

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA  
DEL RÍO SUCIO (REGIÓN PATÍA) Y SU RELACIÓN CON EL  
CAMBIO EN LAS COBERTURAS VEGETALES**

**EIMI JOHANA ANDUJAR IMBACHI  
MAGALY ASTRID HENAO MOSQUERA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
PROGRAMA DE BIOLOGÍA  
POPAYÁN  
2008**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LA MICROCUENCA  
DEL RÍO SUCIO (REGIÓN PATÍA) Y SU RELACIÓN CON EL  
CAMBIO EN LAS COBERTURAS VEGETALES**

**EIMI JOHANA ANDUJAR IMBACHI  
MAGALY ASTRID HENAO MOSQUERA**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de  
Biólogo

Director  
**LEONIDAS ZAMBRANO POLANCO, MSc**

Asesor  
**Biólogo. SAMIR JOAQUI DAZA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
PROGRAMA DE BIOLOGÍA  
POPAYÁN  
2008**

Nota de aceptación

---

---

---

---

Leonidas Zambrano Polanco (Mg).  
Director.

---

Apolinar Figueroa Casas (Ph. D).  
Jurado

---

José Beltrán (Mg).  
Jurado

Fecha de sustentación: Popayán, 20 de Mayo de 2008.

## DEDICATORIA

*“En la vida se tiene que ser como los árboles, con las raíces bien puestas en tierras propias pero siempre dispuestos al movimiento del viento”...*

Anónimo

A nuestros padres Juan Andujar y Elvia Imbachi; Tulio Cesar Henao y Estela Mosquera por todo su amor, confianza, esfuerzo y compañía.

A nuestros hermanos Juan Carlos, Lidia y Nilsa Andujar; Carlos y Jaime Andrés Henao, por su amistad, cariño y apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darnos la fuerza y el valor necesario para seguir adelante y cumplir con una de nuestras metas más deseadas.

A nuestros padres, hermanos y demás familiares, por su esfuerzo, colaboración y permanente compañía.

Leonidas Zambrano Mg. Docente del programa de Biología, Universidad del Cauca, Director del trabajo y Samir Joaqui, Asesor, por su amistad, enseñanzas, valiosos aportes y gestión para sacar adelante este trabajo.

A nuestros compañeros de carrera, por el entusiasmo, fuerza, espiritualidad, complicidad y por los mejores tiempos compartidos.

Profesores del departamento y especialmente a los jurados Apolinar Figueroa Casas Ph.D. y José Beltrán Mg. por su colaboración y aportes.

Maria Cristina Gallego y José Antonio Valverde, miembros del Grupo de Estudios Ambientales (GEA) y docentes de la Universidad del Cauca, por su amistad y valiosas orientaciones para nuestra formación profesional.

A cada uno de nuestros compañeros del énfasis de gestión ambiental, por todo su tiempo, esfuerzo y contribución durante el desarrollo del proyecto.

Carolina Caltrillón, Docente Departamento de Geografía, Universidad del Cauca, por sus conocimientos y cooperación.

A la señorita Gilma Mosquera, por su interés y gestión realizada y al Gerente del Acueducto Municipal “Emtambo”, Diego Salazar, por su confianza, cooperación y apoyo económico.

Cristian Sanabria, asistente de campo, por su gran amistad, protección y ayuda para la consecución de este objetivo.

Familia Sánchez Guerrero, por abrirnos las puertas de su corazón y brindarnos todo su apoyo, amor y los mejores deseos.

A nuestros amigos de corazón y demás personas que compartan esta alegría.

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	8
INTRODUCCIÓN	9
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
3. JUSTIFICACIÓN	12
4. OBJETIVOS	13
4.1 GENERAL	13
4.2 ESPECÍFICOS	13
5. MARCO TEORICO	14
5.1 CALIDAD DE AGUA.	14
<input type="checkbox"/> Métodos físicos y químicos	14
<input type="checkbox"/> Métodos biológicos	14
5.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) - MODELACIÓN ESPACIO-TEMPORAL.	17
<input type="checkbox"/> Teledetección.	18
<input type="checkbox"/> Imágenes satelitales.	18
5.3 EVALUACIÓN DE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS Y SU IMPACTO.	20
<input type="checkbox"/> Listas de Chequeo.	20
<input type="checkbox"/> Matriz de Influencias-Dependencias.	20
5. ANTECEDENTES	21
6. ÁREA DE ESTUDIO	23
7. METODOLOGÍA	26
7.1 MÉTODOS DE MUESTREO	26
7.1.1 Calidad de agua.	26
<input type="checkbox"/> Análisis físico-químicos.	27
<input type="checkbox"/> Uso del suelo y cobertura vegetal.	32
7.1.3. Evaluación de actividades antrópicas y su impacto.	34
7.2 ANÁLISIS DE DATOS	35
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
8.1 CALIDAD DEL AGUA	36
8.1.1 Caracterización de parámetros fisicoquímicos	36
8.1.2 Caracterización de los parámetros biológicos.	42
8.3 MORFOMETRÍA Y MODELACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA MICROCUENCA RIO SUCIO - PATIA.	65
8.3.1 Morfometría de la microcuenca	65
8.3.2 Modelación espacio-temporal	68

8.3.3 Cambios en las coberturas vegetales y su relación con la calidad del agua.	73
8.4 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)	73
8.4.1 Lista de chequeo.	73
8.4.2 Matriz de Influencia y Dependencia	77
8.4.3 Propuesta Ambiental.	78
9. CONCLUSIONES	88
10. RECOMENDACIONES	90
11. BIBLIOGRAFIA	91

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Geoposición de los cuatro sitios de muestreo sobre el río Sucio-Patía.	24
Tabla 2. Niveles de bioindicación de las familias de macroinvertebrados acuáticos y su respectiva puntuación.	29
Tabla 3. Niveles de bioindicación de las familias de macroinvertebrados acuáticos y su respectiva puntuación.	30
Tabla 4. Clases de forma.	32
Tabla 5. Herramientas y procesos asociados al SIG para el análisis multitemporal de la cobertura vegetal.	34
Tabla 6. Índices de diversidad Shannon – Weaver por sitio de muestreo.	52
Tabla 7. Índice de calidad BMWP para cada sitio de muestreo en la microcuenca río Sucio - Patía.	55
Tabla 8. Parámetros morfométricos de la microcuenca río Sucio-Patía.	65
Tabla 9. Coberturas vegetales identificadas para el año 1989 en la microcuenca río Sucio a partir de imágenes LANDSAT (453).	68
Tabla 10. Coberturas vegetales identificadas para el año 2003 en la microcuenca río Sucio a partir de imágenes LANDSAT (453).	68
Tabla 11. Cambio porcentual y cambio medio anual de las coberturas vegetales identificadas para el periodo 1989 - 2003 en la microcuenca río Sucio a partir de imágenes LANDSAT (453).	72
Tabla 12. Prueba de Chi-cuadrado para los cambios de cobertura vegetal de las imágenes satelitales.	72

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Variables Físico químicas de la microcuenca río Sucio – Patía.	37
Cuadro 2. Macroinvertebrados acuáticos colectados por sitios en la microcuenca río Sucio Patía, parte alta.	44
Cuadro 3. Macroinvertebrados acuáticos colectados por sitios en la microcuenca río Sucio Patía, parte media.	49
Cuadro 4. Determinación y ponderación de variables en la microcuenca río Sucio Patía.	75
Cuadro 5. Determinación de variables influyentes y dependientes en la microcuenca río Sucio.	79
Cuadro 6. Recuperación de la cobertura vegetal en la microcuenca río Sucio-Patía.	80
Cuadro 7. Mejoramiento de la cantidad y calidad del agua para la microcuenca del río Sucio-Patía.	82
Cuadro 8. Mejoramiento del paisaje para la microcuenca río Sucio- Patía.	84
Cuadro 9. Educación ambiental para los pobladores de la microcuenca río Sucio-Patía.	86

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de El Tambo con la ubicación del río Sucio - región Patía.	23
Figura 2. Sitios de muestreo, microcuenca río Sucio-Patía.	25
Figura 3. Esquema metodológico.	26
Figura 4. Interacción de la turbiedad por época.	36
Figura 5. Gráficos de gases disueltos	38
Figura 6. Interacción del nitrógeno como amonio y nitratos.	39
Figura 7. Gráfico de variación de la conductividad y concentración de cloruros.	39
Figura 8. Gráfico para la variación del potencial de hidrógeno.	40
Figura 9. Interacción de sulfatos por sitios.	40
Figura 10. Fluctuaciones en la carga de fosfatos.	41
Figura 11. Órdenes de MAE y otros, encontrados en cada sitio de muestreo.	42
Figura 12. Sitio 1: muestreo en la hacienda Carpinterías.	43
Figura 13. Órdenes de MAE, encontrados en el sitio 1: Hacienda Carpinterías.	46
Figura 14. Sitio 2: muestreo en la Bocatoma.	47
Figura 15. Órdenes de MAE, encontrados en el sitio 2: Bocatoma.	47
Figura 16. Sitio 3: muestreo antes del afluente.	48
Figura 17. Órdenes de MAE, encontrados en el sitio 3: Antes del afluente.	51
Figura 18. Sitio 4: muestreo después del afluente.	51
Figura 19. Órdenes de MAE, encontrados en el sitio 4: después del afluente.	52
Figura 20. Variaciones del Índice de Diversidad Shannon-Weaver durante tres épocas del año.	53
Figura 21. Variación promedio del Índice de diversidad Shannon-Weaver en los cuatro sitios de muestreo.	54
Figura 22. Variaciones del Índice BMWP durante tres épocas del año.	56
Figura 23. Variación promedio del Índice de calidad BMWP en los cuatro sitios de muestreo.	57
Figura 24. Curva regional de acumulación de especies.	58
Figura 25. Gráfico de ACP para variables físico-químicas vs Índices biológicos para el sitio 1: Carpinterías.	59
Figura 26. Gráfico de ACP para variables físico-químicas vs Índices biológicos para el sitio 2: Bocatoma.	60
Figura 27. Gráfico de ACP para variables físico-químicas vs. Índices biológicos para el sitio 3: antes del afluente.	61
Figura 28. Gráfico de ACP para variables físico-químicas vs. Índices biológicos para el sitio 4: después del afluente.	62
Figura 29. Porcentaje de los órdenes encontrados con un mayor numero de individuos en parte alta y media de la cuenca.	63

Figura 30. Porcentaje de los órdenes encontrados con un mayor numero de individuos	63
Figura 31. Porcentaje de los órdenes encontrados con un mayor numero de individuos por época de muestreo.	64
Figura 32. Perfil longitudinal de la microcuenca del río Sucio-Región Patía.	66
Figura 33. Jerarquización de la red de drenaje de la microcuenca río Sucio-Patía.	67
Figura 34. Cambios en las coberturas vegetales y áreas ocupadas para los años 1989 y 2003.	69
Figura 35. Mapa de Coberturas vegetales identificadas para el año 1989 en la microcuenca río Sucio-Patía.	70
Figura 36. Mapa de Coberturas vegetales identificadas para el año 2003 en la microcuenca río Sucio-Patía.	71
Figura 37. Plano de influencia y dependencia.	77

## LISTA DE ANEXOS

	Página.
ANEXO 1. CONDICIONES CLIMATICAS.	96
ANEXO 2. COLIFORMES TOTALES Y FECALES EN LA MICROUENCA RIO SUCIO-PATIA.	98
ANEXO 3. FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS ENCONTRADOS EN LA MICROCUENCA RÍO SUCIO-PATÍA	100

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en la microcuenca del río Sucio-Patía, en el municipio de El Tambo, departamento del Cauca. Los componentes que conforman este trabajo son: análisis de la calidad del agua, modelación espacio temporal y evaluación ambiental. Los registros se obtuvieron en 4 sitios de muestreo, dos en la parte alta de la microcuenca (Carpinterías y Bocatoma) y dos en la parte media (antes y después del afluente-quebrada Magines), donde cada uno se caracterizó según parámetros fisicoquímicos y biológicos durante 6 meses, delimitados por épocas de invierno, transición y verano.

Los resultados indican que las aguas correspondientes a la parte alta y media de la microcuenca son oligotróficas y de buena calidad según parámetros biológicos como el BMWP, resultados que estuvieron dados por el estudio de los macroinvertebrados acuáticos encontrados en la zona, puesto que fue posible identificar 4 Phylum, 14 órdenes, 40 familias y 59 géneros, para un total de 5533 individuos capturados, dentro de los cuales la mayor frecuencia poblacional la presentaron Trichoptera, Ephemeroptera y Odonata, mientras que Amphipoda, Haplotaxida y Basomatophora mostraron la más baja.

Además se presentaron incrementos en la turbiedad, conductividad y nutrientes para épocas de invierno y transición, debido al aumento en el arrastre de sedimentos y lavado de nutrientes del suelo, comportamiento que disminuye en épocas secas. El procesamiento y análisis de imágenes satelitales Landsat TM (1989-2003), condujo a la identificación de niveles de cambio en las coberturas vegetales presentes en la zona como: bosque natural, bosque secundario, bosque plantado, pastos y cultivos, donde el mayor incremento se presentó en bosque plantado y pastos. La evaluación ambiental identificó como actividades más influyentes la agricultura y ganadería, y como componentes susceptibles a las comunidades bióticas, calidad del agua y paisaje.

Los procesos de transformación de un ambiente natural responden a impactos generados por las actividades antrópicas como: deforestación, agricultura, ganadería y vertimientos, ejerciendo una serie de presiones sobre la microcuenca del río Sucio, que se manifiestan en la alteración y afectación de componentes principales, ya sea de forma directa o indirectamente, claro ejemplo, es el cambio en las coberturas vegetales y su efecto en la estabilidad del sistema, ya que al perder áreas boscosas se está dejando sin protección y regulación a muchos factores internos del sistema hídrico.

**Palabras claves:** coberturas, macroinvertebrados, fisicoquímica, calidad del agua, e impacto.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años el concepto de la calidad del agua ha ido cambiando de un enfoque fisicoquímico a otro más general que integra a la gran mayoría de los componentes del ecosistema acuático. En términos sanitarios por ejemplo, la legislación Colombiana define la calidad del agua como el conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias del recurso, cuya valoración depende en gran medida del uso que se le vaya a dar al recurso hídrico, ya que puede ser de tipo industrial, agrícola, pecuario o para consumo humano (Ministerio de Salud, 1998).

Los sistemas lóticos presentan gran sensibilidad a modificaciones o prácticas de índole antrópico que amenazan directamente la calidad de sus aguas. A través de los años, estos sistemas han sido usados generalmente como focos preferenciales para la concentración de poblaciones por sus tierras fértiles que facilitan prácticas agrícolas y además, sus aguas sirven como drenaje de desechos domésticos e industriales, generando impactos notables en el sistema de los cuales se pueden destacar: la eliminación de vegetación ribereña por tala y quema, contaminación del agua con productos agroquímicos por escorrentía y vertimientos de aguas residuales a los cauces derivados de la presión urbanística. En conjunto propician la desaparición o reducción de algunas especies de comunidades bióticas, alteran características fisicoquímicas y desequilibran parcial o totalmente el sistema.

Como consecuencia la mayoría de los ríos presentan graves problemas de degradación y contaminación, los cuales deben ser identificados, valorados y analizados, requiriendo medidas de gestión que favorezcan la conservación y protección de estos ecosistemas.

Por su parte, la cobertura vegetal en especial la de ribera, es un tipo de cobertura que está limitada en amplitud, ya que se encuentra bordeando las fuentes de agua o patrones de drenajes naturales, además es de vital importancia a la hora de evaluar la calidad del recurso hídrico. En un ecosistema fluvial, la cobertura vegetal mejora el comportamiento hidrológico de la cuenca, favorece el almacenamiento de agua, reduce daños por erosión en las márgenes y el depósito de sedimentos y partículas orgánicas, haciendo que la ribera actúe como zona tampón donde se produce la retención de escorrentías y sedimentos, favoreciendo la formación de refugios, el sombreado del agua y el aporte de materia orgánica, además de mejorar el paisaje y su papel en la creación de hábitats para la fauna. (González & García, 1998).

El presente estudio está encaminado hacia el análisis de la calidad del agua en la microcuenca del río Sucio-Patía, usando parámetros físico-químicos y biológicos

teniendo en cuenta la tensión antrópica ejercida sobre las coberturas vegetales de la región, así como las alteraciones que esto podría causar al recurso hídrico.

Todo esto, tanto los análisis como las observaciones se realizaron con el fin de perfilar y detectar condiciones que deben ser tenidas en cuenta para su aprovechamiento o bien para reportar el deterioro del ecosistema acuático. De igual forma se identificaron y analizaron algunas de las actividades antrópicas más relevantes que generaban algún tipo de problemáticas ambientales relacionadas con la dinámica de la microcuenca.

Por su parte, la modelación espacio-temporal permitió observar cambios a nivel de cobertura vegetal en un periodo de tiempo de 14 años aproximadamente (1989 - 2003), gracias al procesamiento de imágenes satelitales LANDSAT TM y registro de puntos georreferenciados en campo; de igual manera se realizaron mapas temáticos referentes al uso del suelo y a la morfometría de la microcuenca, gracias a la implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y digitalización de cartografía de la zona.

Además toda la información generada y recopilada servirá como punto de referencia a otros trabajos encaminados al estudio del sistema hídrico, igualmente los resultados obtenidos serán ingresados al Sistema de Información Regional sobre el Agua "SIRA", desarrollado por el grupo de estudios ambientales "GEA" como mecanismo de planificación y gestión integral del recurso hídrico en el sur occidente colombiano y de difusión y apropiación social para la región.

## 2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los graves problemas hidrológicos de la microcuenca río Sucio-Patía, son generados principalmente por la presión continua de las actividades antrópicas, tales como: cambio en el uso del suelo, el cual se manifiesta en la alteración del paisaje y en la pérdida de cobertura vegetal sobre las áreas de drenaje, que conllevan al deterioro en la calidad del agua por vertimiento de aguas servidas y residuos agroquímicos utilizados en los cultivos agrícolas.

De igual manera, actividades como la explotación forestal, producción agrícola y ganadería extensiva, acarrean una serie de alteraciones en relación a la calidad y cantidad del agua, afectando no sólo la dinámica de los demás recursos naturales, sino también a las personas de la región en cuanto a que se pone en riesgo la calidad del recurso para el consumo humano, pues este río abastece al acueducto de la cabecera municipal (EMTAMBO) y a dos veredales (Chisquío y Pandiguando), además, también se producen cambios en el ciclo hidrológico y modificaciones que se expresan tanto en tiempo como en espacio.

Por todo lo anterior, se hace necesaria la aplicación de metodologías y herramientas que permitan evaluar y analizar de manera integral la calidad del agua, así como las diferentes problemáticas presentes en la microcuenca, logrando de esta manera la creación de pautas encaminadas hacia una optimización, conservación y sostenibilidad del recurso hídrico, como precedente a una formulación de programas y proyectos orientados al ordenamiento y gestión ambiental de la microcuenca, donde la participación comunitaria juega un papel relevante en la consecución de dichos planteamientos.

### 3. JUSTIFICACIÓN

La microcuenca del río Sucio-Patía es fuente de abastecimiento de tres acueductos, “EMTAMBO” para la cabecera municipal, “Chisquío y Pandiguando” para las veredas cercanas, representando una fuente hídrica de gran importancia para la población de El Tambo. Algunos de los problemas más significativos que afectan directamente las fuentes hídricas es la escasa cobertura vegetal y el mal uso del suelo en las áreas de drenaje, presentando un nivel de intervención importante, debido a la influencia de actividades antrópicas como la tala, la quema, la agricultura y la ganadería, que son actividades para el sustento básico de la población en la región, lo cual contribuye a la pérdida de vegetación nativa y diversidad biótica, así como alteraciones fisicoquímicas del agua.

Las actividades antrópicas determinan aspectos importantes en la calidad y cantidad del agua, generando un alto riesgo en la conservación y protección de la microcuenca; este es el caso del río Sucio que se ha constituido como uno de los flujos de agua más importantes de la región, por tal motivo la comunidad y el sistema de abastecimiento municipal requiere de estudios que ayuden a identificar y analizar componentes que estén o puedan llegar a comprometer seriamente la calidad del recurso y del servicio de abastecimiento por parte del acueducto.

Por tanto, se hace necesaria la medición e interpretación de variables como las fisicoquímicas y biológicas en función de la calidad del agua, la evaluación de actividades antrópicas y la elaboración de mapas temáticos con la utilización de imágenes satelitales e información del área de estudio, conformando un Sistema de Información Geográfica (SIG) que permita la categorización del uso del suelo, así como la evaluación de la pérdida de cobertura vegetal, material de vital importancia a la hora de evaluar y tener una idea más integral de la situación en que se encuentra el sistema estudiado.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 GENERAL**

Determinar la calidad del agua de la microcuenca del río Sucio (Región Patía) mediante parámetros fisicoquímicos y biológicos y su relación con el cambio en las coberturas vegetales.

### **4.2 ESPECÍFICOS**

- Evaluar el estado del sistema hídrico a través de análisis fisicoquímicos y biológicos.
- Analizar los cambios de la cobertura vegetal a través de modelaciones de índole espacial y temporal en la zona alta, media y baja de la microcuenca.
- Aportar información que permita generar alternativas de gestión sobre los problemas ambientales identificados en el recurso hídrico.

## 5. MARCO TEORICO

### 5.1 CALIDAD DE AGUA.

El ecosistema acuático constituye un área donde interactúan en un proceso permanente y dinámico el agua con los sistemas físicos y bióticos. Los cambios en el uso de los recursos naturales, principalmente el suelo, acarrearán aguas arriba una modificación del ciclo hidrológico dentro de la cuenca y aguas abajo en cantidad y calidad. Por ello son espacios propicios para implementar actividades de manejo ambiental (Watershed Management, 2001).

Los usos que se le pueden dar al agua son muy diversos, así como pueden ser muy variadas las características de calidad idóneas para cada uno de ellos, por ejemplo, ligeras variaciones en el contenido de algunas de las sustancias presentes en el agua, pueden variar sensiblemente sus propiedades y hasta convertirla en no apta, para determinados usos. Por ende la toma de datos de una serie de parámetros físico-químicos se hace indispensable tanto para conocer la calidad intrínseca del agua como para determinar la afectación que un vertimiento, producto de acciones antrópicas pueda causar sobre un cuerpo de agua, sin embargo en los últimos años se ha venido implementando la utilización de las comunidades acuáticas como una herramienta fundamental a la hora de evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos (Roldan, 2003).

De esta manera este tipo de herramientas físico-químicas y biológicas forman un complemento interesante a la hora de obtener buenos resultados, aunque ambos métodos presentan algunas ventajas y desventajas como las mencionadas por Prat (1998):

- **Métodos físicos y químicos**

**Ventajas.** Dentro de estas se encuentran los cambios temporales detallados, determinación precisa de la contaminación y la fácil estandarización.

**Desventajas.** Posible contaminación de las muestras, la no integración temporal y los elevados costos.

- **Métodos biológicos**

**Ventajas.** Este tipo de métodos tienen la ventaja de hacer integraciones espaciales y temporales, estudios de bioacumulación, permiten medir la degradación del hábitat y son capaces de dar respuesta a contaminaciones crónicas y puntuales.

**Desventajas.** Presentan sensibilidad temporal baja, dificultad de cuantificación y estandarización.

Algunos de los parámetros físicos y químicos fundamentales que se consideran como indicadores básicos de calidad de aguas naturales según Vásquez, (2001) son:

**Turbiedad.** Este parámetro se relaciona con la cantidad de sólidos suspendidos que inciden directamente en la transparencia del agua impidiendo así la penetración lumínica, de igual manera afecta el flujo de energía y los niveles de productividad dentro del sistema. Su medición está dada en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) y su rango máximo para aguas naturales es menor a 200 UNT.

**Gases disueltos** Las concentraciones de oxígeno ( $O_2$ ) y dióxido carbónico ( $CO_2$ ) disueltos varían permanentemente, debido a los procesos físicos, químicos y biológicos que se dan continuamente en el sistema hídrico; las variaciones de oxígeno disuelto se presentan en términos de porcentaje de saturación, obtenido de la relación entre la concentración de oxígeno (mg/l) previamente ajustada con base al factor (dado por la presión barométrica y altura sobre el nivel del mar) y la temperatura hídrica; permitiendo observar de una mejor manera la dinámica que se establece en el sistema (Porcentaje de saturación de Oxígeno entre 70 y 120% como óptimos para sistemas hídricos).

Por su parte las variaciones del  $CO_2$ , responden a una serie de reacciones como la descomposición de materia orgánica, arrastre del  $CO_2$  atmosférico, procesos fotosintéticos y de respiración en animales y plantas, donde algunas de estas reacciones pueden llegar a generar valores extremos (valores superiores a 20 mg/l) se consideran limitantes de la biota acuática.

