

**Contrato interadministrativo No.**

**19-6-0094-0-2010 del 23 de**

**septiembre de 2010**

**2011**

**CARACTERIZACIÓN E IMPACTOS AMBIENTALES POR  
VERTIMIENTOS EN TRAMOS DE LA CUENCA MEDIA Y  
BAJA DEL RIO CESAR, VALLEDUPAR**



**UA** Universidad  
del Atlántico

**Universidad del Atlántico**

Facultad de Ciencias Basicas

Grupo de Investigación en

Biodiversidad del Caribe

Colombiano

Barranquilla, diciembre 27.



**CARACTERIZACIÓN E IMPACTOS AMBIENTALES POR VERTIMIENTOS EN  
TRAMOS DE LA CUENCA MEDIA Y BAJA DEL RIO CESAR, VALLEDUPAR.**

**INFORME FINAL**

**PRESENTADO A  
LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA DEL CESAR “CORPOCESAR”**

**POR**

**UNIVERSIDAD DEL ATLANTICO  
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS  
GRUPO DE INVESTIGACIÓN BIODIVERSIDAD DEL CARIBE COLOMBIANO**

**INVESTIGADORES**

**Luis Carlos Gutierrez Moreno  
Rafael Borja Acuña  
Orlando Villa García  
Walberto Troncoso Olivo  
Gustavo Manjarrez García**

**COINVESTIGADORES**

**Jorge Luis Rangel  
Pedro Luis Sánchez  
Marlon Castro Pelaez  
Marlon Utria Saltarín  
Maria Angélica Vargas  
Maria del Pilar Malagón  
Oriana Heredia Gómez  
José Acosta Anillo**

**BARRANQUILLA, Diciembre de 2011**



## TABLA DE CONTENIDO

### PRESENTACIÓN

Introducción.

Introducción.....	4
1. Metodología de estudio.....	1
1.1. Estaciones de muestreo general.....	1
1.2. Parámetros geográficos y geológicos del departamento del Cesar.....	3
1.2.1. Unidades paisajísticas.....	3
1.2.2. Metodología Corine Land Cover para sistemas de información geográfica (SIG). ....	4
1.2.2.1. Definición de los atributos.....	5
1.2.2.2. Unidades de Paisaje.....	5
1.2.2.3. Análisis y métrica de la Información de unidades de paisaje. ....	7
1.3. Características ecológicas del río Cesar.....	9
1.2.1. Factores físico-químicos. ....	9
1.2.2. Comunidades del zooplancton. ....	13
1.2.3. Macroinvertebrados acuáticos.....	15
1.2.4. Peces.....	17
1.2.5. Vegetación.....	20
1.2.6. Lepidópteros .....	23
1.2.7. Coleópteros coprófagos (Scarabaeinae) .....	25
1.2.8. Herpetofauna. ....	27
1.2.9. Aves.....	28
1.2.10. Mamíferos. ....	30
1.2.11. Componente social.....	32
2. Resultados.....	33
1.1. Sistema de información geográfica (SIG).	



## **Introducción.**

Colombia se considera uno de los países que posee alta abundancia de recursos hídricos de superficie en el mundo, con valores de escurrimiento promedio en sus principales regiones hidrográficas que superan los 66.344 m<sup>3</sup>/s., representadas en más de 700.00 microcuencas. La Región hidrográfica del Caribe con valores de escurrimiento de 15.430 m<sup>3</sup>/s (IDEAM, 2001), alberga el macizo montañoso de la Sierra Nevada de Santa Marta, donde nacen los ríos de esta cuenca que son al mismo tiempo cortos y torrentosos, poco aptos para la navegación, pero aprovechables para el regadío y para la producción de energía hidroeléctrica. Los ríos más destacados de esta cuenca son el Fundación, el Ranchería o Riohacha y el Cesar, este último entrega sus aguas al Magdalena, a través de la laguna de Zapatosa ubicada entre los departamentos de Magdalena y Cesar.

El aporte de los ríos ha sido considerado vital para el desarrollo de las civilizaciones humanas y para llegar a comprender el funcionamiento de este complejo ecosistema, es necesario conocer la composición y estructura de los seres vivos que lo forman (Longino y Colwell, 1997). Estos ecosistemas cobijan comunidades animales, donde aparecen especies con variadas estrategias biológicas; como la resistencia ante cambios y fluctuaciones ambientales, reproducción de tipo explosivas, ciclos de vida corto entre otros, como son los macroinvertebrados, el perifiton, el zooplancton así como la fauna asociada terrestre invertebrada y vertebrada. Estos organismos constituyen un buen elemento para identificar y caracterizar la dinámica limnológica de los ecosistemas acuáticos, son también una evidencia de los flujos hidrológicos, ciclos, ritmos y fluctuaciones físicas y químicas del agua, efecto del viento, las lluvias, vertimientos y actividades antrópicas entre otras.

Actualmente la mayoría de estos ecosistemas en el departamento del Cesar están sufriendo el efecto de las continuas actividades humanas; la demanda de material de construcción, específicamente material de arrastre para la ciudad de Valledupar ha sido suplida por la extracción que se hace de este material desde varios ríos, fundamentalmente en los ríos Guatapuri y Cesar. El volumen de materiales de arrastre extraído de los cauces de estos Ríos, está afectado de manera significativa por sus regímenes hídricos y sedimentológicos, a su vez genera impactos ambientales negativos de gran consideración (Minercol, 2002).

Los desechos industriales y domésticos de las poblaciones cada vez creciente y ubicadas a lo largo de la cuenca del río Cesar, tienen como destino final el río, donde la fauna se ha visto sustancialmente reducida.

Es por ello que la caracterización de la estructura paisajística y de la tendencia evolutiva de los patrones espaciales del paisaje es un tema de gran importancia para el ordenamiento territorial y la gestión ambiental especialmente por su vinculación a la biodiversidad. La caracterización temporal de los elementos o unidades que constituyen el mosaico paisajístico (matriz, parche, ecotono y corredores) permite reconocer dos procesos ecológicos de características contrarias, ambos con repercusiones ambientales: La pérdida de hábitat y la fragmentación se consideran las principales amenazas que



afectan a la diversidad biológica (Harris, 1984; Wilson, 1988; Saunders y Hobbs, 1991; Alverson *et al.*, 1994; McCullough, 1996; Pickett *et al.*, 1997; Fielder y Kareiva, 1998). Conservacionistas, planificadores y ecólogos se refieren a la pérdida de hábitat y al aislamiento de los hábitats con el término fragmentación (Collinge, 1996).

Teniendo en cuenta estos procesos CORPOCESAR y otros investigadores de las Universidades del país se han dado a la tarea de buscar formas convenientes de evaluación del estado ecológico del recurso hídrico, no sólo sus condiciones abióticas (físicas y químicas), sino también la estructura misma de las comunidades biológicas que en él se desarrollan (como parte de nuestra responsabilidad de cuidar no solo este recurso, después que se pronosticara cambios drásticos en la disponibilidad del agua superficial que genera conflictos, como consecuencia de los cambios climáticos que experimenta el planeta; IDEAM, 2001) y nichos ecológicos asociados a las cuencas más importantes, tal como lo contemplan las normas ambientales vigentes (Decreto-Ley 2811 de 1974; Ley 99 de 1993; Ley 165 de 1994; Ley 373 de 1997).

El Departamento del Cesar se ubica en el Nororiente del país y sus límites son: al norte con los Departamentos de la Guajira y Magdalena; al este con la República Bolivariana de Venezuela y el Departamento de Norte de Santander; al oeste con los Departamentos del Magdalena y Bolívar; al Sur con el Departamento de Santander. La extensión territorial es de aproximadamente 22.905 Km<sup>2</sup>, de los cuales el 95% corresponde a área rural (CORPOCESAR-ECOCARBON, 1996; SIMCO, 2010).

El presente informe tiene como objetivos presentar los resultados de la evaluación ecológica de la cuenca media y baja del río Cesar sobre sus parámetros geográficos; características del río en sus aspectos de caudales, factores físico-químicos, cobertura vegetal y fauna asociada así como de las características sociales y sus posibles amenazas que permitirá tener una visión de conjunto de los diversos aspectos ambientales, estructurales, aprovechamiento, desarrollo industrial y social con propuestas de manejo que sean compatibles con el desarrollo social, agrícola, ganadero e industrial del área analizada en la investigación.

## 1. Metodología de estudio.

### 1.2. Estaciones de muestreo general.

Los muestreos de los diferentes grupos de investigación en la cuenca media y baja al río Cesar, se realizaron desde el mes de Diciembre de 2010 hasta el mes de Noviembre del 2011, en las ocho estaciones (E1, E2, E3, E4, E5, E6 y E7) predeterminadas en visita previa al inicio del desarrollo del proyecto, de las cuales 4 estaciones corresponden a la zona media del río (E1, E2, E3, E4) y 3 estaciones de muestreo a la zona baja del mismo (E5, E6 y E7). Para la caracterización fisicoquímica de aguas, se tomaron cinco estaciones adicionales para un total de 12 sitios de muestreo en el componente.

Tabla 1-1. Estaciones general de muestreo, especificadas para las cuencas media y baja del río Cesar. 2011.

