigadores pueden establecer relaciones causales entre estresores y efectos biológicos.

Los estresores a nivel individual utilizados como bioindicadores son:

- Variaciones de los factores fisicoquímicos
- Competencia
- Regímenes de temperatura
- Disponibilidad de alimento, y
- Contaminantes en el medio

Los estresores a nivel individual provocan respuestas integradas sobre:

- el crecimiento
- el éxito reproductivo que en conjunto constituyen una respuesta poblacional.

El estrés en el Organismo

En el organismo, las condiciones de salud pueden ser caracterizadas por tres zonas basadas en el nivel de daño fisiológico causado por los estresores ambientales.

- Estado Saludable: Ausencia de Estresores
- Estado Estresado o Zona 1: Presencia de estresores y efectos moderados.
- Estado de Daño pero Curable o Zona 2: Efecto de los estresores de moderado a alto.
- Estado Irreparable e Incurable o Zona 3: Efecto dañino de los estresores; manifestaciones morbiles, incapacidad reproductiva, muerte.

Los bioindicadores pueden ser medidos para caracterizar las condiciones fisiológicas de los organismos en cada zona de estrés. Los indicadores de la Zona 1 son más sensibles a los contaminantes estresores que en las Zonas 2 y 3.

Bioindicadores Representativos de las Zonas de Estrés

Zona 1	Zona 2	Zona 3
Enzimas Detoxificadoras	Histopatologías Selectas	Parametros de Nivel Poblacional
Daño en DNA	Sistema Inmunológico	Parametros de Nivel Comunitario
Metabolitos	Bioenergética (lípidos)	Alteraciones en la Tasa Sexo
Enzimas Oxidativas	Condiciones Físicas	Alteraciones en Red Alimenticia
Análisis Químicos	Crecimiento	
Análisis selectos de Sangre		
Muy Sensible	Moderadamente Sensible	Baja Sensibilidad

Tabla 1. Fuente: ORNL, 1995

Si las respuestas de alta sensibilidad están apropiadamente calibradas, las respuestas de baja sensibilidad podrán ser usadas con efectividad en el proceso de Evaluación de Riesgo Ecológico.

Bioindicadores de Campo

A nivel campo, numerosas respuestas a estrés se han medido en poblaciones de organismos expuestos a varias clases y niveles de contaminantes. En investigación se aplican tres categorías de respuesta a estrés:

1. indicadores directos de exposición a contaminantes
2. indicadores directos de disfunción metabólica
3. indicadores directos de exposición

Bioindicadores de Campo

1	2	3
Enzimas MFO	Disfunción de Organos	Nutrición/Alimentación
Metabolitos	Enzimas en Suero	Crecimiento
Daños al DNA	Función Respiratoria	Lípidos
Daños Corporales/Contaminantes	Metabolismo de Lípidos	Parámetros Bioenergéticos
Histopatología Selecta	Inmunocompetencia	Lípidos en Suero
Enzimas Oxidativas	Patologías Varias	Lípidos en Suero

Tabla 2. Fuente: ORNL, 1995

En conclusión, los indicadores de contaminación y los bioindicadores son parámetros que permiten medir la calidad del ambiente en diferentes planos, tanto desde una perspectiva macro, como puede ser la calidad de un río o lago, como desde una perspectiva poblacional o de individuo. Asimismo, permiten monitorear el progreso de los programas de protección ambiental. (HOLDGATE, 1979)

5.2.4.2 PRINCIPIOS DE BIOINDICACION

Un contaminante o cualquier otro evento particular que perturbe las condiciones iniciales de un sistema provocarán una serie de cambios en los organismos, cuya magnitud dependerá del tiempo que dure la perturbación, su intensidad y su naturaleza. La acción puede ser indirecta (Cambios en el medio) o directa (ingestión o impregnación). *Como ejemplo, se muestra los efectos sobre la fauna acuática cuando es sometida a la descarga de una sustancia toxica;* a medida que transcurre el tiempo se pasa de respuestas individuales u orgánicas (bioquímicas y Fisiológicas) a respuestas poblacionales, comunitarias y ecosistémicas. De la anterior, se puede sugerir que un indicador biológico es aquel que logra soportar los efectos ocasionados por el elemento perturbante, es decir, que muestre algún tipo de respuesta compensatoria o tolerante. Estas respuestas significan para la especie mantener el funcionamiento normal a expensas de un gran gasto metabólico (MASON, 1984). Por su puesto, no solo la contaminación es factor que pueda indicarse biológicamente. Otras características del agua tales como estratificación, turbulencia y presencia de determinados iones se pueden detectar a través del uso de especies adaptadas a tales condiciones.

Además debe tenerse en cuenta que muchos indicadores biológicos lo son de condiciones no perturbadas, ejemplo de esto algunos insectos son propios de aguas limpias y su presencia es índice de buena calidad. (PINILLA, G., 1998)

5.2.4.3. IMPORTANCIA DE LOS INDICADORES BIOLÓGICOS

El uso de especies para detectar procesos y factores en los ecosistemas acuáticos tiene varias ventajas:

- Las poblaciones de animales y plantas acumulan información que los análisis físico-químicos no detectan. Es decir, las especies y las comunidades bióticas responden a efectos acumuladores intermitentes que en determinado momento un muestreo de variables químicas o físicas pasa por alto.
- La vigencia biológica evita la determinación regular de un número excesivo de parámetros químicos y físicos, ya que en los organismos se sintetizan o confluyen muchas de estas variables.
- Los indicadores biológicos permiten detectar la aparición de elementos contaminantes nuevos o insospechados. *Por ejemplo: la mortalidad masiva de aves marianas en las costas de Irlanda en 1969 permitió establecer que el Bifenilo policlorado, una sustancia poco tenida en cuenta hasta esa fecha, era un contaminante muy toxico en las aguas costeras.*
- Puesto que muchas sustancias se acumulan en el cuerpo de ciertos organismos, su concentración en esos indicadores puede reflejar el nivel de contaminación ambiental.
- Como no es factible tomar muestras de toda la biota de un sistema acuático, la selección de algunas pocas especies indicadoras simplifica y reduce los costos de valoración sobre el estado del eco sistema, a la vez que se obtiene solo la información pertinente, desechando un cúmulo de datos difícil de manejar e interpretar. (PINILLA, G., 1998)

5.2.4.4. UTILIDAD DE LOS BIOINDICADORES

El principal uso que se le ha dado a los indicadores biológicos ha sido la detección de sustancias contaminantes, ya sean estos metales pesados, materia orgánica, nutrientes o elementos tóxicos como hidrocarburos, pesticidas, ácidos, bases y gases, con miras a establecer la calidad de los hábitats. (PINILLA, G., 1998)

5.2.4.5. CARACTERÍSTICAS DE UN BUEN INDICADOR BIOLÓGICO

Un indicador biológico debe llenar algunas condiciones para que sea útil y brinde información veraz y confiable, con las siguientes características:

- Debe ser de fácil colección y medición (cuantificable)
- Debe estar relacionado con el efecto que se desea indicar
- En lo posible su comportamiento debe poderse modelar o predecir.
- Debe existir información biológica y ecológica sobre el indicador.
- No debe tener mucha variabilidad natural, es decir, debe ser de condiciones esteno (estrecho rango de adaptación).
- Preferiblemente debe tener calidad intrínseca (debe ser importante).
- Su identificación taxonómica debe ser a nivel de especie. muchas especies con genéricas presentan respuestas totalmente opuestas.
- Debe ser comparable en situaciones y sistemas similares. (PINILLA, G., 1998)

5.2.4.6. INDICES MEDIBLES EN UN INDICADOR BIOLÓGICO

Dependiendo del nivel a que se esté trabajando (organismo o población), se pueden determinar diferentes parámetros en los bioindicadores.

B. NIVEL BIOQUÍMICO

- concentración de hormonas y esteroides.
- Cambios en la relación RNA / DNA
- Fragilidad en la membrana lisosómica
- Hematológica

C. NIVEL FISIOLÓGICO:

- crecimiento Organísmico
- tasas de respiración, asimilación y alimentación
- consumo de oxígeno
- balance de nitrógeno
- balance de excreción (O_2 / N_2)

D. NIVEL POBLACIONAL

- crecimiento poblacional
- tasas de natalidad y mortalidad supervivencia
- abundancia absoluta y relativa
- densidad

E. NIVEL COMUNITARIO

- diversidad
- similitud
- dominancia
- riqueza (composición)
- cobertura
- productividad
- biomasa
- índices bióticos (PINILLA, G., 1998)

5.2.5. ORGANISMOS INDICADORES

5.2.5.4 PARA SUELO: ANIMALES

Los conocimientos sobre el comportamiento del suelo frente a los diferentes contaminantes no están, como es lógico, perfectamente establecidos, sobre todo si se tiene en cuenta la gran variedad de éstos, la continua producción de nuevas y complejas sustancias y las diferentes interacciones posibles entre ellas en cada sistema. Por ello, al tratar de establecer líneas de necesario avance en la investigación científica de suelos contaminados, no sólo deben ser consideradas la cantidad de un determinado contaminante en el suelo, sino también su biodisponibilidad, grado de toxicidad, su persistencia y posibles transformaciones en el tiempo y en los diferentes y cambiantes sistemas edáficos.

Los organismos que viven en el suelo, por su diversidad y su capacidad de adaptación a condiciones diversas pueden desempeñar múltiples funciones de gran importancia para el sistema, las que podrán producir efectos ecológicos por acción mecánica (mezcla de material orgánico, diseminación de organismos dentro del suelo, etc.) o química (degradación de compuestos orgánicos, mineralización, etc.) Asimismo, algunos de ellos pueden actuar como indicadores de calidad de suelo, que pueden tener diferentes grados de sensibilidad a distintos cambios, midiendo el grado de desequilibrio ecológico causado por el contaminante.

a. Lombrices de tierra

Son organismos del filum anélida que significa “anillado” y se refiere a la división del cuerpo en segmentos o metámeros. Pertenecen la clase oligochaeta, se alimentan por absorción, poseen respiración cutánea y son hermafroditas.

Una tonelada de lombrices ingiere anualmente en una hectárea de suelo 250 toneladas de tierra; estas cifras ilustran la labor gitanesca de estos humildes habitantes terrestres.

Las lombrices se dividen en tres grupos ecológicos principales, según su modo de vida y el medio en el que habitan:

- Las epigeas pululan en la superficie, donde explotan las zonas ricas en alimentos, pero estando muy expuestas a los predadores y la sequía. Se alimentan únicamente de desechos orgánicos (hojas, frutos, heces, cadáveres de animales...). Ejemplo *Lumbricus castaneus*.
- Las endógenas viven permanentemente en el suelo y se alimentan de tierra más o menos mezclada con materia orgánica. Se distinguen tres categorías: las oligohúmicas que viven en profundidad y se alimentan de tierra pobre en materia orgánica; las mesohúmicas que se alimentan de un suelo medianamente rico; y las polihúmicas, pequeñas y filiformes, que ingieren principalmente partículas orgánicas. Ejemplo *Allobophora icterica*.
- La anécicas son grandes lombrices que cavan galerías verticales a las que llevan desechos orgánicos del suelo y de los que se alimentan mezclándolos con tierra que toman en profundidad. Ejemplo *Nicodrilus longus*, *Lumbricus terrestres*.

La descomposición de la materia orgánica por las lombrices, ayudadas por bacterias y hongos, conduce a la liberación de elementos simples (nitrógeno, fósforo, potasio, etc.) directamente asimilables por las plantas. Además la mezcla del suelo por las anémicas y las endógenas, acompañada de la formación de humus, juega un papel esencial en la calidad de los suelos.

La función de las lombrices en el suelo puede resumirse en cinco papeles:

- Metabólico: Como descomponedoras, amonificadoras, y por ser presas ricas en proteínas (70%).
- Físico: Por la abertura de vías (5000 km/Ha, 10% de ellas funcionales para fluidos y con macro porosidad importante para la vida, la hidrodinámica y los intercambios gaseosos), y la formación de agregados (250t/Ha).
- Ecológico o pedológico: Ya que con su influencia, la relación Carbono / Nitrógeno disminuye y el pH aumenta.
- Papel agronómico y ambiental: Agronómicamente favorable cuando transportan elementos nutritivos y desfavorables si se trata de pesticidas.
- Muy útiles en el tratamiento de desechos orgánicos, la restauración de suelos y la vigilancia de la biocirculación efectiva de contaminantes.

Es evidente que las anécicas son las más adecuadas como indicadores biológicos no sólo porque se alimentan de desechos tomados en superficie, que es donde se encuentran concentrados la mayor parte de los microcontaminantes, sino también por su abundancia y facilidad de manipulación.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta varios aspectos si se les quiere utilizar como bioindicadores de contaminación por microcontaminantes en suelos:

- Su valor de biacumulación ante los microcontaminantes. Las lombrices no biacumulan bien todos los microcontaminantes. Entre los metales pesados, el plomo, el cobre y el cromo se concentran poco, no así el zinc y el cadmio. En lo que se refiere a macrocontaminantes orgánicos, son buenas bioacumuladoras de organoclorados. Parece que la no bioacumulación de ciertos microcontaminantes está ligada en las lombrices de tierra a la capacidad de esos productos de ser movilizados químicamente sobre las partículas húmicas.
- La preparación de muestras con fines de análisis. El valor de las lombrices como bioindicadores proviene en gran parte de la integración temporal y espacial de la contaminación por un microcontaminante representada por la concentración de ese producto en sus tejidos. Por lo tanto es necesario antes de cualquier análisis al lavado contenido intestinal (30% del peso total en *Lumbricus terrestris*) que representa una contaminación local, momentánea y parásita. Para la utilización de lombrices como indicadores de contaminación del suelo por PCBs (policlorobifenilos) fue necesario desarrollar un método para vaciar el contenido intestinal sin que se diera pérdida de información, esto se obtuvo colocando las lombrices en un embudo sintético formado por bolas de vidrio y sílice.

Después de dos días de alimentarse con sílice las lombrices habían evacuado todo el contenido intestinal; después de 6 días comenzaban a utilizar sus reservas lipídicas para sobrevivir, presentándose un relargaje de PCBs de los tejidos. El momento adecuado para hacer los análisis, se situaba por tanto de dos a seis días después de haberlas dejado en el medio sintético, período en el cual su concentración en PCBs es significativa del contenido de PCBs de sus tejidos únicamente.

Las lombrices también se utilizan en ensayos de toxicidad de productos químicos, como los preconizados por la OCDE, 1984 (Organización De Cooperación Y Desarrollo Económico) en los cuales se evalúa la toxicidad de productos químicos ya sea por su aplicación local, alimentación forzada o inmersión.

b. Nemátodos

Los nematodos son gusanos; son organismos microscópicos de 0,5 a 1,5 mm de largo y 30 μ m de diámetro, presentes en el agua de los poros del suelo, en gran número y diversidad de especies y niveles tróficos, pues los hay bacteriófagos, micófagos, fitófagos, predadores y omnívoros que viven en el suelo y en medios acuáticos y marinos.

La mayoría de nematodos son bacteriófagos, alimentándose de microorganismos y materia orgánica del suelo. Otros nematodos son parásitos de plantas y animales, y en muchos casos causan graves daños en los cultivos y el ganado..

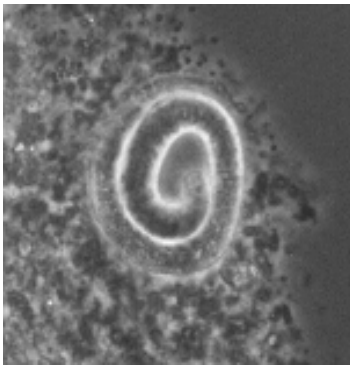


Fig. 1. *Nematoda Rudolphi*

Los nemátodos bacteriófagos (Fig. 1) son comunes en la mayoría de suelos. Se distinguen de los nematodos parásitos de plantas por la apertura de su boca, suficientemente grande para el paso de bacterias y esporas fúngicas hacia el intestino.

De la gran diversidad de organismos que viven en el suelo, los nematodos bacteriófagos constituyen un sujeto de estudio interesante en la búsqueda de bioindicadores adecuados para reflejar el grado de perturbación del suelo y la marcha de los procesos de recuperación.

De ellos, los nematodos bacteriófagos, nomenclatura que adoptamos de las clasificaciones tradicionales en nematología y mesofauna del suelo, se convierten en una medida indirecta pero específica de la presencia y abundancia de bacterias, lo que nos permite conocer el grado de alteración o reconstrucción de las cadenas alimentarias que en el suelo se producen, pudiendo comparar valores generales correspondientes a suelos no alterados o alterados con algún contaminante.

Los nematodos bacteriófagos del suelo pueden comportarse como organismos indicadores de situaciones alteradas debidas a algún polucionante en concentraciones determinadas. En el caso de suelos contaminados con hidrocarburos se demuestra que a concentraciones mayores del 1%, la población nematológica se deprime, como así también a altas concentraciones de sales. En condiciones normales los nematodos bacteriófagos del suelo son abundantes y están presentes en una gran diversidad de ambientes.

Por otro lado presentan un ciclo de vida relativamente largo, lo que permite su conservación. Su tamaño facilita la cuantificación y estudio en laboratorio. Las técnicas de separación y aislación son prácticas y económicas. Estas características, entre otras, como la posibilidad de criarlos en laboratorio, permiten considerarlos como promisorios bioindicadores.

En un proceso de biorremediación para la recuperación de suelos contaminados por petróleo muestran también ser adecuados para su biomonitoreo, porque su evolución responde al proceso de descontaminación.