**Nitrógeno.** El nitrógeno se puede encontrar en las aguas de acuerdo a su ciclo, el cual inicia con el nitrógeno orgánico que pasa a ser amoníaco ( $NH_4$ ) gracias a su descomposición, en condiciones aeróbicas el nitrógeno amoniacal es oxidado en nitritos ( $NO_2^-$ ) y a su vez estos en nitratos ( $NO_3^-$ ), siendo indicadores químicos de procesos de degradación de materia orgánica, los niveles limitantes de amonio máximo 0.5 mg/l y de nitratos para nuestros sistemas hídricos se dan entre 0.3 y 0.5 mg/l.

**Conductividad y cloruros.** La conductividad permite medir la cantidad de iones que se encuentra en el agua, y se relaciona de manera inversa con la diversidad biótica, a baja concentraciones de conductividad permisibles en las aguas de la microcuenca, se presenta un sistema ecológico en óptimo estado, que permite la presencia de una gran diversidad de macroinvertebrados.

Los cloruros se encuentran en un cuerpo de agua, principalmente en forma de sales de sodio (NaCl), de potasio (KCl) y de calcio (CaCl<sub>2</sub>), incidiendo directamente sobre la salinidad de las aguas, en sistemas no alterados las concentraciones de cloruros suelen estar por debajo de los 10 mg/l.

**Potencial de hidrogeno (pH).** El pH es una medida de la concentración de iones H<sup>+</sup> en el agua. Un valor de 7 indica pH neutro; valores mayores representan alcalinidad y valores menores indican acidez. En aguas naturales el pH generalmente se debe a las reacciones de CO<sub>2</sub>, que proviene de la atmósfera y de la respiración de las plantas. Valores de pH menores que 4.8 y mayores de 9.2 se consideran como límites tóxicos.

**Sulfatos.** En aguas naturales se encuentran concentraciones desde los 2 a 10 mg/l, sus fuentes principales son las aguas lluvias y sustratos que contengan sulfato de calcio (CaSO<sub>4</sub>) y sulfuro de hierro (FeS<sub>2</sub>- pirita).

**Fosfatos.** Los fosfatos son formados esencialmente por fósforo orgánico disuelto, que sirven como nutrientes para la estructura y funciones celulares de los microorganismos, el vertimiento de las aguas residuales domésticas y el uso excesivo de abonos en la agricultura son las fuentes principales de fósforo y nitrógeno y por tanto de la eutrofización de los ecosistemas acuáticos

Por su parte, dentro de los métodos biológicos se utilizan una serie de grupos bióticos, mediante el análisis de la estructura de la comunidad a la cual pertenecen, el cálculo de los índices de diversidad homologables a índices de calidad, aplicación del concepto de bioindicación o sometiendo organismos vivos a ensayos de laboratorio, entre otras metodologías.

Estos grupos bióticos bien pueden ser, bacterias, algas, macrófitas, protozoos o peces; sin embargo, actualmente la utilización de las comunidades de macroinvertebrados en la evaluación de calidad de aguas se ha ido consolidando cada vez con más fuerza, dichas comunidades son testigos de las condiciones fisicoquímicas del ecosistema y están adaptadas evolutivamente a determinadas características ambientales presentando unos límites de tolerancia a las alteraciones de las mismas (Roldán, 1988). Algunos de los índices de calidad y diversidad mas utilizados son los siguientes:

- **Índice de diversidad Shannon-Weaver.** En los ecosistemas acuáticos, la biodiversidad es quizás el principal parámetro para medir el efecto directo e indirecto de las actividades humanas. Cuando un recurso hídrico es afectado por una fuente de contaminación o una modificación en el caudal, se alteran las condiciones físico-químicas y la alternativa de algunas especies sensibles es adaptarse o morir. Estos cambios en la calidad del agua producen en el medio a

largo plazo un aumento desproporcionado de unas pocas comunidades o el surgimiento de otras tolerantes u oportunistas (Serrato, 1999).

Alrededor de este tema se han desarrollado muchos índices para medir la diversidad, pero el más conocido y usado es el de Shannon - Weaver (1949), índice cuyos valores oscilan entre 0.0 y 5.0. Es importante destacar que en algunas ocasiones una baja diversidad no siempre es indicadora de contaminación o alteración, pues en algunos casos es la carencia de nutrientes en el agua y no algún tipo de alteración de origen antrópico lo que genera dicha condición, por lo que se recomienda la realización de otros tipos de análisis (Zamora, 1996).

- **Índice de calidad BMWP.** El Biological Monitoring Working Party o Sistema para la determinación del índice de monitoreo biológico, es un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua utilizando los organismos macroinvertebrados como bioindicadores. Uno de los aspectos más importantes para las entidades encargadas del manejo de las cuencas hidrográficas es la utilización de índices de calidad ambiental que incluyan no solo parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, sino también variables biológicas que suministren información en el análisis e interpretación de los diferentes factores que inciden en la calidad del agua, puesto que los gradientes ambientales dentro de un sistema se encuentran estrechamente relacionados con la estructura y distribución de ciertas comunidades de organismos que los habitan, permitiendo mediante su presencia llegar a predecir el estado de perturbación del sistema en cuestión (Zúñiga *et al*, 1993). Es así como la implementación de índices como los del BMWP, permiten establecer la calidad y las características del agua fundamentado en la bioindicación.

## **5.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) - MODELACIÓN ESPACIO-TEMPORAL.**

Según Parra *et al*. (1997), un Sistema de Información Geográfico, es un sistema computacional que utiliza información de una localización, direcciones, zona postal, sector censal o coordenadas de latitud y longitud para realizar análisis de la información consignada en un mapa. Este sistema presenta ventajas como la de almacenar y manipular la información geográfica de una manera eficiente, así como la de realizar análisis y modelar fenómenos geográficos.

Principalmente un SIG cuenta con seis tareas esenciales tales como: a) Entrada de datos, que consiste generalmente en el ingreso de la información, b) Manipulación, puesto que algunos datos necesarios para un SIG deben ser transformados en diversas formas de tal manera, que sean compatibles con el sistema; c) Administración, por lo general, los proyectos que tengan como base el SIG, se deben almacenar, organizar y administrar los datos, manteniendo de esta

manera la integridad de los mismos; d) Búsqueda, permite la interacción de los usuarios con la información de el SIG; e) Análisis, es una gran fortaleza de el SIG, esta tarea se utiliza para el análisis de datos geográficos, y se subdivide en análisis de proximidad y de superposición, el primero radica en el manejo con el buffer para determinar la distancia entre objetos o puntos de interés según el estudio, y el segundo, radica en la integración de las diferentes capas de información generando así una nuevo tipo de información geográfica y de igual manera tabulando para establecer nuevas relaciones, entre los elementos geográficos, y por último f) Visualización, la cual se realiza por medio de gráficos o mapas, siendo estos últimos la forma más eficiente de almacenar y comunicar la información geográfica.

- **Teledetección.** Es una técnica empleada para obtener información a distancia sobre objetos y zonas de la superficie de la Tierra, basada esencialmente en el análisis de las imágenes obtenidas desde aeronaves y satélites preparados para ello. Las cámaras y otros instrumentos que registran esta información se denominan sensores, los cuales se encuentran instalados en plataformas espaciales.

Estos sistemas de teledetección se emplean de forma habitual para el reconocimiento, la confección de mapas y la observación de los recursos y el medio ambiente. Para el empleo de esta técnica, es necesario definir las particularidades del objeto u objetos observados según el punto de vista de quien realiza el análisis; sin embargo, si se hace abstracción de los diferentes puntos de vista que se puedan llegar a presentar, se podría considerar que la tierra es un objeto de observación que se expresa por medio del paisaje cuyos elementos visibles son de la cobertura y la geoforma y otros que no lo son, pero que constituyen la expresión no visible del paisaje, como la flora, la fauna, la hidrología, la litología, el clima, los suelos y el hombre.

- **Imágenes satelitales.** Las imágenes de satélite LANDSAT TM, permiten la manipulación digital con el fin de mejorar el contraste para resaltar diferentes tipos de superficies y proporcionar un estimativo de las características en el estudio cuantitativo geográfico y temático de una región en particular y almacenar esta información en una base de datos relacionales (Chuvieco, 2002).

Este tipo de imágenes, permiten obtener una visión general de la región de interés, permiten analizar de manera multitemporal la evolución de las unidades seleccionadas, efectuando de esta manera un análisis espectral. Por ende del análisis de las distintas combinaciones entre bandas se deduce una serie de cambios en el paisaje del sector estudiado.

- **Criterios visuales para la interpretación de imágenes satelitales.** Entre las pautas visuales manejadas en Teledetección espacial los criterios más utilizables según Bennema & Gelens (1996) son:

**Tono/color.** Definido como la variación discernible desde el blanco hasta el negro, por efecto del reflejo de la luz incidente sobre la superficie. El tono de gris puede variar como resultado de diferencias en cobertura vegetal, pendientes, sombras, condiciones de humedad y otras características de la superficie del suelo.

**Textura.** Es función de la rugosidad de la superficie del suelo, la cobertura vegetal o de ambos. Las diferencias entre tipos de coberturas vegetales dependen del tamaño y tipo de especies, del espaciamiento entre cultivos, así como de la heterogeneidad y densidad de la vegetación. La textura también depende de la escala de las fotografías.

**Patrón.** Es el arreglo de los objetos en un cierto orden o secuencia característica.

**Moteado.** Significa cubierto de manchas de tamaño y forma irregulares, que pueden ser de tono más oscuro o más claro que la superficie de fondo dominante.

**Contexto/asociación.** Se refiere a la localización de los elementos de interés y su relación con otros objetos reconocibles en la proximidad.

**Forma.** Aunque es una perspectiva de planta del objeto observado, es muy útil en la identificación de geoformas, dando así indicios para identificar rasgos.

- **Modelación espacio-temporal.** Las técnicas de análisis espaciotemporal son un instrumento que permite conocer la dinámica de cambio de las coberturas vegetales en un área determinada, estudiando y detectando los cambios ocurridos en dos periodos alejados de tiempo (Chuvienco, 1996), con imágenes de satélite o fotografías aéreas que cubran la misma área de interés mediante un procesador digital de imágenes. Los diferentes usos del suelo clasificados son posteriormente introducidos en el SIG para “cruzarlos” y de esta manera poder determinar las categorías de uso del suelo que han ido cambiado. El resultado es uno o varios mapas que muestran los cambios a nivel de coberturas vegetales o uso del suelo dados durante el periodo de tiempo establecido para dicho análisis.

- **Importancia de los SIG y su empleo en la gestión ambiental.** La tecnología SIG permite almacenar y manipular información usando geografía, permitiendo analizar patrones, relaciones y tendencias en la información, todo tendiente a contribuir a tomar decisiones adecuadas, además ayudan en el estudio de la distribución y monitoreo de recursos, tanto naturales como humanos, así como en la evaluación del impacto de las actividades humanas sobre el medio ambiente natural. De esta forma es factible contribuir a la planificación de actividades

destinadas a la preservación de los recursos naturales. Los SIG se convierten así en una herramienta tecnológica esencial para desarrollar procesos de gestión ambiental, ya que permite la integración de diferentes tipos y fuentes de información, logrando un cubrimiento integral de los diversos componentes de los ecosistemas.

### **5.3 EVALUACIÓN DE ACTIVIDADES ANTRÓPICAS Y SU IMPACTO.**

El impacto ambiental se conoce como un efecto producido por una acción antrópica sobre el medio ambiente, estos efectos pueden ser de índole positivo o negativo teniendo en cuenta aspectos tales como: lo social, económico, cultural, tecnológico y primordialmente el ecológico (Figuroa *et al*, 1998).

Cada día se hace más notoria y preocupante la presión ambiental existente sobre los recursos naturales, especialmente sobre los cuerpos de agua dulce. La sociedad es dinámica y cambiante y satisface sus necesidades de diferentes formas y la manera como se está haciendo uso de los recursos naturales está ocasionando serios efectos ambientales. Por ejemplo las actividades agrícolas y agropecuarias intensivas incluyendo el drenaje y uso de fertilizantes y pesticidas impactan al suelo y a los flujos de agua en calidad y cantidad, además promueven la transformación de coberturas vegetales naturales de forma intensa y extensa.

Para la identificación y evaluación de las principales actividades o prácticas de índole humano más relevantes, así como al impacto que estén provocando en el sistema se encuentran herramientas como:

- **Listas de Chequeo.** Permiten asociar toda una serie de componentes de forma global y a la vez específica, con un poder de visualización del problema muy útil. Se aplican para la identificación de los impactos en el medio natural, ayudando a la formación de ideas acerca de las variables que se utilizarán como insumo a la hora de realizar la evaluación y análisis cualitativo del sistema o de los sistemas en cuestión.
- **Matriz de Influencias-Dependencias.** Su objetivo principal es identificar de forma clara y concisa las situaciones más apremiantes presentes en la zona de estudio, situaciones que estén generando impactos a nivel biótico, abiótico y antropico.

Para lograr identificar dichas situaciones y generar un análisis cualitativo se requiere determinar un número de variables o indicadores dependientes e influyentes, para así centrar la atención del análisis y escoger indicadores representativos para la correspondiente evaluación de las problemáticas.

## 6. ANTECEDENTES

En la microcuenca río Sucio-Patía, se han desarrollado algunos estudios que permitieron caracterizar la microcuenca. En 1961, el Instituto Nacional de Fomento Municipal realizó un proyecto de captación y conducción para el acueducto de El Tambo Cauca. En este estudio se menciona al río Sucio como fuente de abastecimiento para el acueducto por ser uno de los principales afluentes del río Timbío, además es el más elevado de la zona sur-este de la cordillera Occidental en el cerro Munchique y proviene de un valle en “V” con escurrimiento rápido, en este tramo su cauce es torrencial, las crecientes por lo tanto son fuertes y de corta duración. Se reporta por las huellas en las márgenes un caudal de 4 m<sup>3</sup>/s. Además se realizaron estudios físico-químicos en periodos de alta y baja pluviosidad en la parte alta de la microcuenca.

Posteriormente en el año de 1979, el mismo Instituto desarrollo un estudio sobre la Conducción para el acueducto de El Tambo, en el cual se ratifica que la microcuenca del río Sucio posee un caudal suficiente en todas las épocas del año y que es un afluente de gran importancia para el suministro de agua en el Municipio de El Tambo e igualmente se efectuaron análisis físico-químicos en la zona alta.

La Universidad del Valle y CINARA (2004), desarrollaron un Análisis de sostenibilidad de la Red del acueducto EMTAMBO, donde se obtienen algunos datos y se llega a concluir que el sistema de abastecimiento atiende a 4.548 habitantes del casco urbano del municipio a pesar que sólo se tiene registro de 758 suscriptores; la fuente de agua del río Sucio-Patía presenta un alto grado de contaminación por actividades agrícolas, especialmente el cultivo de eucalipto y pino por parte de Cartón Colombia debido a sus fumigaciones y deforestación. Con respecto a la calidad de agua presenta un alto nivel microbiológico y es de vital importancia realizar programas y acciones tendientes al mejoramiento y mantenimiento de la cuenca, como son el cercamiento del área de la microcuenca, la reforestación con especies nativas que sirven para conservar el recurso hídrico.

De otro lado, en el Plan de Gestión Ambiental Regional del Cauca (PGAR, 2002) coordinado por la Subdirección de Planeación y Recursos Naturales, se logra adelantar una lectura de las problemáticas y potencialidades ambientales del departamento, a partir de la construcción de escenarios futuros, los cuales ayudaron a la identificación de las tendencias y alternativas ambientales y a la definición de nueve estrategias con sus respectivas líneas de acción en las diferentes ecorregiones estudiadas como: Valle Geográfico del río Cauca, Valle Geográfico del río Patía en la que el río Sucio es uno de los tributarios del río

Timbío y a su vez junta al Quilcacé formando el río Patía, por último se encuentra la Región Pacífico y Macizo Colombiano.

Referente al tema de la calidad del agua, en el departamento del Cauca se han venido desarrollando estudios que incluyen una serie de análisis físico-químicos y biológicos en ríos afectados por actividades antrópicas.

Zamora en 1996, realizó un trabajo sobre los niveles de alteración de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del río Molino por efecto de las actividades antrópicas y la contaminación doméstica, dicho estudio determina que el río Molino desde su nacimiento hasta la Bocatoma conserva aproximadamente un 70% de las características de un cuerpo natural, pero aguas mas abajo debido a los vertimientos de aguas residuales y desechos sólidos se presentan algunos efectos negativos sobre la biota acuática y el sistema hídrico en general.

Alzate (2002) desarrolla un estudio biofísico integrado de la microcuenca quebrada La Lajita (Cajete), donde se llega a la conclusión de que el uso del suelo no es el más apropiado ya que se han ubicado cultivos en zonas que deberían dejarse como espacios de protección de los nacimientos y de los cauces de los tributarios; algunos valores de parámetros físico-químicos como turbidez , pH y nitratos no están dentro de los rangos permisibles para el consumo humano en forma directa; la diversidad del cuerpo de agua en general es media lo cual es propio de aguas oligomesotróficas y con mediana alteración, mostrando que el sistema presenta bajos valores de densidad de población y de índices de diversidad, lo cual indica que la calidad del agua no es optima para el desarrollo de la biota acuática.

Por otra parte, Joaqui en el 2005, realizó un análisis multitemporal de las coberturas vegetales para ecotopos paramunos, caracterizando las intervenciones antrópicas en una ventana del Parque Nacional Natural Puracé. Este análisis evalúa el comportamiento de las coberturas vegetales espacio-temporalmente e identifica las alteraciones a las que estuvieron sometidas y sus causas para el sector San Rafael. El autor empleó imágenes satelitales LANDSAT-TM (1989-1999), fotografías aéreas de los años 1979-1987 y la elaboración de ortofotomapas, entre otros.

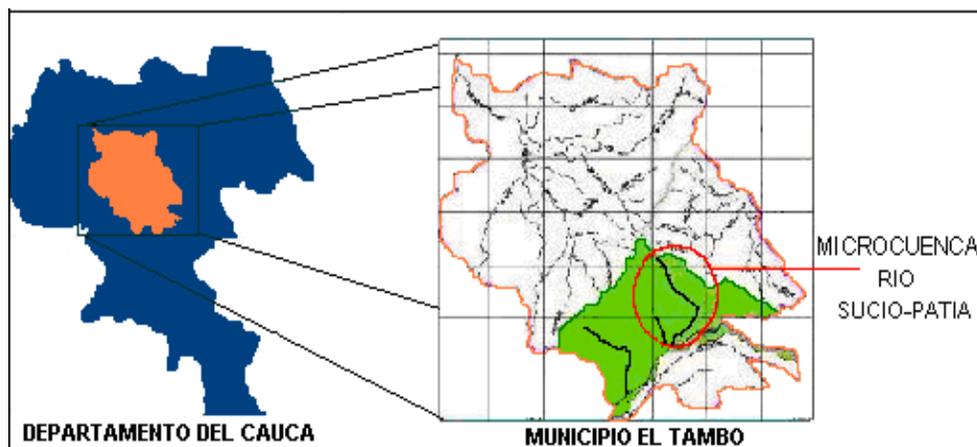
El presente estudio se encuentra soportado por un marco legal donde se establecen responsabilidades sobre la ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y se asignan funciones inherentes al control sobre las mismas, estipulado en el Decreto 1729 de 2002. Por lo que actualmente, el manejo de cuencas es reconocido como uno de los más importantes conceptos para llegar a un desarrollo sostenible, debido a que su ordenación y manejo se ha entendido como un proceso de planeación en el cual “los datos e información obtenidos se convierten en decisiones”.

## 7. ÁREA DE ESTUDIO

La microcuenca del río Sucio-Patía, se encuentra ubicada en el municipio de El Tambo (Figura 1), el cual está situado en la región Central del Departamento del Cauca y hacia el occidente de la ciudad de Popayán (N 2° 27' 15", W 76° 40' 04") con una superficie aproximada de 3280 Km<sup>2</sup>. Plan de ordenamiento Territorial (POT de El Tambo, 2002).

El río Sucio, nace en la reserva natural Munchique, cuenta con una extensión aproximadamente de 117.85 Km<sup>2</sup>, va desde los 2.400 hasta los 1.000 msnm, ésta microcuenca hace parte de la cuenca del río Timbío la cual a su vez pertenece a la región del río Patía, de allí la derivación de su nombre: río Sucio-Patía. En esta región podemos encontrar dos zonas de vida: Bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh – MB) Y Bosque muy húmedo premontano (bmh – PM) (Holdridge, 1987). Temperatura promedio 18.4 °C, Humedad Relativa. 80% y precipitación promedio anual 166.9 mm. (Federación Nacional de Cafeteros, 2003).

**Figura 1.** Mapa de El Tambo con la ubicación del río Sucio - región Patía.



Fuente: POT de El Tambo-Cauca, 2002

El Tambo, es un municipio especialmente agrícola, su economía se encuentra soportada en la producción de café, plátano, caña, maíz, frijol y chontaduro, entre los más importantes. Por otra parte, se encuentran la actividad forestal a cargo de la empresa Smurfit Cartón Colombia, la cual explota tierras propias y bajo el sistema de arrendamiento. Otras de las actividades importantes en el municipio son la piscicultura, la cual se practica de forma artesanal en la región, la ganadería

extensiva que hace que los pastos sean el tipo de cobertura predominante en la región, pues el bosque natural se ha visto limitado simplemente a las zonas más cercanas a los cursos de aguas superficiales, la minera y el turismo.

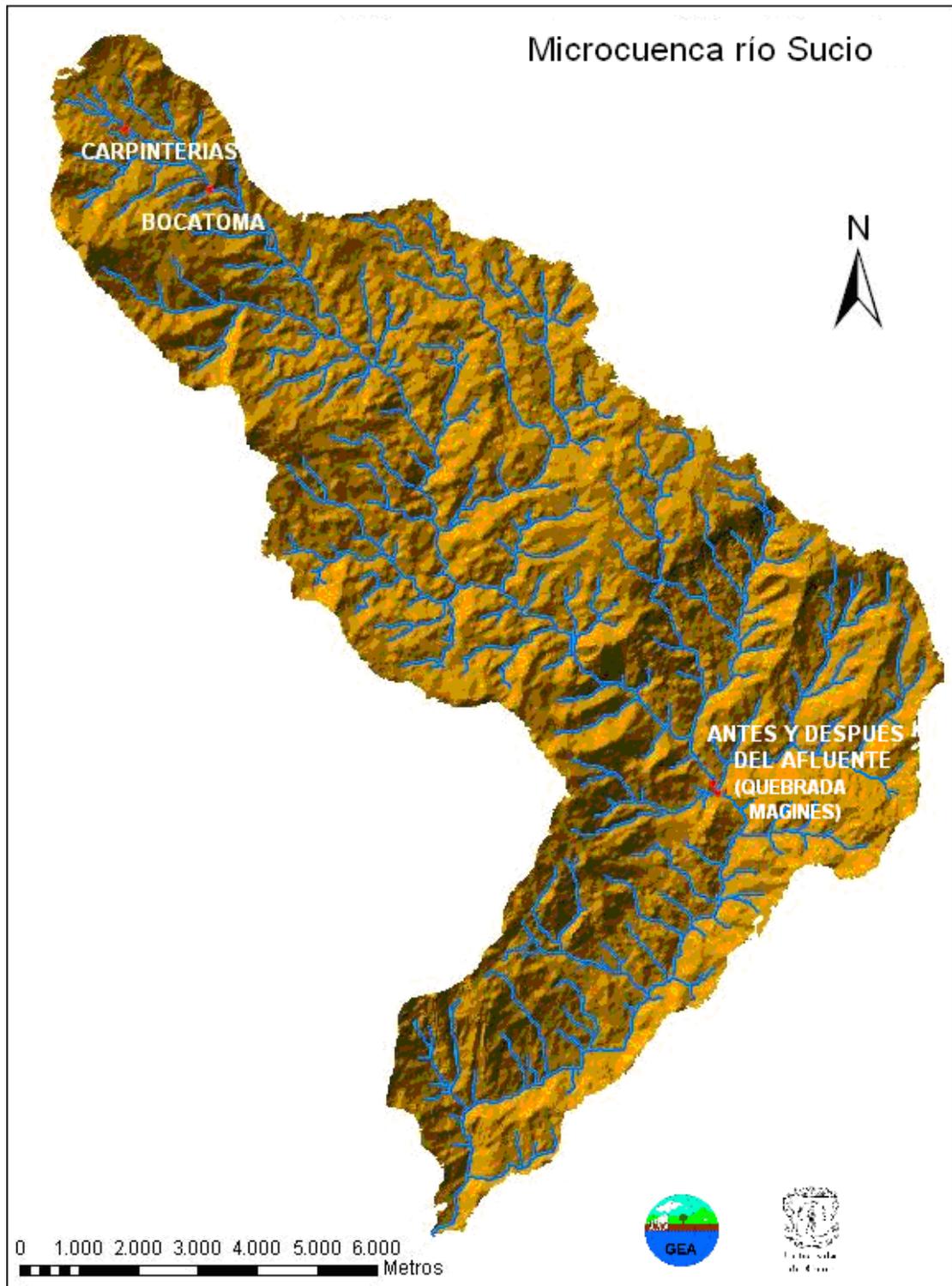
La región Patía presenta los mayores problemas ambientales por erosión, cuyos principales factores son la topografía (pendientes escarpadas a fuertemente escarpadas) y factores antrópicos como la ganadería y agricultura en suelos que son de vocación forestal. Algunas de las limitaciones más comunes de estos suelos son la poca extensión, presencia de horizontes superficiales por compactación de arcilla o por la presencia de piedra o arena (POT de El Tambo, 2002).