No	Estaciones de monitoreo	Coordenadas
<b>Zona Media de la cuenca</b>		
E1	Veracruz, San Juan del Cesar - Guajira, Colombia	Lat 10° 38' 14,2"N y Lon 73° 04' 55,4" O
E2	Guacochito, Valledupar - Cesar, Colombia	Lat 10° 32' 52,0"N y Lon 73° 0,7' 29,3"O
E3	Puente Salguero, Valledupar - Cesar, Colombia	Lat 10° 26' 23,8"N y Lon 73° 12' 02,4"O
E4	Las Pitillas, San Diego - Cesar, Colombia	Lat 10° 23' 05,4"N y Lon 73° 14' 01,7"O
<b>Zona Baja de la cuenca</b>		
E5	Rabo largo, La Paz - Cesar, Colombia	Lat 09° 48' 24,3"N y Lon 73° 37' 37,8"O
E6	Puente Canoas, El Paso - Cesar, Colombia	Lat 10° 19' 57,6"N y Lon 73° 14' 57,6"O.
E7	Boca del río Calenturitas, El Paso - Cesar, Colombia	Lat 9°32'2,785"N y Lon 73°48'13,749"O

En la Figura 1-1 se representa el curso del río Cesar en su cuenca Media y Baja hasta su desembocadura al complejo de la ciénaga de Zapatos, que permite una visión general de su recorrido y principales afluentes que lo alimentan.

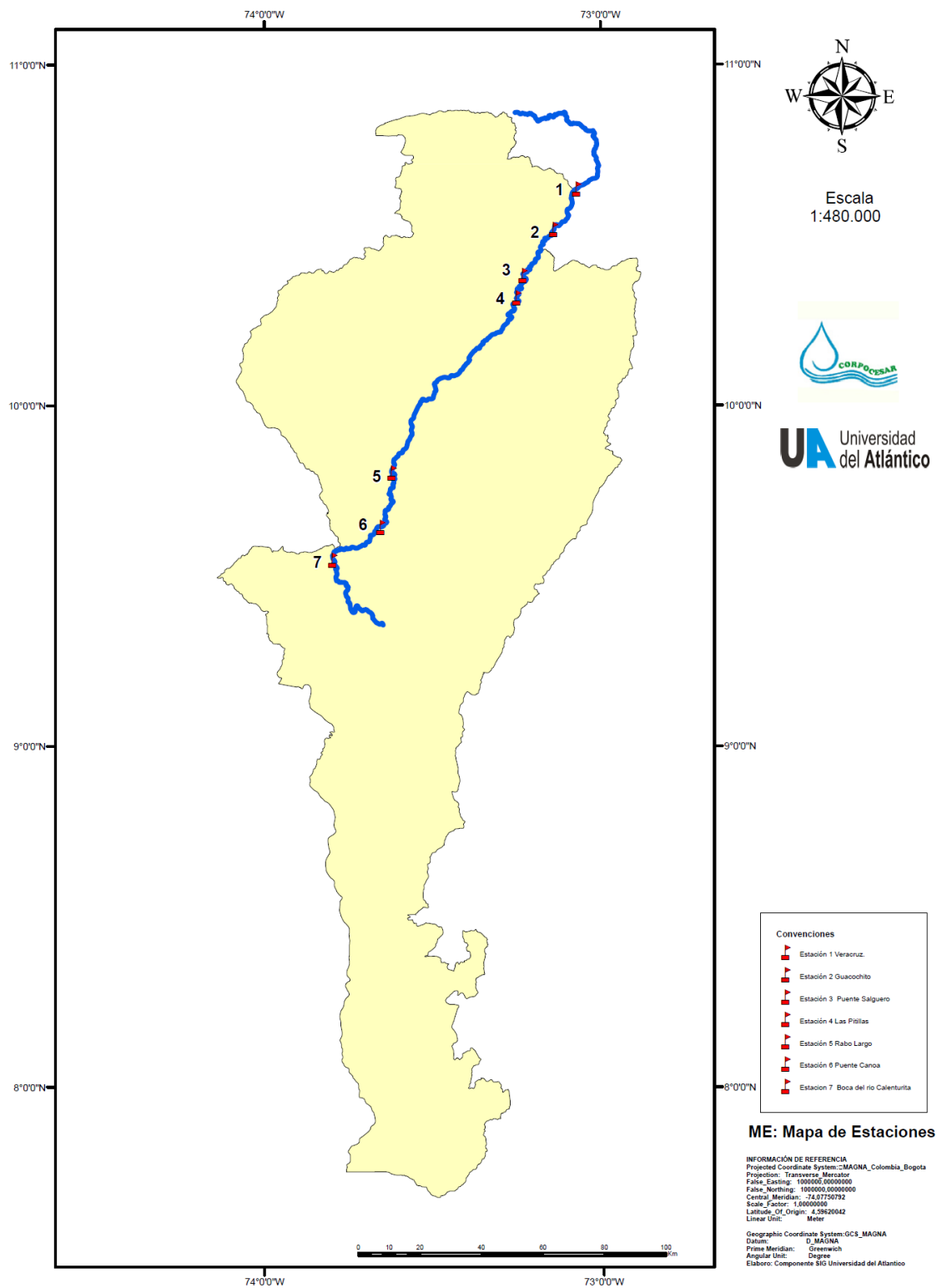


Figura 1-1. Mapa del Departamento del Cesar, representando el curso del río del mismo nombre y las estaciones de muestreo.



### 1.3. Parámetros geográficos y geológicos del departamento del Cesar.

#### 1.2.1. Unidades paisajísticas

La caracterización de la estructura paisajística y de la tendencia evolutiva de los patrones espaciales del paisaje es un tema de gran importancia para el ordenamiento territorial y la gestión ambiental especialmente por su vinculación a la biodiversidad. La caracterización temporal de los elementos o unidades que constituyen el mosaico paisajístico (matriz, parche, ecotono y corredores) permite reconocer dos procesos ecológicos de características contrarias, ambos con repercusiones ambientales: la pérdida de hábitat y la fragmentación; se considera que son las principales amenazas que afectan a la diversidad biológica (Harris, 1984; Wilson, 1988; Saunders y Hobbs, 1991; Alverson *et al.*, 1994; McCullough, 1996; Pickett *et al.*, 1997; Fielder y Kareiva, 1998). Conservacionistas, planificadores y ecólogos se refieren a la pérdida de hábitat y al aislamiento de los hábitats con el término fragmentación (Collinge, 1996).

La fragmentación de los hábitats se ha estudiado desde los años 60 bajo dos fundamentos teóricos: la teoría de biogeografía de islas (MacArthur y Wilson, 1967) y la teoría de metapoblaciones (Levins, 1969). La teoría de islas estudia la influencia del aislamiento (distancia a otros fragmentos o hábitats), el tamaño de los fragmentos en la riqueza y composición de especies, considerando la colonización y extinción como procesos fundamentales. El término metapoblación fue introducido por Levins (1969) para describir poblaciones compuestas por subpoblaciones, enfatiza el concepto de conectividad y el intercambio entre poblaciones espacialmente separadas (Hanski, 1999). Este concepto ha sido utilizado en modelos de gestión y de conservación de especies amenazadas (Simberloff, 1997). Se asume que la fragmentación está asociada a los efectos negativos derivados de las acciones antrópicas que conllevan a una modificación intensa del territorio y que se traduce en una pérdida importante de hábitats naturales, en la disminución de especies e incluso en la extinción de las últimas.

Los procesos de fragmentación y de cambio paisajístico de las unidades ecológicas cercanas a las costas revisten una importancia ambiental en las unidades paisajísticas que la bordean, ya que históricamente han sido las comunidades naturales más afectadas por las actividades humanas de forma masiva, por las condiciones de intervención y recreación o para crear terrenos agrícolas; en muchos casos sufren daños indirectos como consecuencia de las actividades de recreación.

El análisis de la estructura paisajística se realiza teniendo en cuenta unidades de paisaje de coberturas según metodología Corine Land Cover (ver siguiente apartado), que consta de descriptores e indicadores de composición y estructura para cada una de las clases paisajísticas o tipos de parches a partir de mapas de uso de cubiertas del suelo. Los indicadores de estructura han permitido caracterizar y analizar las transformaciones en tamaño.

Para el proceso de cálculo y análisis espacial se implementan los Sistemas de información geográfica (SIG), algunos programas como el FRAGSTAT y otros. La información cartográfica se elaborara a partir de Imágenes de satélite del Proyecto Corin Land Cover e imágenes satelitales digitales del proyecto, así como de fuentes primarias y secundarias.





### **1.2.2. Metodología Corine Land Cover para sistemas de información geográfica (SIG).**

Para realizar el inventario de la cobertura de la tierra en el área de estudio se utilizó el proyecto “Corine Land Cover” 1990 (CLC90) el cual fue desarrollado en Europa y define una metodología específica elaborada para realizar el inventario de la cobertura de la tierra. La base de datos de la cobertura de la tierra constituye un soporte a la toma de decisiones en políticas relacionadas con el medio ambiente y el ordenamiento territorial, validada por la Unión Europea.