Fig. 2 Nemátodos microscópicos (Fotos: Patricia Stock)

Los nemátodos fitopatógenos infectan las raíces de las plantas causando daños que reducen o acaban con la producción de muchos cultivos. En comparación con los nematodos bacteriófagos la apertura de la boca está equipada con un estilete que utilizan para penetrar las células vegetales. La apertura del estilete es demasiado pequeña para permitir el paso de microorganismos. Los nematodos fitopatógenos se pueden dividir en ectoparásitos (nunca entran en la raíz, se alimentan externamente de las células radiculares) y endoparásitos (entran en las raíces). En este último grupo se encuentran los también denominados nematodos sedentarios; éstos pasan la mayor parte de su ciclo de vida dentro de las raíces infectadas. Dentro de los nematodos sedentarios se encuentran los parásitos de plantas más importantes: los nematodos agalladores (*Meloidogyne spp*) y los nematodos de quistes (*Heterodera spp* y *Globodera spp*). (OTERO, M,)



Fig. 3 Víbora hocicuda (*Vipera latas*)

c. Anfibios Y Reptiles

Recientemente se está considerando a los anfibios y reptiles como un grupo muy idóneo de bioindicadores de la salud y calidad de los ecosistemas. Por medio del estudio y conocimiento de ciertos aspectos de la biología de estos animales podemos

evaluar el efecto que los cambios en el medio tienen primero sobre sus poblaciones y luego sobre el ecosistema en general, y así sugerir posibles medidas de conservación. Los motivos que hacen que estos animales sean más sensibles a las alteraciones del medio y que actúen como verdaderos bioindicadores son varios. Por citar algunos, tanto anfibios como reptiles son pieza fundamental en las relaciones de los ecosistemas, ya que son a la vez depredadores y presas de otros animales. Debido a su estrecha vinculación con el medio terrestre y/o acuático y su limitada capacidad de desplazamiento (ya que están estrechamente ligados a sus biotopos de reproducción), son animales muy sensibles a las alteraciones locales del hábitat. Los anfibios además presentan una doble vida, terrestre y acuática que les hace acusar cambios en ambos medios; su piel es muy permeable y sus huevos se hayan más expuestos a los factores exógenos pues no poseen una cubierta rígida que les aisle del medio.

Los científicos están constatando en los últimos años un descenso muy acusado a nivel mundial de las poblaciones de anfibios y reptiles. Las causas son muy variadas y no todas conocidas. En el caso de los anfibios varios factores globales, entre los que destacan la lluvia ácida, el calentamiento global y la pérdida de la capa de ozono son grandes responsables de este descenso en sus poblaciones. Pero sin duda el principal factor de amenaza con el que se enfrentan tanto las poblaciones de anfibios como de reptiles es la pérdida y alteración de su hábitat. La transformación de los espacios naturales en macro cultivos, el riego de los cultivos con pesticidas, el vertido de contaminantes a las charcas, el elevado número de atropellos, la urbanización descontrolada y los incendios, son solo algunos de los principales factores que más directamente son responsables de la disminución de sus poblaciones.



Fig. 4. Sapo común (*Bufo bufo*)

Además, hay que añadir un factor muy importante en la desaparición de estos animales: la extendida práctica de matar cualquier animal con aspecto de serpiente o sapo que se encuentre. Los anfibios, y sobre todo, los reptiles, inspiran sin duda en nuestro país más temor y aversión que simpatía. Su desconocimiento ha llevado a tildarlos de animales peligrosos y “malditos”, cuando en realidad no hay motivos para ello.(1)

Las especies con preferencias de hábitat muy restringidas se consideran buenas bioindicadoras. Entre las ranas hay las que dependen de hábitats restringidos y las que son generalistas, es decir que viven en cualquier parte. La diversidad de ranas es un indicador de salud del bosque, por el contrario, cuando hay intervención se encontrará solamente pocas variedades, que compiten con aquellas especializadas en solo un cierto tipo de hábitat. Las ranas son particularmente sensibles a cualquier cambio del ambiente, de la temperatura y humedad, y de presencia de contaminantes. (ACCIÓN ECOLÓGICA, 2002)

d. Caimanes

Las poblaciones de caimanes tienen algunas características que los hacen ideales para el monitoreo ambiental de ecosistemas acuáticos. Al ser depredadores, están al tope de la cadena alimenticia lo que significa que el estado de sus poblaciones depende del estado de los integrantes del resto de la cadena. Esto les hace sensibles porque si su alimento está contaminado por una sustancia que no pueden eliminar (como son los compuestos que se acumulan en el tejido graso de los peces), éstos entrarán en concentraciones mayores al organismo de los caimanes, además por su eficiente utilización de energía son relativamente abundantes, lo que permite monitorearlos con facilidad. Hay que tener en cuenta que un monitoreo para establecer el impacto de alguna actividad, especialmente si utilizamos caimanes, tiene que ser a largo plazo. (ACCIÓN ECOLÓGICA, 2002)

e. Aves

Las aves han sido utilizadas desde hace mucho tiempo como indicadores por excelencia, precisamente porque cumplen con las características de: ser sensibles a señales de cambio, están distribuidas sobre una amplia gama geográfica, al medirlas se pueden obtener valores continuos sobre un amplio de estrés, son factibles para implementar independientes del tamaño de la población muestra, las mediciones, colectas, experimentos y / o cálculos que se realizan con ellos son fáciles y económicos y su estudio permite diferenciar entre ciclos naturales y tendencias; además de ser fácilmente manejables (COOPERRIDER et al. 1986). Las aves son un grupo extremadamente diverso en sus características biológicas y de distribución, por lo que al seleccionar determinadas especies como indicadores se debe tener particular cuidado en que realmente permitan evaluar las condiciones de un aspecto del ambiente o de los factores que lo afectan: asimismo, se debe procurar que existan valores de normalidad (derivados de un estudio inicial de sus poblaciones) que sirvan como una base comparativa (HESS & KING, 2002).

Los criterios que se usan para calificar una especie son: estado de conservación, endemismo, distribución geográfica, especialización a un hábitat, susceptibilidad de muestreo, facilidad de determinación y manipulación en campo, grado de conocimiento de su biología e historia natural y posibilidad de que refleje información del hábitat. (COOPERRIDER ET AL. 1986). Además se considera para cada especie, su abundancia relativa como un valor de opción ya que esta se ve afectada por el entorno ambiental y las actividades antropogénicas (CARRIGNAN. V. & VILLARD, 2002).



Fig. 5. Martín pescador

Un ejemplo se da en la sabana de Bogotá donde las aves son utilizadas como bioindicadoras del estado de los ecosistemas y como tal, los estudios de biodiversidad de avifauna en los lugares que hacen parte de la estructura ecológica principal de Bogotá, en particular la presencia de aves migratorias año tras año y su ausencia en algunas ocasiones, nos indican la fluctuación de la oferta de refugio y alimento y son reflejo del estado de conservación de dichos lugares. (4) Por otra parte un estudio reciente de la avifauna del humedal Jaboque, dentro del Proyecto Plan de Manejo Integral y Comunitario para la recuperación y protección del Humedal Jaboque presenta 62 especies de aves residentes, de paso y migratorias; entre ellas destacan tres endémicas (*Rallus semiplumbeus*, *Cistothorus apolinari* y *Gallinula melanops bogotensis*) y una especie nativa (*Pseudocolopteryx acutipennis*). Durante la investigación encontraron nidos activos e inactivos de *C. apolinari* y *R. semiplumbeus*, así mismo, identificaron algunas especies migratorias como *Ardea herodias* y *Notiochelidon cyanoleuca* (ADESSA, 2004)

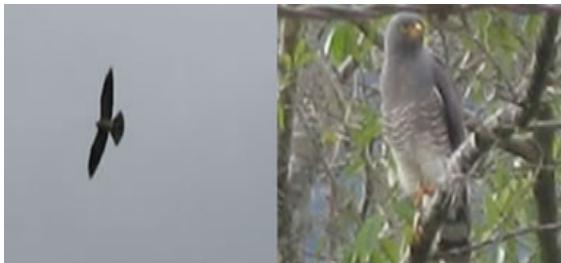
- **Relación Especies y Zona**

La similaridad entre las especies observadas en las tres zonas permite señalar que el humedal ofrece muchos hábitats y las comunidades vegetales de mayor importancia para la avifauna se encuentran en las tres zonas de conservación. Sin embargo, la presencia exclusiva de las especies *Rallus semiplumbeus* y *Gallinula melanops* en la zona más conservada, indica que ellas muestran una alta preferencia por hábitats en buen estado de conservación y son raras o ausentes en cuerpos de agua muy contaminados y/o sin juncales. Consecuentemente, estas especies podrían ser utilizadas

como bioindicadoras del estado actual del humedal, para lo cual es necesario realizar estudios de la dinámica poblacional de estas especies que permitan ratificar su permanencia a largo plazo (CIC & EAAB, 2000).

Las aves pueden ser efectivos bioindicadores debido a sus características de territorialidad. Hay especies que prefieren zonas abiertas cuya abundancia revela disturbancia del bosque. Cuando el ambiente es intervenido se presentan cambios en la diversidad. Algunas de las presiones típicas que afectan a las poblaciones de aves son el ruido, la cacería selectiva, la contaminación de las aguas y la destrucción del bosque. Primates Son monos son los mejores bioindicadores, entre los mamíferos, debido a sus preferencias de hábitats y a la facilidad de observarlos. Cuando ha habido una actividad intensiva, solamente se encuentran los monos pequeños, llamados amigables. Los monos grandes migrarán ante la presencia de ruido o la falta de alimentación. (manual de monitoreo).

- ***Aves Rapaces Como Indicadoras Ambientales En La Jurisdicción De La Car.***



Los requerimientos ecológicos intrínsecos de las aves rapaces (Falconiformes) hacen que muchas de estas aves puedan ser consideradas como excelentes bioindicadores. Por ejemplo las águilas de selva tienen baja tasa reproductiva y requieren grandes

territorios para mantener poblaciones viables. Otras rapaces se ven seriamente afectadas por la fragmentación de su algunas son especialistas de hábitat como *Falco deiroleucus*, y otras son extremadamente sensibles a los cambios de productividad y calidad de su ambiente Por otro lado, en algunos casos la alteración de estos ecosistemas favorece a las rapaces generalistas aumentando su densidad.

Por lo expuesto, las rapaces son un grupo a través del cual se puede evaluar y monitorear los esfuerzos de conservación en diferentes ecosistemas. No obstante, para utilizar a estas aves como bioindicadoras debemos entender sus ciclos de vida y sus requerimientos de hábitats en los ecosistemas y sistemas productivos en que viven, así como determinar su distribución real y estimar su abundancia relativa a través de métodos eficientes. Esto último, ha sido siempre uno de los problemas centrales en el manejo de las aves rapaces en el trópico ya que son difíciles de estudiar, especialmente las especies que habitan en bosques.

Los métodos clásicos para la elaboración de censos de rapaces, por lo general son inapropiados, cuestión que ha comenzado a ser superada gracias al mejoramiento de estos métodos de identificación y protocolos de investigación para las especies neotropicales (censos, conteos) desarrollados por el Proyecto Maya y que han llevado el tema a punto tal que permiten realizar el monitoreo de estas aves de una manera más rápida, eficaz y eficiente por lo menos para los grupos más comunes.

Una herramienta de conservación ampliamente utilizada a nivel global es la de los llamados "Bioindicadores" de cambios ambientales o calidad del hábitat. Se consideran como indicadores biológicos aquellos organismos cuya presencia o ausencia, abundancia o rareza, puede utilizarse para conocer las características del medio o, en general, las del ecosistema (etapa de la sucesión, influencias artificiales, usos...). En el trópico las especies responden a cambios moderados o disturbios en el bosque primario como la presión de caza, talas, construcción de carreteras o fragmentación moderada.

La utilización de la comunidad de aves rapaces como bioindicadora de la calidad y estado de ecosistemas a nivel regional y/o nacional representa un aporte significativo al conocimiento de la avifauna Colombiana y neotropical, y una importante oportunidad para desarrollar programas de capacitación y divulgación alrededor de estas aves.

En el trópico las especies responden a cambios moderados o disturbios en el bosque primario como la presión de caza, talas, construcción de carreteras o fragmentación moderada. Los requerimientos ecológicos intrínsecos de las Falconiformes de las selvas tropicales, tales como el tamaño del territorio, la baja tasa reproductiva, el estrato que ocupan, su especialización y estrategias de caza y su rareza, hacen que este grupo de aves pueda ser considerado como un excelente bioindicador, a través del cual se puede evaluar y monitorear los esfuerzos de conservación en los diferentes ecosistemas.

La utilización de la comunidad de aves rapaces (Falconiformes) como bioindicadora de la calidad y estado de ecosistemas a nivel regional y/o nacional representa un aporte significativo al conocimiento de la avifauna Colombiana y neotropical, una importante oportunidad para desarrollar programas de capacitación y divulgación alrededor de estas aves y de las comunidades bióticas asociadas y por su amplia distribución y carisma igualmente posibilita la participación de instituciones (públicas y privadas) a nivel regional (CARS), nacional (Institutos de Investigación) e internacional.

Teniendo en cuenta la anterior introducción, enseguida se plantean los objetivos (principal y secundarios) para la elaboración de una estrategia de

monitoreo y evaluación de los esfuerzos de conservación en las ventanas de paisajes rurales mediante el monitoreo de la estructura y cambios en la comunidad de aves rapaces (Falconiformes).(5)

e. Insectos



Fig. 6 Orden Coleóptera

Los insectos son uno de los grupos de organismos más diversos en los ecosistemas terrestres y ocupan una amplia variedad de hábitats desde el nivel del mar hasta el límite con las nieves perpetuas. Se estima que representan más del 85% de las especies vivientes.

Son candidatos ideales para el desarrollo de programas de inventario y monitoreo de la biodiversidad, porque cumplen con muchos de los criterios para la selección de grupos indicadores de diversidad o de procesos ecológicos (KREMEN *et al.*, 1993); algunos grupos han sido usados para evaluar el efecto de la fragmentación y reducción de los ambientes naturales, uso del suelo y contaminación de los cuerpos de agua y para la planificación de áreas para la conservación (BROWN, 1991). Su uso en este sentido ha sido ampliamente discutido (PEARSON Y CASOLA 1992); sin embargo, no todos los grupos son igualmente efectivos en la caracterización de la biodiversidad, ni como indicadores de los cambios ocasionados por la actividad del ser humano en los ecosistemas (KREMEN *et al.*, 1993).



Fig. 7 Orden Odonata

Los insectos son los bioindicadores más utilizados, debido a su variedad y su número. En este caso se trata de identificar la diversidad de poblaciones versus el número de individuos de cada población. Se cumple el criterio de que los insectos más vulnerables desaparecen creándose condiciones para los menos sensibles. En una zona contaminada, por ejemplo, se reproducirán los zancudos y desaparecerá la inmensa variedad de insectos comunes en los bosques.

Para resumir los insectos son los bioindicadores más utilizados, debido a su variedad y su número. En este caso se trata de identificar la diversidad de poblaciones versus el número de individuos de cada población. Se cumple el criterio de que los insectos más vulnerables desaparecen creándose

condiciones para los menos sensibles. En una zona contaminada, por ejemplo, se reproducirán los zancudos y desaparecerá la inmensa variedad de insectos comunes en los bosques. (Manual de monitoreo)

- **Escarabajos coprófagos (Coleoptera: Scarabaeidae: Scarabaeinae)**



Fig. 8 Orden Coleóptera

En las regiones tropicales los escarabajos coprófagos constituyen uno de los grupos de insectos que explotan de manera importante, el excremento de mamíferos omnívoros y herbívoros de tamaño grande y mediano.

El excremento constituye el principal recurso alimenticio de adultos y larvas y es utilizado como sustrato para la nidificación, actividad que incluye el traslado y protección del excremento en galerías al interior del suelo y el cuidado parental de la cría. También se reconocen especies que aprovechan otros sustratos de nidificación como frutas en descomposición, carroña y hongos.

La actividad de los escarabajos coprófagos está estrechamente ligada a procesos naturales importantes para el funcionamiento de los ecosistemas; el uso que hacen de las heces ayuda al reciclaje de nutrientes y al mejoramiento de las condiciones del suelo, al control de parásitos, de insectos vectores de enfermedades y a la dispersión secundaria de semillas, jugando de esta manera un papel importante en la regeneración natural de los bosques. Los escarabajos coprófagos se encuentran bien representados en la región Neotropical con cerca de 1.200 especies descritas en 70 géneros en Colombia se han registrado hasta el momento 380 especies en 34 géneros.