Se establecieron cuatro sitios de muestreo (Tabla 1), dos distribuidos en la parte alta (Hacienda Carpinterías y bocatoma) y dos en la parte media (antes y después de la quebrada Magines) de la microcuenca, donde cada una fue caracterizada en relación a variables físicas, químicas y biológicas (Figura 2).

**Tabla 1.** Geoposición de los cuatro sitios de muestreo sobre el río Sucio-Patía.

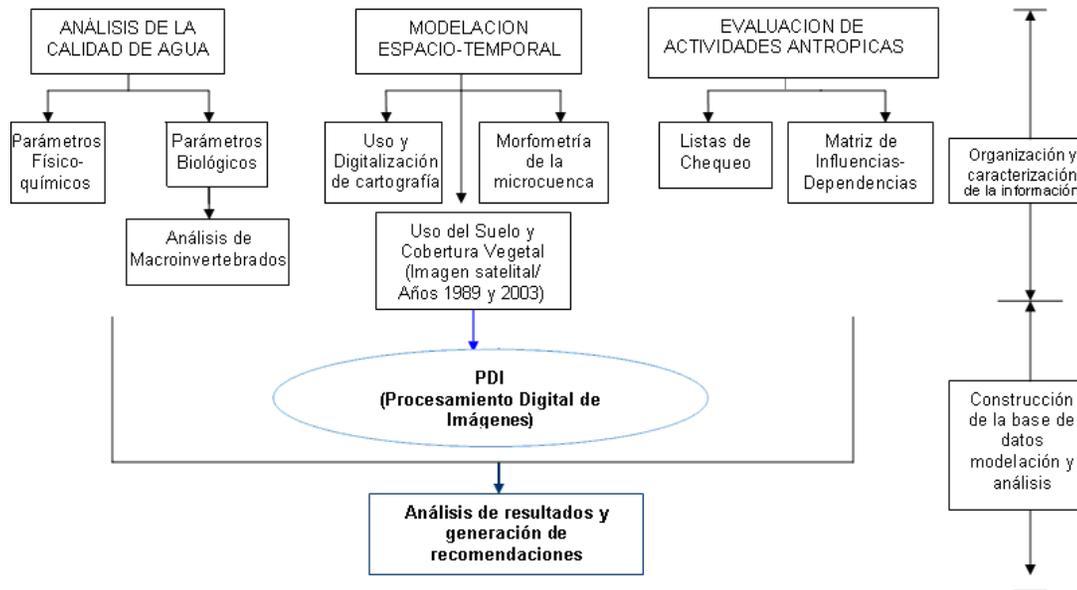
<b>Sitio</b>	<b>Altura (msnm)</b>	<b>W</b>	<b>N</b>
1- Carpinterías	2462	76° 57' 48''	02° 30' 10''
2- Bocatoma	2270	76° 57' 03''	02° 29' 38''
3- Antes del afluente (qda Magines)	1072	76° 52' 29''	02° 24' 12''
4- Después del afluente (qda Magines)	1074	76° 52' 27''	02° 24' 07''

Figura 2. Sitios de muestreo, microcuenca río Sucio-Patía.



## 8. METODOLOGÍA

Figura 3. Esquema metodológico.



### 8.1 MÉTODOS DE MUESTREO

**8.1.1 Calidad de agua.** Según el Decreto 1729, se entiende por cuenca u hoya hidrográfica “el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar”, por tal motivo se establecen los respectivos sitios de muestreo sobre el afluente principal río Sucio, por ser este el que resume las características fisicoquímicas y biológicas de la microcuenca y por incluir una serie de recursos disponibles para una comunidad asentada en su área, que explota y transforma dichos recursos, lo que permite la realización de un estudio puntual e integral de la zona.

El periodo de muestreo en las zonas escogidas (Carpinterías, Bocatoma, antes del afluente y después del afluente- qda Magines) estará delimitado por las épocas de invierno (diciembre y abril), transición (marzo y mayo) y verano (agosto y septiembre), efectuándose de esta manera 6 muestreos en cada uno de los sitios

seleccionados, esto debido a que pueden darse ciertos cambios biológicos, físicos y químicos considerables, dependientes de estas épocas del año, como podrían ser los procesos de migración, reproducción, alimentación, crecimiento y diseminación de la mayoría de las especies animales y vegetales, arrastre de sedimentos, lavado de nutrientes y residuos de pesticidas/agroquímicos por escorrentía superficial y subterránea.

- **Análisis físico-químicos.** Los parámetros fisicoquímicos y biológicos para el análisis de la calidad del agua fueron tomados de: “Guía para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas del departamento del Cauca” elaborada por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC, 2005), “Evaluación de la calidad de las aguas naturales” Vásquez (2001), Ministerio del Ambiente (2002, 2007).

Para la toma y análisis de las muestras colectadas en campo se trabajó con los siguientes indicadores: pH, Temperatura, Turbidez, Nitratos ( $\text{NO}_3$ ), Cloruros, Sulfatos ( $\text{SO}_4^{=}$ ), Fosfatos ( $\text{PO}_4$ ), Oxígeno disuelto ( $\text{O}_2$ ), Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y Conductividad.

Ciertos valores de algunos de los indicadores como los de temperatura, oxígeno,  $\text{CO}_2$  y pH se tomaron in situ, mediante la utilización de equipos como el termómetro, pHmetro y el kit de Acuamerck, mientras que para la medición de los demás indicadores se obtuvieron muestras de agua por cada sitio de muestreo, las cuales se almacenaron en recipientes de plástico de 1000 ml y se transportaron en neveras de icopor refrigeradas con hielo (temperatura aproximada de 10 °C) hasta el laboratorio del Grupo de Estudios Ambientales GEA, donde se efectuaron los análisis pertinentes. Dichos análisis se realizaron mediante la sonda paramétrica de referencia YSI serie 6.

- **Análisis biológicos**

**Macroinvertebrados acuáticos epicontinentales (MAE).** La toma de las muestras se realizó a partir de la recolección de hojarasca, lodo, revisión de rocas (10 rocas al azar) y la red de bentos por cada sitio de muestreo con 3 repeticiones por cada uno de ellos. Los organismos capturados se colocaron en recipientes plásticos con alcohol al 70% para asegurar su preservación, de igual manera la hojarasca y el lodo colectado se depositó en bolsas ziploc con alcohol para posteriormente ser separados en el laboratorio, todas las muestras fueron debidamente rotuladas con datos del lugar, fecha de recolección y forma de colecta, además fueron transportadas al laboratorio del programa de Biología de la Universidad del Cauca, donde se identificaron con ayuda de claves taxonómicas.

**Índice de Shannon-Weaver.** Este índice manifiesta igualdad; mientras más uniforme es la distribución entre las especies que componen la comunidad, mayor es el valor. Es uno de los más utilizados para medir la calidad del agua, y se

utilizó para determinar la diversidad de las especies (Roldán, 2003), su respectiva formula consiste en:

$$H' = \sum_{i=1}^s \frac{n_i}{n} \log n \left[ \frac{n_i}{n} \right]$$

Donde:

H'= Índice de diversidad

n<sub>i</sub>= número de individuos por especie

n= número total de individuos

Log n= Logaritmo natural

El rango del índice de diversidad se encuentra entre los 0.0 y 5.0 y se debe interpretar de la siguiente manera:

<b>0.0 - 1.5</b>	Baja Diversidad	→	Alta contaminación
<b>1.6 - 3.0</b>	Mediana diversidad	→	Mediana Contaminación
<b>3.1 - 5.0</b>	Alta diversidad	→	Baja Contaminación

**Índice BMWP.** Este método de bioindicación solo requiere llegar hasta nivel de familia y los datos son de tipo cualitativo (presencia o ausencia), el puntaje utilizado para la ordenación de los grupos de macroinvertebrados acuáticos va de 1 a 10, de acuerdo con la tolerancia de los diferentes grupos a la contaminación o alteraciones de las condiciones normales naturales de los cuerpos de agua (Armitage *et al*, 1983).

Al estar ubicada Colombia en el trópico y gracias a sus características físicas, lo hace un país rico en diversidad de climas, que a su vez, enriquece a este territorio con un gran número de especies en flora y fauna, por lo que, diferentes investigadores se dieron a la tarea de adaptar esta metodología en los diferentes ecosistemas epicontinentales lénticos y lóticos de Colombia, por lo cual se cita a los investigadores Zamora (1999) y Roldán (2003), quienes presentan adaptaciones para los niveles de bioindicación (Tabla2) con los respectivos niveles de calidad (Tabla 3).

**Tabla 2.** Niveles de bioindicación de las familias de macroinvertebrados acuáticos y su respectiva puntuación.

<b>Ordenes</b>	<b>Familias</b>	<b>Puntos</b>
	Perlidae	
Plecóptera	Euthyplociidae, Polymitarcydae	
Ephemeroptera	Odontoceridae, Glossosomatidae,	
Trichóptera	Rhyacophilidae,	10
Díptera	Calamoceratidae, Hydroptilidae.	
Hidroida	Blepharoceridae	
	Hydridae, Clavidae, Petasidae	
	Oligoneuridae, Leptophlebiidae	
Ephemeroptera	Megapodagrionidae, Polythoridae	
Odonata	Hydrobiosidae, Xiphocentronidae,	9
Trichóptera	Philopotamidae	
Díptera	Simullidae	
Coleóptera	Psephenidae	
	Coenagrionidae, Calopterygidae	
Odonata	Helicopsychidae	
Trichóptera	Dystiscidae, Ptilodactylidae, Scirtidae	
Coleóptera	Notonectidae, Mesolveiidae, Hebridae,	8
Hemíptera	Naucoridae	
Díptera	Dixidae	
Ephemeroptera	Tricorythidae, Leptohiphidae	
Trichóptera	Polycentropodidae, Psychomyiidae	
Coleóptera	Elmidae, Dryopidae, Staphylinidae, Girinidae	7
Hemíptera	Pleidae, Vellidae, Guerridae	
Díptera	Empididae, Dolichopodidae, Muscidae	
Mesogastropoda	Melaniidae	
Ephemeroptera	Baetidae	
Trichóptera	Hydropsychidae, Leptoceridae	
Coleóptera	Noteridae, Haliplidae	
Odonata	Libellulidae	
Lepidóptera	Pyralidae	
Neuróptera	Neuróptera, Corydalidae	6
Decapoda	Atyidae	
Amphipoda	Hyaellidae	
Gordioidea	Gordiidae, Chordodidae	
Unionoidea	Unionidae	
Tricladida	Planariidae, Dugesiidae	
Coleóptera	Limnymphidae	
Odonata	Aeshinidae	
Díptera	Tabanidae, Ceratopogonidae	5
Decapoda	Palaemonidae	

Hemíptera	Belostomatidae	
Coleóptera	Curculionidae, Chrysomelidae	
Díptera	Tipulidae, Stratiomyidae, Culicidae	
Hidracarina	Hidracaridos	4
Hemíptera	Corixidae, Hydrometridae	
Basommatophora	Ancylidae, Chilinidae	
Hemíptera	Nepidae, Gelastocoridae, Saldidae	
Coleóptera	Hidrophilidae	
Trichóptera	Leptoceridae	3
Díptera	Psychodidae	
Mesogastropoda	Goniobasidae, Hydrobiidae	
	Chironominae Chironomidae, Orthocladinae, Tanypodinae	
Díptera	Physidae, Limnaeidae, Planorbidae	
Basommatophora	Todas las familias (excepto Tubifex)	2
Heplotaxida	Glossiphoniidae, Ozobanchidae,	
Glossiphoniiformes	Cyclobdellidae, Cylicobdellidae, Piscicolidae, Macrobdellidae.	
Heplotaxida	Tubificidae (Tubifex)	1
Díptera	Syrphidae, Ephydriidae	

Fuente: Tomado de Zamora H, (1999).

**Tabla 3.** Niveles de bioindicación de las familias de macroinvertebrados acuáticos y su respectiva puntuación.

Clase	Rango	Calidad	Características	Color cartográfico
I	≥ 150,101 - 120	Buena	Aguas muy limpias a limpias	Azul
II	61 – 100	Aceptable	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	36 – 60	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	16 – 35	Crítica	Aguas Muy Contaminadas	Naranja
V	≤ 15	Muy Crítica	Aguas Fuertemente Contaminadas	Rojo

Fuente: Tomado de Roldán, 2003.

**8.1.2. Modelación espacio-temporal.** El método utilizado para la detección del cambio de las coberturas vegetales fue el de la comparación de mapas de épocas diferentes (1989-2003) o clasificación cruzada. Este método consiste en la comparación de los datos digitales de mapas de épocas diferentes (imágenes previamente clasificadas), realizándose una comparación píxel a píxel que originó un nuevo archivo con diversas combinaciones que indican el tipo de cambio ocurrido. Por lo cual este método permite no sólo determinar las situaciones de "cambio" y "no cambio", sino también los tipos de cambios que han ocurrido en un determinado período, lo que lo convierte en muy adecuado para modelar situaciones de dinámica de cambios de la vegetación y usos de la tierra (Killeen, T. et al 1990).

Un requisito de este método radica en que los mapas a utilizar deben tener la misma resolución espacial, y deben estar georeferenciados, para que el producto no de resultados erróneos al comparar un píxel con otro no correspondiente durante la clasificación cruzada. De igual manera existen procedimientos que permiten la medición de las diferentes dimensiones de una microcuenca, así como la disposición de los causes, corrientes fluviales y redes de drenaje. A continuación se describen más a fondo algunos de dichos mecanismos.

- **Morfometría.** Los principales parámetros morfométricos se determinaron para la microcuenca río Sucio–Patía fueron los siguientes según la guía “Introducción al manejo de cuencas hidrográficas” (Henaó, 1988):

**Área.** Este parámetro es la principal magnitud de referencia en hidrología, ya que es la medida de la superficie de la cuenca, encerrada por la divisoria de aguas y es de vital importancia a la hora de administrar y efectuar un manejo de la misma, puesto que tiene estrecha relación con las crecidas, flujo mínimo y la corriente media ya que entre mas grande sea la cuenca, mayor tiempo necesitará el pico de crecida en pasar por un punto determinado.

**Perímetro.** Corresponde a la medición de la línea divisoria de aguas.

**Ancho.** El ancho de la microcuenca se encuentra dividiendo el área de la cuenca por su longitud.

$$\text{Ancho} = \text{Área} / \text{longitud}$$

**Factor de forma K.** Brinda alguna indicación de la tendencia de la microcuenca hacia las crecidas. Así, las cuencas con factores forma bajos, son menos propensas a tener lluvias intensas y simultáneas sobre su superficie, que un área de igual tamaño con un factor de forma mayor, cuya fórmula es:

$$F = \text{Ancho} / \text{longitud}$$

**Índice de Gravelius o de Compacidad.** Este coeficiente se encuentra relacionado con el tiempo de concentración, que es el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte mas lejana de la microcuenca hasta el desagüe; en este momento ocurre la máxima concentración de agua en el cauce, puesto que están llegando gotas de lluvia de todos los puntos de la cuenca. En base a la utilización de unos rangos numéricos se logran distinguir tres clases de formas (Tabla 4), donde a medida que el coeficiente (Kc) tiende a 1.0, es decir, cuando la cuenca tiende a ser redonda, aumenta la peligrosidad hacia las crecidas.

**Tabla 4.** Clases de forma.

Clase de forma	Rangos de clase	Forma de la cuenca
Clase Kc1	De 1,0 a 1,25	Casi redonda a oval redonda
Clase Kc2	De 1,25 a 1,50	Oval redonda a oval oblonga
Clase Kc3	De 1,50 a 1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: Tomado de Henao (1988).

**Longitud.** Es la distancia existente entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca, siendo esta su mismo eje.

**Densidad de drenaje.** Según la tercera ley de Horton, el cálculo de la densidad de drenaje radica en la relación de la longitud de todos los ríos de una cuenca con su superficie.

**Perfil longitudinal.** Mediante el conocimiento del perfil del río se puede determinar la velocidad con que las aguas son evacuadas de la cuenca y el tiempo de concentración a los diferentes puntos de la cuenca en donde el caudal es máximo.

- **Uso del suelo y cobertura vegetal.** Para llevar a cabo la evaluación del comportamiento tanto de las coberturas vegetales como del uso del suelo en la microcuenca en un periodo de tiempo de aproximadamente 14 años (1989-2003), se recurrió a la utilización del Sistema de Información Geográfica SIG, imágenes satelitales, trabajo de campo y toma de puntos georreferenciados, entre otros.

Las imágenes satelitales Landsat TM utilizadas y analizadas para la modelación espacio-temporal de la zona de estudio, se clasificaron mediante la utilización de una combinación del método supervisado<sup>1</sup> y no supervisado<sup>2</sup> (Chuviéco, 2002),

<sup>1</sup> **Método supervisado:** parte de un conocimiento previo del terreno, a partir del cual se seleccionan las muestras para cada una de las categorías.

siendo relacionadas con la información cartográfica existente y con puntos de verificación tomados en salidas de campo mediante el uso de un sistema de geoposicionamiento global GPS, los cuales sirvieron de referencia durante el proceso de evaluación de las imágenes. Considerando la extensión del área de estudio y las dificultades que se dieron para llegar a las zonas de muestreo, se tuvo presente la información de tipo secundaria a la hora de generar en el SIG las unidades espaciales, de significado coherente con el uso del suelo y cobertura vegetal.

Para establecer las variaciones en las áreas cubiertas por vegetación en los diferentes períodos de tiempo, se identificaron en las imágenes de satélite mosaicos de interés y se aplicaron algunos índices de cambio de coberturas propuesto por el IDEAM (2002), para el periodo comprendido entre 1989 y 2003. Dichas formulas son:

$$\text{Porcentaje de cambio} = (A2-A1)/A1 \times 100$$

**A1** = Superficie total de la cobertura analizada para el año en referencia

**A2** = Superficie total de la cobertura analizada en el año de cambio

$$\text{Cambio medio anual} = (A2 - A1)/T2 - T1$$

**T1** = Tiempo inicial o de referencia

**T2** = Tiempo final o de cambio

El cambio en el uso de la tierra, conducente a la transformación de hábitat, se presenta como uno de los procesos que más amenaza la conservación de la diversidad biológica (Dobson, 1997) y los demás recursos naturales, por tal motivo, se destaca la importancia de la planificación y la gestión ambiental sobre este recurso.

Referente a lo anterior, se realizó una base de datos con información relacionada con las áreas destinadas para cada tipo de actividad antrópica, analizando de esta manera actividades como la agricultura, explotación forestal y la ganadería principalmente, según sea el tipo de cobertura vegetal encontrado en la zona.

En general, para llevar a cabo la modelación espacio-temporal (morfometría y uso del suelo/cobertura vegetal) se hizo uso de los siguientes programas y herramientas: Software ILWIS 3.1, Arc Gis 8.1, Global Map, River Tools versión 2.4 demo, Software ARCVIEW V. 3.2 y 8.3, Erdas, Archivo STRM (imagen de

---

<sup>2</sup> **El método no supervisado** procede a una búsqueda automática de grupos de valores homogéneos dentro de la imagen.

radar, archivo de elevación) y mesa digitalizadora. A continuación se presentan otros de los procesos asociados a estas herramientas:

**Tabla 5.** Herramientas y procesos asociados al SIG para el análisis multitemporal de la cobertura vegetal.

Concepto	Variable	Indicador
Planchas Cartográficas	Escala 1:25.000 IGAC	Digitalización cartográfica. Delimitación del área de estudio: Microcuenca del río Sucio Patía (El Tambo Cauca).
	Imágenes Satelitales (LANDSAT TM) 1989 - 2003	Determinación de escalas de trabajo. Selección y clasificación de la información referente al área de estudio. Corrección geométrica. Clasificaciones digitales. Identificación del área de trabajo. Clasificación no supervisada. Obtención del mapa preliminar.
Cobertura vegetal y Uso del suelo	Procesamiento digital	Análisis de la Clasificación no supervisada preliminar. Trabajo de campo con recolección de puntos georeferenciados de verificación. Definición de la leyenda. Clasificación supervisada (mapa temático). Presentación del mapa final.
	Clasificación Digital	Integración al Sistema.

**8.1.3. Evaluación de actividades antrópicas y su impacto.** El concepto de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), involucra la identificación y valoración de variables de carácter antrópico, que ejercen un efecto sobre un sistema natural y/o artificial, que producen una alteración en la estructura y funcionamiento de las relaciones establecidas entre los componentes de un ecosistema. Por tal razón, la aplicación de la EIA permite la utilización de listas de verificación o de “chequeo”, las cuales son una herramienta que proporcionan de forma rápida una idea general acerca de las actividades que afectan al ambiente o a la salud de la población, por lo que un oportuno discernimiento de los posibles impactos ambientales permitirá al evaluador profundizar y formular juicios técnicos para proporcionar prontas soluciones para la mitigación de dichos impactos (Figuroa *et al*, 1998).

Otra metodología para realizar la evaluación de impacto ambiental, es el análisis estructural que propone Godet (2000); a través de una herramienta que ofrece la posibilidad de describir un sistema que relaciona todos los elementos constitutivos del mismo con ayuda de una matriz de influencia y dependencia. Partiendo de

esta descripción, este método tiene por objetivo, identificar de forma clara y concisa las principales variables influyentes y dependientes más apremiantes que intervienen en la evolución del sistema, generando impactos a nivel biótico, abiótico y antropico, como por ejemplo acciones que estén creando deterioro de los componentes del ecosistema. Este análisis estructural y cualitativo se puede realizar con un grupo de trabajo compuesto por actores y expertos, pero ello no excluye la intervención de "consejeros" externos.

De esta forma, las variables de mayor relevancia prevalecerán, mientras que las variables que no tengan ninguna influencia sobre el sistema serán excluidas de la matriz, generándose así una matriz elaborada según la información recopilada luego de un reconocimiento de los sectores a estudiar, revisiones bibliográficas y observaciones directas.

## **8.2 ANÁLISIS DE DATOS**

Con los datos correspondientes a la parte físico-química se llevará a cabo el Análisis de Componentes Principales (ACP.), con el programa "Statistical" (Ludwig & Reynolds, 1988), utilizado para encontrar correlaciones entre los grupos de macroinvertebrados acuáticos identificados y las variables fisicoquímicas, además del patrón de relaciones entre las estaciones.

Para el análisis de la información obtenida sobre los macroinvertebrados, se utilizaron programas estadísticos como "Stimates" (Colwell, 2000), con el cual se obtuvieron las curvas de acumulación de especies y el índice de diversidad Shannon-Weaver y el programa SPSS versión 10 (SPSS Inc, Chicago, IL, EUA) para tablas de contingencia con sus respectivos niveles de significancia mediante el Chi cuadrado ( $X^2$ ).

En lo que corresponde al análisis espaciotemporal se realizó la prueba de Chi-cuadrado ( $X^2$ ) para respaldar el análisis del cambio de coberturas vegetales, construyendo una tabla de contingencia, con 4 grados de libertad y significancia con un criterio de confiabilidad del .050. La formula empleada es:  $X^2 = \sum (O - E)^2 / E$ .

## 9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

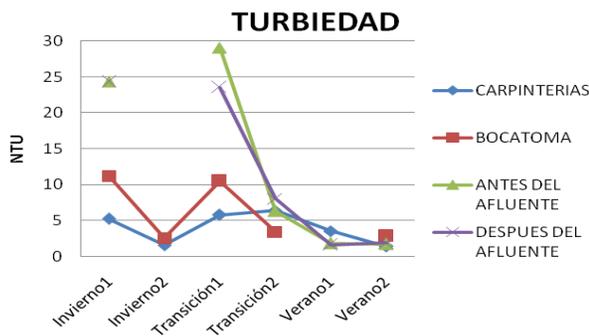
El presente estudio fue realizado en la microcuenca del río Sucio-región Patía, ubicada en el municipio de El Tambo, en la región Central del Departamento del Cauca, donde se llevó a cabo la medición e interpretación de variables fisicoquímicas y biológicas en función de la calidad del agua, la evaluación de actividades antrópicas y la elaboración de mapas temáticos (imágenes satelitales), que permitieran la categorización del uso del suelo, así como la evaluación de la pérdida de cobertura vegetal. A continuación se presentan los resultados obtenidos para los tres componentes objeto de estudio.

### 9.1 CALIDAD DEL AGUA

**9.1.1 Caracterización de parámetros fisicoquímicos.** Los valores de las variables fisicoquímicas obtenidos durante los periodos de muestreo se encuentran registrados en el Cuadro 1, y se puntualizan de la siguiente manera:

- **Turbiedad.** Los datos obtenidos en épocas de invierno y transición indicaron un aumento en todos los sitios de estudio como resultado de las fuertes lluvias precedentes al muestreo, encontrándose valores altos para la parte media en los sitios antes y después del afluente, que disminuyeron considerablemente para épocas secas, debido a que la cobertura vegetal protectora es escasa y a que en esta zona confluyen varios afluentes que traen consigo material suspendido como: arcilla, partículas orgánicas y otros sedimentos que modifican la fisicoquímica del agua. Por su parte, la fluctuación dada en la parte alta mantuvo un rango constante, gracias a la presencia de algunos relictos de bosque.