En Colombia no existía un sistema de clasificación y una metodología uniforme para levantar información de las coberturas de la tierra. Para dar respuesta a este problema, el proyecto “Corine Land Cover Colombia” busca estandarizar una clasificación de cobertura de la tierra, con subdivisiones definidas de acuerdo a la información suministrada por imágenes Landsat TM, según las condiciones locales del territorio nacional. La adaptación y validación de la metodología CLC permitirá comparar estadísticas de ocupación de la tierra, crea líneas de comunicación entre las diferentes instituciones que la adopten y además, homologa la información a nivel mundial.

Como proyecto piloto se pretende comparar las unidades de paisajes de coberturas vegetales del Departamento del Cesar el cual se comparara con imágenes recientes y hacer un punto de comparación espacial que permita relacionar los cambios y transformación que tienen las áreas de muestreo.

Para el Departamento del Cesar se compararan las coberturas de la metodología Corine Land Cover a escala 1:100.000 que nos permitiría obtener información en una escala de trabajo de toda la región y para puntos específicos se obtendrán mapas de escala 1:25.000 de las áreas de afectación de la margen del Rio Cesar.

Teniendo en cuenta el área y las posibles dificultades en los periodos de trabajo que corresponde a periodos de alta pluviosidad, procesos de centros y baja presión en la cuenca del rio Cesar fue necesario evaluar varios escenarios con diferentes marcos de resolución como nubosidad brillo solar procesamiento de la información los cuales se describen a continuación (Figura 1-2).

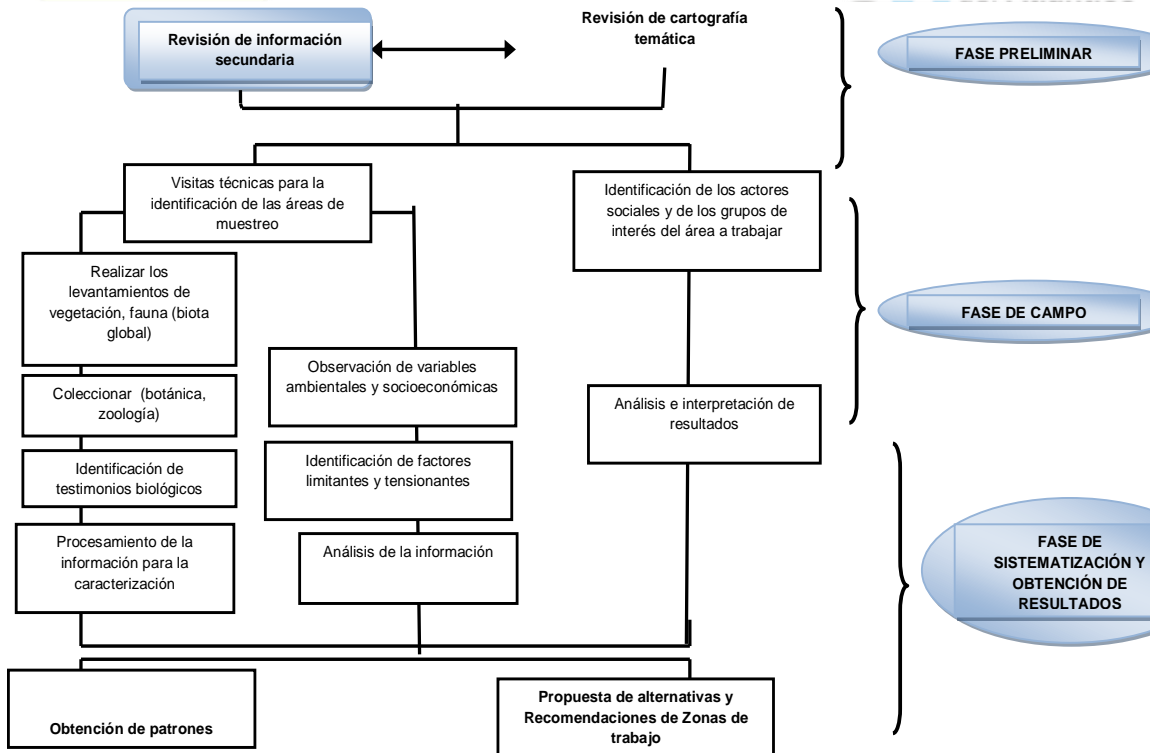


Figura 1-2. Fases del proceso del sistema de información geográfico en trabajos de ecológicos e interacción con el hombre.

### 1.2.2.1. Definición de los atributos.

Teniendo en cuenta la información colectada en campo y el análisis generalizado por el componente técnico, se les dio criterios de importancia a aquellos sitios con áreas de intervención y poca intervención según unidades de paisaje. La aplicación de dicha metodología permite caracterizar zonas que posean valores ambientales favorables o poco favorables según criterios de indicadores e identificar cuáles son las zonas con cambios que modelan la dinámica de especies y hábitat potenciales generando en un espacio de tiempo impactos ambientales.

Con base en esta primera jerarquización de indicadores es posible desarrollar estrategias para la valoración de las zonas que nos permita tener una radiografía espacial de los sectores seleccionados para determinar cambios en los componentes de las diferentes unidades de paisaje que se encuentran en la zona rivereña de la cuenca media y baja del Cesar (Figura 1-3).

### 1.2.2.2. Unidades de Paisaje

El análisis de la información se hizo según los criterios de Corine Land, el cual discrimina unidades de paisaje según características de fointerpretación y análisis de píxeles para muestreo y el empleo de las firmas espectrales, las cuales se unen con los criterios de campo y se conceptualizan unidades de muestreo de las zonas de la vegetación riparia y aquellas de frontera de cobertura vegetal en un radio de 2 km<sup>2</sup>.



Figura 1-3. Convención de las diferentes unidades de paisajes empleadas en el proceso de análisis de imágenes digitales de satélite.

## Unidades de analisis de analisis

### Pastos arbolados

Cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos en los cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a 5 metros, distribuidos en forma dispersa, como se ilustra en la cobertura de árboles debe ser mayor al 30% y menor al 50% del área de pastos arbolados. En Colombia se ubican en general sobre áreas planas ganaderas de climas cálidos, principalmente en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Córdoba, Magdalena, Santander, Sucre, Valle del Cauca, Caldas y Cesar, siendo esta ultima analisis del proyecto.

### Bosques Riparios

Se refiere a las coberturas constituidas por vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. Cuando la presencia de estas franjas de bosques ocurre en regiones de sabanas se conoce como bosque de galería o cañadas, las otras franjas de bosque en cursos de agua de zonas andinas son conocidas como bosque ripario.

### Arbustales

Corresponde con aquellas coberturas constituidas por vegetación natural de porte bajo, con un dosel irregular en donde predominan los elementos arbustivos, pero que puede presentar elementos arbóreos dispersos. Esta vegetación puede ser producto de las condiciones naturales o de la acción antrópica. Un arbusto es una planta perenne, con una altura entre 0.5 y 5 m y sin una copa definida (FAO, 2001).

### **Afloramiento Rocosos**

Son áreas en las cuales la superficie del terreno está constituida por capas de rocas expuestas, sin desarrollo de vegetación, generalmente dispuestas en laderas abruptas, formando escarpes y acantilados; así como zonas de rocas desnudas relacionadas con la actividad volcánica o glacial. Asociados con los afloramientos rocosos se pueden encontrar depósitos de sedimentos finos y gruesos, de bloques o de cenizas.

Comentarios: los afloramientos rocosos son producto de la dinámica natural del terreno, por lo tanto, no se debe asociar a las tierras degradadas.

### **Río**

Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad, posee un caudal considerable y desemboca en el mar, en un lago o en otro río. Se considera como unidad mínima cartografiable aquellos ríos que presenten un ancho del cauce mayor o igual a 50 metros.

### **Cultivos**

Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo dura un año o menos, llegando incluso a ser de unos pocos meses; tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo. Fueron definidas las siguientes unidades.

#### **1.2.2.3. Análisis y métrica de la Información de unidades de paisaje.**

### **Proceso de Análisis.**

Datos cualitativos de Análisis Multi-Criterio

Los criterios de importancia para el análisis multi-criterio de las 7 estaciones de muestreo, utilizó la reclasificación de los criterios según análisis establecidos técnicos y dándole valores numéricos de tipo cuantitativo y cualitativo, considerando características y patrones de análisis de zonas intervenidas con cultivos y de poca vegetación, por la expansión de la frontera agrícola y penetración de la ganadería hacia el cuerpo de agua (Río Cesar).

El proceso de análisis y reclasificación de criterios de importancia, se estableció un rango entre 1 y 5, donde el número 1 es de menor valor con un color amarillo claro con descripción cualitativa de Muy Baja de importancia y el número 5 es el de mayor importancia con valores de rojo con una clasificación Muy Óptima (Tabla 1-2).

**Tabla 1-2. Escala de valores y de importancia para el análisis de multicriterio.**

5	4	3	2	1
Muy Óptima	Óptima	Aceptable	Baja	Muy baja

**Muy óptima:** Vegetación primaria con cobertura estructural sin intervención de procesos antropogénicos.



**Optima:** Vegetación de cobertura primaria a secundaria con poca intervención de procesos antropogénicos.

**Aceptable:** Vegetación intervenida con poca intervención de agricultura y ganadería con cultivos.

**Baja:** Vegetación intervenida con expansión agrícola y procesos de agricultura permanente, poca o nula vegetación raparia.