Son uno de los grupos de insectos más llamativos para utilizar como parámetro en la medida de la diversidad y evaluación de los efectos de la actividad humana. En bosques tropicales el número de especies por localidad varía entre 25 y 70, lo que facilita y agiliza el trabajo de identificación de especies, garantizando un alto grado de confiabilidad en las identificaciones. Además se cuenta con excelente información sobre la historia natural y otros aspectos de la biología del grupo. Algunas características de su historia natural como baja capacidad de dispersión, requerimientos de grandes extensiones de bosque para el mantenimiento de sus poblaciones y especialización de sus hábitos alimenticios y de nidificación, los convierten en un grupo vulnerable a la transformación de los hábitats naturales (ACCIÓN ECOLÓGICA, 2002)

- **Hormigas (Hymenoptera: Formicidae)**

La familia Formicidae está representada en la región Neotropical por 14 subfamilias: Agroecomyrmecinae, Amblyoponinae, Cerapachyinae, Dolichoderinae, Ecitoninae, Ectatomminae, Formicinae, Heteroponerinae, Leptanilloidinae, Myrmicinae, Paraponerinae, Ponerinae, Proceratiinae y Pseudomyrmecinae. Hasta el momento se han descrito más de 11.000 especies de hormigas en 296 géneros y 21 subfamilias; para el Neotrópico hay registradas unas 3.100 especies en 119 géneros y en Colombia se han registrado 91 géneros y cerca de 990 especies. Las hormigas presentan un elaborado comportamiento social que incluye la división de las actividades en la colonia, el cuidado de la cría y la defensa de los nidos. Para nidificar aprovechan una amplia variedad de sustratos como troncos vivos y en descomposición, hojarasca, corteza de árboles, epifitas y el interior del suelo (Hölldobler y Wilson 1990). Presentan especialización en sus hábitos alimenticios y una estrecha asociación con especies vegetales, en especial de las familias Caesalpinaceae, Leguminosae, Melastomataceae, Cecropiaceae y Rubiaceae. Algunas especies se alimentan sólo de huevos de artrópodos o exclusivamente de otras hormigas (Hölldobler y Wilson 1990). Otros grupos aprovechan semillas, secreciones de homópteros, cadáveres de otros invertebrados, detritus, hongos y néctar. Estos insectos constituyen uno de los grupos más abundantes en los bosques tropicales, especialmente en tierras bajas, en donde representan, junto con las termitas, la tercera parte de la biomasa animal. Varias de sus características, entre ellas el desarrollo de una glándula fungicida y bactericida y un elevado grado de organización social, han contribuido a su éxito ecológico. Varios autores clasifican a las hormigas como un grupo a tener en cuenta para la realización de inventarios y como indicador de los efectos de la actividad humana en los ecosistemas, debido a que son extremadamente abundantes, con una alta riqueza de especies por localidad y poseen hábitos alimenticios y de nidificación especializados. (ACCIÓN ECOLÓGICA, 2002)

- **Mariposas diurnas (Lepidoptera: Hesperioidea, Papilionoidea)**

Las mariposas son consideradas uno de los grupos de insectos más confiables para ser utilizados como bioindicadores en estudios de inventario o monitoreo de biodiversidad. Poseen varias ventajas, pero quizás las más destacadas son su vistosidad, se encuentran presentes en la mayoría de los ecosistemas, poseen la facilidad en cuanto a su identificación y manejo en campo y laboratorio y presentan alta especificidad hacia las plantas de las cuales se alimentan en estado de oruga, y una gran estratificación, incluso a escala local, en cuanto a gradientes de luz, viento, humedad, temperatura y altitud; la riqueza de mariposas generalmente depende de la diversidad local

de plantas y puede reflejarla. Otro aspecto relevante de estos insectos es su papel en la transformación de materia vegetal en animal: una oruga de mariposa incrementa su peso al salir del huevo cientos de veces antes de su tránsito a pupa, siendo alimento frecuente de aves, mamíferos y artrópodos depredadores. Además, son uno de los grupos de insectos diurnos más diversificados, especialmente en la región tropical donde existe un número alto de especies por localidad, factor que permite realizar comparaciones o labores de cartografía de biodiversidad de manera detallada. La riqueza de mariposas del país fue recientemente estimada en 3.100 especies (CHUNG, K, 1993) y un inventario detallado de la mayoría de las localidades de Colombia debería registrar entre 200 y 1.500 especies, aunque el número de especies observadas en una evaluación rápida generalmente es mucho menor. Otra ventaja de las mariposas es la posibilidad de marcarlas fácilmente, lo que hace que su uso no implique necesariamente su sacrificio. Por estas características las mariposas también han sido utilizadas frecuentemente en estudios de procesos biogeográficos tendientes a comprender la diversidad de los trópicos y su estado de intervención antrópica (Brown 1982; Kremen et al. 1993).

5.2.5.5 PARA SUELO: HONGOS

Los hongos están, directamente ligados a la diversidad, están en íntima relación con la salud del bosque. La ausencia de hongos revela una baja actividad biológica del ecosistema en su conjunto.(ACCIÓN ECOLÓGICA, 2002)

5.2.5.6 PARA SUELO: VEGETALES

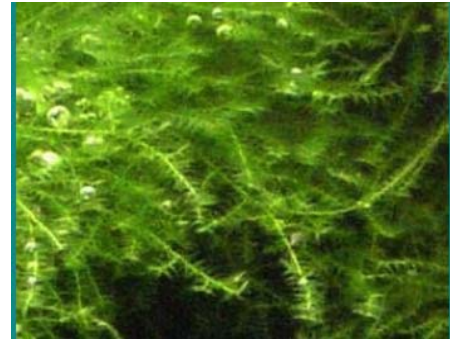
Los organismos vegetales utilizables como bioacumuladores de microcontaminantes son:

- Briófitas (musgos como Fontinalis, Cinclidotus, Platyhypnidium, Scapania...).

Estos organismos son especiales por que su identificación y muestreo son relativamente fáciles, son plantas fijas y perennes, Presentan factores de concentración muy elevados, son abundantes y ubicuos, muy resistentes a tóxicos y presentes en medios degradados. Reflejan bien las concentraciones presentes en el agua y el suelo.

Los musgos acuáticos podrían ser utilizados en nuestro medio pero teniendo en cuenta que en el trópico su principal limitante podría ser la temperatura dado que los valores óptimos para la mayoría de musgos acuáticos se encuentra en el intervalo de 10-20 °C y valores promedio mayores de 25 °C imposibilitan su supervivencia, ya sea porque la fotorespiración se hace mayor que la fotosíntesis, se empieza a dar desnaturalización de proteínas o se dé competencia con el perifiton que se desarrolla mejor a esas temperaturas. A pesar de esta limitación sus posibilidades de aplicación en Colombia siguen siendo bastante interesantes, ya sea en forma natural o por implantación artificial en sitios específicos de biomonitoreo.

Fig. 9 Fontinalis antipyretics



5.2.5.7 PARA AGUA: MICROORGANISMOS

a. Bacterias

Las bacterias que se encuentran más frecuentemente en el agua son las bacterias entéricas que colonizan. Cuando estos microorganismos se introducen en el agua, las condiciones ambientales son muy diferentes y por lo tanto su capacidad de reproducirse y de sobrevivir son limitadas.

Debido a que su detección y recuento a nivel de laboratorio son lentos y laboriosos, se ha usado el grupo de las bacterias coliformes como indicadores, ya que su detección es más rápida y sencilla (OLIVIERI, 1982)

El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana debido a que estos son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente, grandes cantidades, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección. Los microorganismos que conforman el grupo de los coliformes totales son: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Edwarsiella* y *Citrobacter*, viven como saprófitos independientes o como bacterias intestinales; los coliformes fecales (*Escherichia*) son de origen intestinal (3). Todos pertenecen a la familia Enterobacteriaceae, son bacilos Gram negativos, anaerobios facultativos, no esporulantes, fermentadores de lactosa con producción de gas; constituyen

aproximadamente el 10% de los microorganismos intestinales de los seres humanos y otros animales (PRESCOTT L, 1996), las bacterias del tracto intestinal no suelen sobrevivir en el medio acuático, están sometidas a un estrés fisiológico y pierden gradualmente la capacidad de producir colonias en medios diferenciales y selectivos. Su velocidad de mortalidad depende de la temperatura del agua, los efectos de la luz solar, las poblaciones de otras bacterias presentes, y la composición química del agua. La presencia de coliformes en el agua indica la contaminación bacteriana reciente y constituye un indicador de degradación de los cuerpos de agua. (FERNÁNDEZ, A. et AL, 2001).

Los coliformes fecales se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. La presencia de coliformes totales debe interpretarse de acuerdo con el tipo de aguas: deben estar ausentes en 85% de las muestras de aguas potables tratadas. En caso de estar presentes, su número no puede ser superior a 2-3 coliformes. Esta contaminación a pesar de ser baja, no puede ocurrir en tres muestras recolectadas en días consecutivos. En aguas tratadas, los coliformes totales funcionan como un alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen. Indican que hubo fallas en el tratamiento, en la distribución o en las propias fuentes domiciliarias. Su presencia acciona los mecanismos de control de calidad y de procesamiento dentro de la planta de tratamiento de agua, e intensifica la vigilancia en la red de distribución (HARWOOD, 2005)

Los Estreptococos fecales, actualizados taxonómicamente como *Enterococcus* incluyen un número de especies que se encuentran en las heces de los humanos y animales de sangre caliente. Esto es muy importante, ya que la contaminación fecal causada por animales puede involucrar riesgos sanitarios, por lo que hay que tener en cuenta los microorganismos más abundantes y frecuentes en las heces de los animales, sobre todo en los de producción; vaca, cerdo, oveja, caballo, gallina y pato.

Las especies de *Enterococcus* que están presentes en las heces y que se encuentran en aguas contaminadas pueden ser divididas en dos grupos: en el primer grupo se encuentran *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium* y *Enterococcus durans*, estos organismos están normalmente presentes en las heces de humanos y animales, el segundo grupo incluye *Streptococcus bovis*, *Streptococcus equinus* y *Enterococcus avium*, estos organismos no se encuentran comúnmente en las heces humanas. La identificación de la especie puede ser un mejor indicativo de la fuente de contaminación. (GODFREE, 1997)

El uso de *Enterococcus* como un indicador de contaminación fecal de aguas recreacionales fue recomendado por la U.S. Environmental Protection

Agency en 1986 (MESSER, 1998). La recomendación se basó en estudios que demostraron que los Enterococcus tienen una relación directa con las enfermedades asociadas a la natación en ambientes de agua marina y agua dulce.

Los Clostridium sulfito reductores, como *Clostridium perfringens* por ser productores de esporas, tienen una mayor resistencia a las condiciones ambientales y a la desinfección por lo que se utilizan como indicadores de contaminación fecal antigua. No es patógeno en el intestino de los animales homeotérmicos., tolera elevadas temperaturas y desecación, pH extremos, falta de nutrientes, entre otras condiciones adversas.

Cuando está presente en el agua potabilizada y desinfectada indica fallos en el tratamiento o en la desinfección. Su presencia en aguas cloradas se asocia con deficiencias en la filtración.(EDBERG,1997)

Las Pseudomonas son bacilos Gram-negativos no esporulados, de unos 3 x 0.5µm, presentan flagelos polares para su locomoción que pueden producir un pigmento fluorescente, son oxidasa positivo, utilizan la glucosa oxidativamente y no forman gas. Se hallan comúnmente en el suelo y en el agua y algunas especies son clasificadas como patógenos y patógenos oportunistas, para el hombre y los animales. Algunas de las especies más importantes son: *P. aeruginosa*, *P. fluorescens*, *P.putida*, *P. maltophilia*, *P. stutzeri* (COLLINS, 1989). *P. aeruginosa* es una bacteria que no se considera autóctona del agua, puede derivar de heces humanas y animales, su detección en agua se asocia con contaminación por descarga de aguas residuales, por lo tanto hay una estrecha correlación de su presencia en ambientes acuáticos con fenómenos de contaminación (DE VICENTE,1991)

Las Aeromonas son pequeños bacilos Gram-negativos que se mueven mediante flagelos polares. Son catalasa y oxidasa positivas, fermentan los carbohidratos, pueden producir gas en la glucosa, licúan la gelatina y reducen los nitratos (COLLINS, 1989) Las especies de Aeromonas son miembros de la familia Aeromonadaceae, el género incluye varias especies entre las que están las mesofílicas y móviles: *Aeromonas hydrophila*, *Aeromonas caviae*, *Aeromonas sobria*, *Aeromonas veronii* y *Aeromonas schubertii*, las asociadas a infecciones en los humanos, *Aeromonas popoffii*, la no móvil y psicrófila *Aeromona salmonicida* patógena de peces y anfibios (JANDA, 1991) Estos microorganismos son habitantes normales de fuentes de agua y pueden estar presentes en un alto número en agua fresca en presencia o ausencia de contaminación fecal. Es frecuente encontrar altos recuentos en aguas de desecho, pero se encuentran especies diferentes a las que están presentes en agua dulce. Las Aeromonas crecen en un medio ambiente con baja cantidad de nutrientes, algunos estudios han encontrado una significativa correlación entre la presencia de Aeromonas y el estado trófico de las aguas dulces (RIPPEY,1989)

b. Virus

A diferencia de las bacterias, los virus no se encuentran normalmente en las heces del hombre. Están presentes únicamente en el tracto gastrointestinal de individuos que han sido afectados. Más de 140 virus patógenos entéricos pueden ser transmitidos al hombre a través del agua, cuando son eliminados a través de las heces de personas infectadas. Los más comunes son los virus causantes de gastroenteritis y el virus de la hepatitis. Algunos de estos virus, **rotavirus**, virus **Norwalk**, no generan una inmunidad protectora a largo plazo por lo que la infección puede repetirse varias veces durante la vida. (RIPPEY,1989)

El **poliovirus** ha sido propuesto como indicador viral (PAYMENT, 1979) sin embargo, las cantidades de este virus encontradas en ambientes acuáticos son demasiado variables como para que sea considerado un buen indicador. Además de estas variaciones, la detección de virus entéricos requiere laboratorios especializados y los resultados demandan mucho tiempo. Estas dificultades en el uso de los enterovirus como indicadores de contaminación, ha llevado a la búsqueda de indicadores alternativos que sean rápida y fácilmente detectables. Estos indicadores son los fagos (SCHWARTZBROD, 1981) Se han propuesto dos tipos de fagos: colifagos somáticos y colifagos F específicos.

Los argumentos que validan la propuesta son:

- Los fagos se encuentran abundantemente tanto en agua residual como en agua contaminada.
- Las poblaciones de colifagos son mucho más grandes que las de los enterovirus.
- Los colifagos no pueden reproducirse fuera del huésped bacteriano.
- Los colifagos se pueden aislar y contar por métodos sencillos y se obtienen resultados más rápidos cuando se analizan los colifagos.
- Algunos colifagos son tan resistentes como los enterovirus a los procesos de desinfección.

c. Protozoos

Los protozoos son organismos unicelulares cuyo ciclo de vida incluye una forma vegetativa (trofozoito) y una forma resistente (quiste). El estado de quiste de estos organismos es relativamente resistente a la inactivación por

medio de los sistemas de tratamiento convencional de agua residual (RIPPEY, 1989).

Los protozoos son los microorganismos más abundantes de la microfauna en los fangos activos, y pueden llegar a alcanzar valores medios de 50.000 ind/ml en los reactores biológicos constituyendo aproximadamente el 5% del peso seco de los sólidos en suspensión del licor mezcla.

Los protozoos están representados por flagelados, amebas y sobre todo ciliados. Cada uno de estos grupos desempeña una función concreta en el sistema y su aparición y abundancia reflejan las distintas condiciones fisico-químicas existentes en los tanques de aeración, lo que resulta ser un índice muy útil para valorar la eficiencia del proceso de depuración.

Los flagelados no son abundantes cuando el proceso de depuración funciona adecuadamente. Su elevada densidad en los reactores se relaciona con las primeras etapas de la puesta en marcha de la instalación, cuando las poblaciones estables de protozoos ciliados no se han desarrollado todavía. La presencia excesiva en un fango estable indica una baja oxigenación del mismo o un exceso de carga orgánica.

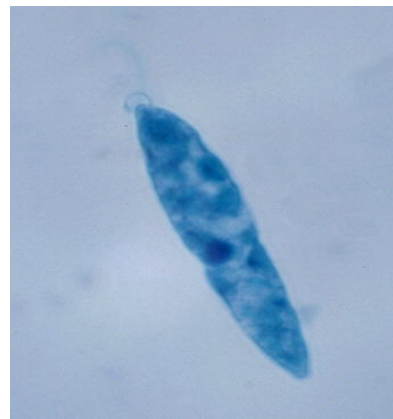
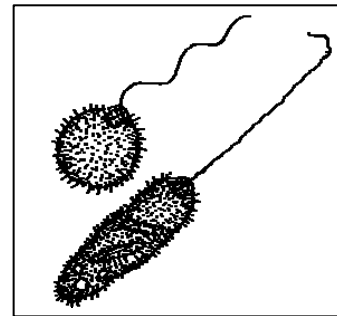


Figura No.10 . Ameba arcella

La *ameba arcella* (Figura 10), se desarrolla en medios en los cuales hay procesos de nitrificación.

Dentro de las amebas podemos distinguir las amebas desnudas, que suelen estar relacionadas con cargas de entrada en la EDAR alta, y las amebas testáceas que pueden aparecer en instalaciones con buena nitrificación y carga orgánica baja

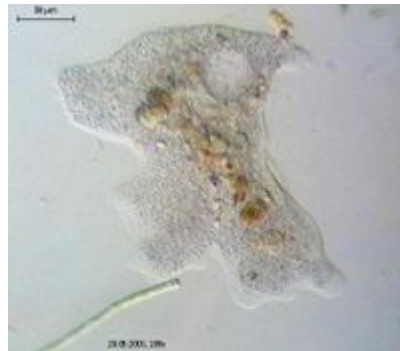
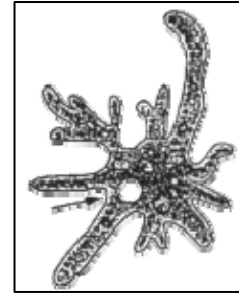


Fig.11 Ameba. *Sarcodina azpifilumean*

La presencia de protozoos ciliados en los fangos activos es de gran importancia en el proceso, ya que contribuyen directamente a la clarificación del efluente a través de dos actividades: la floculación y la depredación, siendo ésta última la más importante.

Existen diversos estudios que han demostrado experimentalmente que la presencia de protozoos ciliados en estaciones depuradoras mejora la calidad del efluente.

Los ciliados se alimentan también de bacterias patógenas, por lo que contribuyen a la reducción de sus niveles. Los ciliados presentes en el licor mezcla se pueden clasificar en dos grandes categorías en función de su relación con el flóculo biológico:

- Ciliados asociados al flóculo

Se distinguen dos grupos: los **pedunculados** y los **reptantes**. Los pedunculados guardan una estrecha relación con el flóculo por la presencia de un pedúnculo que les sirve de órgano de fijación. Van continuamente asociados a él, incluso en la recirculación y la purga del fango.