**Figura 4.** Interacción de la turbiedad por época.



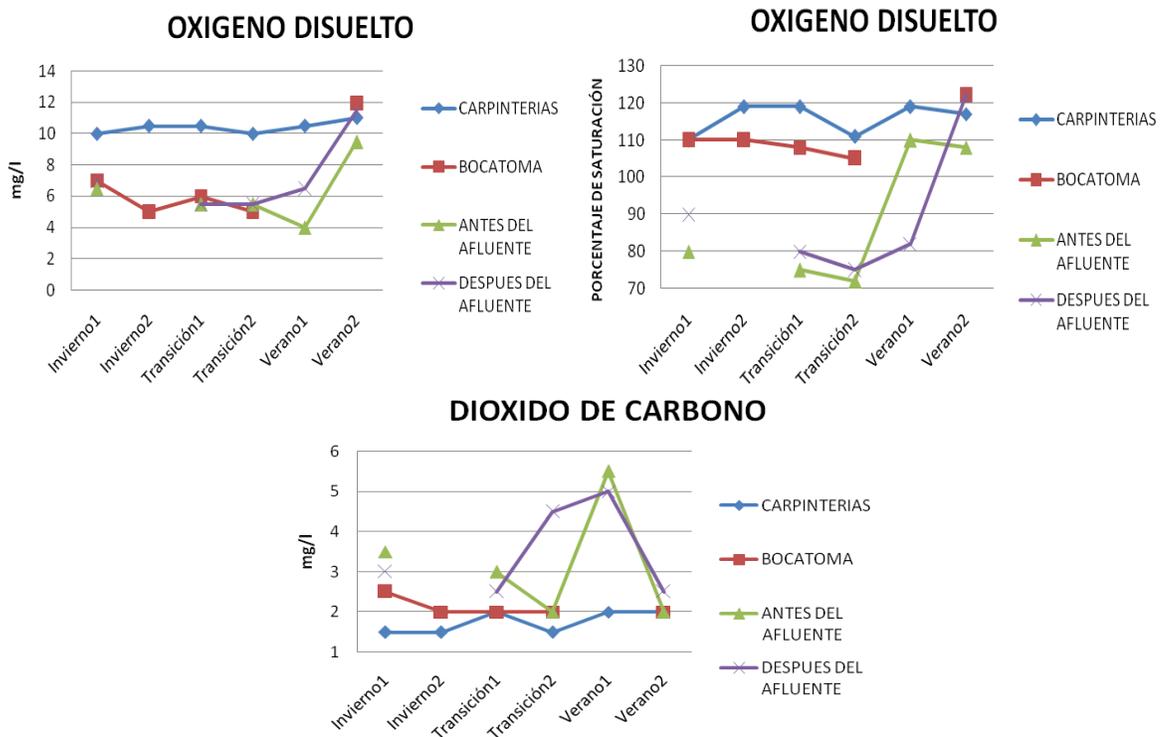
**Cuadro 1.** Variables Físico químicas de la microcuenca río Sucio – Patía.

	Época / muestreo	Cond. ms/cm	pH	NH <sub>4</sub>	Cl	NO <sub>3</sub>	Turbiedad (NTU)	Fosfatos mg/l	Sulfatos mg/l	CO <sub>2</sub> mg/l	O <sub>2</sub> mg/l	O <sub>2</sub> %	T° Agua	T° Amb.	Humedad %
CARPINTERIAS	Invierno1	0,0371	5,75	1,543	7,18	3,54	5,20	0,30	4	1,5	10	110	11	14	76
	Invierno2	0,0210	6,82	1,551	6,36	3,12	1,56	0,10	4	1,5	10,5	119	15	26	74
	Transición1	0,0356	5,76	1,446	8,61	4,11	5,80	0,20	5	2	10,5	119	14	15	74
	Transición2	0,0210	6,99	1,007	16,7	12,55	6,40	0,20	5	1,5	10	111	13	20	84
	Verano1	0,0380	7,38	0,121	1	1,11	3,53	0,20	4	2	10,5	119	14	22	78
	Verano2	0,0540	7,24	0,183	1,55	7,22	1,40	0,20	5	2	11	117	12	20	46
BOCATOMA	Invierno1	0,0320	7,33	1,340	5,5	2,07	11,20	0,10	5	2,5	7	110	13	19	75
	Invierno2	0,0320	6,96	1,560	7	5,29	2,56	0,10	3	2	5	110	15	24	77
	Transición1	0,0300	6,50	0,186	8	6,31	10,50	0,23	4	2	6	108	14	15	70
	Transición2	0,0310	7,18	0,169	27,5	16,52	3,40	0,15	5	2	5	105	13	22	77
	Verano1*														
Verano2	0,0450	7,29	0,191	0,86	4,54	2,80	0,20	6	2	12	122	14	29	75	
ANTES DEL AFLUENTE	Invierno1	0,0310	7,40	0,260	2,56	2,56	24,38	0,10	5	3,5	6,5	80	22	25	72
	Invierno2*														
	Transición1	0,0296	6,66	0,280	9,42	6,59	29,07	0,40	5	3	5,5	75	22	27	74
	Transición2	0,0320	7,41	0,177	26,3	22,73	6,30	0,20	5	2	5,5	72	20	26	76
	Verano1	0,0430	7,21	0,238	23	2,26	1,83	0,20	3	5,5	4	110	18	31	51
	Verano2	0,0460	7,70	0,229	1,12	2,40	1,73	0,20	7	2	9,5	108	19	41	36
DESPUES DEL AFLUENTE	Invierno1	0,0320	6,73	0,252	5,76	5,31	24,32	0,30	4	3	7	90	22	25	76
	Invierno2*														
	Transición1	0,0263	6,63	0,256	9,45	8,42	23,53	0,40	4	2,5	5,5	80	23	28	74
	Transición2	0,0360	7,32	0,184	27,1	25,13	8,03	0,20	7	4,5	5,5	75	21	27	79
	Verano1	0,0430	7,44	0,289	1,72	2,70	1,60	0,20	2	5	6,5	82	20	25	54
	Verano2	0,0500	7,62	0,182	8	6,21	1,90	0,20	2	2,5	11,5	122	20	45	38

\*Épocas del año en que no se tuvo acceso al sitio de muestreo

▪ **Gases disueltos.** Las variaciones de oxígeno disuelto y dióxido de carbono (Figura 5), para la parte alta, mantuvieron un rango constante sin mayores fluctuaciones, sin embargo en los sitios antes y después del afluyente, se acentuaron estas variaciones a causa de las lluvias presentadas, alterando la composición y fisicoquímica del agua, afectando así la dinámica del sistema. Los valores para el oxígeno disuelto (porcentaje de saturación >70%) y dióxido de carbono (< 10 mg/l), se encuentran entre los rangos permitidos para aguas intervenidas.

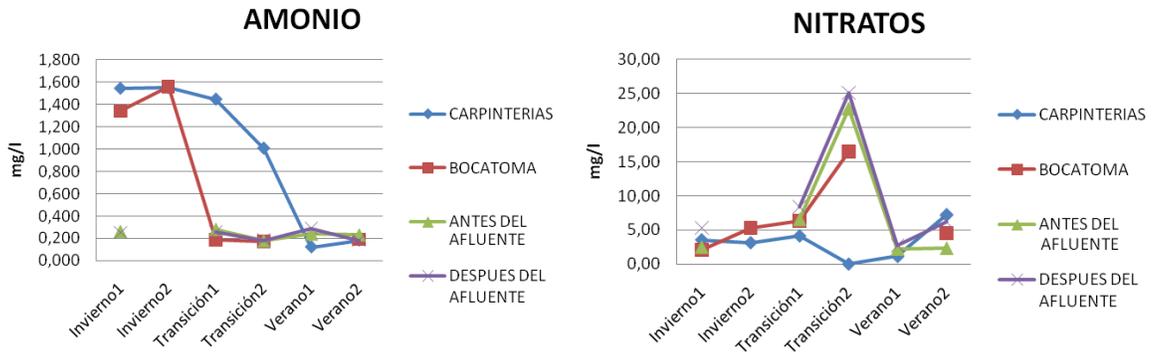
**Figura 5.** Gráficos de gases disueltos.



▪ **Nitrógeno.** Los datos obtenidos (Figura 6) indicaron que había una concentración alta de amonio durante el invierno en los cuatro sitios, la mayor presencia de nitrógeno en forma de amonio fue para Carpinterías y Bocatoma entre 1 - 1.6 mg/l (parte alta), resultado de una polución proveniente del arrastre de materiales por escorrentías, sin embargo, aguas abajo en el periodo de transición hubo una mayor concentración de nitratos para antes y después del afluyente con concentraciones de 20-25 mg/l (parte media), lo cual significa que al efectuarse el muestreo y análisis ha pasado un largo tiempo después de la polución (Romero, 2005), además hacia la misma época, en la Bocatoma aumentaron los nitratos debido al represamiento de material suspendido en el

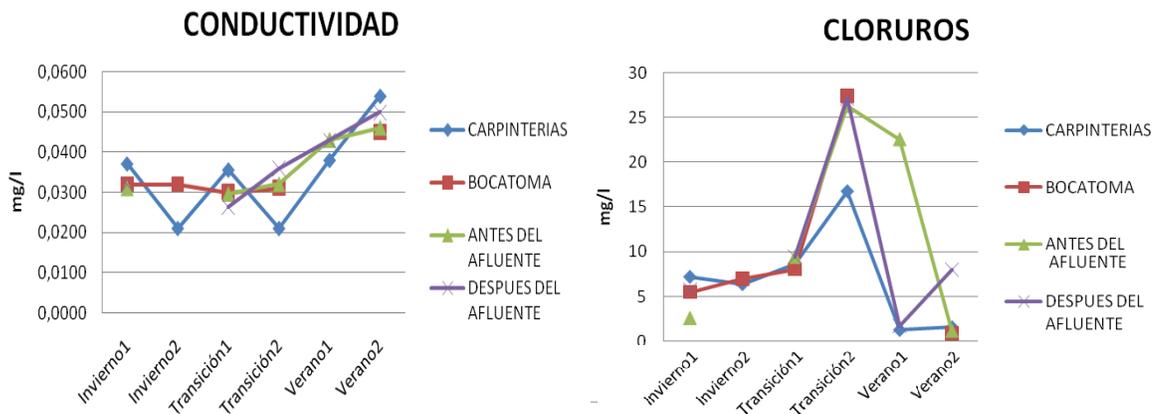
desarenador, estas variaciones no producen alteraciones significativas que comprometan la calidad de este recurso para uso local.

**Figura 6.** Interacción del nitrógeno como amonio y nitratos.



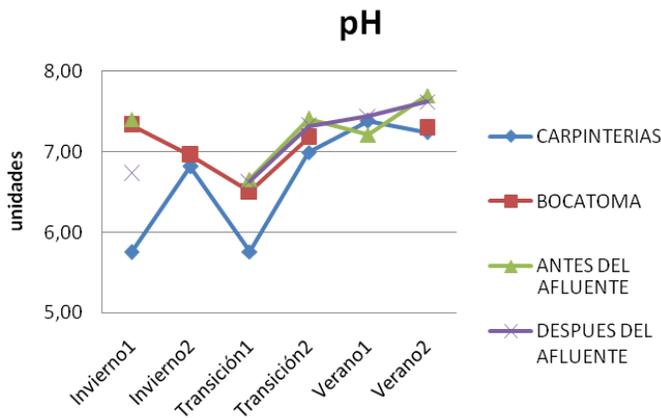
• **Conductividad y cloruros.** Los datos observados permitieron evidenciar un aumento de cloruros (>20 mg/l) mientras que en lo normal son por debajo de los 10 mg/l, tanto en la bocatoma, antes y después del afluente, que responde a las intensas lluvias que se dieron en la época de transición previamente al muestreo, generando un aumento en la carga de sedimento proveniente de la escorrentía en los cuatro sitios, pero presentándose un caso en particular de mayor concentración de cloruros en la Bocatoma, debido al represamiento de material suspendido en el desarenador, impidiendo el servicio de abastecimiento de los acueductos para la población, lo que incrementó la carga de cloruros (Figura 7).

**Figura 7.** Gráfico de variación de la conductividad y concentración de cloruros.



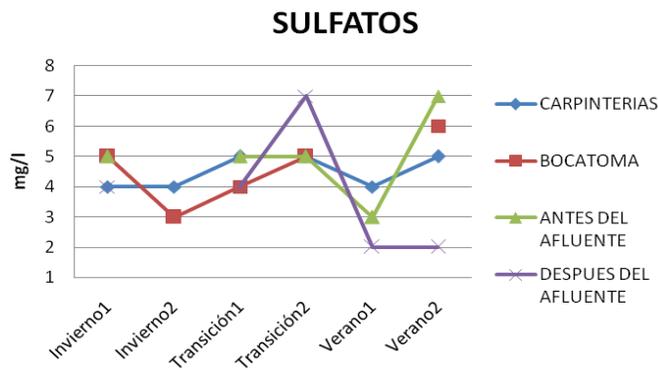
- **Potencial de hidrógeno (pH).** En general el pH (Figura 8) es neutro en todas las épocas del año para los sitios muestreados, excepto en carpinterías donde el pH disminuyó, lo que se le atribuye a la descarga de CO<sub>2</sub> atmosférico, lavado de nutrientes y arrastre de sedimentos del suelo ricos en aluminio, hierro y otros minerales, debido a las constantes precipitaciones que precedieron los muestreos.

**Figura 8.** Gráfico para la variación del potencial de hidrógeno.



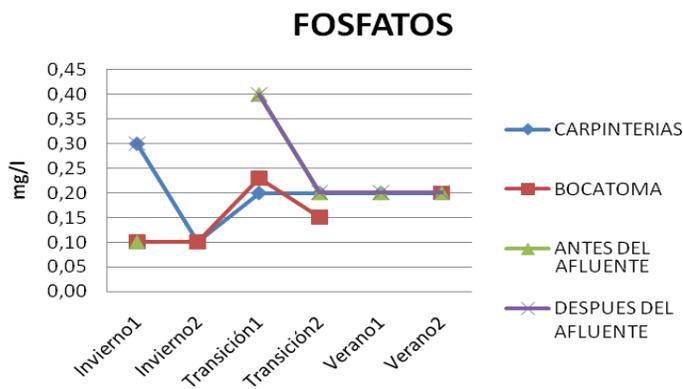
- **Sulfatos.** La interacción de los sulfatos en Carpinterías (Figura 9) se mantiene constante (entre 4 y 5 mg/l) en relación a los otros tres sitios, donde en estos últimos los rangos de oscilación aumentaron progresivamente aguas abajo (Bocatoma de 3-5 mg/l, antes del afluente de 3-7 mg/l y después del afluente de 2-7 mg/l), respondiendo a una serie de eventos como las aguas lluvias, arrastre de material suspendido y usos del suelo (bosques, cultivos o potreros). Los rangos de sulfato para la parte alta y media de la microcuenca oscilan entre 2 y 7 mg/l estando dentro de los límites permitidos.

**Figura 9.** Interacción de sulfatos por sitios.



- **Fosfatos.** Debido al arrastre de sedimentos por las lluvias se presentó una fluctuación importante en la concentración de fosfatos que va desde los 0.1 a 0.4 mg/l para los cuatro sitios, en antes y después del afluyente se presentaron los rangos más altos, debido a que en esta parte el uso de las tierras es más agrícola con respecto a la parte alta, corroborando así que la principal fuente son los agroquímicos y vertimientos de residuos domésticos. En épocas secas para todos los sitios se mantuvo constante la concentración de fosfatos.

**Figura 10.** Fluctuaciones en la carga de fosfatos.



En forma general, el estado actual de la parte alta y media de la microcuenca se encuentra en condiciones aceptables, debido a que los rangos fisicoquímicos fluctúan a consecuencia de la variación del clima incidiendo de forma directa e indirectamente en la dinámica del sistema, por lo que algunos datos se comportan de manera distinta al esperado, pero manteniéndose dentro de los rangos permitidos para sistemas hídricos durante las tres épocas respectivamente; aunque se presentan situaciones relevantes de estudios complementarios (Anexo 2) como es la presencia de coliformes totales y fecales, además, problemas en el suministro de los acueductos, debido a que en épocas de lluvias, la carga de sedimentos es muy alta por el excesivo arrastre y lavado del suelo afectando la calidad del agua, caso contrario en épocas secas el caudal disminuye, impidiendo el normal abastecimiento del servicio, viéndose perjudicada la población de la cabecera de El Tambo y veredas vecinas que cuentan con el, sin olvidar que a lo largo de la microcuenca se encuentra un número de familias que no cuentan con el servicio de alcantarillado y agua potable.

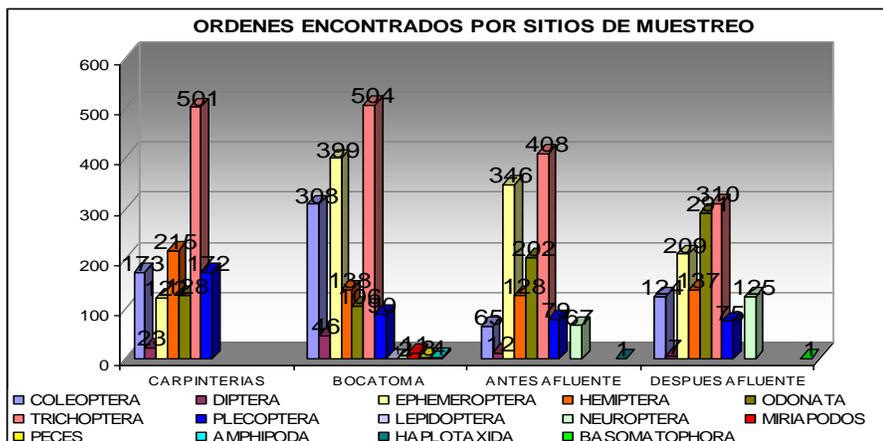
Por tanto, dichas condiciones se deben a que existe una mínima área de cobertura vegetal protectora, la cual es un factor regulador, por que permite que el sistema hídrico no llegue a condiciones extremas, retrasando la llegada de las aguas de precipitación a los ríos e interponiéndose entre las lluvias y la superficie del suelo,

disminuyendo así la velocidad del escurrimiento superficial y favoreciéndose la infiltración (Godoy & Stanescu, 2001).

**9.1.2 Caracterización de los parámetros biológicos.** Basado en los organismos hallados durante los periodos de tiempo establecidos, fue posible identificar 4 Phylum, 14 órdenes, 40 familias y 59 géneros, para un total de 5533 individuos capturados. De acuerdo con los resultados obtenidos para cada sitio, de los 20 órdenes de macroinvertebrados reportados para Colombia (Roldán, 2003), se identificaron 12 para la microcuenca río Sucio-Patía, dentro de los cuales la mayor frecuencia poblacional la presentaron Trichoptera, Ephemeroptera y Odonata, mientras que Amphipoda, Haplotaxida y Basomatophora mostraron la más baja.

En la figura 11, se puede apreciar que en la zona alta de la microcuenca representada por los sitios Carpinterías y Bocatoma se logró la captura del mayor número de individuos (2946) con el mayor número de órdenes (12), mientras que en la parte media constituida por los sitios antes y después del afluente (Qda Magines) se colectaron 2587 especímenes pertenecientes a 10 órdenes. Según lo mencionado anteriormente se logran evidenciar relativas diferencias en cuanto al número de individuos (Abundancia) y el número de especies (Riqueza) capturadas, lo que permitió establecer la condición de calidad del agua y las variaciones de las poblaciones en cada época del año.

**Figura 11.** Órdenes de MAE y otros, encontrados en cada sitio de muestreo.



**Hacienda Carpinterías.** En este sitio se registró un total de 1334 especímenes colectados a lo largo de los seis meses de muestreo (Cuadro 2), correspondientes al 24% del material total colectado en el río Sucio-región Patía, donde los órdenes Trichoptera, Hemíptera, Coleóptera y Plecóptera fueron los de más amplia representación (Figura 13).

**Figura 12.** Sitio 1: muestreo en la hacienda Carpinterías.



En época de invierno, en éste sitio se registraron 445 individuos, donde los órdenes mas abundantes estuvieron dados por Trichoptera (89), Coleóptera (87), Plecóptera (82) y Hemíptera (80), con familias como Calamoceratidae e Hydropsychidae; Elmidae, Ptilodactylidae; Perlidae y Naucoridae respectivamente.

En transición, se colectaron 331 individuos donde su distribución arrojó una mayor representatividad de los órdenes Trichoptera (85), Plecóptera (64), Hemíptera (57) y Coleóptera (40) y de las familias correspondientes a Calamoceratidae e Hydropsychidae; Perlidae; Naucoridae; Elmidae, y Ptilodactylidae.

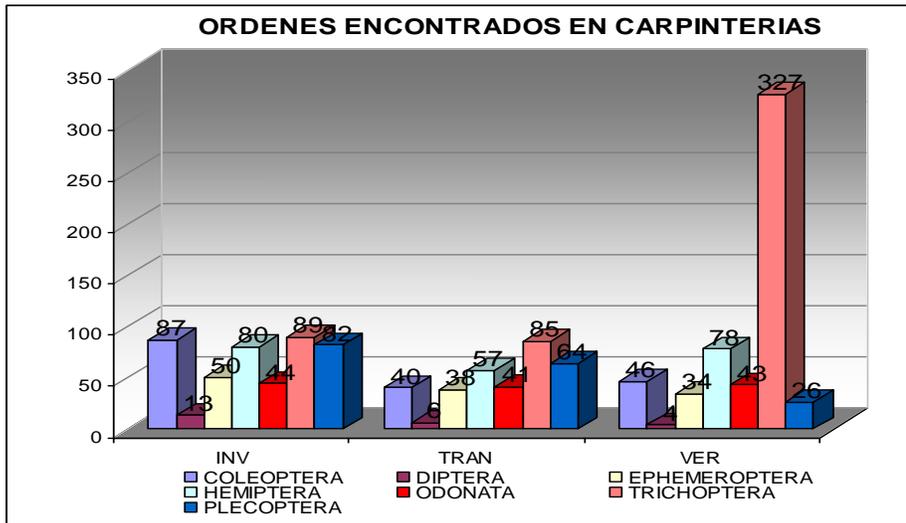
Finalmente en la época de verano, el total de individuos fue de 558, donde los órdenes con mayor abundancia fueron Trichoptera (327), Hemíptera (78), Coleóptera (46) y Odonata (43) así como las familias Calamoceratidae, Glossosomatidae; Naucoridae; Elmidae, Gyrinidae y Gomphidae correspondientemente.

**Cuadro 2.** Macroinvertebrados acuáticos colectados por sitios en la microcuenca río Sucio Patía, parte alta.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	CARPINTERIA			BOCATOMA		
					INV.	TRAN	VER.	INV.	TRAN	VER.
ARTHOPODA	INSECTA	COLEOPTERA	Elmidae	<i>Cylloepus</i>	6	3	8	26	2	12
				<i>Disersus</i>			1			
				<i>Heterelmis</i>	20	9	5	7	4	
				<i>Macrelmis</i>	7	3	5	6	4	10
				<i>Neoelmis</i>			5			7
			Gyrinidae	<i>Andogyrus</i>			13			
				<i>Dineutus</i>			2	1	3	1
			Lutrochidae	<i>Lutrochus</i>	1			1		
			Psephenidae	<i>Psephenops</i>	8	6	2	12	3	
			Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i>	40	16	4	55	63	84
		Scirtidae	<i>Elodes</i>	5	3	1		7		
		DIPTERA	Simuliidae	<i>Simulium</i>	1	1	1	4	2	
			Tabanidae	<i>Chrysops</i>	1				5	2
			Tipulidae	<i>Hexatoma</i>				1		
				<i>Tipula</i>	11	5	3	8	14	10
		EPHEMEROPTERA	Baetidae	<i>Baetodes</i>	18	19	7	6	12	2
			Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	10	7	4	27	6	10
			Oligoneuriidae	<i>Lachlania</i>	9	6	16	173	30	83
			Tricorythidae	<i>Leptohyphes</i>	13	6	7	39	11	
		HEMIPTERA	Naucoridae	<i>Heleocoris</i>	2			3		
				<i>Limnocoris</i>	68	42	61	21	36	29
				<i>Pelocoris</i>	1			23	2	
			Pleidae	<i>Paraplea</i>					1	
			Velliidae	<i>Rhagovelia</i>	9	15	17		23	

		LEPIDOPTERA	Pyralidae	Indeterminado						1
		NEUROPTERA	Corydalidae	<i>Corydalus</i>				1		1
		ODONATA	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	9	8	9	3	17	10
			Coenagrionidae	<i>Argia</i>	1				3	
			Gomphidae	<i>Phyllogomphoides</i>	32	19	28	10	26	13
			Libellulidae	<i>Brechmorhoga</i>	2	14	6		2	1
			Polythoridae	<i>Polythore</i>				6	9	6
		PLECOPTERA	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	82	64	26	38	27	25
		TRICHOPTERA	Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i>	46	43	199	145	105	41
			Glossosomatidae	<i>Mortoniella</i>	4	5	83		1	44
			Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	7	5	4	46	21	42
				<i>Smicridea</i>	23	24	14	35	20	1
			Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>				1	1	
			Leptoceridae	<i>Atanatolica</i>	2	1				
				<i>Oecetis</i>				3		
				<i>Triplectides</i>	4	2	23			
				<i>Grumichella</i>						1
			Odontoceridae	<i>Marilia</i>	1					
		Polycentropodidae	<i>Polycentropus</i>	2	5	1				
		MIRIAPODOS						3	7	1
MOLLUSCA	GASTROPODA	AMPHIPODA	Hyaellidae	<i>Hyaella</i>				4		
		PECES						1	2	
<b>Subtotal</b>					445	331	558	706	469	437
<b>TOTAL / ABUNDANCIA</b>					1334			1612		
<b>RIQUEZA DE ESPECIES</b>					37			37		

**Figura 13.** Órdenes de MAE, encontrados en el sitio 1: Hacienda Carpinterías.



**Bocatoma.** Para el segundo sitio (Figura 14), fueron hallados un total de 1612 individuos colectados durante las tres épocas delimitadas, lo cual corresponde a un 29% de los individuos obtenidos, constituyéndose en el mas alto en comparación a los demás sitios, aquí se logran destacar los ordenes Trichoptera, Ephemeroptera y Coleóptera por su significativa presencia (Figura 15)

En la primera época (invierno), se colectaron 706 especímenes, dentro de los cuales los siguientes ordenes Ephemeroptera (245), Trichoptera (227), Coleóptera (108) y familias como Oligoneuridae, Tricorythidae, Calamoceratidae, Hydropsychidae, Ptilodactylidae y Elmidae lograron destacarse.