**Muy Baja:** Vegetación deforestada en casi toda su cobertura, con estados sucesionales de pastos.

## 1.4. Características ecológicas del río Cesar.

### 1.2.1. Factores físico-químicos.

#### Ubicación de puntos de monitoreo

Para evaluar el impacto de la actividad antrópica sobre el río Cesar en el tramo Veracruz – Ciénaga de Zapatosa, se realizó un diagnóstico del estado actual de los componentes que, de acuerdo con la teoría e información ecológica, representan la parte más vulnerable del ecosistema en cuanto al grado de deterioro debido los vertimientos de lixiviados y otros componentes a la cuenca media del río Cesar y sus impactos que ocasionan el deterioro en el componente social, aguas abajo hasta su desembocadura. Para definir la distribución de las estaciones de monitoreo, se realizó una visita preliminar de reconocimiento. Según las características ecológicas y limnológicas del sistema el diseño de muestreo aplicado incluyó puntos específicos (Tabla 1-3; Figura 1-1):

**Tabla 1-3. Lista de las estaciones de muestreo para el componente de calidad de agua, en las cuencas media y baja del río Cesar.**

No	Estaciones de Muestreo
	<b>Zona Media de la cuenca</b>
1	<b>Veracruz</b> , San Juan del Cesar - Guajira, Colombia
2	<b>Boca del río Badillo</b> , Valledupar - Cesar, Colombia
3	<b>Guacochito</b> , Valledupar - Cesar, Colombia
4	<b>Puente Salguero</b> , Valledupar - Cesar, Colombia
5	<b>Boca del río Guatapurí</b> , Valledupar - Cesar, Colombia
6	<b>Salida aguas residuales Salguero</b>
7	<b>Las Pitillas</b> , San Diego - Cesar, Colombia
	<b>Zona Baja de la cuenca</b>
8	<b>Rabo largo</b> , La Paz - Cesar, Colombia
9	<b>Puente Canoa</b> , El Paso - Cesar, Colombia
10	<b>Boca del río Calenturitas</b> , El Paso - Cesar, Colombia
11	<b>Boca del río Ariguaní</b> , El Paso - Cesar, Colombia
12	<b>Boca Iguana</b> , El Paso - Cesar, Colombia

#### Metodología de análisis y toma de muestra

Esta información permitió conocer de manera directa, el impacto que tienen algunas actividades antrópicas como los vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales, el uso de pesticidas y otros químicos en la agroindustria localizada dentro de la zona de influencia del río y la deforestación de la cuenca, sobre la calidad fisicoquímica del agua.

La toma de muestras y las mediciones in situ se realizaron según lo establecido en APHA-AWWA-WPCF (2005), Schwoerbel (1975), Roldan (1992) y la guía de monitoreo del



IDEAM (2004;Figura 1-4). Los análisis de laboratorio se realizarán en laboratorios especializados que cuenten con certificación de Calidad de ICONTEC y que sus métodos sean reconocidos por la autoridad ambiental nacional.

Los factores que se evaluaron en este componente se resumen en la Tabla 1-4.



Figura 1-4. Muestreo en campo de las variables fisicoquímicas del agua en el río Cesar.

Tabla 1-4. Factores físicos y químicos, unidades y técnicas aplicadas para su determinación, de acuerdo a los criterios de APHA (2005), Schwoerbel (1975) y Roldan (1992).

<i>Campo</i>		<i>Laboratorio</i>	
Factor	Técnica	Factor	Técnica
Temperatura (°C)	Potenciometría	Turbidez (NTU)	Nefelometría
Oxígeno disuelto (mg/L)	Potenciometría	Alcalinidad (mg/L)	Volumetría
pH	Potenciometría	Acidez (mg/L)	Volumetría
Conductividad eléctrica (µS/cm)	Potenciometría	Dureza (mg/L)	Volumetría
		PO <sub>4</sub> (mg/L)	Fotometría
		NO <sub>3</sub> (mg/L)	Fotometría
		NO <sub>2</sub> (mg/L)	Fotometría
		NH <sub>4</sub> (mg/L)	Fotometría
		SO <sub>4</sub> (mg/L)	Fotometría
		H <sub>2</sub> S (mg/L)	Fotometría
		DBO <sub>5</sub> (mg/L)	Incubación durante 5 días a 25°C
		DQO (mg/L)	Reflujo abierto.
		Hidrocarburos	Espectrofotómetro



		Grasas y Aceites	Espectrofotómetro
		Detergentes	Extracción por Soxhlet
		Organoclorados	Cromatografía de gases
		Organofosforados	Cromatografía de gases

## Microorganismos del agua

### Coliformes Totales

El grupo de microorganismos llamados Coliformes totales pertenece a la familia Enterobacteriaceae, incluye las bacterias de forma bacilar, aeróbicas y facultativas anaeróbicas, Gram negativas, no formadoras de esporas, las cuales fermentan la lactosa con formación de gas en un período de 48 horas a 35°C ó 37°C (Romero, 1996). Este grupo de bacterias suelen abundar en el tracto intestinal humano y de otros animales de sangre caliente, y es utilizado como indicador (siendo medido el número de individuos encontrados por mililitro de agua (NMP)) para analizar la calidad de las aguas. A este grupo pertenecen bacterias del género: Escherichia, Enterobacter; Shigella, Salmonella, Citrobacter y Klebsiella. (Brooks *et al.*, 1992; Salas, 2003; Tabla 1-5).

### *Escherichia coli*

Los miembros del genero Escherichia son habitantes casi universales de las vías intestinales de los humanos y los animales de sangre caliente, aunque no significan que sean los organismos dominantes en estos hábitats (Brock y Madigan, 1991). Escherichia coli es la bacteria más abundante en las materias fecales del hombre y otras especies de mamíferos, su nicho ecológico natural es el intestino delgado y grueso, forma parte de la flora nativa intestinal y se encuentra en calidad de saprobio sin causar daño.

### Salmonella

El género Salmonella está formado por un grupo muy heterogéneo de bacterias que colonizan el intestino del hombre y de especies animales causando patología intestinal. Algunas especies se diseminan con facilidad hacia circulación sanguínea produciendo estados septicémicos graves o localización del bacilo en otros órganos o tejidos (Romero y Herrera, 2002; Romero, 2007).

### Enterococos

Son habitantes del tracto intestinal de hombres y animales, pero que no han sido trabajados como indicadores fecales con la misma frecuencia que los Coliformes. Los Enterococos pueden ser utilizados como indicadores de condiciones sanitarias deficientes.

**Tabla 1-5. Métodos para análisis bacteriológicos.**

Factor	Unidades	Método
Coliformes Totales	NMP de microorganismos por 100ml.	Tubos múltiples
Coliformes Fecales	NMP de microorganismos por 100ml.	Tubos múltiples
Salmonella	UFC/ml	Recuento en placa
Enterococo	UFC/ml	Recuento en placa
E coli	UFC/ml	Recuento en placa
Kliebsella	UFC/ml	Recuento en placa

### Índice de calidad simplificado del agua.

Se consideró usar un índice ampliamente conocido y que se ha aplicado en muchas cuencas del mundo; es conocido como ISQA (Índice Simplificado de Calidad de las Aguas), por sus siglas en inglés y se define como la relación:

$$ISQA = E * (A + B + C + D)$$

Las cinco características escogidas con indicación de su rango son:

E: temperatura del agua (T en °C). Puede tomar valores comprendidos entre 0,8 y 1 según:

$$E = 1 \quad \text{si } T \leq 20 \text{ °C} \quad \text{o} \quad E = 1 - (T - 20) \cdot 0,0125 \quad \text{si } T > 20 \text{ °C}$$

A: demanda química-orgánica (DBO en mg/L). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 30 según:

$$A = 30 - DBO5 \quad \text{si } DBO5 \leq 10 \text{ mg/L}$$

$$A = 21 - (0,35 * DBO) \quad \text{si } 60 \text{ mg/L} \geq DBO > 10 \text{ mg/L}$$

$$A = 0 \quad \text{si } DBO > 60 \text{ mg/L}$$

B: sólidos en suspensión totales (SST en mg/L). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:

$$B = 25 - (0,15 * SST) \quad \text{si } SST \leq 100 \text{ mg/L}$$

$$B = 17 - (0,07 * SST) \quad \text{si } 250 \text{ mg/L} \geq SST > 100 \text{ mg/L}$$

$$B = 0 \quad \text{si } SST > 250 \text{ mg/L}$$

C: oxígeno disuelto (O<sub>2</sub> en mg/L). Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 25 según:

$$C = 2,5 * O_2 \quad \text{si } O_2 < 10 \text{ mg/L} \quad \text{o} \quad C = 25 \quad \text{si } O_2 \geq 10 \text{ mg/L}$$

D: conductividad (CE en µS/cm a 18 °C). Si la conductividad se mide a 25 °C, para obtener la conversión a 18 °C se multiplicará por 0,86. Puede tomar valores comprendidos entre 0 y 20 según:

$$D = (3,6 - \log CE) * 15,4 \quad \text{si } CE \leq 4000 \text{ µS/cm} \quad \text{o} \quad D = 0 \quad \text{si } CE > 4000 \text{ µS/cm}$$

El ISQA oscila entre 0 (calidad mínima) y 100 (calidad máxima).