Entre los pedunculados nos encontramos con los suctores, que van a alimentarse de otros protozoos ciliados y con los peritricos, que se alimentan de bacterias libres.

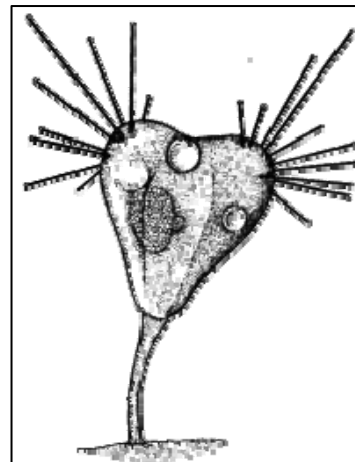


Los ciliados reptantes utilizan estructuras de movimiento (cilios o cirros) para moverse en el entorno del flóculo donde se alimentan de las bacterias de la superficie del flóculo.

-Ciliados no asociados al flóculo

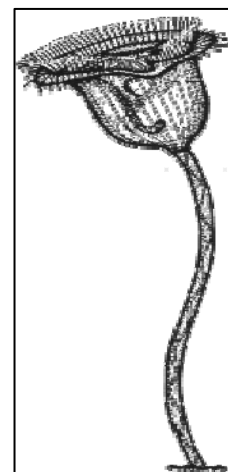
Son los ciliados **nadadores** que se encuentran libres en el licor entre los flóculos. Lo habitual es que salgan con el efluente tratado.

Los ciliados pedunculados y reptantes son los más frecuentes cuando el tratamiento funciona correctamente, ya que el sistema está especialmente diseñado para la creación de flóculos, que son utilizados como sustrato de fijación por estos microorganismos. Su capacidad de fijación o relación con el flóculo supone una ventaja adaptativa en este sistema y los que no la poseen son eliminados en el efluente.



Por contra los ciliados nadadores no son constituyentes típicos de las comunidades estables, sino que aparecen durante la fase de colonización del miso, cuando los flóculos están en vías de formación y no se han establecido aún los ciliados pedunculados y reptantes.

En consecuencia la presencia dominante de ciliados nadadores en un lodo bien formado es indicio de anomalías en el proceso, como son una carga excesiva o un fango poco oxigenado. En ocasiones, también puede estar relacionado con la entrada de vertidos tóxicos, ya que se eliminan las comunidades estables del proceso, presentando los reactores una situación semejante a la puesta en marcha (2)



d. Helmintos

Los huevos de helminto son un grupo de organismos que incluye los nemátodos, trematodos y cestodos.

Las características epidemiológicas que hacen de los helmintos patógenos entéricos causantes de infección por contacto con agua contaminada, son su alta persistencia en el medio ambiente, la mínima dosis infecciosa, la baja respuesta inmune y la capacidad de permanecer en el suelo por largos periodos de tiempo (STEINER, 1997). *Ascaris lumbricoides* se ha sugerido como un buen indicador del comportamiento de los huevos de helminto (NELSON, 2003), dentro de sus ventajas se encuentran que persisten en el medio ambiente por muchos meses, pero no se multiplican y se puede identificar fácilmente. En los últimos años ha ganado gran importancia la contaminación por *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium parvum*, estos protozoos se consideran patógenos emergentes y la investigación se ha orientado básicamente a la detección a nivel de laboratorio y al estudio de procesos de desinfección que garanticen la eliminación de este tipo de quistes. Desde 1981, los protozoos entéricos son reconocidos como causantes de brotes infecciosos transmitidos por el agua. Los protozoos más conocidos en las heces humanas son: *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolítica* y *Balantidium coli*. Más recientemente han sido aisladas cepas de *Cryptosporidium*. La criptosporidiasis humana fue descrita por primera vez en 1974 y el primer brote de origen hídrico se registró en 1984, investigaciones recientes indican que este organismo ocupa el tercer lugar en importancia mundial entre todos los enteropatógenos de transmisión hídrica (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2005).

e. Moho Residual

Es un tipo de microorganismo que se observa como una mucosidad parecida al algodón, esta se pega en las larvas, ramas u hojas que se asientan en el fondo del agua. Este es un indicador de contaminación orgánica en aguas corrientes.

f. Algas

El término perifíton fue utilizado hasta hace un tiempo para designar a las algas que viven adheridas a las macrófitas acuáticas (MARGALEF, 1992). En la actualidad el término perifíton se refiere a todas las comunidades de microorganismos animales y vegetales; algas, hongos, bacterias, protozoarios y animales que viven adheridas a sustratos vegetales, rocas o a cualquier tipo natural o artificial sumergido (ROLDÁN, 1992). El grupo más representativo de ésta comunidad son las microalgas. Las microalgas son organismos autótrofos fotosintéticos, producen su propio alimento; en su gran mayoría son unicelulares, forman filamentos o placas de células; pero cada individuo es independiente, no tiene movimiento o es muy limitado (CURTIS, 1996). Las microalgas perifíticas representan una de las

comunidades con mayor variabilidad espacial en términos de biomasa y composición (LIBORIUSSEN, 2003) ninguna de la especies mantiene a lo largo del año un tamaño considerable de su población (WETZEL, 1981), en parte debido a que las perturbaciones en los ecosistemas modifican su estructura (RODRÍGUEZ, 2001).

El perifíton 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 y buenos indicadores de la eutrofización de las aguas (RAMÍREZ, 2000). Sin embargo, resultan muy útiles también en el diagnóstico de sistemas lénticos.

Las comunidades perifíticas responden a ciertas condiciones para su distribución y abundancia, entre ellas se cuenta: las condiciones fisicoquímicas del agua y la red de drenaje de los sistemas (NAUNDORF, 2002), así como del tipo de sustrato, la hidrología, la desecación, el pastoreo, los gradientes, la concentración de nutrientes (HENRY, 2003) y la luz (ROBERTS, 2004). El perifíton en particular es un buen indicador, puesto que es sensible a los cambios y responde con rapidez a un amplio rango de tensores. Además, como esta comunidad permanece unida al sustrato, es testigo más confiable de los procesos ocurridos en el sistema que el plancton (ANDREU, 2005). Estas condiciones tan específicas permiten su utilización como indicadores de la alteración de las aguas (NAUNDORF, 2002).

En la tabla 1, se presentan los principales procesos bioindicadores de los grupos de microalgas presentes en los cuerpos de agua. Los índices matemáticos en el estudio de los microorganismos y de las comunidades animales y vegetales, son ampliamente utilizados. Para la descripción de la comunidad perifítica, en términos de número de especies y proporciones que puedan indicar cambios debido a modificaciones en las condiciones ambientales o procesos biológicos, se utiliza el índice de diversidad de Shannon y Weaver (DONATO, 1996).

Tabla 3. Divisiones de microalgas y su proceso bioindicado

Grupos de las microalgas	Proceso bioindicador	Autor
<i>Euglenófitas</i>	*Alto contenido de materia orgánica	Pinilla (1998)
	*Estratificación	
	*Meso a oligotrofia	Wetzel (1981) Roldán (1992)
	*Alto contenido de materia orgánica	
<i>Clorófitas</i>	*Alto contenido de materia orgánica	Pinilla (1998)
	*Eutrofia	
	*Relación N/P alta	Wetzel (1981)
*Clorofitas desmidiáceas, están asociadas con aguas de alto contenido de materia orgánica		
<i>Criptófitas</i>	*Luz relativamente baja	Wetzel (1981)
	*Aguas frías	
<i>Cianófitas</i>	*Aguas tropicales	Pinilla (1998)
	*Eutrofia	
<i>Bacillariófitas o Diatomeas</i>	*Eutrofia	Pinilla (1998)
	*Sucesión planctónica	
	*Relación N/P alta	
<i>Crisófitas</i>	*Oligotrofia	Pinilla (1998)
	*Algunas especies de Dinobrion tiene escasas necesidades de nutrientes y en particular del fósforo, en contraste con algunas otras especies que necesitan grandes concentraciones de este elemento.	Wetzel (1981)
	*Aguas pobre en nutrientes	Roldán (1992)
	*Estratificación	Pinilla (1998)
	*Sucesión fitoplanctónica	
<i>Pirrófitas (Dinoflagelados)</i>	*Oligotrofia	Pinilla (1998)
	*Aguas mineralizadas	
	*pH neutro o ligeramente alcalino	Wetzel (1981)
	*La mayoría de los dinoflagelados son tolerantes al calcio, al pH, materia orgánica disuelta y temperatura.	

Este índice es el más ventajoso por su fácil aplicación y su independencia del tamaño de la muestra, arrojando valores que van desde 0 hasta 5, donde 5 es la máxima diversidad. A continuación se presenta una clasificación de la calidad de las aguas de acuerdo al índice de diversidad, Tabla No. 2 (ROLDÁN, 1992 & CURTIS, 1996.). En ecosistemas de productividad media predominan las diatomeas, en aguas enriquecidas con sustancias orgánicas aumentan proporcionalmente la cantidad de cianófitas y de flagelados (WETZEL, 1981). Finalmente, el detrimento de las fuentes naturales de agua dulce es un problema a escala mundial que afecta a las poblaciones humanas de forma directa. La degradación y contaminación de los ecosistemas acuáticos minimiza la potencialidad del uso de sus aguas, la pérdida de la biodiversidad que estos albergan e incluso en algunos casos, se convierten en un riesgo para la salud de las poblaciones aledañas dadas

las emergencias sanitarias que se presentan. Los esfuerzos necesarios para una adecuada evaluación y posterior recuperación de estos ambientes son mínimos comparados con los beneficios que representan en óptimas condiciones.

Tabla 4. Estado trófico de las aguas de acuerdo a su índice de diversidad

<i>Calidad de aguas</i>	<i>Índice de Biodiversidad (bits de información)</i>
<i>Aguas muy contaminadas</i>	0.0 – 1.05
<i>Aguas medianamente contaminadas</i>	1.5 – 3.0
<i>Aguas muy limpias</i>	3.0 – 5.0

Las algas son individuos unicelulares o pluricelulares, cuyas células funcionan independientemente, realizando todas las funciones vitales. La alimentación, en general, es fotosintética.



Fig.12 Algas bioindicadoras

Hoy en día las algas están adquiriendo una gran popularidad ya que pueden actuar como bioindicadores por su capacidad para acumular metales pesados. Un elemento pesado se caracteriza por ser un elemento metálico con una densidad superior a cinco. Aunque en este grupo se incluyen elementos esenciales para el crecimiento, reproducción y/o supervivencia de los organismos vivos, otros muchos pueden causar graves problemas. La Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) considera que el berilio y el mercurio son dos de los elementos más peligrosos, lo que quiere decir, que son muy perjudiciales a pequeñas cantidades. Otros nueve metales han sido definidos como posibles elementos peligrosos, lo cual significa que su peligrosidad es potencial, son el cadmio, el cobre, el plomo, el manganeso, el níquel, el zinc, el vanadio y el estaño. Todos los elementos anteriores pueden ser captados en el proceso de bioacumulación por parte del alga.

Los metales pesados poseen una gran capacidad para unirse con muy diversos tipos de moléculas orgánicas. Los procesos de bioacumulación son debidos, básicamente a la imposibilidad, por parte del organismo afectado, de mantener los niveles necesarios de excreción del contaminante, por lo que sufre una retención en el interior del mismo. El proceso se agrava a lo largo de las cadenas tróficas, debido a que los niveles de incorporación sufren un fuerte incremento a lo largo de sus sucesivos eslabones. Hay numerosos ejemplos de enfermedades, ya que según se ha comprobado, incluso a niveles bajos de metales aparecen efectos muy perjudiciales y crónicos de los que en numerosos casos no se tenía constancia. De hecho pueden citarse casos como el Itai-Itai, asociado a la contaminación minera que libera cromo al medio, o el Minamata provocado por el mercurio y que acarrea retraso mental en los embriones, deformidad de las extremidades, perturbaciones en el crecimiento. Además otros metales pesados tales como el arsénico ocasionan gastroenteritis, debilidad y una rápida muerte si no se diagnostica a tiempo, el selenio puede originar trastornos en el aparato circulatorio y en los músculos, el plomo puede llevar consigo hipertensión, anemias, depresiones e incluso la muerte.

Muchos de los males que ocasionan se debe a su capacidad para reaccionar con infinidad de sustancias entre las que destacan los grupos sulfhidrilos y los radicales amino, fosfato, carboxilo, hidroxilo. También afectan a los ácidos nucleicos dando lugar a mutaciones genéticas, alteraciones en la síntesis y reparación de ácidos nucleicos. (BRANCO, 1984).

- **ALGAS VERDES: estudio de Chlorella vulgaris**

El género *Chlorella* es un alga verde que, debido a su capacidad de fotosintetizar (le permite carecer de un aporte exógeno de materia orgánica)

y a su situación en las cadenas tróficas como productor primario, le convierte en un organismo ideal para experimentar su capacidad de acumular metales. Se trata de un alga esférica, unicelular, eucariota y que presenta clorofila a y b. Vive en medios marinos, en el agua dulce e incluso en suelos encharcados. Además es frecuente que aparezca en simbiosis con esponjas, hydra y paramecio.

Se ha demostrado que es capaz de absorber grandes cantidades de metales, principalmente Cr^{4+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} y Hg^{2+} . El proceso que realiza para incorporar los metales a sus células consiste, a grandes rasgos, en dos etapas. La primera de ellas, denominada biosorción, transcurre en muy poco tiempo y es similar tanto en la pared celular como en toda la célula, es decir que ambas estructuras introducen, en un tiempo similar, cadmio, plomo y cobre, mediante un intercambio de iones en el que el Na, Mg y Ca resultan desplazados a favor de los metales pesados. A continuación el metal puede unirse a distintos grupos funcionales como aminas, alcoholes, fosfatos, hidroxilos... Uno de los factores que contribuyen a la eficacia de este sistema es la composición de la pared celular, que posee una mezcla compleja de azúcares, glucosamina, proteínas y ácido urónico.

La segunda fase, llamada bioacumulación requiere un período de tiempo mayor y a diferencia de la primera etapa, se trata de un proceso activo en el que se piensa que interviene el metabolismo de la célula. Por esta razón, aparecen diferencias significativas entre la cantidad de metales acumulados por las diferentes partes de la célula que puede ser debido a las biomoléculas presentes en la membrana que pueden unirse a los metales.

Hay distintos métodos para emplear las algas con el fin de reducir la concentración de metales pesados en el medio, uno de ellos es la utilización de algas fijadas a un sustrato, de esta manera se soluciona un grave inconveniente ya que resultaba extremadamente complicado recuperar las algas microscópicas, menores de $10\mu\text{m}$ del vertido contaminante. Este procedimiento reporta además una serie de ventajas: ya no hay necesidad de destruir las células del alga puesto que se pueden emplear distintos métodos de manipulación (modificación del pH, adición de sustancias especiales que muestren afinidad por los metales...) para que el alga libere los metales que ha acumulado y por tanto disminuye el riesgo de que resulten tóxicos los metales. Esto es posible porque las algas se disponen agrupadas en columnas por lo que además se consigue una reducción de espacio.

Por tanto se puede concluir que la especie *Chlorella vulgaris* cuenta con una gran capacidad para acumular metales pesados aunque esta característica puede estar condicionada por factores como la densidad de las células, el

tratamiento previo de las mismas o el pH del medio. Sin embargo no son las algas los únicos organismos capaces de incorporar distintos metales a su estructura, así por ejemplo especies de hongos como *Rhizopus* o *Absidia* son consideradas como excelentes bioabsorbentes de plomo, cobre, cadmio, zinc y uranio.

- **ALGAS PARDAS: estudio de Padina gymnospora**

Se han realizado estudios acerca de la acumulación de elementos traza en nueve especies de algas 2 Chlorophyta: *Codium decorticatum* y *Ulva fasciata*; 3 Phaeophyta: *Padina gymnospora*, *Sargassum stenophyllum* y *Spatoglossum schroederi* y 4 Rhodophyta: *Gracilaria* sp, *Spyridia clavata*, *Acanthophora spicifera* y *Hypnea* sp. y otras dos especies de algas(*Fucus vesiculosus* y *Ascophyllum nodosum*) como indicadores de la contaminación en el mar.

El alga parda, *Padina gymnospora*, es la especie que más cantidad de zinc y cadmio presentaba en su estructura, de hecho se conocen estudios donde los valores aparecen en torno a $307,0 \pm 63,5 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco para el zinc y $1,32 \pm 0,46 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco para el cobre, y la especie *Sptaglossum schroederi* presentaba grandes concentraciones de cobre ($6,5 \pm 2,0 \mu\text{g g}^{-1}$ peso seco).

- **ACUMULACIÓN DE METALES EN ALGAS VERDE AZULADAS**

Las algas verde azuladas, también llamadas Cianobacterias son capaces de acumular metales pesados en sus células.

Este tipo de algas son el grupo más diverso de organismos fotosintéticos, están en casi todas partes, en hábitats terrestres y acuáticos, en lugares tan extremos como las fuentes termales (a temperaturas superiores a los 70 grados centígrados), o en las grietas de rocas situadas en el desierto. Además, son muy antiguas, se han encontrado fósiles de estas algas en rocas que tienen una edad entre 2500 y 2800 millones de años.



Fig.13. algas verde azules

No sólo soportan estoicamente la presencia de metales como el cadmio, plomo y cobre, sino que también los acumulan en su biomasa. Los

investigadores piensan que la retención se produce principalmente en la pared o en la vaina mucilaginosa que recubre la célula. Por ello, no es necesario que las algas estén vivas.

Las propiedades de las algas verde azuladas no se limitan a acumular metales, tienen otras muchas aplicaciones, entre ellas reducen la erosión del suelo, porque favorecen la infiltración del agua, mejorándose su fertilidad. También pueden degradar ciertas sustancias tóxicas como el lindano, un componente muy persistente que se emplea como pesticida. Además pueden resultar útiles en los denominados filtros biológicos.