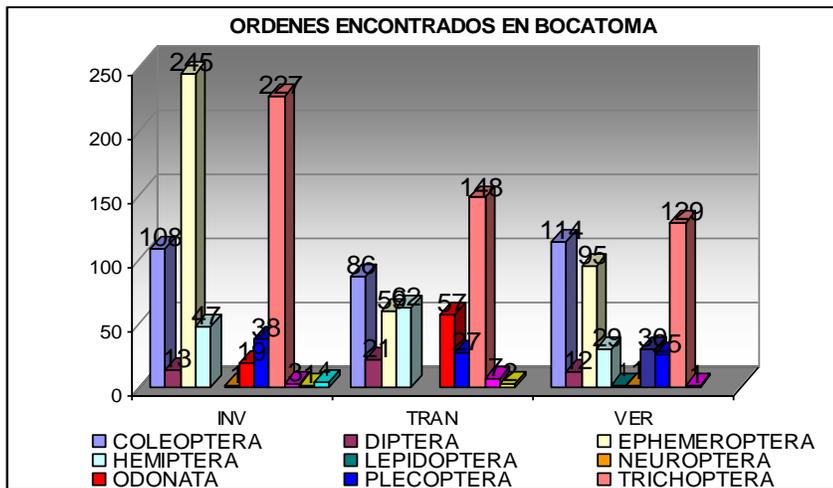
En época de transición, se obtuvieron 469 individuos donde la mayor representatividad estuvo dada por los órdenes Trichoptera (148), Coleóptera (86), y Hemíptera (62) junto con sus familias pertinentes Calamoceratidae; Ptilodactylidae; Naucoridae y Velliidae.

**Figura 14.** Sitio 2: muestreo en la Bocatoma.



Por su parte la época de verano, arrojó un total de 437 individuos, época donde los órdenes con mayor abundancia fueron Trichoptera (129), Coleóptera (114) y Ephemeroptera (95) y de igual manera las familias Glossosomatidae, Hydropsychidae y Calamoceratidae; Ptilodactylidae y Elmidae; y Oligoneuridae.

**Figura 15.** Órdenes de MAE, encontrados en el sitio 2: Bocatoma.



**Antes del afluente- quebrada Magines.** En éste sitio se colectó un total de 1308 especímenes (Cuadro 3), correspondientes al 24% del material reunido en el río

Sucio, donde los órdenes Trichoptera, Ephemeroptera, Odonata y Hemíptera fueron los de mas amplia abundancia (Figura 17).

**Figura 16.** Sitio 3: muestreo antes del afluente.



En época de invierno, se encontraron 178 individuos, época en la cual los órdenes Trichoptera (48), Ephemeroptera (37) y Hemíptera (30), fueron las mas dominantes junto con las familias Hydropsychidae y Glossosomatidae; Oligoneuridae y Tricorythidae; y Naucoridae.

En época de transición, se colectaron 512 especímenes donde su distribución arrojó una mayor representatividad de los órdenes Ephemeroptera (156), Trichoptera (106) y Odonata (98) y de las familias Oligoneuridae y Tricorythidae; Hydropsychidae; Libellulidae y Gomphidae.

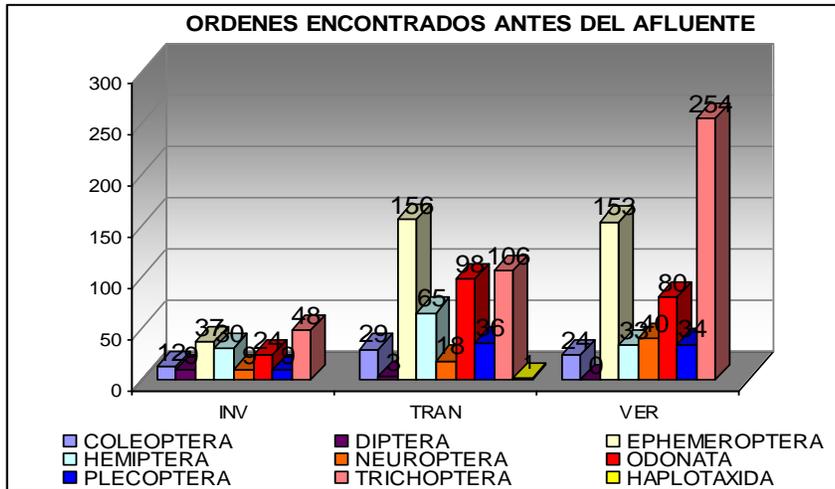
Correspondiente a la época de verano, el total de individuos fue de 618, donde los órdenes con mayor dominancia fueron Trichoptera (254), Ephemeroptera (153) y Odonata (80) además de las familias Hydropsychidae; Tricorythidae, Leptophlebiidae; y Libellulidae.

**Cuadro 3.** Macroinvertebrados acuáticos colectados por sitios en la microcuenca río Sucio Patía, parte media.

PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ANTES DEL AFLUENTE			DESPUES DEL AFLUENTE		
					INV.	TRAN	VER.	INV.	TRAN	VER.
ARTHOPODA	INSECTA	COLEOPTERA	Elmidae	<i>Cyloepus</i>	3	4	13	2	1	3
				<i>Heterelmis</i>	2	7	10	7	16	10
				<i>Macrelmis</i>					44	3
			Gyrinidae	<i>Andogyrus</i>		5				
				<i>Dineutus</i>						6
			Lutrochidae	<i>Lutrochus</i>					5	
			Psephenidae	<i>Psephenops</i>	7	13		3	6	9
			Ptilodactylidae	<i>Anchytarsus</i>					6	
			Staphylinidae	<i>sin determinar</i>			1			
		Scirtidae	<i>Elodes</i>						3	
		DIPTERA	Simuliidae	<i>Simulium</i>	9	1				
			Tabanidae	<i>Chrysops</i>		1			2	1
			Tipulidae	<i>Hexatoma</i>					3	1
				<i>Tipula</i>		1				
		EPHEMEROPTERA	Baetidae	<i>Baetodes</i>	2	7	1	1	6	3
			Leptophlebiidae	<i>Thraulodes</i>	9	8	50		5	16
			Oligoneuriidae	<i>Lachlania</i>	15	101	38	8	69	17
			Tricorythidae	<i>Leptohyphes</i>	11	40	63	3	37	20
				<i>Tricorythodes</i>			1	9	3	12
		HEMIPTERA	Hebridae	<i>Hebrus</i>			2			
			Belostomatidae	<i>Lethocerus</i>				7	1	1
			Mesovelliidae	<i>Mesovellia</i>		1			1	
			Naucoridae	<i>Ambrysus</i>	4					
				<i>Cryphocricos</i>		7	5		8	3
				<i>Heleocoris</i>	10					

				<i>Limnocoris</i>	10	47	15	1	73	18
			Pleidae	<i>Paraplea</i>		1				
			Velliidae	<i>Rhagovelia</i>	6	9	11	6	14	3
				<i>Stridulivelia</i>					1	
		NEUROPTERA	Corydalidae	<i>Corydalis</i>	9	18	40	8	61	56
		ODONATA	Calopterygidae	<i>Hetaerina</i>	4	5	6	11	27	6
			Coenagrionidae	<i>Argia</i>		4		2		1
			Gomphidae	<i>Phyllogomphoides</i>		24	2	7	21	20
				<i>Proghomfus</i>					7	24
			Libellulidae	<i>Brechmorhoga</i>	11	63	70	12	91	58
			<i>Dythemis</i>	9	2	2		3	1	
		PLECOPTERA	Perlidae	<i>Anacroneuria</i>	9	36	34	11	48	16
		TRICHOPTERA	Calamoceratidae	<i>Phylloicus</i>	3	15	18	15	17	11
			Glossosomatidae	<i>Mortoniella</i>	19	12	9	2		17
			Hydropsychidae	<i>Leptonema</i>	7	35	155	16	32	43
				<i>Smicridea</i>	19	36	72	24	76	38
			Hydrobiosidae	<i>Atopsyche</i>						1
			Leptoceridae	<i>Atanatolica</i>				2		7
		<i>Triplectides</i>			8		6		3	
ANELIDA	OLIGOCHAETA	HAPLOTAXIDA	Naididae			1				
MOLLUSCA	GASTROPODA	BASOMATOPHORA	Lymnaeidae	<i>Lymnaea</i>					1	
<b>Subtotal</b>					178	512	618	163	685	431
<b>TOTAL / ABUNDANCIA</b>					1308			1279		
<b>RIQUEZA DE ESPECIES</b>					34			37		

**Figura 17. Órdenes de MAE, encontrados en el sitio 3: Antes del afluente.**



**Después del afluente- quebrada Magines.** En este sitio fueron hallados 1279 individuos colectados durante las tres épocas establecidas, lo que concierne a un 23% del total de los individuos obtenidos, siendo así el sitio con el mas bajo porcentaje; en esta zona los ordenes mas destacados son Trichoptera, Odonata y Ephemeroptera (Figura 19).

**Figura 18. Sitio 4: muestreo después del afluente.**

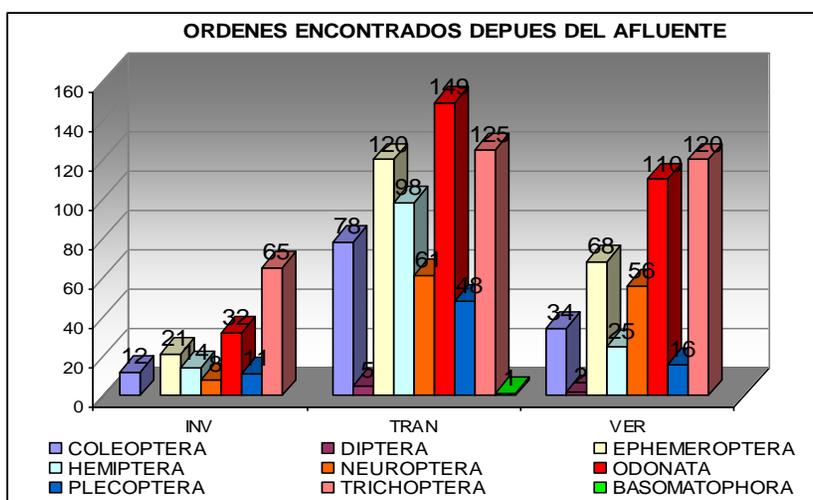


En época de invierno se obtuvieron 163 especímenes, dentro de los cuales los siguientes ordenes y familias enfatizaron su presencia: Trichoptera (65), Odonata (32); Hydropsychidae, Calamoceratidae, Libellulidae y Calopterygidae.

En periodo de transición, se alcanzaron 685 individuos donde el mayor aporte estuvo dado por los órdenes Odonata (149), Trichoptera (125) y Ephemeroptera (120) junto con sus familias respectivas Libellulidae, Calopterygidae, Gomphidae, Hydropsychidae, Oligoneuridae y Tricorythidae.

En época de verano, el total de individuos fueron 431, con una relativa abundancia de los órdenes Trichoptera (120) y Odonata (110), y de las familias Hydropsychidae y Glossosomatidae; Libellulidae y Gomphidae.

**Figura 19.** Órdenes de MAE, encontrados en el sitio 4: después del afluente.



- Índice de Diversidad Shannon-Weaver aplicado a los cuatro sitios de muestreo en el río Sucio- región Patía.

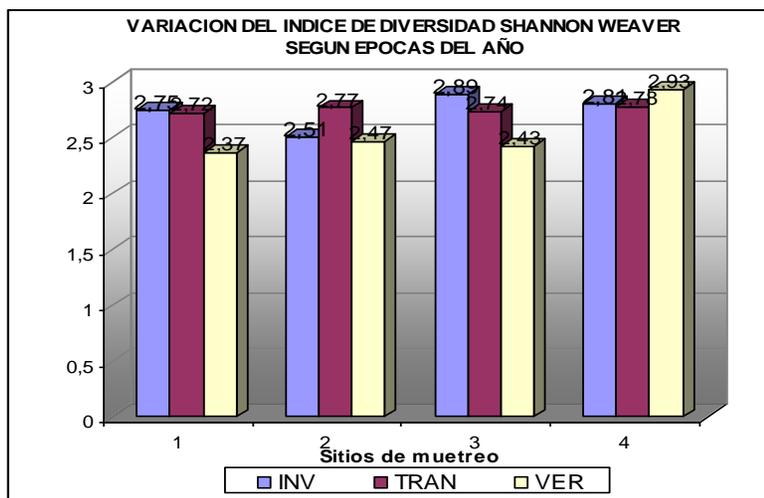
**Tabla 6.** Índices de diversidad Shannon – Weaver por sitio de muestreo.

Sitios de muestreo	Índice de diversidad	Características
1. Carpinterías	2.61	Mediana diversidad y contaminación
2. Bocatoma	2.58	Mediana diversidad y contaminación
3. Antes del afluente	2.69	Mediana diversidad y contaminación
4. Después del afluente	2.84	Mediana diversidad y contaminación

En la Figura 20, para la época de invierno la diversidad de especies es destacable en los cuatro sitios de muestreo, al igual que la sensibilidad de las especies halladas sobre todo en la parte alta donde las identificadas son típicas de aguas

limpias, frías, oxigenadas y con baja turbidez, como son las pertenecientes a Ephemeroptera, Plecóptera y Trichóptera. En este periodo se presentaron lluvias muy fuertes, incrementando de esta manera la turbidez del agua por arrastre de partículas de suelo y generando algunos cambios en la fisicoquímica del agua; a pesar de éstas condiciones, las especies encontradas han respondido a estas variaciones desarrollando estrategias de agarre a los sustratos, evitando así el desplazamiento de sus hábitats (Roldán, 2003), además, en la parte alta se goza de buena cobertura vegetal, lo cual contribuye a una mejor disposición de sustrato como lo son la hojarasca que queda atrapada en medio de troncos y rocas y que es de primera mano a la hora de buscar un buen refugio.

**Figura 20.** Variaciones del Índice de Diversidad Shannon-Weaver durante tres épocas del año.

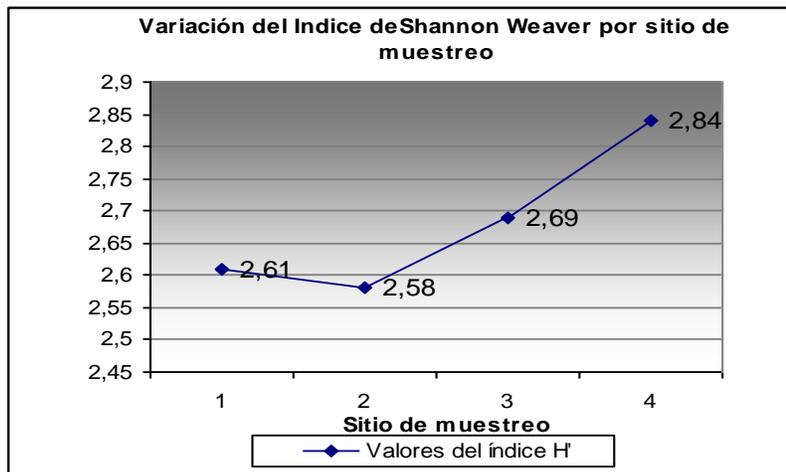


En lo concerniente a la época seca, los valores que corresponden a una mediana diversidad y contaminación se lograron mantener relativamente constantes en la transición y bajaron un poco en el periodo de verano, periodo en el cual se acumulan y concentran materiales orgánicos nutritivos para algas filamentosas y organismos oportunistas que proliferan por tener abundante alimento y no ser perturbadas con el arrastre de la corriente (Stanescu, 1999), lo cual indica un medio acuático moderadamente contaminado que permite el aumento de diferentes familias de insectos, siendo esto beneficioso, ya que, siempre habrá al interior de este ecosistema un control de la población de insectos, pues el río no se ha visto lo suficientemente afectado por intervenciones de tipo antrópico como para perder o modificar gran parte de su comunidad de macroinvertebrados acuáticos.

En general, los ríos muestran aumento y variabilidad en sus descargas hídricas en las épocas de lluvia y flujos o corrientes muy bajas en las épocas de sequía, dichos patrones de funcionamiento condicionan las variables ambientales que determinan las dinámicas ecológicas de los organismos acuáticos (Vannote *et al*, 1980) y por consiguiente, como se muestra en la Figura 21, el grado de diversidad de especies se incrementó pasando de 2.58 a 2.84 bits/individuos, hecho que representa un mejoramiento en términos de la calidad del agua por depuración de materiales y aumento en el flujo de la corriente lo cual suele ser relativo dependiendo del sitio en cuestión.

De acuerdo con los anteriores resultados, aunque en los cuatro sitios de muestreo se logra obtener índices característicos de aguas con mediana diversidad y contaminación, para la parte alta 1 y 2 la diversidad de especies fue ligeramente similar pues en esta zona los problemas de arrastre de sedimentos y fuertes precipitaciones hacen que la situación sea diferente para los organismos que la habitan, ya que en muchas ocasiones quedan expuestos al arrastre y a ser desplazados de sus hábitats. En los dos últimos sitios los valores de este índice se ven incrementados, debido a que la zona media a pesar de estar mas expuesta a las acciones antrópicas, como la contaminación orgánica, desechos sólidos, arrastre de partículas producto de la erosión y posiblemente prácticas propias de la ganadería extensiva entre otros, posee hábitats heterogéneos, recibe más tributarios y hay una mayor dilución y descomposición de material orgánico, así como una mayor área en cuanto al lecho del río.

**Figura 21.** Variación promedio del Índice de diversidad Shannon-Weaver en los cuatro sitios de muestreo.



- **Índice de calidad BMWP aplicado a los cuatro sitios de muestreo en el río Sucio- región Patía.**

**Tabla 7.** Índice de calidad BMWP para cada sitio de muestreo en la microcuenca río Sucio - Patía.

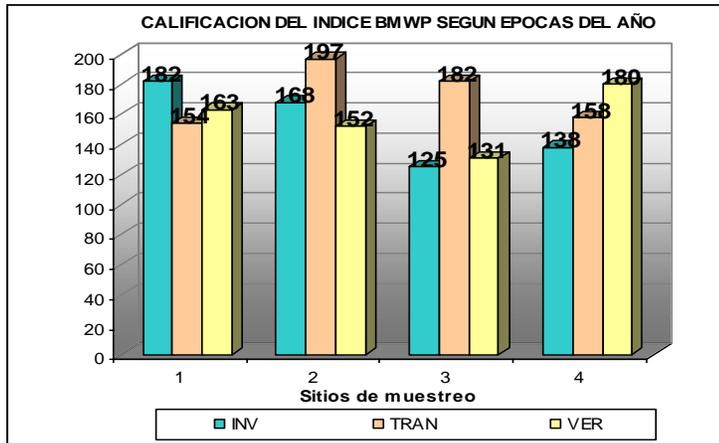
<b>Sitios de muestreo</b>	<b>Índice de calidad</b>	<b>Calidad del H<sub>2</sub>O</b>	<b>Características del H<sub>2</sub>O</b>
1. Carpinterías	166	Buena	Aguas muy limpias
2. Bocatoma	174	Buena	Aguas muy limpias
3. Antes del afluente	146	Buena	Aguas muy limpias
4. Después del afluente	158	Buena	Aguas muy limpias

La variación del índice de calidad BMWP para los cuatro sitios de muestreo durante las tres épocas delimitadas (Figura 22), muestra características correspondientes a aguas muy limpias y de buena calidad, (aunque con algunas variaciones) puesto que cada valor cae dentro del rango designado para aguas muy limpias, es decir mayor a 121 (Roldán, 2003).

Durante la época de invierno los valores expresados corresponden a aguas muy limpias, donde los máximos tuvieron origen en los dos primeros sitios mientras que los más bajos aparecieron en los dos últimos, éstos valores concuerdan con las características de las zonas, pues la parte alta es la que menos intervención antrópica refleja, igualmente la estructura de la cobertura vegetal está en mejor estado y se presentan altos niveles de oxígeno disuelto, ejerciendo todo esto una influencia positiva para los organismos, ya que, se provee alimento y refugio a los invertebrados acuáticos a pesar de las variaciones en el caudal y la turbidez del agua por efectos de la continua e intensa precipitación que se presenta en la región durante algunos periodos del año.

Además, es en ríos de aguas frías, transparentes, oligotróficas y muy bien oxigenadas, donde se espera encontrar poblaciones dominantes de plecópteros, tricópteros y efemerópteros; pero también se espera hallar en bajas proporciones, odonatos, hemípteros, dípteros, neurópteros, ácaros, crustáceos, y otros grupos menores característicos de aguas de buena calidad (Roldán, 1999), como efectivamente ocurrió para los dos primeros sitios de muestreo, donde el número de algunas de estas poblaciones fue generalmente abundante.

**Figura 22.** Variaciones del Índice BMWP durante tres épocas del año.



Por su parte, en época de transición los valores del índice de diversidad en cada sitio de muestreo no difieren ampliamente entre sí, pero puede observarse que en los sitios 2 y 3 el índice supera a los demás, lo que posiblemente se debe a: la aparición de otras familias que no habían sido reportadas anteriormente, a la disponibilidad de alimento y a que las características de la zona hayan mejorado, pues en época de invierno se presentaron lluvias torrenciales, incrementando la turbidez del agua debido al arrastre de partículas, cambiando así las características fisicoquímicas del agua, su productividad y por ende, la de los organismos asociados a ella.

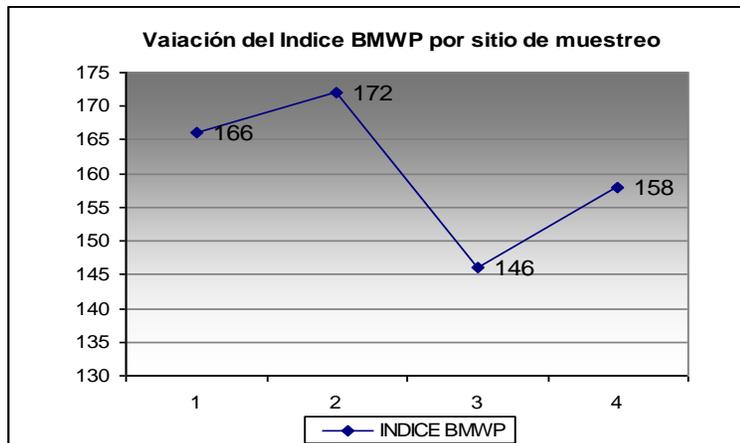
En lo correspondiente a la época de verano los índices de calidad obtenidos fueron mayores en el sitio 1 y 4, aquí al igual que en el periodo de lluvia los valores registrados disminuyen en relación a la época de transición, pues particularmente en este período hay una disminución del cauce y cambios de las características del agua.

Contrario a la zona alta, en los dos últimos sitios las condiciones de calidad están siendo influenciadas directa o indirectamente por actividades antrópicas tales como: ganadería, agricultura, deforestación, asentamientos humanos, entre otros, lo que genera fuentes de contaminación que a la vez actúan como limitantes para el establecimiento en masa de macroinvertebrados bentónicos propios de aguas de buena calidad, debido a incrementos en los procesos erosivos e ingreso posiblemente de residuos contaminantes como los agroquímicos.