El valor del índice permitirá definir en palabras la calidad de las aguas, de acuerdo con la clasificación (Tabla 1-6):

**Tabla 1-6. Escala de valores y calificaciones del indicador de calidad de aguas (ISQA).**

VALOR DEL ÍNDICE	CLASIFICACIÓN	ESCALA DE COLOR
0 - 25	calidad muy mala	rojo
26 - 50	calidad mala	naranja
51 - 70	calidad media	Amarillo
71 - 90	calidad buena	verde
91 - 100	calidad excelente	azul

Mediante estos índices se obtiene un valor numérico adimensional que engloba las magnitudes de ciertos parámetros individuales, cuyo número y tipo varía según el índice. Se usan para evaluar la calidad de un agua y su evolución con el tiempo, y tienen como inconveniente su poca robustez debido a que simplifican mucho la calidad al definirla mediante un único valor numérico.



## **Análisis de la información.**

Los datos de campo fueron ingresados en hojas electrónicas del programa Excel 7.0, donde se ordenaron por estación de muestreo, luego se aplicaron los respectivos tratamientos estadísticos normales, que se requieren en el estudio de caracterización. También se utilizó el programa estadístico Statgraphics 5.0 para el desarrollo de análisis de varianzas y matrices de correlación.

### **1.2.2. Comunidades del zooplancton.**

#### **Metodología**

La geoposición de las estaciones de monitoreo seleccionadas para el análisis biológico del agua se detallan en la Tabla 1-1 (Figura 1-1):

#### **Método de estudio para el componente biológico del agua.**

Fitoplancton: La técnica que se empleó fue la de filtrado en pasivo en mallas de 20  $\mu\text{m}$  de poro (1 Litro). Esta información permitió calcular la densidad y diversidad de la comunidad fitoplanctónica (Figura 1-5).

- Fijación de la muestra: El material filtrado se fijó con solución de lugol.
- Recuento del Fitoplancton: El objetivo de este estudio fué obtener la densidad o abundancia y la composición de los principales grupos del fitoplancton con respecto a una unidad de volumen conocida. La abundancia se determinó utilizando una cámara de Newbauer para microscopio binocular compuesto.
- Identificación de las especies fitoplanctónicas: Se realizó implementando las claves taxonómicas para cada grupo.

Zooplancton (Rotíferos, Copépodos, Cladóceros): Se empleó la técnica de filtrado en pasivo en mallas de 60  $\mu\text{m}$  de poro, el volumen de agua se determinó a través de la curva de acumulación de especies, estos datos permitieron registrar la densidad y diversidad de la fauna zooplanctónica. La toma de la muestra de agua se efectuó por medio de toma muestras (botella de muestreo con capacidad para 8 litros).

- Fijación de la muestra: El material filtrado se fijó con solución de Formalina al 4 %. Las muestras para fines cuantitativos y de identificación de especies, se fijaron aplicando el método de Remane y la separación se realizó según los procedimientos Straskaba (1964).
- Recuento: Se determinará aplicando el submuestreador de Folsom y las cámaras de Kolkwitz, para microscopio binocular compuesto y cámara tubular para las muestras con alta densidad según modelo Utermohl (1952).
- Identificación: se realizó implementando las claves taxonómicas para cada grupo

Perifiton: Para la evaluación del perifiton se propuso la utilización de perifitómetros con placas de vidrio o de plástico transparente (Giba *et al.*, 2001), ubicados de manera sistemática en todas las estaciones de muestreo. Las placas que exhiban indicios de

colonización perifítica, fueron colectadas y el material biológico preservado en formalina al 4% para su posterior identificación taxonómica y conteo.



Figura 1-5. Muestreo de las comunidades del zooplancton en aguas del río Cesar.

### Categorización de las especies de zooplancton según su distribución espacio – temporal.

Con el fin de proporcionar herramientas claras de diagnóstico de las tendencias de los datos espaciales y temporales, se establecieron y definieron seis (6) categorías, que nos permitieron inferir sobre la calidad del ambiente en el que se desarrollan estas comunidades biológicas. Se plantearon tres (3) categorías según la presencia de las especies en las estaciones de monitoreo (Tabla 1-7).

Tabla 1-7. Categorías de la presencia de especies del zooplancton en aguas del río Cesar.

N° de estaciones ocupadas	Categoría
8 -6	Amplia distribución
5-3	Distribución moderada
2-1	Distribución restringida

De igual manera se plantearon tres categorías según la variación temporal, según la aparición de las especies durante los periodos de muestreo (Tabla 1-8).

Tabla 1-8. Categorías según la variación temporal de especies del zooplancton en aguas del río Cesar.

N° de muestreos observados	Categoría
4 – 3	Alta frecuencia
2	Media frecuencia
1	Baja frecuencia

Esta categorización se planteó como estrategia para desarrollar un análisis integral en las dos dimensiones (tiempo – espacio), este consiste en determinar simultáneamente la categoría a la que pertenecen las especies reportadas y definir elementos como:

- Especies residentes temporales
- Especies residentes permanentes

A su vez este análisis por categorías agrupa a las especies que poseen características específicas, las cuales son definidas por el tipo de ambiente en el que se desarrollan, si bien los zooplanctares por su biología y adaptaciones no son buenos indicadores directos de calidad del agua, la cantidad de material biológico que va a la deriva puede servir como índice de la tasa de producción de un río y darnos indicios de su comportamiento ecológico, y de esta manera brindarnos información básica del estado del medio y por consiguiente de su calidad.

### 1.2.3. Macroinvertebrados acuáticos.

Los macroinvertebrados fueron colectados a lo largo de 50 m aproximadamente en cada estación, utilizando una Red de Pantalla de 1 m<sup>2</sup>, se coleccionaron los individuos asociados a los coriotopos hojarasca, cantos rodados, sedimento y raíces de la vegetación acuática emergente de los márgenes del río; según la metodología citada por Roldán (1997; Figura 1-6). Los individuos colectados fueron depositados en frascos plásticos debidamente rotulados, con alcohol al 70% para la preservación de los organismos.



Figura 1-6. Muestreo en campo de los macroinvertebrados del río Cesar.

#### Ubicación de las estaciones de muestreo en el área de estudio.

Se ubicaron seis (6) estaciones de muestreo en el Río Cesar, las cuales se establecieron debido a la morfología del cuerpo de agua, a la localización de los contribuyentes y efluentes más significativos, para lo cual se identificaron como se detalla en la Tabla 1-3.

#### Identificación taxonómica de macroinvertebrados.



En la fase de laboratorio se realizó el vaciado de cada redada en bandejas blancas, esto por contraste de color o movimiento, se hizo captura de los individuos utilizando pinzas entomológicas y pinzas sin garras para no maltratar los organismos, introduciéndolos en viales con alcohol para preservarlos, se registraron los datos. Las muestras se trasladaron al Laboratorio de Zoología de la Universidad del Atlántico. En lo que respecta a la observación de la morfología de los macroinvertebrados acuáticos colectados en el campo, se usó instrumentación óptica tipo estereoscopio, para la identificación de las *Taxas* con la observación de estructuras morfológicas, aplicando las claves y referenciando los organismos (Sarmiento y Ospino, 2005; Alba-Tercedor, 1996; Fernández y Domínguez 2001; Posada *et al.*, 2000; McAfferty, 1981; Rupert y Barner, 1999; Roldán, 1997; Roldán y Ruiz, 2001).

### Índice BMWPc (Trabajo de monitoreo biológico capítulo Colombia).

El grado de contaminación orgánica se determinó a través de los macroinvertebrados acuáticos, mediante el BMWPc, para todos los grupos de macroinvertebrados identificados hasta nivel de morfofamilias y requiere sólo datos cualitativos (presencia/ausencia). El puntaje va dado de 1 a 10 de acuerdo con la tolerancia a la contaminación orgánica; las morfofamilias más sensibles (*Perlidae*, *Oligoneuridae*), reciben una puntuación de 10; en cambio, las más tolerantes a la contaminación (*Oligochaeta*), reciben una puntuación de 1 (Roldán, 1999). En otras palabras, morfofamilias intolerantes a la contaminación tienen puntajes altos y morfofamilias tolerantes puntajes bajos. La suma de los puntajes de todas las morfofamilias de un sitio dado, arroja el puntaje BMWP total (Roldan, 1999; Tabla 1-9).

**Tabla 1-9. Clasificación de las aguas, significado ecológico de acuerdo al índice BMWP/COL y colores para representaciones cartográficas (Roldan, 2003).**

CLASE	CALIDAD	VALOR DEL BMWP	SIGNIFICADO	COLOR
I	Buena	> 150	Aguas muy limpias	Azul
		101-120	Aguas no contaminadas	
II	Aceptable	61-100	Se evidencia efectos de la contaminación	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy crítica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas situación crítica	Rojo

#### 1.2.4. Peces.

##### Estaciones de Muestreo.

Los muestreos sobre la ictiofauna fueron realizados en los sitios especificados en la Figura 1-1 y la Tabla 1-1. Los muestreos fueron realizados cada dos meses aproximadamente, con una duración de 12 a 14 días y una intensidad de 10 horas diarias (08:00 – 18:00) por muestreo.

En cada sitio de muestreo, se realizaron capturas de individuos utilizando diferentes artes de pesca, ejecutando para cada sitio un igual esfuerzo de muestreo, independiente de la topografía de las diferentes zonas del río (Figura 1-7).