Filtros biológicos

Hoy en día, el uso de biomasa (material orgánico) para la descontaminación de aguas residuales es una alternativa interesante por su bajo coste. Es lo que se denomina biosorción o filtros biológicos, los cuales pueden prepararse a partir de algas, hongos o bacterias. Esta biomasa no necesariamente tiene que estar viva. En algunos casos, el material puede inmovilizarse en una matriz de polímero (un plástico). Los filtros se colocan conformando columnas por donde pasa el agua contaminada. Los metales se adhieren al filtro, y cuando se agota la capacidad de retención, el filtro se reemplaza, se incinera y se reciclan los metales. Las cianobacterias, que al igual que las plantas, producen su propio alimento a partir de la fotosíntesis, son candidatas ideales para la retención de metales. En el caso del plomo, acumulan una cantidad similar a la que retiene una planta hiperacumuladora de plomo.

Como hemos dicho, las Cianobacterias se encuentran frecuentemente creciendo en aguas contaminadas debido a su habilidad para acumular metales. Algunos de los llamados metales tóxicos participan en rutas metabólicas, por ejemplo el Zn, Ni y Cu son micronutrientes esenciales para algunas Cianobacterias y sólo grandes cantidades hacen que estos metales lleguen a ser tóxicos.

Las Cianobacterias que crecen en presencia de metales, han desarrollado varios mecanismos de tolerancia.

Estas algas poseen la habilidad de producir sustancias extracelulares para protegerse de los metales tóxicos. Algunas excretan metabolitos secundarios como respuesta a la limitación de micronutrientes los cuales pueden reducir la toxicidad de ciertos metales.

Las algas pueden tolerar metales pesados manteniendo bajas concentraciones intracelulares. Algunos mecanismos para conseguir esto son: La detoxificación enzimática, la síntesis de polímeros, la precipitación de complejos metálicos insolubles en la superficie celular, adaptaciones genéticas, cambios morfológicos, impermeabilidad, etc.

• ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE ALGAS HIPERACUMULADORAS

Las macroalgas pueden ser clasificadas en tres grupos principales según su hábitat y color: las algas verdes (Clase Chlorophyceae), algas marrones (clase Phaeophyceae), las algas rojas (clase Rhodophyceae) y las algas coralinas (clase Corallinaceae). Son las tres primeras las que acumulan mayor cantidad de metales. La mayor parte de las algas están en las proximidades de la orilla, en las aguas de salinidad normal (con un 3,5% NaCl) aunque algunas son capaces de sobrevivir en ríos y bahías rocosas (tal es el caso del género *Fucus*) y otras incluso en agua dulce. La importancia de estos organismos radica en el elevado número de individuos, se estima que el peso seco total de algas en el mundo es de varios millones de toneladas.

Las algas son plantas primitivas no vasculares que no poseen un sistema radicular y las sustancias nutritivas son absorbidas por los rizoides, que además se encargan de fijar el alga al sustrato. Normalmente son estructuras cartilaginosas y aplanadas de crecimiento muy lento (a razón de 5-6 cm/día). Un componente que predomina sobre el sodio es el potasio en las algas marrones (fundamentalmente en *Macrocystis* y *Nereocystis*).

Son organismos que poseen una gran cantidad de agua, entre un 55 a 90%, repartido entre el tallo, filoides y rizoides. Las algas pueden ser un medio muy útil para conocer la concentración de metales en el medio ambiente marino. Sería lógico esperar cantidades parecidas en el agua y en las algas ya que se trata de plantas no vasculares por lo que si aparecen corrientes de agua con una cantidad de cobre, cadmio y zinc 43, 35 y 20 veces superior a los valores normales, cabe suponer que las algas tengan estas mismas cantidades.

Un hiperacumulador se define como un organismo capaz de contener una concentración superior a 1000 µg/g de níquel cuando está seco. Esta cantidad puede aplicarse también al cobalto y al cobre y se ha demostrado que las plantas no hiperacumuladoras retienen una concentración cien veces menor, por tanto resulta un criterio útil para comprobar cuando una planta es hiperacumuladora.

Aunque hay numerosos libros que describen la morfología, clasificación y otros muchos aspectos de las algas, todavía no hay datos específicos que recojan los niveles de concentración de metales en las distintas especies. Sin embargo se conocen algunos géneros hiperacumuladores:

- 1- aparecen niveles altos de yodo, sobre todo en algas pardas (por ejemplo *Laminaria*)
- 2 - niveles moderados de bromo en algas pardas (por ejemplo. *Laminaria* y *Fucus*), y en el alga roja *Prionitis*

3 - hay un enriquecimiento notable de arsénico en algas pardas, especialmente en *Sargassum*

4 - enriquecimiento de uranio en algas pardas, notablemente *Fucus*.

5 -enriquecimiento moderado de estroncio en algunas algas pardas(*Fucus*, *Sargassum*).

6 - enriquecimiento moderado de vanadio en la “lechuga verde de mar”.

Los estudios realizados muestran que los niveles altos de metales pesados como plomo, zinc, cadmio y cobre, en el mar pueden ser retenidos por las algas sin que ello afecte a su crecimiento. Parece probable que con otra serie de metales ocurra lo mismo, por tanto constituyen una opción para solucionar parte de la contaminación de las aguas.

- **ALGAS ROJAS**

El yodo quizás es el elemento más estudiado, que acumulan las algas en altas concentraciones aunque es difícil de cuantificar ya que se volatiliza. El contenido en algas suele ser más de cien veces superior al de las plantas terrestres, siendo máximo en las algas marrones y mínimo en las algas verdes pero aún así supera la concentración de las plantas vasculares. De las algas pardas, *Laminaria* tiene hasta un 5.5% de yodo en peso seco aunque lo normal es que la concentración no sobrepase el 1%; esta cantidad varía en función de unos determinados factores: el hábitat(a mayor profundidad mayor contenido de yodo), la estación del año(en verano aumenta la acumulación de este metal),la edad del alga(en individuos jóvenes la concentración de yodo es mayor).

Las algas rojas contienen 400-1200 µg/g en la ceniza, pero pueden extenderse de 20 µg/g. Normalmente aparece en estos organismos junto con el potasio y el rubidio.

Aunque haya mil veces más bromo que yodo en el agua de mar, se conocen muy pocas algas capaces de acumular yodo en grandes cantidades, aunque tienen incluso una mayor concentración de este metal que las plantas vasculares. Al igual que el yodo es un elemento difícil de cuantificar ya que se volatiliza fácilmente al reducir el alga a cenizas, si no se encuentra unido a un compuesto estable. Por tanto los datos recogidos en estudios acerca de la composición de la ceniza de un alga recogen una cantidad de yodo mucho menor de la que debe de haber en un alga viva.

g. Plantas Acuáticas (Macrófitas)

Constituyen formas macroscópicas de vegetación acuática. Comprenden las microalgas, las pteridofitas (musgos, helechos) adaptadas a la vida acuática y las angiospermas. Estas plantas presentan adaptaciones a este tipo de vida tales como: cutícula fina, estomas no funcionales, estructuras poco lignificadas. Teniendo en cuenta la morfología y fisiología, las macrófitas pueden clasificarse según la forma de fijación en:

- **Macrófitas fijas al sustrato**

- Macrófitas emergentes: en suelos anegados permanentes o temporalmente; en general son plantas perennes, con órganos reproductores aéreos.
- Macrófitas de hojas flotantes: principalmente angiospermas; sobre suelos anegados. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos.
- Macrófitas sumergidas: comprenden algunos helechos, numerosos musgos y carofitas y muchas angiospermas. Se encuentran en toda la zona fótica (a la cual llega la luz solar), aunque las angiospermas vasculares sólo viven hasta los 10m de profundidad aproximadamente. Los órganos reproductores son aéreos, flotantes o sumergidos.

- **Macrófitas flotantes libres**

Presentan formas muy diversas desde plantas de gran tamaño con roseta de hojas aéreas y/o flotantes y con raíces sumergidas bien desarrolladas a pequeñas plantas que flotan en la superficie, con muy pocas raíces o ninguna. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos pero muy raramente están sumergidos.

Los inconvenientes relacionados con la presencia de macrófitas son:

- Pueden actuar como fuente de vectores propagadores de enfermedades y plagas.
- Favorecen la ausencia de oxígeno en el cuerpo de agua (en grandes coberturas de macrófitas flotantes).
- Producen sombra a plantas sumergidas y algas que liberan oxígeno por fotosíntesis.
- Grandes masa de macrófitas en descomposición acumulan materia orgánica en general en el sedimento, volviéndolo anóxico (es decir, sin oxígeno).
- Taponamiento de canales de riego y de navegación.

- Problemas en represas, en puentes y obras de ingeniería en general por acumulación de macrófitas flotantes que se embalsan, ejercen presión sobre estas obras pudiendo peligrar su infraestructura.
- Problemas en lugares de recreación debido por ej. a que al encontrarse en grandes cantidades, hay gran cantidad de materia en descomposición y produce mal olor.

Los beneficios que aportan las macrófitas son:

- Pueden utilizarse para alimentación humana, del ganado, de peces y otros animales acuáticos.
- Pueden ser utilizadas como fertilizantes.
- Pueden usarse para purificación del agua (Prepantanos; ver Eutrofización).
- Para uso medicinal y en cosmetología.
- Para producción de celulosa.
- Como fuente de producción de bio-gas.(MARGALEF, R.,1991)y (WETZEL, R., 1981)

Ej. La Lechuga de agua, Lechuguilla, Repollo de agua, Repollito de agua Pistia stratiotes



Fig. 14 Foto de Lechuga de agua, Lechuguilla, Repollo de agua, Repollito de agua.

*Nombre científico o latino: **Pistia stratiotes**, - Nombre común o vulgar: Lechuga de agua, Lechuguilla, Repollo de agua, Repollito de agua, Familia: Araceae. Origen: América tropical, pero también está extendida en otras regiones. Distribución: amplia distribución en todas las regiones tropicales y subtropicales, es decir todas las regiones cálidas del mundo.*

En la naturaleza puede constituir una verdadera plaga. Planta acuática flotante en las regiones de origen y semiacuática o de terreno fangoso palustre en las regiones mediterráneas. Hojas dispuestas en roseta, de colores verdes suaves y tomentosos, tienen un aspecto parecido a la lechuga. Siempre verde en climas sin heladas. Flores blancas diminutas reunidas en un espádice en pequeña espata situado en la extremidad del escapo. Pistia stratiotes 'Mini' es una variedad de tamaño inferior a la especie tipo Pistia stratiotes. Además las hojas tienen una forma algo más redonda.

Son plantas de gran valor ornamental mas por la belleza de sus hojas y espatas que por sus diminutas flores. Usos: para acuarios, pequeños estanques o para lugares muy húmedos situados en la proximidad de las corrientes de agua.



Fig. 15 Foto de Lechuga de agua

- Planta flotante que puede llegar a adquirir tamaños importantes, se debe tener en cuenta que se reproduce rápidamente y puede cubrir el espejo de agua alterando notoriamente los procesos del ecosistema ya que no permite el paso de luz a las zonas inferiores. Su reproducción es rápida, las plantas botan sus semillas al fondo del agua (tierra) en un periodo de 10 a 12 días, las nuevas plantitas suben a la superficie multiplicándose en gran número.

Se caracterizan por ser buenas para absorber metales pesados del agua y ayudan a aumentar los procesos de anoxia del agua. Esto quiere decir que la cantidad de oxígeno disponible se reduce en un 97%.**(6)**

Ej. *Eichornia crassipes* (Mart.) Solms

Planta flotante anual, adecuada tanto para miniestanques como para la plantación en cubeta. Alcanza una altura de 15 cm. Su floración ocurre entre agosto y septiembre, y su flor es de color violeta. Gusta de lugares soleados y con algo de sombra, pertenece a la familia Pontederiaceae de procedencia Tropical, su altura es de 5 a 30 cm y el ancho de 6 a 25 cm, posee altos requerimientos de luz, Aunque esta planta es difícil de mantener en acuario cerrados es muy fácil en estanques.



Fig. 16 Foto buchón de agua

Esta planta flotante es apreciada por la curiosa forma de sus hojas abombadas y por su flor cuando la saca violácea.

El mayor problema de esta planta es el impacto ecológico que puede ocasionar, pues puede cubrir toda la superficie del agua sin dejar pasar un solo rayo de luz.(7)

h. Insectos

• Macroinvertebrados Bentónicos

El conocimiento de las características y abundancia de los organismos bentónicos en un sistema acuático es fundamental para relacionarlos con las condiciones del medio. Las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en zonas tropicales son muy similares a las comunidades de zonas templadas. El grupo mas grande de los macroinvertebrados acuáticos en aguas continentales son los insectos, los cuales son valiosos indicadores, considerados los mas diversos en contraste con los peces e insectos terrestres (THORNE Y WILLIAMS, 1997). De todos los organismos que se encuentran dentro de un sistema acuático, los macroinvertebrados bentónicos ofrecen ventajas para ser usados como indicadores de contaminación (FIGUEROA ET AL., 1999) ya que:

- Se encuentran en todos los ecosistemas acuáticos, por lo que favorecen los estudios comparativos.
- Su naturaleza sedentaria, permite un análisis espacial efectivo de los efectos de las perturbaciones.
- Presenta ventajas técnicas asociadas a los muestreos cuantitativos y análisis de las muestras que pueden ser realizados con equipos simples.
- La taxonomía de muchos grupos es ampliamente conocida.
- Existen numerosos métodos para el análisis de datos, como índices bióticos y de diversidad.



Fig. 17. El díptero *Simulium* sp. Es un díptero de hábitos filtradores intolerante a la contaminación.



Fig. 18. El díptero *Limnophora* sp. Es un organismo que tolera la contaminación orgánica.

Una de las ventajas que presentan los insectos para ser usados como indicadores de calidad del agua es que se encuentran en casi todos los hábitats, por lo que son afectados en distintos estratos del sistema, presentan un intervalo amplio de respuesta a la contaminación, sus hábitos sedentarios y sus ciclos de vida relativamente largos permiten establecer consideraciones del estado de salud en un sistema acuático (SANDOVAL Y MOLINA, 2000).

En el caso de los plecópteros y efemerópteros, los cuales, “son tan finos que sólo viven en las aguas limpias y su sola presencia asegura su potabilidad, siendo incluso hasta más saludables que las de la cañería de agua potable”, al realizar mediciones de pH, conductividad, oxígeno disuelto (OD) los nutrientes derivados del nitrógeno y del fósforo (nitritos, nitratos, amonio, nitrógeno orgánico, fósforo total y ortofosfato), los niveles de sílice y las demandas biológicas de oxígeno de las aguas, explica que cuando los valores de los nutrientes antes mencionados son excesivos es porque hay procesos de “eutroficación” que pueden resultar contraproducentes en la calidad del agua. Ello porque puede tornar tolerantes a estos elementos a los insectos macrozoobentos, o en casos extremos, eliminarlos totalmente. Así por ejemplo, el indicador de agua más sucia es un gusano, el tubifex. Su sola presencia asegura altas concentraciones de materia orgánica e incluso ausencia de oxígeno. También se evalúa



Fig. 19. Plecóptero *Penaphlebia flavidula* es una ninfa asociada a aguas muy limpias

la presencia de metales como el aluminio, bromo, cloro, cobre, cianuro, flúor, yodo, hierro, manganeso, molibdeno, níquel, plata y zinc, que en cantidades excesivas pueden ser perjudiciales para la salud humana. (8)

i. Peces



Fig. 20 *Valencia hispanica*
Samaruc

Los peces viven en un medio con el que interaccionan en forma constante, se alimentan, crecen y se reproducen en ese medio. Toda su estructura y fisiología ha evolucionado para el desarrollo en ese hábitat, están incluidos en una cadena trófica que los hace imprescindibles para el desarrollo armónico del ecosistema.

Cuando se estudian peces que provienen de aguas contaminadas (ríos, lagos, mares y/o establecimientos acuicultores) se evidencian patologías secundarias a esa situación, mientras los bioindicadores que se analicen revelan alteraciones sustanciales. Las especies afectadas pueden sufrir mortandades significativas. El estado en el que se encuentran los peces generalmente permite presumir que cualquier desequilibrio relativamente agudo de la concentración de oxígeno, aumento de temperatura del agua o modificaciones en la masa de agua pueden ocasionar dramáticas consecuencias para la supervivencia de estos animales.

Varios métodos han sido utilizados para evaluar los efectos de la contaminación acuática sobre la biología de los peces. Todos los esfuerzos están dirigidos a analizar y tratar de cuantificar los cambios etológicos

morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y moleculares ocasionados por el estrés que generan las modificaciones ambientales (HINTON, 1990; STEGEMAN, 1992; MALINS, 1994).

Un método útil es hacer un test de toxicidad aguda o crónica mediante bioensayos realizados en el laboratorio. De esta forma se puede evaluar un tóxico en particular y evaluar uno o varios parámetros como respuesta. El bioensayo debe hacerse en condiciones que permita posteriormente homologar los resultados en animales capturados durante trabajo de campo (RODRIGUEZ, 1994; RANDI, 1996).

Los peces se protegen de los agentes patógenos biológicos por medio de una respuesta inmune similar al de los vertebrados superiores. El rápido desarrollo de la inmunología ha revelado la complejidad del sistema inmune, el cual consiste en una multitud de defensas no específicas mecánicas y químicas y un exquisito sistema inmune específico (ANDERSON, 1989; VAN MUISWINKEL, 1985; BERNSTEIN, 1998).