En relación a las tres épocas establecidas para el respectivo muestreo en la microcuenca, y con base a las características ecológicas descritas para cada género por Roldán (1998), los organismos presentes son vulnerables a la contaminación por desechos de origen doméstico, corroborando por lo tanto la

condición de buena calidad en los cuatro sitios de muestreo según los individuos encontrados durante las tres épocas del año, como se muestra a continuación:

**Figura 23.** Variación promedio del Índice de calidad BMWP en los cuatro sitios de muestreo.



De acuerdo con los anteriores resultados (Figura 23) se puede concluir que aunque en los cuatro sitios de muestreo los rangos caen dentro de lo correspondiente a aguas muy limpias y de buena calidad, es en los dos primeros (parte alta de la microcuenca) donde se logra evidenciar los valores más altos en cuanto al índice de calidad se refiere.

- **Curva de acumulación de especies.** Uno de los métodos que se comenzó a utilizar con más frecuencia para conocer la riqueza total de especies de una comunidad fueron las curvas de acumulación de especies, dichas curvas muestran el número de especies acumuladas conforme se va aumentando el esfuerzo de colecta en un sitio, de tal manera, que la riqueza aumentará hasta que llegue a un momento en el cual por más que se recolecte, el número de especies alcanzará un máximo y se estabilizará (Villarreal *et al*, 2004).

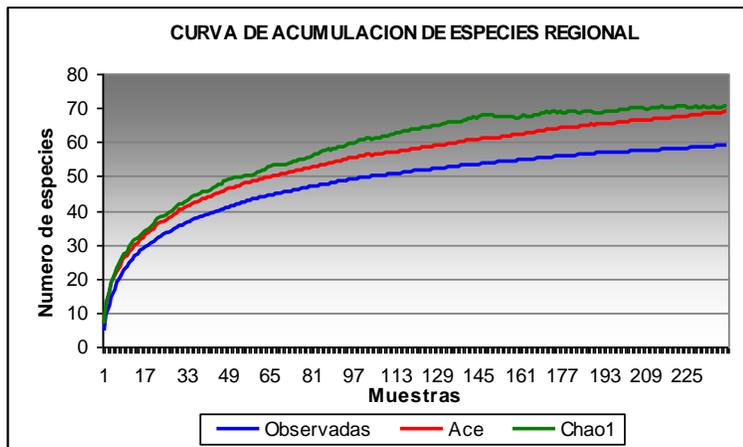
A continuación, se muestra una gráfica obtenida con el programa Estimates, donde se presentan las curvas de acumulación de especies regionales de los estimadores Chao1<sup>3</sup> y Ace, junto a la curva de morfoespecies capturadas durante los 6 meses de estudio en el río Sucio, manifestándose una eficiencia en el muestreo del 83% y 85% respectivamente, según los estimadores empleados.

---

<sup>3</sup> Se ha llamado Chao 1 al estimador de Chao (1984), el cual se basa en la abundancia, en la presencia de especies que solo están representadas por pocos individuos en una muestra; dicho estimador ha sido muy útil al momento de saber si se requiere realizar o no un segundo estudio en una zona para reducir o aumentar la intensidad del muestreo.

Dichos valores hacen pensar que el muestreo tiene un alto grado de efectividad y confiabilidad puesto que el número de morfoespecies observadas arrojó un valor de 59 géneros y la esperada por los estimadores fue de 69 en promedio, encerrando la posibilidad de aumentar la intensidad de muestreo para acercarse un poco más a lo esperado.

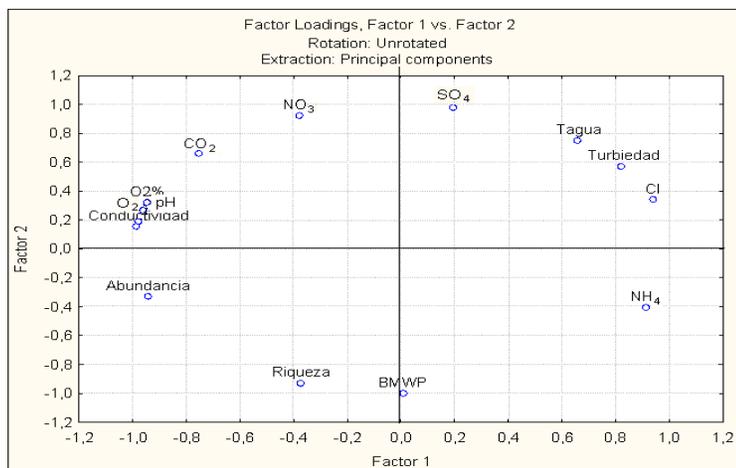
**Figura 24.** Curva regional de acumulación de especies.



• **Análisis de Componentes Principales (ACP).** Según este análisis para la zona de Carpinterías (Figura 25) se obtuvieron dos factores (F1=63.16 y F2=36.84), los cuales explican la variabilidad total de los datos, el F1 agrupa a la derecha los parámetros, turbiedad, cloruros, temperatura del agua y amonios, que se relacionan inversamente con los parámetros situados en la parte negativa (izquierda) como: abundancia de especies, oxígeno disuelto, dióxido de carbono, pH y conductividad, es decir, que al aumentar los parámetros de la derecha disminuyen los de la izquierda, y viceversa. El F2, relaciona las variables de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y sulfatos ( $\text{SO}_4^{=}$ ) en la parte positiva y en la parte negativa riqueza de especies y BMWP.

De esta manera, se nota que hay una relación inversamente proporcional entre la turbiedad, cloruros, temperatura del agua, amonios, nitratos y sulfatos con los parámetros de oxígeno disuelto, dióxido de carbono, pH, abundancia, riqueza y BMWP, relación donde las primeras variables tienen una gran influencia en los ciclos de vida y distribución de los MAE dentro del ecosistema acuático, pues por ejemplo, la temperatura es uno de los factores ambientales que más influye en la proliferación y supervivencia de los organismos, ya que para cada especie existe una determinada temperatura que permite su desarrollo, promoviendo su crecimiento de una manera más rápida (Roldán, 1992).

**Figura 25.** Gráfico de ACP para variables físico-químicas vs Índices biológicos para el sitio 1: Carpinterías.



Por su parte, la turbidez incide de manera negativa en la vida de los organismos acuáticos, ya que, interviene en su proceso respiratorio; además reduce la penetración de la luz afectando la productividad primaria y el flujo de energía dentro del ecosistema, todo esto producto de las fuertes lluvias en la zona, las cuales aumentan los niveles de material suspendido y alóctono en el río por efecto de los procesos erosivos y la deforestación que se presenta en la región (procesos que se acrecientan en la zona media). Dicho lavado, arrastre de materiales y nutrientes del suelo hace que parámetros como los ácidos húmicos, cloruros, amonios, nitratos y sulfatos lleguen fácilmente al agua, contribuyendo a la variación del pH y del oxígeno disuelto, ya que los procesos de descomposición de la materia orgánica se hacen mas notorios en este sitio debido a la existencia de bosque protector ribereño que aún se conserva en la parte alta de la microcuenca.

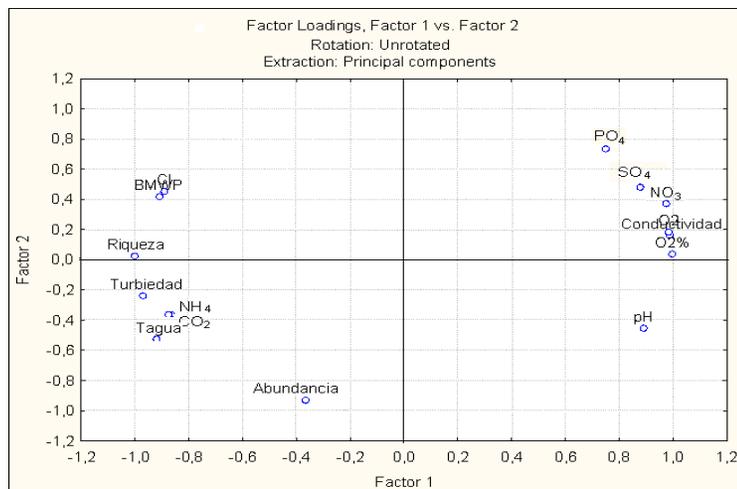
En Bocatoma, el primer y segundo factor explican la variabilidad de los datos (F1=91.38 y F2=8.62), observándose que en el F1 se agrupan casi la totalidad de las variables, pues a la derecha están: oxígeno disuelto, conductividad, pH, fosfatos, sulfatos y nitratos, que son inversamente proporcionales a los parámetros NH<sub>4</sub>, Cl, CO<sub>2</sub>, turbiedad, T<sup>o</sup> del agua, BMWWP y riqueza situados en la parte izquierda es decir, que al aumentar los parámetros de la derecha disminuyen los de la izquierda, y viceversa. En el F2 solo se presenta la variable de abundancia en la parte baja del plano (Figura 26). Por lo tanto, para este sitio hay una relación inversa entre el oxígeno disuelto, conductividad, pH, NO<sub>3</sub>, fosfatos y sulfatos con los parámetros: NH<sub>4</sub>, Cl, CO<sub>2</sub>, turbiedad, abundancia, BMWWP y riqueza.

Como se mencionó anteriormente, la concentración en el agua de algunas de estas variables conlleva a una modificación de otras. En este sitio se encontró un caso particular, el cual está basado en una relación directa entre la turbiedad del

agua y la abundancia, riqueza y BMWP, relación que se sale de lo normal, por tal motivo la explicación a dicho comportamiento puede deberse a los acontecimientos ocurridos en la zona previamente al muestreo, ya que, se habían presentado fuertes lluvias que condicionaron los valores de turbidez, pero que no afectaron de manera significativa los MAE, ni el comportamiento de otros parámetros (oxígeno disuelto, conductividad y algunos nutrientes esenciales).

Por su parte variables como pH, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura a menudo son los parámetros a los cuales los organismos son más sensibles (Roldán, 1992), por lo que, en este caso el ACP muestra una relación inversamente proporcional entre dichas variables y los MAE.

**Figura 26.** Gráfico de ACP para variables físico-químicas vs Índices biológicos para el sitio 2: Bocatoma.



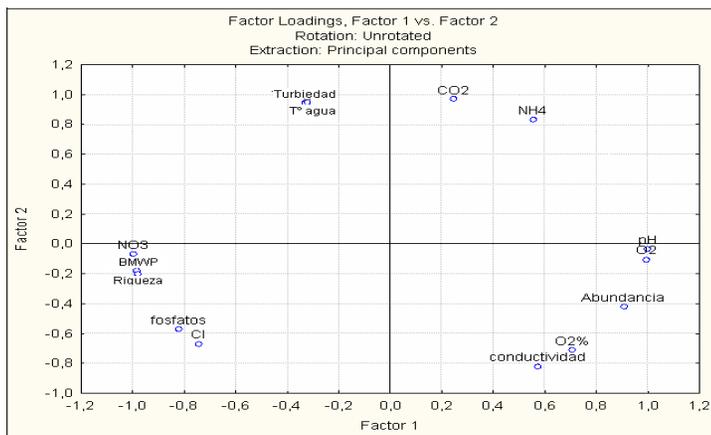
Para el sitio Antes del afluente, los factores F1=59.75 y F2=40.25 (Figura 27) se encuentran organizados de la siguiente manera, a la derecha del F1 están ubicados el pH, oxígeno disuelto y abundancia, y al lado opuesto, nitratos, fosfatos, cloruros, riqueza y BMWP. Para el F2, se encuentran en la parte de arriba turbiedad, temperatura del agua, CO<sub>2</sub>, y amonio, mientras que en la zona baja del plano solo se presenta la conductividad.

Según el ACP dado para este sitio, existe una relación inversamente proporcional entre el pH, oxígeno disuelto, turbiedad, humedad, CO<sub>2</sub>, amonio con los nitratos, fosfatos, cloruros, conductividad, riqueza y BMWP.

Quiñones *et al* (1998), aseguran que la diversidad y la riqueza de especies dependen en gran medida de la pluviosidad de la zona muestreada, la cual

ocasiona un aumento en el caudal del río, modificaciones de algunas de las características físico-químicas del agua y arrastre o lavado de sustratos, siendo los Macroinvertebrados llevados río abajo. Además, las aguas residuales domésticas y fertilizantes contribuyen en el aumento de los niveles de fósforo, cloruros y conductividad en las aguas superficiales. Descargas que en su mayoría son generadas por los procesos de escorrentía (Peláez, 1990). Estos comportamientos se hacen más relevantes en los sitios 3 y 4, sitios que como ya se había mencionado presentan una mayor intervención antrópica, por ende los procesos erosivos, lavado y arrastre de nutrientes del suelo son cada vez más notorios.

**Figura 27.** Gráfico de ACP para variables físico-químicas vs. Índices biológicos para el sitio 3: antes del afluente.

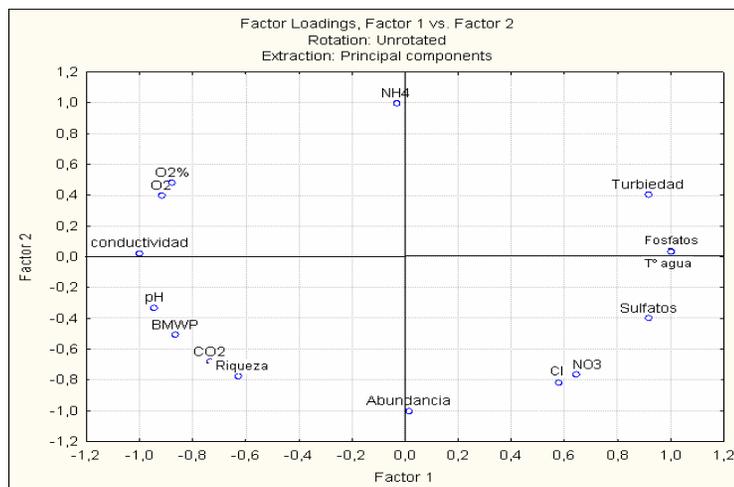


Finalmente, en el sitio después del afluente, se presentaron valores de  $F1=63.53$  y  $F2=36.47$ , a la derecha del  $F1$  se ubican las variables  $NO_3$ , turbiedad,  $T^\circ$  agua, fosfatos y sulfatos, mientras que a la izquierda están oxígeno disuelto, conductividad, pH, dióxido de carbono y BMWP. En el  $F2$  la variable amonio se encuentra en la zona positiva, mientras que cloruros, abundancia y riqueza están en la zona negativa (parte baja).

La relación entre  $NO_3$ , turbiedad, fosfatos, sulfatos y amonio, es de carácter inversa con respecto al oxígeno disuelto, conductividad, pH,  $CO_2$ , abundancia, riqueza y BMWP. Notándose que en este sitio hubo una mayor disponibilidad y concentración de nutrientes esenciales en el agua, sobre todo en la época de transición, periodo que transcurrió entre fuertes lluvias y días muy soleados, nutrientes que en grandes cantidades podrían llegar a afectar a las comunidades de MAE si permanecen por un periodo de tiempo prolongado. Por su parte, las variaciones de oxígeno reflejan por lo general las diferentes formas de contaminación del agua, ya sea por efecto de actividades antrópicas, procesos erosivos en zonas de ladera o por descomposición de la materia orgánica.

Se dice que el estudio ecológico de los sistemas lóticos tiene como objetivo principal entender los mecanismos y procesos responsables de las diferencias y/o similitudes entre las comunidades de macroinvertebrados y la relación con las características fisicoquímicas del agua donde se desarrollan (Machado & Roldán, 1981). Por tal razón, el Análisis de Componentes Principales es una herramienta muy útil a la hora de observar, interpretar y formar una idea global de las características de la zona para que dichos comportamientos fuesen posibles.

**Figura 28.** Gráfico de ACP para variables físico-químicas vs. Índices biológicos para el sitio 4: después del afluente.

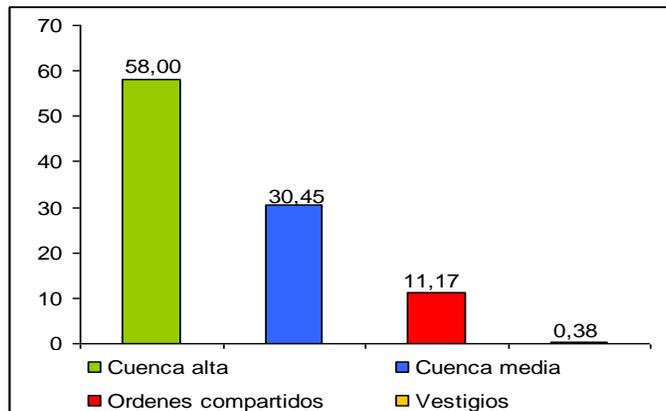


- **Tablas de contingencia y significancia estadística.**

**Parte alta y media de la microcuenca vs órdenes de MAE encontrados.** Para la parte alta de la microcuenca del río Sucio, se encontró significancia estadística entre los órdenes encontrados y las dos zonas de la cuenca (alta y baja), puesto que  $X^2=523,75$  y  $p=0.00$ , lo que significa que hay ciertas asociaciones, pues la presencia de algunos organismos acuáticos en esta zona es muy notoria, contando la zona alta con un número mayor de órdenes en contraste con la otra zona, equivalente a un 58% (3209 individuos), entre los cuales están: Coleóptera, Díptera, Odonata y Trichóptera, mientras que en la parte media los ordenes Ephemeroptera, Neuroptera y Plecoptera obtuvieron el 30.4% (1685 individuos), con un solo orden compartido el cual es Hemiptera para el 11.2% (618 individuos), y con vestigios de Lepidoptera, Miriápodos, Peces, Anélidos, Gastrópoda y Amphipoda que ocupan un 0.4% (21 individuos). Dichas variaciones son el resultado de las condiciones ecológicas que poseen las dos zonas dentro del

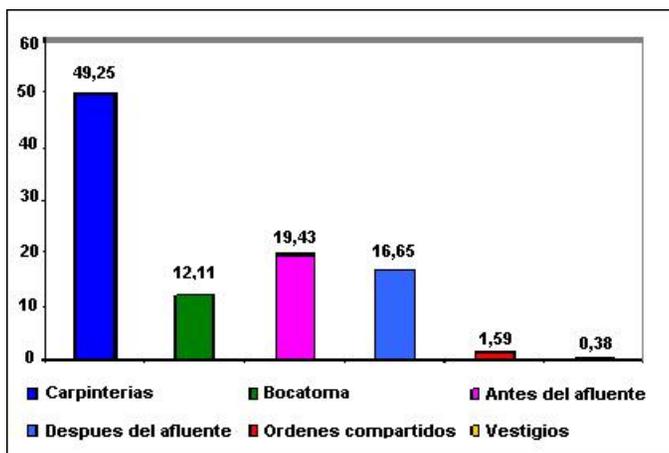
sistema, lo cual promueve o permite la proliferación de algunas poblaciones de MAE características de dichos entornos.

**Figura 29.** Porcentaje de los órdenes encontrados con un mayor numero de individuos en parte alta y media de la cuenca.



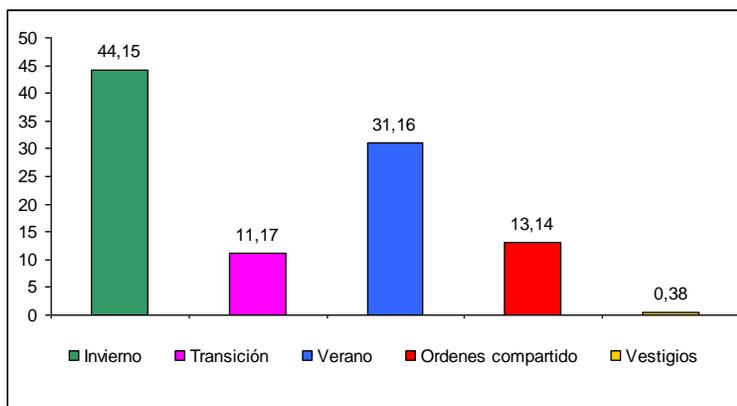
**Sitios de muestreo vs órdenes de MAE encontrados.** En este caso la significancia estadística fue de  $X^2=903,56$  y  $p=0.00$ , donde Carpinterías con un 49.8% (2758 individuos) se posicionó con el mayor número de individuos de los órdenes Hemíptera, Plecóptera y Trichoptera; Bocatoma obtuvo un 12.1% (670 individuos) de Coleóptera; antes del afluente un 19.4% (1075 individuos) con el orden Ephemeroptera, y los órdenes Neuróptera y Odonata encontrados en después del afluente alcanzaron el 16.6% (921 individuos). Además los cuatro sitios compartieron el orden Díptera con un 1.6% (88 individuos), y presentaron el mismo valor y órdenes vestigiales del caso anterior.

**Figura 30.** Porcentaje de los órdenes encontrados con un mayor numero de individuos.



**Épocas de muestreo vs órdenes de MAE encontrados.** De forma similar la presencia de asociaciones en cada época se hace evidente, ya que hay una significancia estadística que corresponde a  $X^2=319,32$  y  $p=0.00$ , dichas asociaciones consisten en lo siguiente: se encontró que para la época de invierno los órdenes Coleóptera, Díptera, Ephemeroptera, Neuróptera y Plecóptera obtuvieron un 44.1 % (2443 individuos); transición con Hemíptera un 11.2 % (618 individuos) , y con 31.2 % (1724 individuos) Plecóptera para la época de invierno, el orden compartido fue Odonata con 0.38% (727 individuos) y de igual manera se presentó el mismo número de vestigios. En conclusión las asociaciones que presentaron el mayor valor fueron las correspondientes a la época de invierno, seguida por verano y transición. Estos resultados se encuentran relacionados con las condiciones que cada época trae consigo, como disponibilidad de alimento, disponibilidad de sustratos y refugios, concentración de nutrientes, y cambios fisicoquímicos del agua, etc.

**Figura 31.** Porcentaje de los órdenes encontrados con un mayor numero de individuos por época de muestreo.



**Análisis estadístico para calidad de agua.** El presente estudio es de carácter descriptivo-explicativo y dada la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos y biológicos analizados para los diferentes periodos de muestreo, el respectivo análisis estadístico estuvo dado por la utilización de pruebas no paramétricas ( $X^2$ ), debido a que los datos no se ajustaron a la distribución normal, trabajando por consiguiente con tablas de contingencia y niveles de significancia estadística de  $p<0.05$  mediante el programa SPSS para Windows, versión 10 (SPSS Inc, Chicago, IL, EUA), dicho tratamiento arrojó como resultado una significancia estadística alta entre órdenes y cuenca(alta y media); órdenes y sitios de muestreo; y órdenes y épocas de muestreo, lo cual significa que existen ciertas asociaciones para cada caso, encontrando individuos que predominan en unos

sitios y que están ausentes en otros, lo que podría estar delimitado por las condiciones ecológicas que cada uno de las zonas presenta.

Los índices de Shannon-Weaver y curvas de acumulación de especies se obtuvieron con el programa Estimates. (COLWELL, 2000), donde por un lado el índice de diversidad para los cuatro sitios arrojó valores entre 2.58 y 2.84 bits/individuos, característico de aguas con “mediana diversidad y contaminación”, y por el otro lado, las curvas de acumulación demostraron una eficiencia en el muestreo del 83% y 85% según los estimadores empleados, basados en el número de morfoespecies observadas que fue de 59 géneros y las esperadas (estimadores) que fueron 69 en promedio.

Por su parte el Análisis de Componentes Principales aplicado para la correlación de variables físicas, químicas y biológicas estuvo a cargo del programa Statistical (Ludwig & Reynolds, 1988), dicho análisis mostró relaciones directas e indirectas para cada sitio, donde las variaciones de los diferentes parámetros estuvieron dadas según las características de las zonas así como por las condiciones que precedieron los días de muestreo.

### 9.3 MORFOMETRÍA Y MODELACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LA MICROCUENCA RIO SUCIO - PATIA.

**9.3.1 Morfometría de la microcuenca.** Los datos morfométricos obtenidos para la microcuenca río Sucio-Patía (Tabla 8), se encuentran descritos de la siguiente manera: el área calculada para la zona de estudio es de 91.28 Km<sup>2</sup> lo que equivale a 9128 has, además por estar dentro del rango de 20 -100 Km<sup>2</sup> es considerada como una microcuenca; su perímetro fue de 64,5 Km y su longitud de 28,88 Km, para un ancho de 3,16 Km.