Las capturas de los ejemplares de peces, fueron realizadas utilizando una atarraya de 3.0 m de diámetro y un ojo de malla de 1.5 cm, en las zonas planas del río. De igual manera se empleó una red de arrastre con cadena de 4.0 m de diámetro y un ojo de malla de 1.7 cm, utilizada en zonas planas cercanas a la orilla, una malla tipo colador elaborada con una red de anejo y un aro de acero de 80 cm de diámetro, empleada en las orillas del río con abundante arena, restos de vegetación y pescas manuales o “cuvier” usadas en zonas con fondo rocoso y de gran utilidad para capturar *loricáridos*.



Figura 1-7. Aplicación de las artes de pesca, en el muestreo de peces en el río Cesar.

Por último se llevo a cabo entrevistas con habitantes y pescadores del área de estudio, para contrastar sus conocimientos de la fauna íctica local presente en la cuenca y las colectas realizadas durante los muestreos, de igual manera para obtener información acerca de la abundancia espacio- temporal de las especies, de la historia pesquera y de usos de la cuenca entre otras.

La mayoría de ejemplares de especies de peces capturados fueron identificados en lo posible *in situ*, algunos fueron fotografiados vivos, para ello fueron mantenidos en recipientes aireados, utilizando una cámara fotográfica marca: Canon EOS DIGITAL REBEL XS. La medida morfométricas de los ejemplares fue realizada empleando una cinta métrica de 1 mm de precisión.





Los ejemplares que no se identificaron *in situ*, fueron fijados y conservados en formol al 10%, este proceso se realizó igualmente con algunos ejemplares seleccionados para su ingreso a la colección de referencia de la Universidad del Atlántico, cabe destacar que los individuos con una longitud total superior a 40 mm, fueron inyectados con formol a través del ano, realizando perforaciones en los costados del cuerpo, hasta que el mismo adquirió una consistencia rígida, lo cual garantizó una fijación completa de los tejidos.

Todos los ejemplares colectados fueron preservados en recipientes debidamente rotulados con el nombre de la estación muestreada (localidad), nombre del colector, fecha y hora del muestreo y nombre de las especies para ser transportados hasta el laboratorio de la colección de la Universidad del Atlántico.

A los individuos no identificados en campo, se les midió sus caracteres merísticos y morfométricos con una precisión de 0.1 mm.

Todos los individuos se identificaron hasta nivel científico más bajo (especie), utilizando para ello claves dicotómicas, con base en descripciones de otros autores en especial las realizadas por Maldonado-Ocampo y colaboradores (2005).

### **Análisis de la información.**

Los datos de campo fueron ingresados en bases de datos elaboradas en el programa software Excel 7.0, donde se ordenaron por especie, por mes y por estación de muestreo, luego se aplicaron los respectivos tratamientos estadísticos para de esta forma alcanzar los objetivos propuestos en el estudio de caracterización.

Para determinar la estructura de la ictiofauna presente en la cuenca media y baja del río Cesar, se realizaron análisis matemáticos y se aplicaron algunos índices, como sigue a continuación:

Para el análisis de la abundancia relativa por mes de muestreo, por estación de muestreo y por especie, se consideró la relación entre el número de individuos de una especie y el total de individuos de todas las especies.

$A = \frac{N_i}{N_t} \times 100$ , donde:  $N_i$  = número de individuos de una especie  $i$  y  $N_t$  = total de individuos de todas las especies.

Para hallar la riqueza de especie, en el tiempo y el espacio, fue aplicado el índice de riqueza de Margalef (1957; Magurran, 1988).

$$D_{mg} = (S - 1) / \ln N$$

Donde  $S$ : la riqueza o número de especies y  $N$  el número total de individuos de la muestra. Es un índice de riqueza de especies.

La diversidad de especies fue evaluada a través del índice de Shannon-Wiener (Magurran 1988, Krebs 1985)  $H = -\sum p_i \cdot \log_2 p_i$ , donde  $p_i = n_i / N$ , donde  $n_i$  es el número de individuos por especie y  $N$  el número total de individuo.

La frecuencia de aparición de especies se halló según la fórmula:  $C = \frac{M_a}{M_t} \times 100$ , donde  $C$  es la frecuencia o constancia de especies,  $M_a$  número total de muestras con especies y  $M_t$  número total de muestras.



La dominancia de especies, que se calculó de acuerdo a la abundancia numérica de las especies y su influencia en la comunidad; se calculó usando el índice de Dominance D.

Todos estos índices fueron calculados mediante el paquete estadístico Past v 2.04 (Paleontological Statistics Software Package).

### 1.2.5. Vegetación.

Para la caracterización florística de la vegetación de las riberas del Río Cesar se realizó un censo para lo cual, se identificaron las unidades de paisaje de las estaciones y se definieron como zona de vegetación riparia a aquellas franjas de árboles y arbustos que se localizan a lo largo del Río, potreros o pastos arbolados a aquellas coberturas caracterizadas por una matriz de pastos manejados o naturales donde se da el pastoreo del ganado, con árboles o arbustos aislados.

Fase de campo.

En cada una de las estaciones seleccionadas para el estudio de la estructura y composición de la vegetación riparia, se establecieron dos unidades de muestreo de 400 m<sup>2</sup> separadas 50 m entre sí. En cada unidad se trazaron dos transeptos paralelos de 50 m de largo por 4 m de ancho separados por 5 metros aproximadamente (Figura 1-8). Todas las plantas enraizadas dentro del transepto y con diámetro a la altura del pecho (DAP) mínimo de 2.5 cm fueron censadas (Mendoza *et al.*, 2008).

En este estudio se denominó como árbol a las plantas leñosas erguidas con un tronco definido y arbustos a las plantas leñosas erguidas sin un tronco definido o que ramifican muy cerca del suelo. A cada individuo se le midió el DAP a 1,3 m del suelo. Se tomaron datos morfológicos y se recolectaron muestras para la determinación de la especie. La altura de cada individuo se estimó visualmente en plantas de porte bajo y se utilizó un Opti-meter Ranging 120 para las plantas de mayor altura. Para estimar la cobertura, se registraron el radio mayor y el menor de la copa de cada planta, mediante estimación visual o con la ayuda de una cinta métrica.

Para estudiar la estructura y composición de la vegetación presente en las zonas de potreros arbolados o pastizales, Se establecieron, dos transeptos de 50 m de longitud cada uno, distanciados 50 entre sí por 50 m (Figura 1-9). En cada transepto se ubican 6 subparcelas de 1 m<sup>2</sup> separadas entre sí por 9 m, para un total de 12 subparcelas por potrero (Renjifo *et al.*, 2009). En cada subparcela se recolectaron muestras de las especies presentes para su identificación botánica, así como las características morfológicas que facilitaron la identificación, además se estableció su abundancia y rango de cobertura.

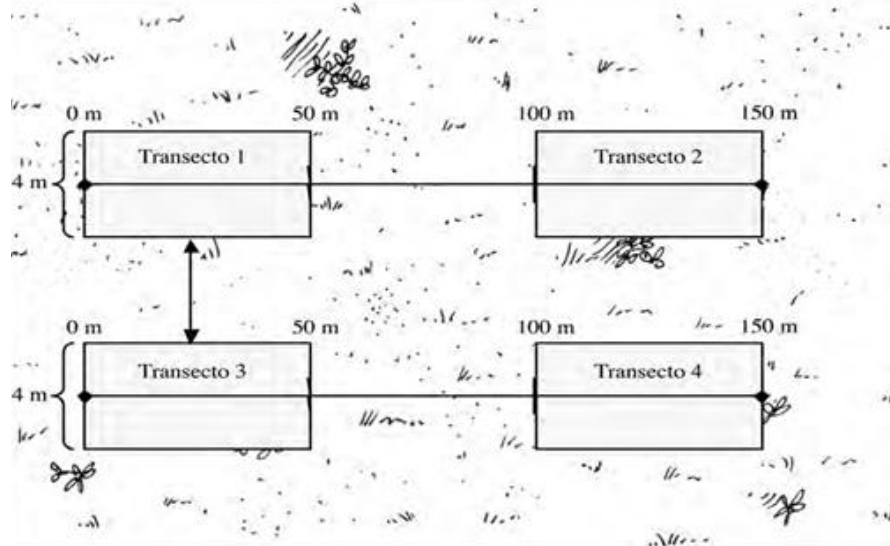


Figura 1-8. Esquema general de ubicación de los transectos para el muestreo de la vegetación.