El estrés puede comprometer la eficacia del sistema inmune, alterando las vías fisiológicas tanto de la respuesta inespecífica como de la específica. De esta forma se pueden ver afectados mecanismos fundamentales para obtener una buena respuesta inmune, entre otros, los más afectados son: la respuesta inflamatoria inicial, el reconocimiento del antígeno, el transporte del antígeno a los órganos centrales del sistema y la activación de células y moléculas efectoras (ANDERSON, 1989). Estos hechos, en muchos casos se manifiestan de forma indirecta, como es el aumento de la sensibilidad a microorganismos, los peces enferman aparentemente por una bacteria o un virus, pero en realidad el problema de fondo es que se encuentra inmunodeprimido como consecuencia del estrés ambiental (ANDERSON, 1989; THOMPSON, 1993).

El estrés induce cambios fisiológicos que inhiben o retardan la respuesta inmune, algunos de estos son los siguientes (PICKERING, 1981):

- Incremento en la concentración de corticoides sanguíneos, niveles altos de glucocorticoides inhiben la producción de interleuquina I lo que dificulta la presentación del antígeno.
- Incremento en la concentración sanguínea de catecolamina, estas hormonas aceleran los mecanismos de inmunosupresión activando rápidamente moléculas y células supresoras de la respuesta inmune.
- Incremento en las síntesis de encefalinas que inhiben la respuesta inmune por mecanismos no conocidos.

La muerte de peces en masa, es común cuando se presentan derrames e indican contaminación grave, los peces suelen nadar muy cerca de la superficie en círculos o de lado. La contaminación por radiactividad se refleja en las alteraciones morfológicas en el pez, como la aparición de una aleta más, gigantismo, enanismo, alteración en la coloración, perturbación del desarrollo larval y tumores. La contaminación química que resulta de arrojar al agua tóxicos utilizados, ya sea en la agricultura o en la industria minera y petrolera, alteran las colonias de peces. Los síntomas comunes que presentan los peces son el apareamiento de manchas blancas o hinchazones rojizas y tumores. *Un buen indicador en la Amazonía es el "Guanchinche." Este pez es la única especie que sobrevive a la contaminación por petróleo cuando ésta no es muy fuerte. Según los campesinos cuando el guanchinche está contaminado presenta en su interior unos gusanos de color café impregnados en la carne del pez. Entonces si en un cuerpo de agua solo se encuentra esta especie de pez y además se encuentran estos gusanos en su carne significa que este río o estero ha sido contaminado por desechos de la industria petrolera. (ACCIÓN ECOLÓGICA, 2002)*

j. Mamíferos Acuáticos

Son de suma importancia al momento de realizar un procedimiento de descripción del ecosistema acuático en sus características más ínfimas. Se debe tener en cuenta que son supremamente susceptibles a los cambios en el ecosistema.

Debido a su condición de grandes depredadores, muchas especies de mamíferos acuáticos, como por ejemplo los delfines, las focas, los leopardos marinos y las nutrias, se sitúan en la cima de la pirámide alimenticia. Es por ello que frecuentemente son considerados como bioindicadores para determinar el grado de contaminación y/o destrucción de un ecosistema. Por ello, proteger a estas especies es ayudar a preservar todo el ecosistema. (9)

5.2.5.5. PARA AIRE

a. Plantas

Tabaco Bel W3 (Nicotiana tabacum)

Para detectar los daños por ozono se utiliza la variedad de tabaco Bel W3, usada como bioindicador desde los años 60. Las plantas se exponen al aire ambiente en periodos de 14 días desde finales de mayo a septiembre. El



Fig. 21. Tabaco. *Nicotiana tabacum*

ozono destruye la clorofila y produce manchas marrones en las hojas. La superficie que cubren estas manchas necróticas es representativa de los niveles de ozono de la zona y del tiempo de exposición. Por tratarse de una variedad muy sensible, las concentraciones de ozono que producen daños a las plantas son bastante inferiores al nivel establecido para la protección de la salud humana.

El ozono es un contaminante secundario, que se forma principalmente por reacción del oxígeno del aire con los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos (contaminantes primarios), en presencia de calor y de luz solar. Las concentraciones de ozono dependen de estos contaminantes primarios y de las condiciones meteorológicas.

Para detectar los daños por ozono se utiliza la variedad de tabaco Bel W3. Las plantas se exponen al aire ambiente en periodos de 2 semanas.

El ozono causa daños severos, destruye la clorofila y produce manchas marrones en las hojas. En general, la cantidad de estas manchas y el nivel de ozono de la zona están relacionados, aunque también influyen otros factores, especialmente la climatología. Por tratarse de una variedad muy sensible, las concentraciones de ozono que producen daños en las hojas son bastante inferiores al nivel establecido para la protección de la salud humana.

Tradescantia

La Tradescantia se utiliza para detectar los efectos mutagénicos de los contaminantes atmosféricos. Con este fin, se exponen al aire ambiente inflorescencias de esta planta durante 30 horas.

La contaminación produce un aumento en la generación de micronúcleos (alteraciones del ADN observables con un microscopio) en las células madre de los granos de polen.



Fig. 22. Tradescantia sp.

Las sustancias mutagénicas son susceptibles de modificar el ADN que constituye los cromosomas. Son emitidas por los automóviles y la industria: benceno, dioxinas, metales pesados, etc.

Ray grass (*Lolium multiflorum*)

El cultivo de esta hierba se utiliza para la detección del azufre y de los metales pesados. Las plantas se exponen al aire ambiente en periodos sucesivos de 28 días desde agosto hasta septiembre. Las hojas acumulan estas sustancias nocivas que están en el aire. Posteriormente, en el laboratorio se analizan las concentraciones de azufre, cadmio, cromo, plomo, níquel, zinc, antimonio y platino.

Los metales pesados analizados tienen un origen industrial y del tráfico: construcción de automóviles, pinturas, incineración de residuos, catalizadores, etc.



Fig. 23. Ray grass.

Col rizada (*Brassica oleracea*)

Acumula compuestos orgánicos en las ceras de sus hojas. Las plantas se exponen al aire ambiente durante ocho semanas, desde octubre hasta diciembre. Después de la exposición, se analiza químicamente el contenido en hidrocarburos aromáticos policíclicos



Fig. 24. Brassica oleracea

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos están presentes en el aire. Su origen es la combustión incompleta de combustibles fósiles y, en un grado mucho menor, la evaporación de combustible en garajes y estaciones de servicio. (10)

b. Líquenes

Un líquen es la asociación simbiótica entre un hongo específico, denominado micobionte, y un alga verde o una cianobacteria denominada ficobionte. El producto de esta combinación es muy distinto del organismo fotosintético o del hongo independiente, y también son distintas las condiciones fisiológicas en las cuales puede sobrevivir. Los líquenes están muy difundidos en la naturaleza. Son frecuentemente los primeros colonizadores de áreas rocosas desnudas. Sus actividades inician el proceso de formación del suelo, creando gradualmente un ambiente en el que luego pueden introducirse musgos, helechos y otras plantas.

Los líquenes no necesitan de ninguna fuente de alimento orgánico y, a diferencia de muchas algas de vida libre y cianobacterias, pueden permanecer vivos aunque se desecan. Requieren solamente de luz, aire y algunos minerales. Aparentemente, absorben minerales del sustrato (esto lo sugiere el hecho que determinadas especies se encuentren característicamente sobre tipos específicos de rocas, suelos o troncos de árboles), pero los minerales alcanzan los líquenes a través del aire y la lluvia. Dado que los líquenes absorben rápidamente sustancias del agua de lluvia, son particularmente susceptibles a los compuestos tóxicos transportados por el aire, especialmente al anhídrido sulfuroso (que desorganiza las membranas biológicas impidiendo la fotosíntesis), y en menor magnitud, a los metales pesados y al "smog". Así, la presencia o ausencia de líquenes es un indicador sensible de la contaminación de la atmósfera.

Muchas de las algas y cianobacterias encontradas en los líquenes se encuentran también comúnmente como especies de vida libre. Los líquenes no tienen nombres científicos independientes, sino que sus nombres están referidos al micobionte. En el 42% de las especies descritas al presente, el componente fúngico es un ascomicete. El líquen puede estar formado por varias capas, en las que generalmente el ficobionte cubre por debajo y por arriba al alga o cianobacteria.

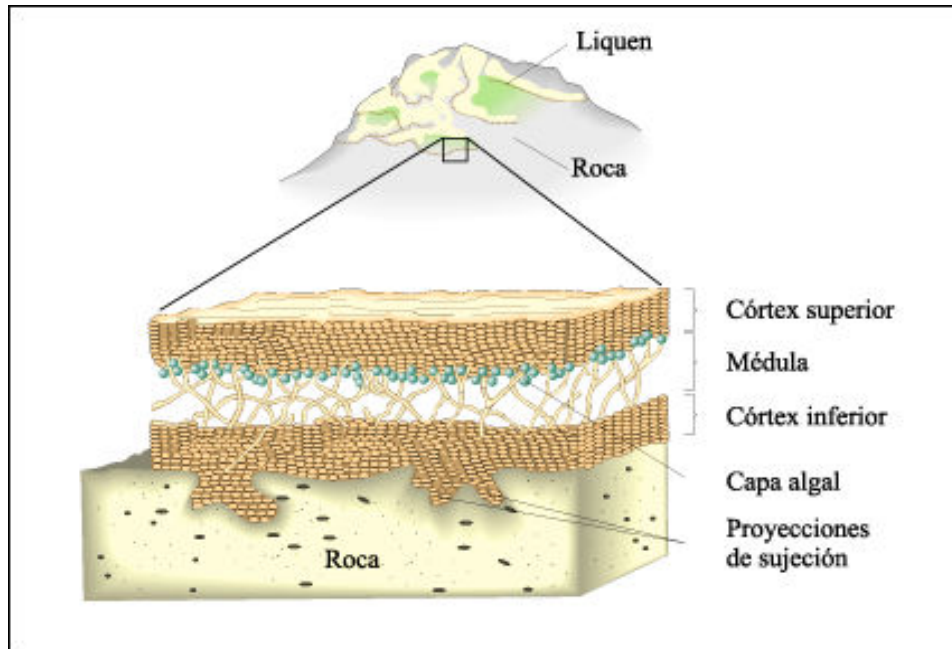


Fig. 25. Esquema de un líquen

Este líquen está formado por cuatro capas: el córtex superior, que es una capa protectora de hifas fúngicas fuertemente gelatinizadas; una capa algal, en donde las células algales se hallan esparcidas entre unas hifas laxas de pared muy fina; la médula, una capa ancha, poco densa, de hifas ligeramente gelatinizadas; y el córtex inferior, cubierto de finas proyecciones que adhieren el líquen al sustrato.

Existen tres tipos de líquenes: a) Líquenes crustosos ("incrustantes") que crecen sobre rocas desnuda. b) Líquenes foliáceos (con forma de hoja) crecen sobre los árboles. c) Líquenes fructíferos ("arbustivo"). Cada soldado, así llamado por el color escarlata, mide entre uno y dos centímetros de altura. (CURTIS, 1996)

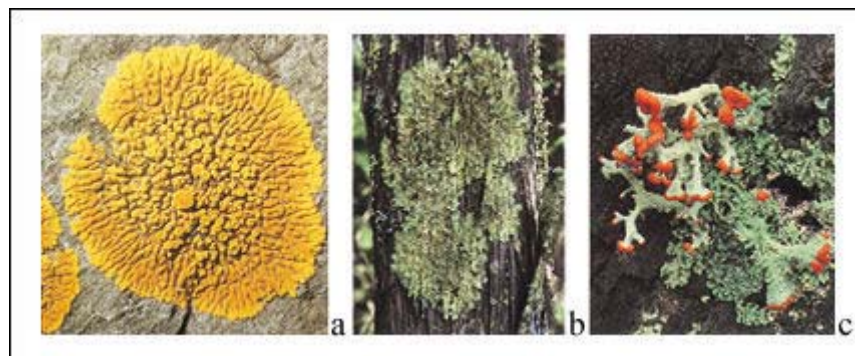


Fig. 26. Clases de líquen

En Colombia en las zonas urbanas se han encontrado con mayor frecuencia y cobertura líquenes de los géneros ***Punctelia sp.*** y ***Parmotrema sp.*** que son muy resistentes a la isocontaminación atmosférica.

Los líquenes menos resistentes a la contaminación atmosférica son los géneros frutícolas ***Telochistes sp.*** y ***Usnea sp.*** y el género folioso ***Heterodermia sp.***

Los árboles que mejor hospedan al líquen del género ***Punctelia sp.*** son el Urapán (*Fraxinus chinensis*) y Acacias (*Acacias malnoxylon*). Los árboles que mejor hospedan al líquen del género ***Parmotrema sp.*** Son el sauce (*Salix humboldtiana*) y el Pimiento (*Schinus molie*). El árbol que mejor hospeda a los líquenes de los géneros ***Telochistes sp.***, ***Usnea sp.*** y ***Heterodermia sp.*** es el Urapán (*Fraxinus chinensis*).

La investigación de la diversidad líquénica y la química secundaria de numerosas especies y géneros líquénicos han permitidos desarrollar líneas en quimiotaxonomía, ecoquímica, ecofisiología, contaminación atmosférica y actividad biológica de metabolitos líquénicos. En la década del 80, se inició una serie de estudios con el propósito de conocer la capacidad adaptativa de estos organismos teniendo como base las observaciones de terreno sobre los habitats y distribución de los líquenes, el conocimiento de las tasas de acumulación de los productos secundarios en especies seleccionadas, la variabilidad de las concentraciones de los productos líquénicos en tejidos de diferente edad y las hipótesis existentes sobre el tema. Los estudios termodinámicos, fotofísicos y fotoquímicos han permitido demostrar, de manera concluyente, que los metabolitos líquénicos exhiben propiedades filtrantes y fotoprotectoras de radiación UVA y UVB. Los metabolitos tienen, además, propiedades antioxidantes. Basados en estos resultados, se ha formulado un modelo biológico para evaluar cambios en los niveles de radiación UV, incrementada en las últimas décadas por la disminución del ozono atmosférico, utilizando los líquenes como biomonitores de este cambio global. (MÉNDEZ, 1980)

Debido a su particular sensibilidad a las impurezas del aire, son capaces de absorber los nutrientes y contaminantes en forma gaseosa o disueltos en agua de lluvia y almacenarlos en forma de disolución diluida, pudiendo emplearse para detectar la contaminación atmosférica y muy particularmente la presencia de SO₂, HF, HCl y NO_xO₃. Los líquenes son sensibles al dióxido de azufre, de los efectos que estos contaminantes producen sobre los líquenes, el mejor estudiado es el SO₂, que se transforma en ácido sulfúrico y acidifica el agua atmosférica; agua, que utiliza el líquen en su nutrición. La contaminación ácida, disminuye el número de especies de líquenes por destrucción progresiva de la simbiosis líquénica. En zonas contaminadas como los centros urbanos o industriales, se producen vertidos de gases y partículas sólidas a la atmósfera. Se pueden observar

frecuentemente árboles con cortezas verdes, en los que ha desaparecido la simbiosis producida por el alga-hongo para dar origen al líquen, permaneciendo sólo el alga que soporta mejor la contaminación.

El empleo bioindicadores para detectar la polución tiene una serie de ventajas tales como el bajo costo, los resultados rápidos y la posibilidad de proporcionar información acumulativa, integrada y discriminada gracias a su capacidad de respuesta frente a las alteraciones del medio, la cual nunca puede ser detectada a través de mediciones física-químicas. (GRÜNINGER, 1985)

Efectos de la contaminación sobre líquenes.

Se pueden evidenciar en forma de reacciones fisiológicas directas y en forma de reacciones indirectas. Las primeras, producidas por emisiones específicas de fuentes puntuales, que difícilmente se pueden evaluar, dado el gran número de variables ambientales que intervienen. Debido a ello, en la práctica lo que en realidad se mide son las respuestas indirectas (respuestas a la inmisión) que se manifiestan desde el punto de vista del observador de manera cualitativa siendo la presencia/ausencia de las especies liquénicas el criterio empleado principalmente para la evaluación cualitativa de la contaminación y la frecuencia de las mismas para la evaluación cuantitativa.

El SO_2 es el principal contaminante gaseoso afectando en mayor medida al normal funcionamiento de los talos liquénicos y es también el que se encuentra en mayor concentración y está más extendido. Cada año se vierten en la atmósfera unas 200 Toneladas como resultado de las actividades humanas, además de óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, derivados fluorados o clorados, junto con partículas en suspensión, metales pesados y otros muchos compuestos.

Las respuestas de los líquenes frente al SO_2 , como por ejemplo, para poder amortiguar los efectos negativos, una de las primeras reacciones de los talos es tratar de disminuir la asimilación de este gas, de manera que reducen la superficie de contacto con el agua de varias formas, o bien desarrollando soledios que no se humedecen tan fácilmente, o elaborando mayores concentraciones de sustancias hidrófobas, o encogiéndose el talo al volverse los lóbulos más estrechos y convexos, o bien tratando de reducir el efecto de los iones tóxicos gracias a la capacidad tampón del talo y del sustrato. Pero la tolerancia depende de la resistencia del protoplasma de las células, de su momento metabólico, de la vitalidad, de la capacidad de inhibición de los efectos y de la madurez del talo, siendo mucho más sensibles los talos más jóvenes. Esta es una de las razones del descenso en diversidad y biomasa de líquenes en zonas contaminadas, simplemente no se pueden reproducir o los talos más jóvenes dejan de progresar.