**Tabla 8.** Parámetros morfométricos de la microcuenca río Sucio-Patía.

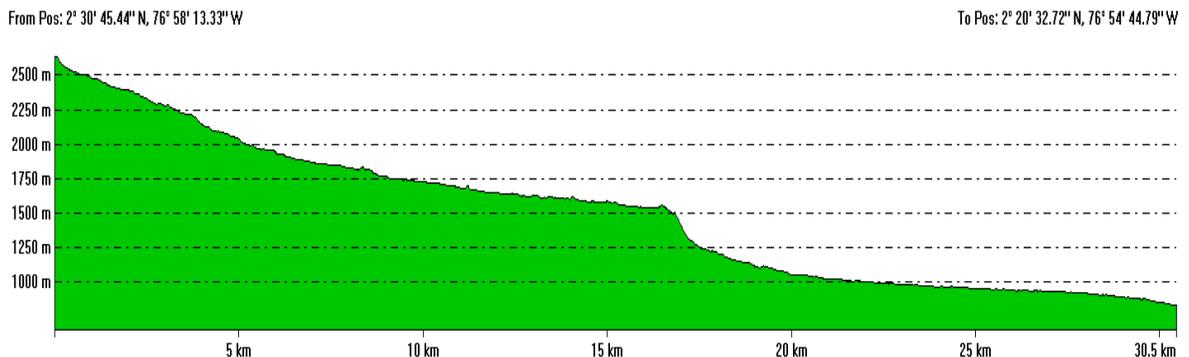
Parámetros	Valor
Área	91,28 Km <sup>2</sup>
Perímetro	64,5 Km
Factor de forma K	0,11
Ancho	3,16 Km
Índice de Gravelius o de Compacidad	1.9
Longitud del cauce	28,88 Km
Sinuosidad	1,14259
Densidad de drenaje	2,31 Km/Km <sup>2</sup>

En lo correspondiente al Factor de forma K, se encontró un valor de 0,11 el cual indica un factor de forma bajo, deduciéndose por consiguiente que la microcuenca tiene poca tendencia a las crecientes, su densidad de drenaje fue de 2,31 Km/Km<sup>2</sup> lo cual es considerado como una buena densidad, ya que cuenta con un suficiente número de elementos de drenaje por unidad de superficie (Figura 33), implicando una mayor producción de volúmenes de escurrimiento así como grandes velocidades de desplazamiento de sus aguas.

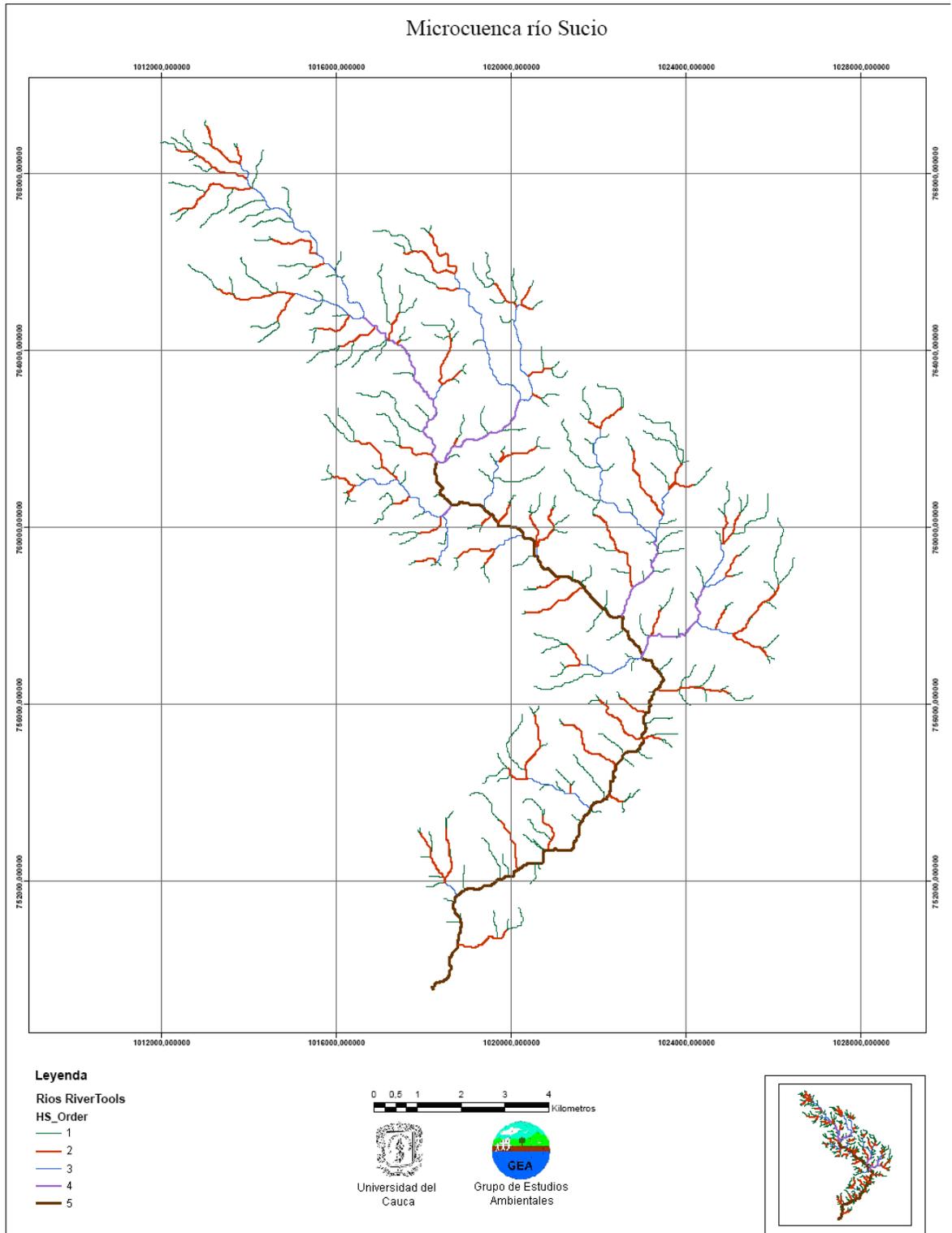
El valor del índice de Compacidad fué de 1.9, valor que permite clasificar a la microcuenca como clase Kc3 indicando que tiene una forma de oval-oblonga a rectangular-oblonga según la tabla de clasificación de formas, pues aunque dicho índice de compacidad sea superior al que indica la Tabla 4 (1.50 a 1.75), se considera dentro de esta categoría por presentar una forma irregular (a mayor irregularidad mayor el coeficiente). Lo anterior hace que la microcuenca del río Sucio figure con una baja tendencia hacia las crecidas y desbordamientos, concordando con lo determinado en el factor de forma K (Fuentes, 2004).

Mediante el conocimiento del perfil longitudinal del río (Figura 32) se puede identificar que por encima de la cota 1750 m.s.n.m, hay una incidencia en cuanto a los procesos erosivos y aumento del material de arrastre por escorrentías, contribuyendo así con los cambios en las características físicas, químicas y biológicas del agua.

**Figura 32.** Perfil longitudinal de la microcuenca del río Sucio-Región Patía.



**Figura 33.** Jerarquización de la red de drenaje de la microcuenca río Sucio-Patía.



**9.3.2 Modelación espacio-temporal.** La modelación espacio-temporal se logró efectuar mediante un análisis visual y de interpretación de las imágenes satelitales Landsat seleccionadas (1989 y 2003), comprendiendo además de la microcuenca río Sucio las zonas aledañas a la misma, dichas imágenes fueron procesadas en el programa ERDAS (versión 8.4), utilizando una composición visual en color de las bandas RGB-453, para lo cual se utilizó el modelo de clasificación no supervisada, el cual toma en cuenta la firma espectral de cada píxel y lo relaciona con los demás que se encuentran alrededor del mismo, permitiendo una clasificación de los píxeles con mayor resolución evitando la pérdida de información. De igual manera, se utilizó la clasificación supervisada, clasificación dada gracias a las salidas de campo (toma de puntos georreferenciados), información suministrada por algunos pobladores de la región y documentación e información secundaria del POT de El Tambo (2002), ambas herramientas fueron complementarias generando una mayor confiabilidad de los datos obtenidos en la zona, así como un mayor soporte.

En la clasificación de las imágenes, se analizaron cada una de las clases y se determinó a que tipo de unidad de cobertura de suelo pertenecía, una vez definidas o reagrupadas las unidades de cobertura de suelo, se procedió a la asignación de nombres temáticos para cada una de las unidades vegetales encontradas, agrupándose de la siguiente manera: bosque natural, bosque secundario, bosque plantado, pastos y cultivos (Tablas 9 y 10).

**Tabla 9.** Coberturas vegetales identificadas para el año 1989 en la microcuenca río Sucio a partir de imágenes LANDSAT (453).

<b>Cobertura</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Perímetro</b>
Bosque natural	3112,057	348574,137
Bosque secundario	707,586	162215,520
Bosque plantado	580,752	77779,761
Pastos	27001,671	4017409,879
Cultivos	13448,806	3843264,000
Total	44850,872	8449243,297

**Tabla 10.** Coberturas vegetales identificadas para el año 2003 en la microcuenca río Sucio a partir de imágenes LANDSAT (453).

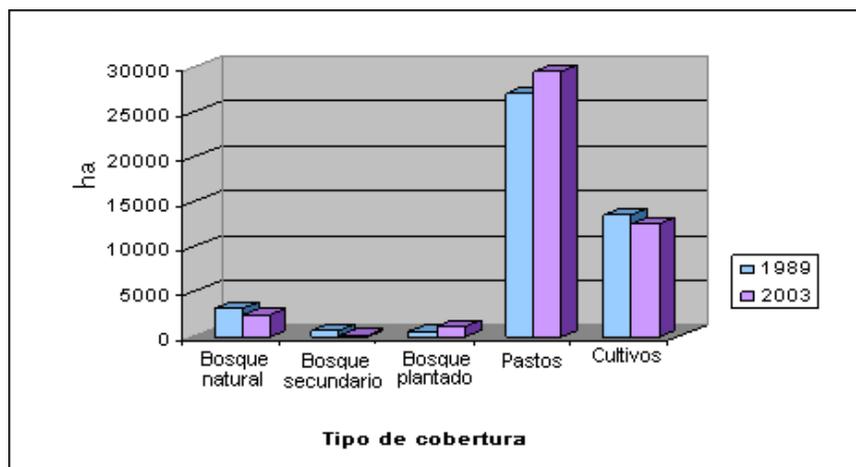
<b>Cobertura</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Perímetro</b>
Bosque natural	2401,110	260100,000
Bosque secundario	114,750	63600,000
Bosque plantado	1069,830	347340,000
Pastos	29441,160	3047580,000
Cultivos	12571,380	2929020,000
Total	45598,230	6647640,000

En general, las coberturas vegetales con mayor área son pastos y cultivos (Figura 36), debido a que son los principales requerimientos para el establecimiento de las más importantes actividades económicas de la región: la ganadería y la agricultura (demostrando que es una zona con bastante intervención antrópica). Por tanto, se corroboró que durante un periodo de 14 años, la zona presentó una serie de cambios en cuanto al uso de las tierras, calculando así, los cambios porcentuales en las coberturas vegetales (Tabla 11) que demostraron un aumento en el bosque plantado (84.21%) y pastos (9.03%), y una disminución en cuanto a las área de bosque natural (-22.84), bosque secundario (-83,78) y cultivos (-6,52419%).

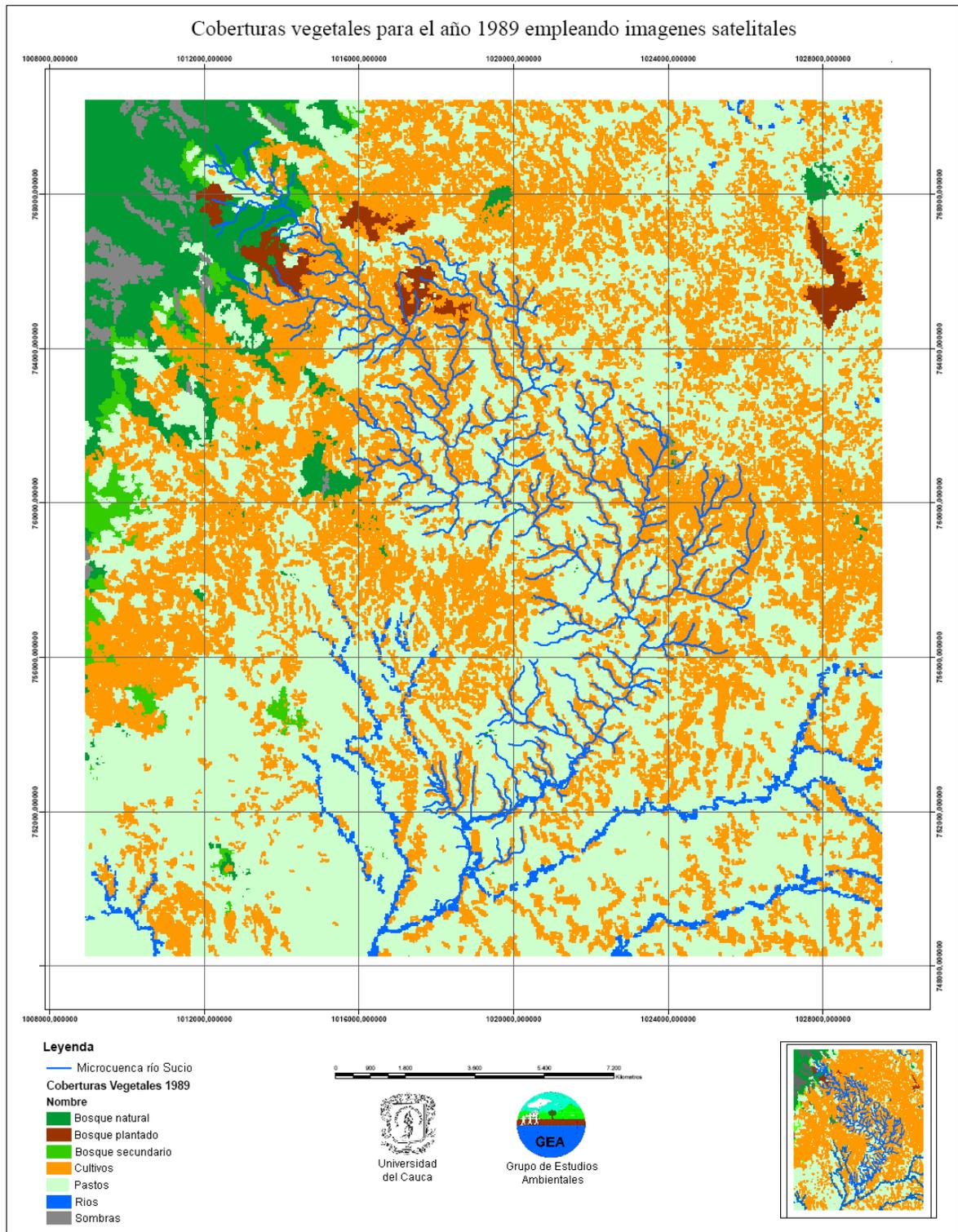
Los anteriores resultados son respuesta a una serie de factores como: la implementación de zonas agrícolas en zonas inicialmente forestales (bosques naturales), donde dicha actividad está basada inicialmente en la tala y quema como método de expansión, y es muy practicada por los pequeños agricultores de la región. Además, es sabido que tras unos pocos años de cultivo muchos de los suelos sólo pueden sustentar pastizales y matorrales debido a la pérdida de nutrientes y fertilidad; por lo que los agricultores tienden a desplazarse hacia otros bosques que serán condicionados para tal fin, así como para la colonización de áreas ribereñas destinadas a la ganadería, la cual al igual que la agricultura, es una de las formas más tradicionales de usar la tierra, trayendo consigo la conversión de otro tipo de coberturas en pastizales para tal fin.

De igual manera, los procesos naturales presentados en la región (meteorización, sucesión vegetal, pluviosidad, entre otros) acentúan los cambios del paisaje, y si bien, aunque los impactos sean medianamente moderados sobre los bosques, la regeneración de los mismos no se hará de manera rápida debido a la influencia de las áreas más antiguas que aún continúan degradadas (Balanza, 1998).

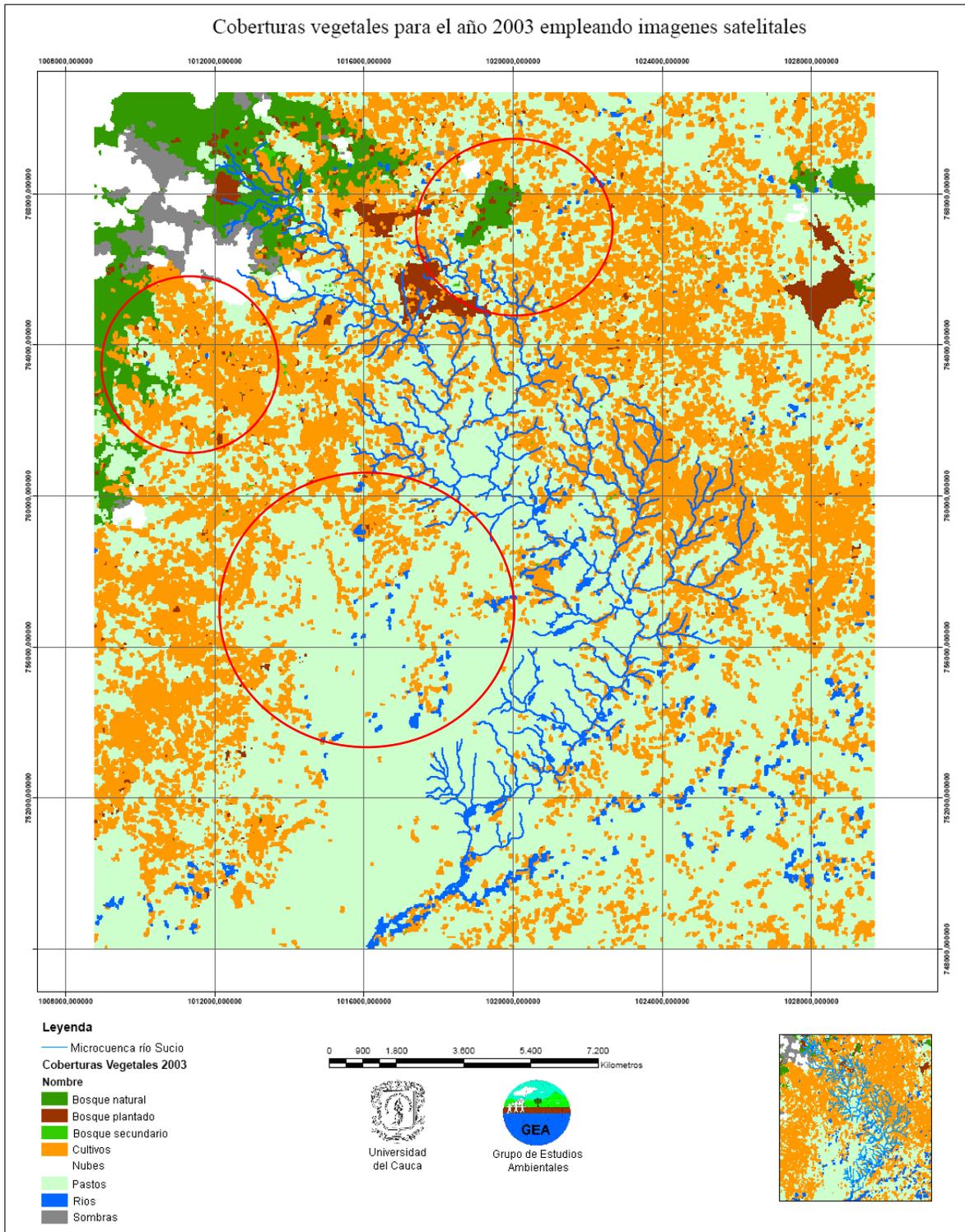
**Figura 34.** Cambios en las coberturas vegetales y áreas ocupadas para los años 1989 y 2003.



**Figura 35.** Mapa de Coberturas vegetales identificadas para el año 1989 en la microcuenca río Sucio-Patía.



**Figura 36.** Mapa de Coberturas vegetales identificadas para el año 2003 en la microcuenca río Sucio-Patía.



**Tabla 11.** Cambio porcentual y cambio medio anual de las coberturas vegetales identificadas para el periodo 1989 - 2003 en la microcuenca río Sucio a partir de imágenes LANDSAT (453).

<b>Cobertura</b>	<b>% Cambio Cobertura</b>	<b>Cambio medio anual (ha/año)</b>
Bosque natural	-22,84492	-50,78192857
Bosque secundario	-83,78289	-42,34542857
Bosque plantado	84,21460	34,93414286
Pastos	9,03459	174,2492143
Cultivos	-6,52419	-62,67328571

Para el análisis estadístico aplicado a los cambios de cobertura vegetal, se utilizó la prueba de Chi-cuadrado para datos no paramétricos (Tabla 12), con una probabilidad de  $p < 0.05$ , con 4 grados de libertad (gl), aplicación que demostró un incremento significativo para las áreas donde se presentan coberturas de bosques plantados y pastos, y una disminución en las áreas de bosque natural, bosque secundario y cultivos.

**Tabla 12.** Prueba de Chi-cuadrado para los cambios de cobertura vegetal de las imágenes satelitales.

<b>Cobertura</b>	<b>Área</b>		<b>(O-E)</b>	<b>(O-E)<sup>2</sup></b>	<b>(O-E)<sup>2</sup>/E</b>
	<b>Observado 1989</b>	<b>Esperado 2003</b>			
Bosque natural	3112,057	2401,110	-710,947	505445,6368	162,4152889
Bosque secundario	707,586	114,750	-592,836	351454,5229	496,6951337
Bosque plantado	580,752	1069,830	489,078	239197,2901	411,8751035
Pastos	27001,671	29441,160	2439,489	5951106,581	220,3977147
Cultivos	13448,806	12571,380	-877,426	769876,3855	57,24496178

De acuerdo a los resultados obtenidos, se logró evidenciar que el porcentaje de cambio de coberturas durante 14 años fue significativo, dichos cambios estuvieron relacionados de manera directa con las prácticas agrícolas y ganaderas ejercidas en la región (actividades económicas), por tal motivo se hace cada vez mas notorio el nivel de intervención antrópica generado en las zonas de muestreo, especialmente en la parte media de la microcuenca. La pérdida de cobertura vegetal, sobre todo la de tipo forestal hace que haya una mayor predisposición a

procesos erosivos, aumento en el transporte de partículas de suelo por efecto de la escorrentía superficial, lavado y pérdida de nutrientes del suelo, afectación en el caudal así como de las características físicas, químicas, biológicas y microbiológicas del agua, entre otros

**9.3.3 Cambios en las coberturas vegetales y su relación con la calidad del agua.** Las coberturas vegetales constituyen una capa protectora para el suelo, así como un mecanismo de regulación natural de muchos de los factores antes mencionados, por ende la conservación y protección de estas zonas tampón es de vital importancia por su contribución al comportamiento de muchas de las variables fisicoquímicas y biológicas del agua.

La presencia de bosques constituye la mejor protección natural contra la erosión y la contaminación, ya que una cobertura vegetal conservada posee una alta capacidad de retención del agua por intercepción y retención superficial en la hojarasca y alta capacidad de infiltración, que en conjunto hacen disminuir la escorrentía superficial. En el caso contrario, la pérdida o cambios de dicha cobertura, incide sustancialmente en la calidad del agua debido al aumento excesivo de la erosión, transporte de partículas sólidas y sedimentación (Guevara & Shaner, 1997). Estos efectos se lograron evidenciar de forma clara en el proceso y análisis de los datos obtenidos para la calidad del agua en el río Sucio, datos que pusieron en evidencia un aumento en la erosión y arrastre de sedimentos sobre todo para la época de invierno y parte de la transición en todas las zonas de muestreo.

Por ejemplo las características físicas, especialmente la turbidez cambian como consecuencia del aumento de la concentración de suspensiones, igualmente las características químicas se ven alteradas, debido a una redistribución en tiempo de los caudales, que constituyen volúmenes de dilución, los cuales aportan material suplementario que puede cambiar el cuadro químico de las soluciones y sobre todo de sus concentraciones durante periodos de estiaje. Las características biológicas por su parte (MAE), también se vieron afectadas, debido al arrastre y acumulación de sedimentos, pues muchos de los organismos acuáticos pudieron ser arrastrados y desalojados de sus hábitats.

## **9.4 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)**

**9.4.1 Lista de chequeo.** De acuerdo con la lista de chequeo (Cuadro 4), la determinación y ponderación de variables como las causas inmediatas en la transformación de un ambiente natural responden a los efectos generados por la acción del hombre a medida que se desarrollan las actividades cotidianas y se hace uso de los recursos naturales, para suplir las necesidades de alimentación, vivienda, salud e intercambio comercial, afectando la relación entre los

componentes de la cuenca como sistema; es decir, agua y suelo que a su vez se agrupan en el subsistema abiótico; flora y fauna en el subsistema biótico; paisaje al subsistema perceptual y el último componente, el socioeconómico perteneciente al subsistema antrópico. En esta evaluación los efectos se calificarán de manera cualitativa teniendo los siguientes parámetros: reversibilidad (si es reversible o irreversible); recuperabilidad a corto plazo (de 1 - 5 años), recuperabilidad a mediano plazo (de 5 -10 años) y recuperabilidad a largo plazo (de 10 años en adelante), además, se evaluará si el tipo de efecto es directo o indirecto.

Los posibles impactos evaluados en la lista de chequeo ejercen un efecto sobre los elementos que constituyen la microcuenca río Sucio-Patía, siendo estos respuesta directa a una serie de actividades antrópicas que se desencadenan gracias a la creciente colonización y cambios en el uso del suelo, que traen consigo la deforestación, la implementación de prácticas agrícolas y ganaderas, que a su vez generan una intervención desmedida en las coberturas vegetales, afectando la biodiversidad, transformando el paisaje y la composición y estructura del suelo, que unida a las fuertes pendientes, produce un mayor arrastre y lavado de nutrientes por efecto de la escorrentía superficial, modificando así, la fertilidad, productividad y capacidad de carga del mismo, constituyéndose en uno de los problemas más relevantes para los agricultores de la región.