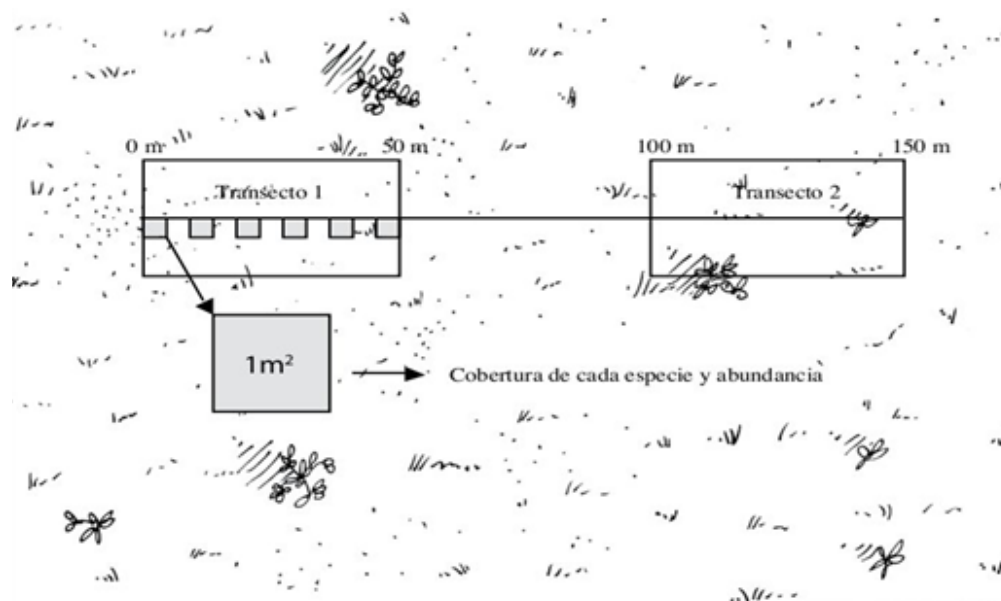


Figura 1-9. Esquema general de los transectos y subparcelas para el muestreo en zonas de potrero.

### Fase de laboratorio

Las muestras recolectadas en las diferentes estaciones de trabajo fueron prensadas y secadas en el herbario de la Universidad del Atlántico “Armando Dugand Gnecco”, según el protocolo establecido para ello (Villareal *et al.*, 2006).

Las muestras fueron separadas y agrupadas en morfoespecies de acuerdo a sus características morfológicas y posteriormente fueron determinadas mediante el uso de

bibliografía especializada y comparación con la colección de plantas del Herbario, para llegar al menor nivel taxonómico posible.

### **Fase de análisis de datos**

Para el análisis de la composición florística de cada estación, se elaboraron listados con los correspondientes datos cualitativos y cuantitativos obtenidos de cada especie encontrada en cada área de muestreo. La estructura de la vegetación se definió a través del ordenamiento vertical y horizontal de los componentes de la comunidad vegetal, la primera fue establecida a partir de la altura de los individuos por estratos, estos fueron definidos según Mendoza (1999), donde el estrato arbóreo está ocupado por plantas con altura mayor a 5 m, el estrato arbustivo por plantas entre 2 y 5 m de altura y el estrato herbáceo por plantas con altura mayor a 2 m.

La estructura horizontal se estableció con los valores de densidad, área basal y cobertura para cada individuo en las estaciones. La densidad total (D) se obtuvo dividiendo el número total de individuos (N) entre el área total de muestreo por estación (800 m<sup>2</sup>). (Mostacedo y Fredericksen, 2000). El área basal (AB) de cada individuo se calculó a partir del DAP y se expresa en metros cuadrados. La cobertura (Cob) de cada individuo se calculó a partir de los radios de la copa de cada individuo.

La distribución de frecuencia según clases de los parámetros (DAP y altura), se construyeron a partir del valor máximo y mínimo de cada parámetro y el número de individuos, según lo propuesto por Rangel y Velásquez (1997). El perfil de vegetación se realizó de acuerdo al método propuesto por Holdridge (1987), que permite generalizar la estructura madura total que ha sido alcanzada parcialmente y a la cual tiende a desarrollarse la vegetación inmadura.

El índice de valor de importancia (IVI) de cada especie se calculó sumando los valores de densidad, frecuencia y cobertura relativos (Mostacedo y Fredericksen, 2000). El índice de valor de importancia para familias (IVF) fue calculado usando los valores de diversidad, cobertura y densidad relativos (Rangel y Velásquez 1997). Para determinar si el número total de especies estuvo representado en la muestra, se graficó una curva de acumulación de especies, la cual muestra la riqueza de especies para la combinación de estaciones, además se graficó una curva de rango-abundancia, ordenando las especies desde la más abundante hasta la menos abundante en el eje X y su abundancia (número de individuos) en el eje Y (Kindt y Coe, 2005).

La diversidad fue estimada mediante el número de especies q, el índice de entropía de Shannon H y el índice de concentración de Simpson (Legendre y Legendre 1998). Se realizó un análisis de agrupamiento para identificar gráficamente el grado de asociación para cada unidad de vegetación en las estaciones respecto a la composición, mediante un gráfico de agrupamiento o dendrograma basados en la matriz de abundancia de especies en cada una de las estaciones de muestreo, utilizando el índice de similitud según Bray-Curtis. Para el almacenamiento y análisis de los datos se diseñó una base de datos relacional en OpenOffice.org Base 3.0 y los análisis de los datos estructurales se ejecutaron en OpenOffice.org Calc 3.0. Los gráficos y análisis de diversidad fueron realizados mediante el paquete Biodiversity R 1.0 (Kindt y Coe, 2005) y R 2.8.1 (R Development Core Team, 2008).

### 1.2.6. Lepidópteros

#### Área de estudio

Los muestreos fueron realizados en siete sitios cercanos a la ribera del río correspondiente a la parte media y baja del Cesar, las cuales presentan características de vegetación de bosque Seco tropical y Matorral espinosos. En los sitios de estudio se encontraron distintas problemáticas como la sobre explotación de recursos hídricos, vertimientos de residuos sólidos, sobre extracción de madera y arena, cultivos masivos, ganadería extensiva que afectan tanto a los bosques como los organismos que habitan en ellos; estos procesos de degradación de hábitat alteran principalmente la estructura vegetal y la fauna asociada a ella como los lepidópteros (Hesperioidea y Papilionoidea) un grupo muy sensible a los cambios ambientales.

#### Diseño de Colecta

Los muestreos se realizaron entre los meses de enero a septiembre del año 2011. En los cuales se hicieron cinco muestreos cada muestreo se llevo a cabo durante 14 días (Dos días por cada sitio) y en cada sitio se trazaron dos transectos de 400 m aproximadamente, uno localizado en un parche de bosque y otro en una zona de potrero. Para los métodos de captura se utilizaron dos tipos de colecta: un método Indirecto con trampas van somer-Rydon cebados con frutas en descomposición con cerveza; este tipo de trampa fue utilizada en los parches de bosque con alturas entre los dos y cinco metros sobre el suelo y con una disposición de duración de 24 horas (Figura 1-10). El método directo consistió en la utilización de una jama entomológica la cual fué utilizada en los dos transectos (Figura 1-10). Se utilizó el método de “Pinching” o sujeción torácica que consiste en presionar el tórax del espécimen colectado para la inmovilización y muerte del mismo (Neild, 1996); posteriormente fue depositado en un sobre de papel cebolla y fueron anotadas los respectivos datos de captura.



Figura 1-10. Método de Captura Indirecto con Van Somer-Rydon (Izquierdo) y Captura Directa con Jama Entomológica (Derecha).



Los especímenes se transportaron en cajas plásticas con silica-gel para evitar su descomposición y en el laboratorio de la universidad del Atlántico fueron montados según la metodología descrita en Borrór y colaboradores (1989), mediante el uso de alfileres entomológicos y finalmente fueron identificados en el laboratorio con las claves taxonómicas de Devries (1987 y 1997), Vélez y Salazar (1991), Le Crom y colaboradores (2002 y 2004), Chacón y Montero (2007), el catálogo ilustrado del IAvH (2007) y la utilización de las imágenes de la página web Butterflies of America.

### **Análisis de Datos**

Se determinó la variación espacial, temporal de la riqueza y abundancia; para determinar la diversidad de especies en cada uno de los sitios y entre los transeptos (Interior de Bosque y Potreros) se aplicó el índice de Shannon, Simpson, diversidad alfa de Fisher (Fisher *et al.*, 1943) y la serie de números de Hill (N1 y N2) descritos por Moreno (2001) y Villareal y colaboradores (2004).

Para determinar la distribución espacial de las especies se realizó un análisis de agrupamiento por sitio y hábitat, con base a una matriz al índice de Bray- Curtis. Se realizó una curva de acumulación de especies con los estimadores Chao 2 y Bootstrap para determinar la eficiencia de los muestreos en el área de estudio y la aparición de “especies únicas” Singleton y duplicadas. Estos análisis se realizaron con el programa EstimateS 8.2 (Colwell, 2009). Adicionalmente se presenta una lista de especies de mariposas que se encontraron en el interior del Bosque y en las zonas de potreros con el fin de comparar la composición y riqueza registradas en los sitios de muestreos.



### 1.2.7. Coleópteros coprófagos (Scarabaeinae)

#### Método de muestreo y técnica de captura.

Se realizó un muestreo cada dos meses en cada sitio, se realizó un transecto lineal; donde se marcaran ocho puntos distanciados 50m, en cada punto se instaló una trampa “pitfall” (trampa de caída; Figura 1-11) con modificaciones según Martínez y colaboradores (2009). Las trampas fueron cebadas con excremento humano envuelto en gasa, enterradas hasta el borde del recipiente plástico a ras de suelo y se le adicionaron un cuarto de su capacidad de solución para preservar. Las trampas permanecieron en campo durante 24 horas. Las muestras recolectadas fueron lavadas y preservadas en alcohol al 70%, rotuladas con los datos de localidad, número de trampa y fecha; teniendo en cuenta las sugerencias de Villareal y colaboradores (2006). En el laboratorio se limpiaron las muestras para ser preservadas en envases de vidrio para su posterior determinación y montaje en la colección de referencia de la universidad del Atlántico.