6. METODOLOGIA

Este trabajo de monografía se realizó en dos etapas:

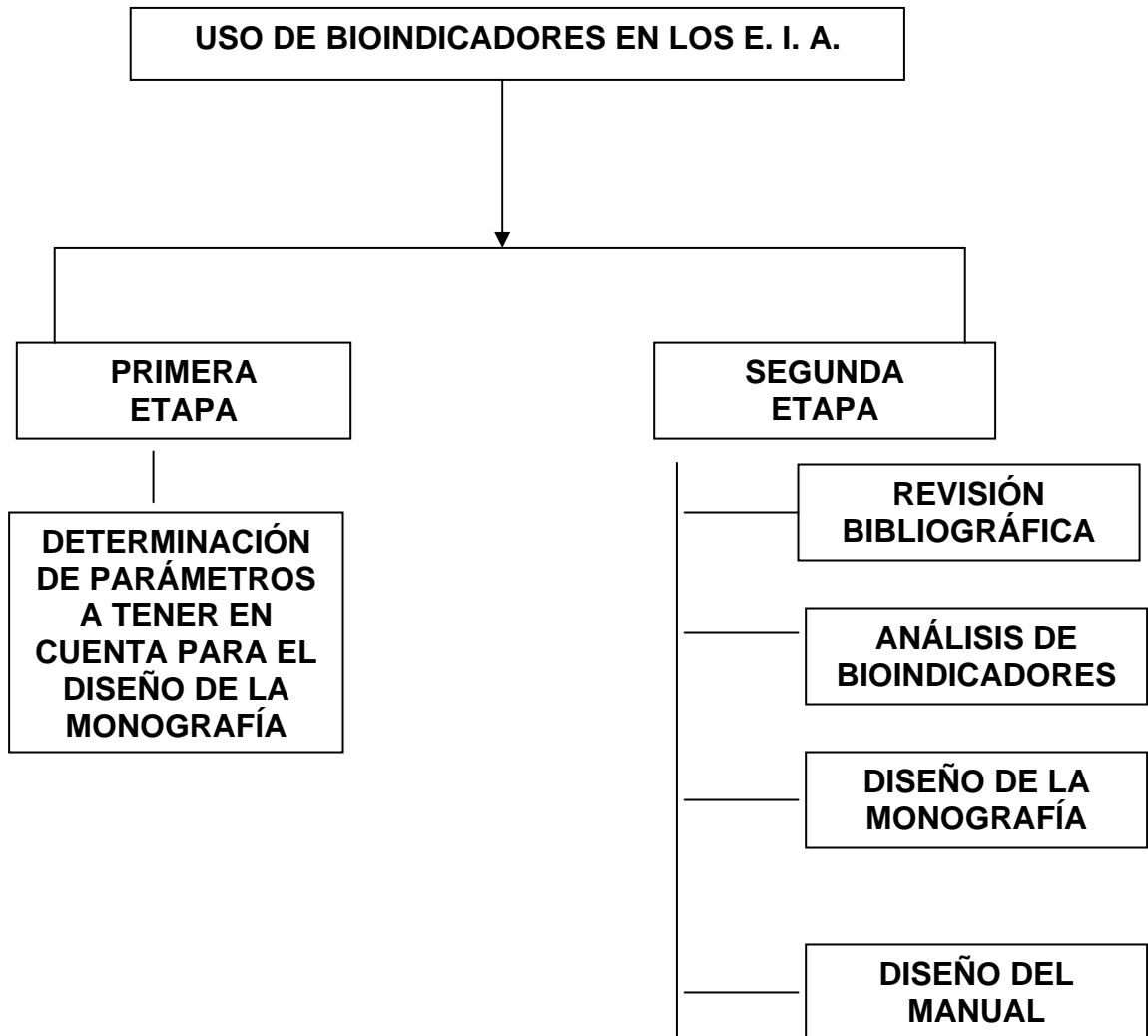
En la primera etapa se analizaron los principales parámetros que se tienen en cuenta para la elaboración de un estudio de impacto ambiental, a partir de los entes reguladores de dichos procesos, teniendo en cuenta los aspectos relacionados con la biología del ecosistema, su desarrollo dentro de un proyecto de infraestructura o de modificación directa del paisaje.

En la segunda etapa se realizó una Revisión Bibliográfica en diferentes medios como: bibliotecas públicas, bibliotecas de universidades, el Internet, conversación con expertos en los diferentes campos, de la investigación en ciencias naturales, artículos de revistas, tesis o monografías y porque no en el saber común. Después de esto se seleccionaron los trabajos más relevantes y se recopiló la información existente acerca de los estudios sobre bioindicadores conocidos.

Se analizaron las ventajas y desventajas de los indicadores de calidad ambiental tradicionales utilizados en los estudios de impacto ambiental tradicionales frente a los bioindicadores que se puedan usar en dicha evaluación seleccionando los más comunes y representativos; para cada reino de la naturaleza se discriminaron un grupo de especies que se pueden usar como bioindicadores y aplicables para Colombia o el trópico, cada uno reconocido por sus características físicas, fisiológicas y su importancia en cada uno de los ecosistemas en que se encuentre presente.

Al tener toda la información compilada se elaboró y diseñó un manual de bioindicadores conocidos, que se pretende sirva como herramienta de muestreo y reconocimiento en los estudios de evaluación de impacto ambiental. (Gráfica No. 1)

Gráfica No. 1. Diagrama de Flujo. METODOLOGÍA



7. RESULTADOS

Listado de organismos bioindicadores con el proceso de bioindicación, algunos con en lugar específico donde se encuentran en Colombia

Ecosistema	Reino	organismo	Proceso Bioindicador	Lugar
ACUATICO: Aguas dulces	MÓNERA Bacterias	<i>Cianobacterias</i>	-Aguas tropicales, eutrofia, Falta de N ₂ , pH alcalino, Tolerancia a contaminación con petróleo.	
	PROTISTA Algas cyanofíceas	<i>Anabaena</i>	<i>Mezcla y turbulencia,</i>	Tominé
			<i>Mesotrofia</i>	El Peñol
			<i>Ultraoligotrofia, estratificación térmica y química</i>	Chingaza
		<i>circinalis</i>	- Eutrofia fría	Laguna de Fúquene, cizacá, chuza
		<i>constricta</i>	Tolerancia a derrames de petróleo	—
		<i>flos-aquae</i>	Eutrofia fría	Chisacá, Chuza
		<i>sphaerica</i>	Eutrofia	L. Fúquene, Prado
		<i>subtropica</i>	Eutrofia fría	Pequeños lagos artificiales
		<i>Anabaenopsis rarciborski</i>	Eutrofia	L. Fúquene, Prado
		<i>Anacystis</i>	Eutrofia	Tota
		<i>Aphanizomenon</i>	Eutrofia, hipereutrofia	Prado
		<i>Aphanothece saxicola</i>	Oligotrofia fría	Chisacá, Chuza
		<i>Calothrix brevissima</i>	Mesotrofia fría	Chisacá, Chuza
		<i>Calothrix clavata</i>	Eutrofia fría	
		<i>Calothrix stanaleum</i>	Eutrofia fría	
		<i>Cyanothece maior</i>	Eutrofia alóctona	Lago Caña Brava, (Río Cotuhé- Amazonas)
		<i>Chroococcus sp.</i>	<i>Estratificación</i>	Tominé, Neusa
			<i>Sucesión avanzada</i>	Calima
		<i>Chroococcus cohaerens</i>	Oligotrofia fría	Chisacá, Chuza
		<i>Chroococcus minutus</i>	Eutrofia fría	Pequeños lagos artificiales
		<i>Chroococcus turgidus</i>	Eutrofia fría, Tolerancia a derrames de petróleo	Chisacá, Chuza
		- <i>Dactylococcopsis</i>	Eutrofia	Pequeños lagos artificiales, Ciénaga de Miramar

		<i>Gloeotrichia</i>	<i>Eutrofia</i>	<i>Tota</i>
		<i>Lyngbya</i>	<i>Estratificación, Sucesión avanzada</i>	<i>Calima</i>
			<i>Sedimentos y conductividad altos</i>	<i>Río Meta</i>
			<i>Hipereutrofia</i>	<i>L. Fúquene</i>
		<i>limnetica</i>	<i>Oligotrofia fría</i>	<i>Chisacá, Chuza</i>
		<i>Merismopedia glauca</i>	<i>Eutrofia Oligotrofia fría</i>	<i>Ciénaga de Miramar Chisacá, Chuza</i>
		<i>Microcystis aeruginosa pálida</i>	<i>Eutrofia Eutrofia fría Estratificación, sucesión avanzada Mesotrofia fría</i>	<i>L. Fúquene Chisacá, Chuza Calima, Tominé Chisacá, Chuza</i>
		<i>Nodularia tenuis</i>	<i>Eutrofia fría</i>	<i>Chisacá, Chuza</i>
		<i>Oscillatoria chiorina homogénea okeni splendida</i>	<i>Sedimentos y conductividad altos Eutrofia Mesotrofia Tolerancia a pesticidas Ultraoligotrofia, estratificación térmica y química Mesotrofia fría Oligotrofia fría Oligotrofia fría Mesotrofia fría</i>	<i>Río Meta L. Fúquene El Peñol Ríos Llanos Orientales Chingaza Chisacá, Chuza Pequeños lagos artificiales Pequeños lagos artificiales Chisacá, Chuza</i>
		<i>Phormidium tenue</i>	<i>Mesotrofia fría</i>	<i>Chisacá, Chuza</i>
		<i>Scytonema crispum</i>	<i>Eutrofia fría</i>	<i>Chisacá, Chuza</i>
	Algas clorofíceas	En general, Oligotrofia principalmente - Aguas poco profundas - pH con tendencia a la acidez - Posible presencia de materia orgánica - Carencia de Ca y Mg - Baja mineralización (baja conductividad)		
		<i>Arthrodesmus octocomis</i>	<i>Oligotrofia fría</i>	<i>Chisacá, Chuza</i>
		<i>Bambusina</i>	<i>Oligotrofia, baja conductividad, aguas blandas y acidas</i>	<i>Caño Chocho (Meta)</i>
		<i>Closterium abruptum aciculare acutus</i>	<i>Oligotrofia fría Mesotrofia a eutrofia Mesotrofia a eutrofia fría</i>	<i>Chisacá, Chuza, L. Herrera,</i>
		<i>gracile</i>	<i>Oligotrofia fría</i>	<i>Chisacá, Chuza</i>
		<i>kuetzingii</i>	<i>Oligotrofia, baja conductividad, aguas blandas y acidas</i>	<i>Caño Chocho (Meta)</i>
		<i>leibleinii</i>	<i>Mesotrofia a eutrofia</i>	
		<i>limneticum</i>	<i>Mesotrofia a eutrofia fría</i>	<i>L. Herrera, Chisacá, chuza</i>
		<i>moniliferum</i>	<i>Oligotrofia, baja conductividad, aguas blandas y acidas</i>	<i>Caño Chocho (Meta) Chisacá,</i>

				Chuza Chisacá, Chuza Ríos Llanos Orientales Ríos Llanos Orientales
		<i>parvulum</i>	Mesotrofia fría	
		<i>regulare</i>	Oligotrofia fría	
		<i>setaceum</i>	Baja velocidad del agua Oligotrofia fría	
		<i>venus</i>	Oligotrofia, baja conductividad, aguas blandas y acidas Mesotrofia a eutrofia.	Caño Chocho (Meta) L. Fúquene
		<i>Cosmarium baccatum brasiliensi compersum</i>	pH ácido, aguas someras pH ácido, mezcla	Embalses antioqueños Calima, Neusa Laguna El Juncal Lagos Andinos Caño Chocho (Meta) Lagos Andinos Cucunubá, Suesca, Lagos Andinos Lagunas Llanos Orientales Laguna El Juncal Lagos Andinos Lagunas Llanos Orientales Lagos de Páramo Lagunas Llanos Orientales Laguna El Juncal Laguna El Juncal L. Rancho Grande L. Mateyuca Chisacá, Chuza Lagos de Páramo
	Algas Rodofitas	Oligotrofia, aguas no contaminadas.		
		<i>Lemanea fluviatilis</i>	Agua no contaminada	
		<i>Batraschospermun gelatinosum</i>	Agua no contaminada	
	Algas Rodofitas	Son sensibles a cambios en el ambiente y sobreviven a los períodos desfavorables en forma de estatosporas.		
		<i>Ochromonas tuberculata</i>	Agua no contaminada	
		<i>Rhipidodendrom sp.</i>	Agua no contaminada	
		Bacillaroficeas: son sensibles a cambios de temperatura, concentración de nutrientes, pH, etc		
		<i>Meridium circulare</i>	Agua no contaminada	
		<i>Diatoma mesodon</i>	Agua no contaminada	
		<i>Gomponema rombicum</i>	Agua no contaminada	
		<i>Pinnularia subcapitata</i>	Agua no contaminada	

		<i>Eunotia minor</i>	Agua no contaminada	
		<i>Achnanthes oblongella</i>	Agua no contaminada	
		<i>Melosita varians</i>	Agua no contaminada	
		<i>Nitzschia amphibia</i>	Aguas contaminadas con gran cantidad de materia orgánica	
		<i>Cocconeis placentula</i>	Aguas contaminadas con gran cantidad de materia orgánica	
		<i>Gomphonema parvulum</i>	Aguas contaminadas con gran cantidad de materia orgánica	
	Algas Dynofitas	Producen toxinas, se puede encontrar en aguas contaminadas		
		<i>Chrysochromulina parva</i>	Aguas contaminadas con gran cantidad de metales	
		<i>Prymnesium parvum</i>	Aguas contaminadas con gran cantidad de metales	
	Algas euglenofíceas	Se desarrollan en aguas estancadas o pequeñas charcas eutróficas enriquecidas con componentes orgánicas como estiércol		
		<i>Phacus sp.</i>	Aguas oligotróficas	
		<i>Euglena gracilis</i>	Aguas eutróficas contaminadas	
		<i>Trachelomonas abrupta</i>	Aguas eutróficas contaminadas	
	Algas clorofíceas	<i>Spyrogira sp.</i>	Aguas no contaminadas	
		<i>Oocystis sp.</i>	Aguas no contaminadas	
	ANIMAL: Insectos	<i>Plecópteros: Moscas de las piedras</i>	Aguas no contaminadas	
		<i>Efemerópteros: efémeras</i>	Aguas no contaminadas	
		<i>Tricópteros</i>	Aguas no contaminadas	
		<i>Odonatos: libélulas y caballitos del diablo</i>	Aguas no contaminadas	
		<i>Coleóptera: escarabajos de las familias: Dysticidae e hydrophilidae.</i>	Aguas no contaminadas	
	ANIMAL: Anfibios	<i>Bufo bufo: sapo común</i>	Aguas no contaminadas	
TERRESTRE	ANIMAL: Insectos	<i>Hemíptero: Chinchas</i>	Contaminación	
		<i>Blatodeos: cucarachas</i>	Contaminación	
		<i>Dípteros: moscas de la carne o las frutas</i>	Descomposición/contaminación	
		<i>Lepidópteros: mariposas:</i> • Morphinae • Satyrinae • Heliconiinae • Ithomiinae	Suelo y aire limpio	
	ANIMAL: Mamíferos	<i>Ratas y ratones</i>	Contaminación	

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al analizar los procesos ambientales que se llevan a cabo en nuestro país, podemos observar como se desconocen herramientas que nos podrían ayudar a mejorar las condiciones ambientales de los diferentes ecosistemas.

Las tablas y la revisión bibliográfica permiten deducir que existen en nuestros ecosistemas especies con rangos estrechos de tolerancia y que nos pueden servir como herramienta de bioindicación del estado de los mismos.

En los estudios encontrados se hace mayor relevancia a microorganismos, como son algas y cianobacterias, por su fácil manejo bajo condiciones controladas y son capaces de demostrar como es el estado ambiental de un ecosistema y los procesos de interacción para mantener la cantidad de biomasa y el flujo de energía al interior del mismo. Sin embargo a pesar de que es difícil manipular poblaciones pertenecientes a otros reinos de la naturaleza se hace énfasis en que existen especies en todos los reinos y hábitats que se comportan y tienen características bioindicadoras

En el caso de los estudios para el suelo son pocos los resultados presentados en Colombia, la mayoría de los estudios se han realizado en cuerpos de agua ya que la disponibilidad de organismos de estudio es mayor en estos hábitats. Se describen los organismos más significativos en la presentación de las características de los diferentes cuerpos de agua, cuales son sus condiciones fisicoquímicas de las mismas, la disponibilidad de recursos para la manutención de los organismos que habitan en el ecosistema y todos aquellos que dependen directamente o indirectamente de los mismos.

Se demuestra como hasta hace pocos años se vienen implementando diferentes técnicas que permiten la detección de buenos bioindicadores y que cada vez se hace más importantes en la determinación del estado de un ecosistema.

Desde el punto de vista taxonómico, los estudios y la literatura acerca de la fauna de tricópteros neotropicales aun se encuentra dispersa e incompleta y sujeta a revisión; no existe ninguna obra general que permita, al no especialista, el reconocimiento de larvas y adultos; varias circunstancias han contribuido a ello: a) Gran parte de los géneros no aparecen en clave útil y la mayor parte de las especies aún permanecen sin describir b) hay pocas revisiones y datos sobre distribución; c) las descripciones de larvas son muy escasas y d) hay pocos especialistas y colecciones de referencia.

Dado el estado incipiente del conocimiento actual sobre la diversidad biológica colombiana y los pocos trabajos que para su conocimiento se han realizado, consideramos pertinente la implementación de investigaciones básicas como la que se plantea en esta propuesta; encaminadas al conocimiento, conservación y uso de la diversidad biológica en ecosistemas acuáticos del nuestro país.

9. CONCLUSIONES

Los bioindicadores son especies o grupos taxonómicos capaces de reflejar el estado de conservación, diversidad, endemismo y el grado de intervención o grado de perturbación en los ecosistemas naturales.

El uso, descripción e implementación de los bioindicadores en la mayoría de los estudio de impacto ambiental, se ven relegado a un segundo plano, ya que la metodología de dichos estudios contempla una análisis biótico muy general de la flora y la fauna de lo ecosistema a evaluar.