Figura 1-11. Trampa de caída instalada en campo.

Las determinaciones se realizaron con las claves taxonómicas propuestas por Medina y Lopera (2000), Vaz de Melo y Edmonds (2006) hasta el nivel de género y hasta especies con la claves de Kohlmann y Solis (1997), Vitolo (2000), Génier (2009), González *et al.* (2009) y Escobar (2010). La confirmación de las especies se realizara con la colección entomológica del Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt (IAvH) y la colección de referencia de la Universidad del Atlántico (UARC). Los ejemplares de cada especie fueron depositados en la colección de referencia de la Universidad del Atlántico (UARC) y la colección entomológica del Instituto de Investigaciones Alexander von Humboldt (IAvH).

#### Análisis de los datos

La riqueza se determinó como el número de especie por trampa, estación y hábitats. La abundancia como el número de individuos recolectados. Para estimar qué representativos fueron los muestreos en las estaciones se realizó una curva de acumulación de especies

con los estimadores ICE y Chao 2. Los cálculos se realizaron con el programa EstimateS 8.2 (Colwell, 2009). La diversidad o dominancia se determinó calculando las series de los números de Hill (N1 y N2) usando el programa PRIMER 6.0 (Clarke y Warwick, 2001). Estos índices son utilizados y recomendados por varios autores, debido a su alta capacidad discriminatoria, baja sensibilidad al tamaño de la muestra y reflejan tanto especies abundantes (N1), como muy abundantes (N2). Los coleópteros capturados fueron agrupados según la relocalización del alimento, teniendo en cuenta lo propuesto por Halffter y Favila (1993), Favila y Halffter (1997) en tres grupos: rodadores (**R**), cavadores (**C**) y residentes o endocópidos (**E**).

Con el fin de estimar si hay diferencia en la estructura de la comunidad entre las estaciones de muestreos se realizó un ANOSIM (Análisis de similaridades) con diseño a una vía (Clarke y Warwick, 2001). Previamente, los datos de abundancia se ordenaron con base en el índice de similaridad de Bray-Curtis, transformando las abundancias a logaritmo  $\ln(x+1)$  para contrarrestar el peso de las especies más dominantes, pero sin disminuir su importancia (Clarke y Warwick, 2001). Adicional a esto se realizó una curva de rango de abundancia para determinar que especies dominan en cada hábitat. Para este análisis se tuvieron en cuenta las especies que aportaron más del 10% de la abundancia total. El análisis se realizó con el programa PRIMER 6.0 (Clarke y Warwick, 2001).

### 1.2.8. Herpetofauna.

Para la recolección de información sobre la herpetofauna se realizaron recorridos diurnos de 8 am a 12 m y de 3 pm a 6 pm; recorridos nocturnos de 7 a 12 pm, siguiendo el método de muestreo a corto plazo por medio de encuentros visuales propuesta por Heyer y colaboradores (1994), se recopiló los datos directos a través del conteo de individuos avistados (Visual Encounter Surveys -VES), y de las especies que se capturaron mediante la utilización de ganchos Herpetológicos (Figura 1-12).

Las muestras que no se identificaron en el campo fueron transportadas en bolsas de tela para su posterior identificación.



Figura 1-12. Muestreo de campo de la herpetofauna asociada a las riveras del río Cesar.

### 1.2.9. Aves.

#### Diversidad de especies.

Para la estimación de la diversidad de especies de la cuenca media y baja del río Cesar, se utilizó la combinación de los siguientes métodos propuestos por Ralph y colaboradores (1996):

**Métodos de transeptos en franjas:** Este método consistió en registrar las aves detectadas a lo largo de transeptos ubicados en el área de estudio. El censo se llevó a cabo en dos transeptos de línea recta de aproximadamente 1 kilómetro de longitud (Área Abierta y Bosque Ripario), donde se registró todas las aves avistadas en ese trayecto.

**Censo de búsqueda intensiva:** Este método consistió en realizar caminatas sobre senderos que pasan de forma estratégica sobre diferentes hábitats, por lo consiguiente el observador pudo movilizarse en busca del ave cuando la densidad del follaje dificultó la identificación o cuando cantos o llamados no resultaron familiares.

**Redes de niebla:** Se utilizó para capturar aves y confirmar su estatus sistemático (Figura 1-13). Para ello se ubicaron de forma estratégica 2 redes de niebla de 12m de longitud por 2m de ancho y 30mm de ojo de malla y se registró las coordenadas donde fue instalada la red de niebla.

Las aves capturadas fueron confirmadas con claves actualizadas determinando su estatus sistemático y se liberaron inmediatamente en el sitio de captura.



Figura 1-13. Red de niebla ubicada en Zona abierta de la estación Puente salguero.

Estratos verticales.

Se realizaron anotaciones y se determinó los estratos verticales donde fueron observadas las especies de aves de la cuenca media y baja del río Cesar, los cuales fueron definidos por los observadores después de una visita preliminar de la zona, para estos análisis no se tuvieron en cuenta los registros auditivos y las capturas en red, en total se establecieron 3 estratos verticales en los dos hábitats estudiados (Tabla 1-10).

**Tabla 1-10. Estratos verticales en los dos hábitats estudiados.**

<b>Estratos</b>	<b>Bosque Ripario/Área Abierta</b>
Superior	Arboles - Sobrevolando
Medio	Arbustos - Matorrales
Bajo	Suelo – Espejo de agua

Para las observaciones se utilizaron binoculares marca Nikon con alcance de 10 X 50 (Figura 1-14). Los horarios de los muestreos estuvieron entre las 6:00 y 11:00 horas de la mañana. Se utilizó equipo fotográfico semi-profesional Cannon EO5 y bolsas de tela para el transporte de especies con dificultades taxonómicas.



**Figura 1-14. Binoculares Nikon 10 X 50 y G.P.S Garmin Etrex.**

### **Análisis estadístico.**

Para el tratamiento estadístico de la información se aplicaron técnicas de estadística descriptiva, de agrupación, gráficas y numéricas, por medio del software Excel 2007.

Se elaboró una curva de acumulación de especies con base al modelo de Clench a través de los programas estadísticos EstimateS v 7.5.2 y Statistica v 7.0.

Se determinó los índices de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y Simpson ( $1-\lambda$ ) por el medio del paquete estadístico Past v 2.04 (Paleontological Statistics Software Package).



### 1.2.10. Mamíferos.

Para la estimación de la diversidad de especies de mamíferos de la cuenca media y baja del río Cesar, se utilizó la combinación de las siguientes metodologías:

**Censo de búsqueda intensiva:** Se llevaron a cabo rastreos de indicios de mamíferos terrestres a lo largo de un recorrido con observaciones intensivas con la finalidad de abarcar todos los tipos de cobertura vegetal, que permitiera observaciones directas, pisadas o defecaciones.

**Redes de niebla:** Se utilizó para la captura de mamíferos voladores. Para ello se ubicaron estratégicamente buscando posibles rutas de desplazamiento de murciélagos; 2 redes de niebla de 12 m de longitud por 2 m de ancho y 30 mm de ojo de malla y se registró las coordenadas donde fue instalada la red de niebla (Figura 1-15).



Figura 1-15. Red de niebla con un murciélago atrapado en ella.

Los horarios de los muestreos estuvieron entre las 6:00 y 11:00 horas de la mañana para mamíferos terrestres, las redes de niebla fueron instaladas entre las 18:00 horas de la tarde hasta las 6:00 horas de la mañana siguiente. Se utilizó equipo guantes industriales, cámara canon EO5 y bolsas de tela para mamíferos voladores con dificultad taxonómica. Los individuos similares se liberaron en el sitio de captura.

#### **Análisis estadístico.**

Para el tratamiento estadístico de la información se aplicaron técnicas de estadística descriptiva, de agrupación, gráficas y numéricas, por medio del software Excel 2007.

Se elaboró una curva de acumulación de especies con base al modelo de Clench a través de los programas estadísticos EstimateS v 7.5.2 y Statistica v 7.0.



Se determinó los índices de Shannon-Wiener ( $H'$ ) y Simpson ( $1-\lambda$ ) por el medio del paquete estadístico Past v 2.04 (Paleontological Statistics Software Package).





### **1.2.11. Componente social.**

Se aplicó la metodología de observación libre en campo, en cada una de las diferentes poblaciones que hacen parte del área de influencia de la cuenca media y baja del río Cesar hasta la zona de inundación de influencia de la ciénaga de Zapatosa. Se aplicaron encuestas libres con la comunidad de pescadores, ganaderos, parceleros, paleros y los ladrilleros que laboran dentro del área de influencia del río Cesar; se realizaron reuniones con organizaciones base de estas comunidades. Se realizaron visitas a centros de salud y colegios para obtener información sobre la salud y el nivel escolar de las poblaciones de interés. También fueron consultadas y utilizadas las fuentes de información gubernamentales como el DANE, HIMAT, secretarías de salud y educación, entre otras.

## 2. Resultados.