El uso de los indicadores biológicos en los diferentes ecosistemas intervenidos por el hombre son despreciados y no se tienen en cuenta al momento de de describir el ecosistema, sus interrelaciones y su verdadero estado ecológico, algunos de ellos por su difícil manipulación y largo tiempo de estudio.

Colombia no es ajena a esta situación pues se presentan pocos resultados a la hora de demostrar, el uso de los indicadores biológicos en los estudios de impacto ambiental.

Los trabajos representativos son descritos para la calidad del agua a nivel de microorganismos como algas, copépodos, y otros organismos como los macroinvertebrados vienen implementando la BWPM para Colombia por parte de roldan Gabriel y sus colaboradores. Quienes trabajan desde hace varias décadas.

Se propone incluir en la metodología de los Estudios de Evaluación de Impactos Ambiental y posteriores planes de manejo la determinación específica de las especies bioindicadoras del ecosistema a evaluar..

10. BIBLIOGRAFÍA

ACCIÓN ECOLÓGICA, Sistemas De Monitoreo Ambiental Comunitario Indicadores Biológicos De Contaminación Ambiental, Imprenta Santa Rita. Quito Ecuador. 2002 (Esta publicación fue posible gracias al apoyo de Broederlijk Delen Bélgica y el apoyo de Oilwatch) 60p.

ANDERSON D. P.; Dixon O. W et al. Suppression of Antibody-Producing Cells in Rainbow Trout Spleen Sections Exposed to Copper in vitro. *J. of Aquatic Animal Health*. 1989; 1: 57.

ANDREU E, Camacho A. Recomendaciones para la toma de muestras de agua, biota y sedimentos en humedales Ramsar. Madrid- España: Ministerio del Medio Ambiente. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Secretaria General del Medio Ambiente; 2002. 226 p.

ARISTIZABAL, J. Alvaro. Estructuración Y Formulación De Estudios De Impacto Ambiental. 1era edición. Ed. EHM suministros gráficos. Medellín Colombia. (Páginas 13-146) 1998. págs.188 págs.

ASOCIACIÓN PARA EL DESARROLLO SOCIAL Y AMBIENTAL (ADESSA). Avifauna en el Jaboque, uno de los relictos del sistema de humedales de Bogotá. Primer Congreso de Ornitología Colombiana. Resumen del Póster. Santa Marta, Colombia. 2004

BERNSTEIN, R.M.; Schluter, S.F. y Marchalonis, J.J. Immunity. In: *The physiology of fishes*, by Evans. Ed: CRC press. Salem. 1998; p: 215-236

BOHÓRQUEZ, A. & Acuña, A. Inventario de las morfofamilias de las clases Gasterópoda y *Clitelata* como bioindicadores limnológicos de La Laguna La Herrera p. 32, Memorias del XIX Congreso Nacional y III Grancolombiano de Ciencia Biológicas. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 1984 .70 p.

BRANCO, S. M.,. Limnología sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales. Ser. Biol. Monogr. 1984;28, OEA: 120 pp.

BROWN, K.. Conservation of Neotropical Environments: Insects as Indicators. in: **J. M. Collins y J. A. Thomas (eds).** The conservation of insects and their habitats. Acad. Press, N.Y. 1991

BURKHOLDER J. Eutrophication And Oligotrophication. En: ASHER S. (ed.) Encyclopedia of biodiversity. Academic Press. United States, 2001. p. 649-670.

CARIGNAN. V. & Villard. M.. Selecting Indicator Species To Monitor Ecological Integrity: A review. 2002 Environmental Monitoring and Assessment 78: 45- 61.

CAMPOS C. Indicadores De Contaminación Fecal En La Reutilización De Aguas Residuales Para Riego Agrícola. Tesis doctoral. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona. 1999. 250 p.

CANTER, Larry W. Manual De Evaluación De Impacto Ambiental, 2ª edición, Ed. Mc Graw Hill. 1998.

CHUNG, K.. Biodiversity, conservation and inventory: why insects matter. Biodiversity and conservation 2: 191- 219. 1993

CONSERVACIÓN INTERNACIONAL COLOMBIA (CIC) & Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB). 2000. Síntesis del Estado Actual de los Humedales Bogotanos. Bogotá, Colombia

COLLINS C, Lyne P. Métodos Microbiológicos. Ed, Acribia, Zaragoza, España; 1989

COOPERRIDER, ECONATURA A. Y.. Boyd. R. J. y Smart. H. R. (comp.). 1986. **Inventory and monitoring of wildlife habitat.** U.S. Dept. Inter.. Bur. Land Manage. Service Center. Denver. Co.. USA.

COSTA, M et Al. Indicadores edáficos, vegetales y microbianos (ciliados colpódidos) de procesos de desertificación. 2002. Revista Anales de Biología 24: 175-183,

CURTIS H. & N. Barnes. Biología. Buenos Aires: Editorial medica panamericana. Quinta edición; 1996. 1199 p.

DECRETO 1743 DE AGOSTO 3 DE 1994 por el cual se reglamenta parcialmente los títulos VII y XII de la Ley 99 de 1993 sobre otorgamiento de Licencias Ambientales.

DE VICENTE A, Codina, J. Borrego C, Romero P. Relationship Between Pseudomonas Aeruginosa And Bacteria Indicators In Polluted Natural Waters. Wat. Sc. Tech 1991;24: 121-24.

DONATO J, González L, Rodríguez C. Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Bogotá, D.C Colombia:..Colección Jorge Álvarez Lleras; 1996. 168 p.).

EDBERG S, Le Clero H, Robertson J. Natural Protection Of Spring And Well Drinking Water Against Surface Microbial Contamination. II. Indicators and monitoring parameters for parasites. Crit. Rev. Microbiol 1997; 23: 179-206.

FERNÁNDEZ A, Molina M, Álvarez A, Alcántara M & Espigares A. Transmisión Fecohídrica Y Virus De La Hepatitis A. Higiene y Sanidad Ambiental 2001; 1: 8-24.

FIGUEROA, R., Araya, E., Parra, O. y Valdovinos, C.. Macroinvertebrados Bentónicos Como Indicadores De Calidad De Agua. Resúmenes Sexta Jornada del Comité Chileno para el Programa Hidrológico internacional. 1999 p.1-24.

GALÁRRAGA E. Algunos Aspectos relacionados con microorganismos en agua potable. Revista Politécnica de información técnica científica 1984; 9: 135-43.

GODFREE A, Kay D, Wyer, M. Faecal Streptococci As Indicator Of Fecal Contamination In Water. En: Journal of Applied microbiology. Symposium Supplement 1997;83:110-119.

GRÜNINGER W. y M. Velarde. Investigación de líquenes como indicadores de la contaminación y su aprovechamiento en la educación ambiental. En Revista Científica. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas, Universidad de Guatemala, Vol. 7.1 (1985): 34-41.

HARWOOD V, Levine A, Scott T, Chivukula V, Lukasik J, Farrah S & Rose J. Validity Of The Indicator Organism Paradigm For Pathogen Reduction In Reclaimed Water And Public Health Protection. En: Rev. Appl Environ Microbiol 2005; 71:316-70.

HENRY J, Fisher S. Spatial Segregation Of Periphyton Communities In Desert Streams: Causes And Consequences For N Cycling. Journal of the American Benthological Society 2003; 22(4): 511-27.)

HESS. G. R & King. T. J.. Planning open spaces for wildlife. 1. Selecting focal species using a Delphi survey approach. Landscape and Urban Planning. 2002; 58: 25-40.

HINTON D. Entonces and Laurén, D.J. Integrative histopathological approaches to detecting effects of environmental stressor on fishes. 1990. En: *Am. Fish. Soc. Symp.* 8: 51. 54.

HOLDGATE, MW A perspective of environmental pollution. UK: Cambridge University Press; 1979

HOLLOBLER, B. y E. O. WILSON.. The ants. Harvard Univ. P. Boston, 1990, 732pp.

HONSBERGER, Pierres. Notas del curso “ Ecotoxicología del terreno. 3º ciclo IGE. Opción ecotoxicología” Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suiza. 11p.

KHOLER, Pierre. Comprende la Meteorología. Hachette, 1981. Paris, 127p.

KREMEN. C., Assessing the indicator properties of species assemblages for natural areas monitoring. *Ecological Applications.* 1992. 2 (2): 203-217.

JANDA J. Recent advances in the study of the taxonomy, pathogenicity, and infectious syndromes associated with the genus *Aeromonas*. En: *Clinical microbiology reviews* 1991; 4: 397-410.

LIBORIUSSEN L. Production, Regulation And Ecophysiology Of Periphyton In Shallow Freshwater Lakes. PhD Thesis. National Environmental Research Institute, Denmark. 2003. En: <http://afhandlinger.dmu.dk>

MALINS D. C y A. Jensen Editors (1994) Aquatic Toxicology: Biochemical and Cellular Perspective. D. C. Malins. Elsevier. Amsterdam, pp 539.

MARGALEF. Limnología. Barcelona, España: Ediciones Omega.; 1992. 1010 p.

MASON, C.F. Biología de la Contaminación del Agua Dulce. Editorial Alambra. 1ª edición en español, Madrid, 1984, 28p.

MEJÍA, Q. Pedro. Bioindicadores: Algunas aplicaciones. En: *Rev. Contaminación Ambiental.* Medellín (Ant.), 1993. 14(25): (25-35). Enero-Junio

MÉNDEZ, O. y L.A. Fournier. Los líquenes como indicadores de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de San José, Costa Rica. En Revista de Biología Tropical. Vol. 28 (1980): 31-39.

MESSER J, Dufour A. A Rapid, Specific membrane Filtration Procedure for Enumeration of Enterococci in recreational Water. En Rev. Appl. Environ. Microbiol 1998; 64: 678-80.

NAUNDORF, G. Las Comunidades Microbianas, Fitoplanctónicas Y Perifíticas En Ecosistemas Acuáticos. Universidad del Cauca. Material del Curso Biota Acuática I. Popayán, Colombia: Maestría en Recursos Hídricos Continentales. 2002.

NELSON K. Concentrations And Inactivation Of Ascaris Eggs And Pathogen Indicator Organisms In Wastewater Stabilization Pond Sludge. Water Sci Technol 2003;48:89-95)

OAK RIDGE NAT.LAB. Ecological risk assessment. US: CRC Press; 1995. Shimkin MKE Environmental health indicators in Latin America and the Caribbean. Wash.D.C.: PAHO; 1996

OLIVIERI V. Bacterial Indicators Of Pollution. En: Pipes W.O (ed.). Bacterial Indicators of Pollution. Boca Raton, Florida: CRP. Press, inc; 1982. p: 21-41).

OMS. Guías OMS para la Calidad del Agua de Bebida. Publicación Científica OPS; 1996. 481 p.

OMS. Guías para la calidad del agua potable. OMS. Ginebra; 1995.

OTERO, M. TORRES, , PLAZA, G. & PÉREZ BRANDÁN, Nematodos Bacteriófagos Como Bioindicadores y Como Organismos Asociados

PAYMENT P, Larose Y, Trudel M. Polioviruses As Indicator Of Virological Quality Of Water. En Journal Microbiol. 1979; 25:1212-4.

PARVEEN S, Huq A & Aziz K. Antibiotic resistance patterns of Aeromonas spp. isolated from environmental and clinical sources. En: J Microbiol 1998; 5:25-9.

PEARSON, D. Selection indicator taxa for the quantitative assessment of biodiversity. Phil. trans. R. Soc. Lond. B. 1994; 345:75-79.

PICKERING, A.D. Introduction: the concept of biological stress, In: *Stress and Fish*, Pickering, A. D., Ed. Academic Press, New York. 1981.

PINILLA, G. Indicadores Biológicos en Ecosistemas Acuáticos Continentales de Colombia. Compilación Bibliográfica. Fundación Universitaria Jorge Tadeo Lozano. 1998, 65p.

PRESCOTT L, Harley J & Klein; D. **Microbiología.** Editorial McGraw-Hill. Madrid, España;1996

RAMÍREZ A, & Viña G. **Limnología colombiana, aportes a su conocimiento.** Colombia. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano; 2000 293p.

RANDI, A.S.; Monserrat, J.M.; Rodriguez, E.M y Romano, L.A. (1996) **Histopathological Effects of Cadmium on the Gills of the Freshwater Fish, *Macropsobrycon Uruguayanae* Eigenmann (Pisces, Atherinidae).** *J. Fish Diseases* 19: 311- 322.

RIPPEY S, Cabelli V. **Use Of Thermotolerant Aeromonas Group For The Trophic Classification Of Freshwaters.** *Water research* 1989; 23:1107-14.

ROBERTS S, Sabater S, Beardall J. **Benthic Microalgal Colonization In Streams Of Differing Riparian Cover And Light Availability.** *Journal of Phycology* 2004; 40(6): 1004-12.).

ROLDÁN P. G. Estudio Limnológico De Cuatro Ecosistemas Neotropicales Diferentes Con Especial Referencia A Su Fauna De Efemerópteros. 1980. *Rev. Actualidades Biológicas*, 9 (34); 103-117

_____ Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. 1999. *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 23 (88).

ROLDÁN G. Fundamentos de limnología neotropical. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia; 1992. 529 p).

RODRÍGUEZ D. Enfermedades Emergentes Y Reemergentes: Amenaza Permanente. *RESUMED* 2001; 14: 37-40

RODRIGUEZ, E.M.; Schuldt, M. y Romano, L.A. (1994) **Chronic Histopathological Effects of Parathion and 2,4-D on Female Gonads of *Chasmagnathus granulata*.** *Decapoda, Brachyura.* En: *Food and Toxic Chem.*13: 195- 199.,

RODRÍGUEZ L, Bicudo B. Similarity Among Periphyton Algal Communities In A Lentic-Lotic Gradients Of Upper Paraná River Floodplain. Brazil. Rev. bras. Bot 2001;24(3):114-18.)

SANDOVAL, J. C. & Molina, A. I. Insectos. p. 405-439. y **Organismos Indicadores de la Calidad del Agua y de la Contaminación (Bioindicadores).** De la Lanza, E. G., Hernández, P. S. y Carvajal, P. J. L. (Eds). Plaza y Valdés. México. 2000. 633 pp.

SCHWARTZBROD L. Effect Of Human Viruses On Public Health Associated With The Use Of Wastewater And Sludge In Agriculture An Aquaculture. WHO Collaboration Centre for Microorganisms in wastewater. Geneva: Université de Nancy. World Health Organization;1981. 178 p).

STEINER T, Thielman N, Guerrant R. Protozoal agents. What Are The Dangers For The Public Water-Supply. Annu. Rev. Med 1997; 48: 329-340.

STEGEMAN, J.J.; Browuer, M.; Di Giulio, R.T.; Forlin, L.; Fowler, B.; Sanders, B.M. y Van Veld, P.A. (1992) "Molecular Responses to Enviromental Contamination: Enzyme and Protein Systems as Indicators of Chemical Exposure and Effect".En: *Biomarkers: Biochemical, Physiological, and Histological Markers of Anthropogenic Stress*, Huggett R.J.; R.A. Kimerle, P.M. Mehrle Jr. & H.L. Bergman, Eds.; SETAC-Lewis Publishers, Boca Raton, 235-335.

SZAUER, Teresa. Los Aspectos Biológicos En Los Estudios De Impacto Ambiental. M.E.N. 1998.

THORNE, R. & Williams, P. 1997. The Response Of Benthic Macroinvertebrates To Pollution In Developing Countries: A Multimetric System Of Bioassessment. En: *Freshwater Biology*. 37(3): 671-686.

THOMPSON, I.; White, A.; Fletcher, T.C.; Houlihan, D.F. y Secombes, C.J. The effect of estrés on the immune response of Atlantic salmon (*Salmo salar L.*). Fed diets containing different amounts of vitamin C. 1993; *Aquaculture*. 114: 1-18.

VAN MUISWINKEL, W.B.; Anderson, D.P.; Lamers, C.H.; Egberts, E.; Van Loon, J.J.A. y Ijssel, J.P. Fish immunology and fish health. In: *Fish Immunology* by Mainning & Tatner. Ed: Academic press. London, 1985. pp: 879.

VARGAS C., Rojas R & Joseli J. Control y Vigilancia de la Calidad del Agua de Consumo humano. Textos Completos. CEPIS; 1996. 27p.

WETZEL R. Limnología. Barcelona: Ediciones Omega S.A; 1981. 679 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Emerging Issues in Water and Infectious Disease. WHO press. France.2003. 24 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION and UNICEF. Water for life. Making it happen. France WHO press; 2005. 44 p.

Páginas WEB

(1) <http://www.nodo50.org/arevolucionaria/masarticulos/marzo2004/anfibiosy reptiles.htm>

(2) <http://www.geocities.com/jerr922/indicado.html>. octubre 26 de 2006

(3). En: <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/spanish/agenda21spchapter18.htm>. Organización de las Naciones Unidas (ONU), Departamento de Economía y Asuntos Sociales: División para el Desarrollo Sostenible. 1992. Agenda 21. octubre 26 de 2006

(4) <http://www.jbb.gov.co/web/home.php?pag=events&ide=49&opt=1>

(5) <http://www.humboldt.org.co/chmcolombia/servicios/jsp/redes/rapaces/index.htm>

(6) <http://www.infojardin.com/fichas/acuaticas/pistia-stratiotes-lechuga-de-agua-repollo-agua.htm>

(7) http://www.estanques-plus.com/p%20eichornia_crassipes.htm - 2k -

(8) http://www.lanacion.cl/p4_lanacion/site/artic/20041020/pags/20041020191604.html. 16-11-2004. Maritza Mercado.

(9) <http://www.yaqupacha.de/esyaqu1.htm> .

(10) <http://www.eurobionet.com> y www.gva.es/ceam