Dichos problemas tienen un efecto sobre el estado físico del ambiente pero en su gran mayoría han demostrado ser reversibles, por el estado actual que el presente estudio ha proyectado sobre el sistema, el cual indica buena calidad del agua tanto en la parte alta y media de la microcuenca según los índices aplicados a la comunidad de macroinvertebrados y a la fisicoquímica, aunque sus aguas tienen una gran presencia de coliformes totales y fecales por el uso agrícola y ganadero establecida en la zona, con respecto a la cobertura vegetal se han ido perdiendo áreas protectoras de la microcuenca afectando más la estabilidad del sistema, lo cual se puede remediar con la implementación de prácticas agrícolas sustentables, que comprenden áreas de la biotecnología, ingeniería y estudios sistemáticos de las operaciones agrícolas individuales, que deben reducir significativamente la contaminación y los impactos negativos ocasionados principalmente por el mal uso de las tierras, por el monocultivo y por el excesivo uso de fertilizantes y pesticidas (Guevara & Shaner, 1997)

**Cuadro 4.** Determinación y ponderación de variables en la microcuenca río Sucio Patía.

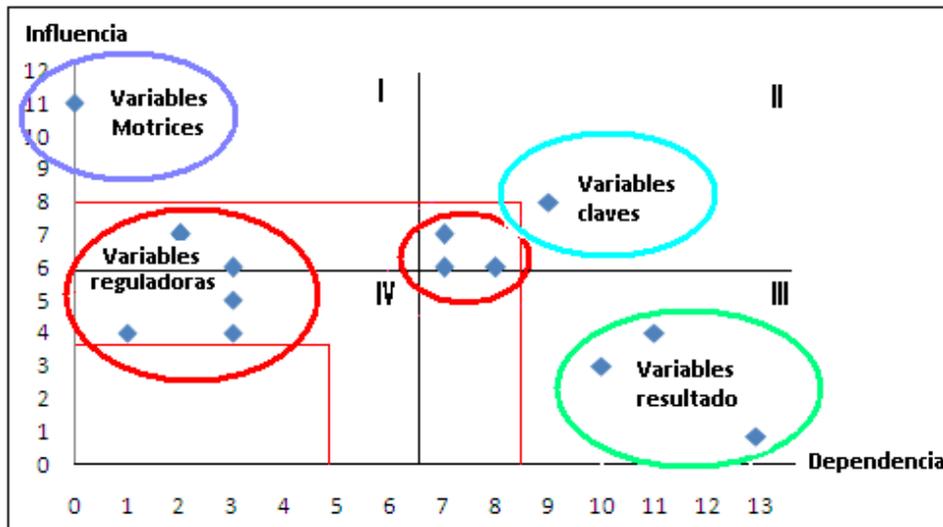
Sub-sistemas	Componentes	Causas	Posibles impactos	Efecto						
				Reversibilidad		Recuperabilidad			Tipo de efecto	
				R	I	CP	MP	LP	D	I
Abiótico	Agua	-Vertimiento de aguas residuales. -Descarga de sustancias agroquímicas por efecto de escorrentía. -Acumulación de residuos sólidos. -Extracción de material aluvial. -Transformación de la zona ripariana.	-Modificación de las características físicas y químicas. -Alteración de comunidades biológicas. -Incremento en el aporte de Material de arrastre. -Aumento en los niveles de sedimentación.	X			X		X	
				X			X			X
				X		X			X	
				X			X		X	
	Suelo	-Deforestación. -Fuertes pendientes. -Invasión de riberas por efecto urbanístico, agrícola y ganadero. -Actividad forestal. -Cambio de uso de la tierra.	-Pérdida de cobertura vegetal -Cambios en la humedad y temperatura del suelo. -Incremento en el arrastre de sedimentos por escorrentía superficial. -Pérdida de nutrientes por lavado del suelo. -Afectación en la composición y estructura de la edafofauna. -Acrecentamiento de los procesos erosivos. -Exposición, pérdida, modificación de horizontes. -Desgaste de taludes. -Compactación.	X				X	X	
				X				X		X
				X				X		X
				X			X		X	
				X				X		X
				X	X			X		X

<b>Biótico</b>	Flora	-Intervención de la cobertura vegetal por actividades como tala y quema (deforestación). -Cultivo y extracción de material forestal (eucaliptos y pinos). -Implementación de cultivos misceláneas.	-Pérdida de diversidad vegetal -Afectación de las especies nativas. -Alteración de procesos sucesionales. -Pérdida de hábitat. -Contribución al aumento del arrastre de sedimentos. -Cambios en la evapotranspiración / Humedad relativa. -Disminución de cobertura.	X X X X X X				X X X X X X	X X X X X X	X X X X X X
	Fauna	-Deforestación. -Transformación de la cuenca como sistema. -Colonización.	-Desplazamiento -Pérdida de hábitat y nichos -Afectación de la diversidad	X X X				X X X	X X X	X X X
<b>Perceptual</b>	Paisaje	-Deforestación. -Cambio en las coberturas vegetales y uso del suelo. -Cambios en la estructura y composición del suelo (geomorfología).	-Alteración del patrón visual (estética). -Disminución del atractivo turístico. -Cambio en la estructura del paisaje.	X X X				X X X	X X X	X X X
<b>Antrópico</b>	Socio económico	-Ocupación de áreas sin planificación. -Práctica de actividades como la ganadería, agricultura, explotación forestal, actividades recreativas. -Participación comunitaria.	-Incremento en la demanda de los recursos naturales y de los servicios ambientales. -Contaminación. -Erosión y producción de sedimentos. -Remoción de cobertura vegetal. -Afectación de la fertilidad y productividad del suelo.	X X X X X				X X X X X	X X X X X	X X X X X

<b>Convenciones</b>						
<b>Reversibilidad</b>		<b>Recuperabilidad</b>			<b>Tipo de efecto</b>	
<b>R</b>	<b>I</b>	<b>CP</b>	<b>MP</b>	<b>LP</b>	<b>D</b>	<b>I</b>
Reversible	Irreversible	Corto plazo	Mediano plazo	Largo plazo	Directo	Indirecto

**9.4.2 Matriz de Influencia y Dependencia.** Para esta matriz se analizaron un número de variables influyentes y dependientes que se relacionan entre sí (Cuadro 5), permitiendo evaluar de manera cualitativa las que más alteran el sistema hídrico, y las que tienden a un grado mayor de dependencia (entre 2 y 6), como son la calidad del paisaje, cambios en la alteración de la físico-química del agua y la afectación de las comunidades bióticas, en caso contrario las variables con un menor grado de dependencia pero que no dejan de ser importantes, están dadas por el vertimiento de aguas residuales, sustancias agroquímicas y residuos sólidos; la organización y participación comunitaria, deforestación y explotación forestal, entre otras.

**Figura 37.** Plano de influencia y dependencia.



Además, se realizó el diagrama del plano de Influencia y Dependencia (figura 37), que permitió agrupar las variables en las diferentes clases aquí establecidas.

- **Variables motrices:** son aquellas indicadoras de mayor influencia que condicionan al resto del sistema, en este caso, es la organización y participación comunitaria la que ejerce un gran impacto sobre la región.
- **Variables claves:** Las prácticas agrícolas y ganaderas es una variable que aplica en este rango debido a que es muy motriz y muy dependiente, esta gira directamente sobre el comportamiento del sistema.
- **Variables reguladoras:** son medianamente variables influyentes y/o dependientes, por lo que al mismo tiempo que generan un efecto son la respuesta de otras variables, considerándose de esta manera las siguientes:

deforestación, explotación forestal, vertimiento de aguas residuales, sustancias agroquímicas y residuos sólidos; arrastre de sedimentos, procesos erosivos, fuertes pendientes y afectación en la composición en la estructura del suelo.

- **Variables resultantes:** el cambio en la calidad fisicoquímica del agua, la alteración de las comunidades bióticas y la calidad del paisaje, generan poca influencia sobre el sistema pero en cambio son muy dependientes por lo que se consideran variables resultantes. En efecto cualquier acción sobre estas variables repercutirá sobre las otras y sobre ellas mismas amplificando el impacto en el sistema.

**9.4.3 Propuesta Ambiental.** De acuerdo con los resultados arrojados por la lista de chequeo y la matriz de influencias-dependencias cada una de las actividades tomadas en cuenta, están presionando y/o alterando de alguna manera componentes del sistema en cuestión (biológicos, físicos y químicos) siendo unas mas influyentes que otras.

Por tal motivo se hace necesaria la elaboración de unas fichas o lineamientos ambientales (Cuadro del 6 al 9), cuyo objetivo principal es lograr el buen manejo del recurso hídrico y todo lo que con el tiene relación, dichas fichas señalan las actividades mas relevantes y sus efectos mas significativos, mencionándose de igual manera un breve plan a seguir y su respectivo monitoreo. Pues con este tipo de estudio no solo se desea conocer el estado en el que se encuentra parte del sistema hídrico sino también de proporcionar información y alternativas de gestión frente a lo encontrado.

Pensando en lo anterior se propone a continuación una serie de actividades encaminadas a la mitigación, recuperación, protección y conservación del sistema, con la participación de los propietarios de la ribera de los ríos, inicialmente en 4 fincas pilotos que cubran más o menos 10 hectáreas tanto en la parte alta y media de la microcuenca (población de Fondas y Magines).

**Cuadro 5.** Determinación de variables influyentes y dependientes en la microcuenca río Sucio.

MATRIZ DE INFLUENCIAS / DEPENDENCIAS	INFLUENCIAS																	Grado de Dependencias SD/S
	Vertimientos de aguas residuales	Vertimiento de sustancias agroquímicas.	Vertimiento de residuos sólidos	Cambios en las características físicas y químicas del agua	Alteración de las comunidades bióticas.	Deforestación.	Explotación forestal	Arrastre de sedimentos	Procesos erosivos	Afectación en la composición y estructura del suelo.	Fuertes pendientes	Prácticas agrícolas y ganaderas.	Organización y participación comunitaria	Calidad del paisaje	DM			
<b>DEPENDENCIAS</b>	XX	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	GD	
Vertimiento de aguas residuales.	01	01	√						√					√		3	0.75	
Vertimiento de sustancias agroquímicas.	02		02					√					√	√		3	0.6	
Vertimientos de residuos sólidos.	03			03										√		1	0.25	
Cambios en las características físicas y químicas del agua.	04	√	√	√	04		√	√	√	√	√		√	√		10	3.33	
Alteración de comunidades bióticas.	05	√	√	√	√	05	√	√	√	√	√		√	√		11	2.2	
Deforestación.	06						06						√	√		2	0.42	
Explotación forestal.	07					√		07						√		2	0.37	
Arrastre de sedimentos.	08	√					√	√	08	√		√	√	√		7	1	
Procesos erosivos.	09						√	√	√	09	√	√	√	√		7	0.77	
Afectación en la composición y estructura del suelo.	10		√			√	√	√	√	√	10	√	√			8	1.33	
Fuertes pendientes.	11						√				√	11		√		3	0.6	
Prácticas agrícolas y ganaderas.	12		√	√	√	√			√	√	√	√	12		√	9	1.12	
Organización y participación comunitaria.	13													13		0	0	
Calidad del paisaje	14	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	14	13	6.5	
<b>∑ I</b>	15	4	6	4	3	4	7	7	7	6	6	5	8	11	1			

**Cuadro 6.** Recuperación de la cobertura vegetal en la microcuenca río Sucio-Patía.

Ficha 1	ESTABLECIMIENTO DE COBERTURA VEGETAL Y RECUPERACION DEL SUELO	COMPONENTE Flora y Suelo.
<p><b>Foto 1.</b> Problemas de taludes en la microcuenca río Sucio-Patía.</p>		
		
<p><b>Objetivo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar prácticas de recuperación de la cobertura vegetal, recuperación y protección del suelo.</li> </ul>		
<p><b>Acción causante</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cambio en el uso del suelo.</li> </ul>		
<p><b>Planteamiento del problema</b></p> <p>Los procesos de transformación de un ambiente natural, responden a los efectos generados por las actividades antrópicas, tales como la agricultura, ganadería, vertimientos, deforestación, que conllevan a cambios en las coberturas vegetales y en el uso del suelo, alterando componentes como agua y suelo (subsistema abiótico), flora y fauna (subsistema biótico) y por último el componente socioeconómico (subsistema antrópico).</p>		
<p><b>Efectos a mitigar</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Disminución de la cobertura vegetal de la microcuenca.</li> <li>Problemas de arrastre y lavado de nutrientes.</li> <li>Perdida de estructura y horizontes.</li> <li>Perdida de la edafofauna.</li> </ul>		
<p><b>Actividades</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Reforestación, protección y conservación de la vegetación ribereña.</li> <li>Creación de terrazas en caso de cultivos en fuertes pendientes.</li> <li>Establecimiento de trinchos como barreras para el mejoramiento y protección del suelo.</li> </ul>		

<b>Seguimiento y monitoreo</b> 1. Acompañamiento técnico. 2. Registro fotográfico durante todo el proceso. 3. Área de cobertura sembrada vs. Área de cobertura establecida (% de rendimiento).			<b>Recuperabilidad:</b> Largo plazo
<b>COSTOS x HECTAREA</b>			
Ítem o Recurso	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Adquisición de especies arbóreas nativas	1.700	600	1.020.000
Transporte	1.700	Global	300.000
Materiales para trinchos (guadua-madera y alambre)	10	Global	1.500.000
Jornales mano de obra	50	15.000	750.000
Abono orgánico-gallinaza	30 bultos	8.000	240.000
Urea	50 Kg.	1.000	50.000
Bórax	17 Kg.	3.000	51.000
Asistencia técnica		Global	300.000
<b>TOTAL</b>			<b>4.211.000</b>
*Opcional.			

**Cuadro 7.** Mejoramiento de la cantidad y calidad del agua para la microcuenca del río Sucio-Patía.

Ficha 2	MEJORAMIENTO DE LA CANTIDAD Y CALIDAD DEL AGUA	COMPONENTE: Agua.
<p><b>Foto 1.</b> Disminución del caudal en la microcuenca río Sucio-Patía</p>		
		
<p><b>Objetivo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Disminuir y mitigar las actividades que alteran la diversidad biótica y las variables fisicoquímicas del agua.</li> </ul>		
<p><b>Acciones Causantes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Prácticas agrícolas y ganaderas inadecuadas</li> <li>Pérdida de cobertura vegetal reguladora del sistema.</li> <li>Vertimiento de sustancias agroquímicas.</li> <li>Incremento de la concentración de sedimentos por lavado del suelo.</li> </ul>		
<p><b>Planteamiento del problema</b></p> <p>La inadecuada implementación de prácticas agrícolas, ganaderas y forestales causantes de cambios en las características físicas, químicas y biológicas, debido a vertimientos de aguas residuales, sustancias agroquímicas y sedimentos provenientes del arrastre del suelo a lo largo del río.</p>		
<p><b>Efectos a mitigar</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Alteración de la calidad del agua.</li> <li>Afectación de las comunidades bióticas.</li> <li>Arrastre directo de residuos sólidos por aumento de la velocidad en la corriente del río tras el desvío de este para extracción de materiales.</li> <li>Aumento de organismos patógenos por aguas servidas a lo largo del río.</li> <li>Contaminación por la descomposición de los residuos líquidos y sólidos.</li> </ul>		

<b>Acciones</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protección de relictos de bosques naturales aun existentes en la microcuenca.</li> <li>• Planes de reforestación en la ribera de los afluentes.</li> <li>• Control de emisión de vertimientos y residuos sólidos.</li> </ul>			
<b>Seguimiento y monitoreo</b>			<b>Recuperabilidad:</b> Mediano plazo.
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acompañamiento técnico durante todo el proceso.</li> <li>2. Registro fotográfico para valorar el mejoramiento en la calidad del paisaje.</li> </ol>			
<b>COSTOS X HECTAREA</b>			
<b>Ítem o recurso</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Jornales mano de obra	50	15.000	750.000
Insumos para cercos			
alambre	3 bultos	70000	210000
postes y	150 unid	1500	250000
grapas.	3 kg	3000	9000
Asesoría técnica	2	50000	100000
<b>TOTAL</b>			<b>5019000</b>
*El presupuesto de reforestación está incluida en la ficha 1.			

**Cuadro 8.** Mejoramiento del paisaje para la microcuenca río Sucio- Patía.

Ficha 3	MEJORAMIENTO DEL PAISAJE	COMPONENTE: Paisaje
<p><b>Foto 1.</b> Disminución del caudal en la microcuenca río Sucio-Patía.</p>		
		
<p><b>Objetivo</b> Proporcionar un entorno agradable y un mejoramiento de la calidad visual.</p>		
<p><b>Acciones causantes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deforestación.</li> <li>• Cambio en las coberturas vegetales y uso del suelo.</li> </ul> <p>Cambios en la estructura y composición del suelo (geomorfología).</p>		
<p><b>Razón del programa</b> Los constantes cambios en el uso del suelo e implantación de actividades antrópicas para el sostenimiento económico de los propietarios y sus familias de la margen del río, conlleva a una modificación de la estructura del paisaje, por lo que altera el ciclo hidrológico de la microcuenca, y a su vez la productividad de las tierras. Por lo que se requiere una recuperación del entorno mediante prácticas sostenibles y sustentables.</p>		
<p><b>Efectos a mitigar</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Incremento en la demanda de los recursos naturales y de los servicios ambientales.</li> <li>▪ Contaminación.</li> <li>▪ Erosión y producción de sedimentos.</li> <li>▪ Remoción de cobertura vegetal.</li> <li>▪ Afectación de la fertilidad y productividad del suelo.</li> </ul>		

<b>Actividades</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Establecimiento de actividades agrícolas sostenibles en fincas pilotos, tales como: sistemas agroforestales y silvopastoriles.</li> <li>- Reforestación de la ribera del río</li> </ul>			
<b>Seguimiento y monitoreo</b>			<b>Recuperabilidad:</b> Largo plazo
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acompañamiento técnico durante todo el proceso.</li> <li>• Registro fotográfico para valorar el mejoramiento en la calidad del paisaje</li> </ul>			
<b>COSTOS X HECTAREA</b>			
<b>Ítem o recurso</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor total</b>
Adquisición de especies nativas	3000 unid.	1200	3600000
Plántulas frutales	70 unid.	3500	245000
Mano de obra	50 jornales	15000	750000
Insumos para cercos			
alambre	3 bultos	70000	210000
postes y	150 unid	1500	250000
grapas.	3 kg	3000	9000
Abono orgánico-gallinaza	30 bultos	7000	60000
Urea	30 Kg	850	25500
Equipo técnico	4	50000	200000
<b>TOTAL</b>			<b>5349500</b>
El presupuesto de reforestación está incluido en la ficha 1 y 2.			

**Cuadro 9.** Educación ambiental para los pobladores de la microcuenca río Sucio-Patía.

Ficha 4	EDUCACION AMBIENTAL	COMPONENTE: Antrópico
<p><b>Foto 1.</b> Disminución del caudal en la microcuenca río Sucio-Patía.</p>		
		
<p><b>Objetivo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consolidar metodologías y planes de acción frente a la temática de educación ambiental formal y no formal.</li> </ul>		
<p><b>Acciones causantes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Explotación irracional de los recursos naturales.</li> <li>• Prácticas agrícolas y ganaderas inadecuadas.</li> <li>• Vertimiento de sustancias agroquímicas.</li> <li>• Colonización.</li> </ul>		
<p><b>Planteamiento del problema</b></p> <p>Las actividades antrópicas en su gran mayoría ejercen efectos negativos sobre cualquier recurso natural, por lo que compartir temáticas con fines educativos o de capacitación para la protección y conservación del medio en el que vive, es de vital importancia debido a que la participación social es una aliada contra la destrucción y explotación irracional del recurso propiciando así un desarrollo sostenible.</p>		

**Efectos a mitigar**

- Incremento en la demanda de los recursos naturales y de los servicios ambientales.
- Contaminación.
- Erosión y producción de sedimentos.
- Remoción de cobertura vegetal.
- Afectación de la fertilidad y productividad del suelo
- Alteración en la cantidad y calidad del agua..

**Acciones**

Estas actividades se adelantarán mediante los siguientes talleres:

1. Sensibilización: relación hombre y naturaleza.
2. Integración entre instituciones educativas y demás autoridades.
3. Producción más limpia.
4. Manejo de residuos sólidos y líquidos.
5. Manejo de cobertura vegetal y suelos.

**Seguimiento y monitoreo**

1. Acompañamiento técnico durante todo el proceso.
2. Registro fotográfico para valorar el mejoramiento en la calidad del paisaje.

**COSTOS x TALLER**

Ítem o recurso	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Material y recursos didácticos	40	3.500	140.000
Refrigerios	40	1.500	60.000
Transporte		Global	200.000
Honorarios y equipo técnico	2	50000	100.000
		TOTAL	500.000

## 10. CONCLUSIONES

Los procesos de transformación de un ambiente natural responden a impactos generados por las actividades antrópicas como: deforestación, agricultura, ganadería y vertimientos, ejerciendo una serie de presiones sobre la microcuenca del río Sucio, que se manifiestan en la alteración y afectación de sus componentes principales (flora, fauna, suelo, agua, paisaje y antrópico) ya sea de forma directa o indirectamente, claro ejemplo, es el cambio en las coberturas vegetales (bosques naturales, secundarios, plantados, cultivos y pastos) que se han presentado de forma significativa en el uso del suelo durante un periodo de 14 años (1989-2003) comprometiendo la estabilidad del sistema, pues ya que al perder áreas boscosas se está dejando sin protección y regulación a muchos factores internos del sistema hídrico.

Pese a todo lo anterior, las características fisicoquímicas y biológicas que presenta actualmente la microcuenca corresponden a aguas oligotróficas, con ciertos incrementos en la turbiedad, conductividad, coliformes fecales y nutrientes (nitrógeno, sulfatos y fosfatos) para épocas de invierno y transición, donde la precipitación fue mayor, contribuyendo a la acentuación del arrastre de sedimentos, comportamiento que disminuyó en épocas secas. En lo concerniente al componente biológico (macroinvertebrados acuáticos) durante el periodo de los 6 meses de muestreo, fue posible la identificación de 4 Phylum, 14 órdenes, 40 familias y 59 géneros, para un total de 5533 individuos capturados, muestreo que representó una eficiencia del 83% y 85% según la curva de acumulación de especies y sus estimadores. El total del material colectado estuvo distribuido de la siguiente manera:

En el sitio 1: Carpinterías, se registraron 1334 especímenes, correspondientes al 24% del total del material colectado, donde los órdenes Trichoptera, Hemiptera, Coleoptera y Plecóptera fueron los de más amplia representación.

En el sitio 2: Bocatoma, fueron hallados 1612 individuos lo cual corresponde a un 29% de los individuos obtenidos, constituyéndose en el mas alto en comparación a los demás sitios, lográndose destacar los ordenes Trichoptera, Ephemeroptera y Coleóptera.

En el sitio 3: Antes del afluente-quebrada Magines, se colectó un total de 1308 especímenes correspondientes al 24% del material reunido, donde la mayor abundancia la tuvieron los órdenes Trichoptera, Ephemeroptera, Odonata y Hemiptera.

En el sitio 4: Después del afluente-quebrada Magines, fueron colectados 1279 individuos concerniente a un 23% del material total, los órdenes más destacados son Trichoptera, Odonata y Ephemeroptera.

En relación a lo anterior, para los cuatro sitios el índice de Shannon-Weaver indicó una mediana diversidad y contaminación, donde los valores más altos se presentaron en la parte media de la microcuenca, debido a la depuración de materiales y aumento en el flujo de la corriente. Por su parte, el índice de calidad BMWP muestra valores correspondientes a aguas muy limpias y de buena calidad, cuyos máximos estuvieron dados en los dos primeros sitios de muestreo, correspondientes a la parte alta de la microcuenca.

De acuerdo a la relación existente entre parámetros biológicos y fisicoquímicos la implementación del Análisis de Componentes Principales mostró una serie de relaciones directas e indirectas para estas variables dentro de cada sitio, donde las fluctuaciones de los diferentes parámetros estuvieron dadas según las características de las zonas así como por las condiciones que precedieron los días de muestreo. Además, según los análisis estadísticos aplicados, el nivel de significancia estadística fue alta, por lo tanto se dice que hubieron ciertas asociaciones entre órdenes y cuenca (alta y media); órdenes y sitios de muestreo; y órdenes y épocas de muestreo, donde la presencia de algunos individuos fue mayor en unos sitios y menor en otros, lo cual podría estar delimitado por las condiciones ecológicas que presenta cada una de las zonas.

Por último, las características morfométricas calculadas para esta microcuenca demuestran, que tiene poca tendencia a las crecientes por su forma irregular (oval-oblonga a rectangular-oblonga), factor de forma bajo y una incidencia en cuanto a los procesos erosivos y aumento del material de arrastre por escorrentías por encima de la cota de los 1750 msnm, los cuales contribuyen en los cambios físicos, químicos y biológicos del agua.

## 11. RECOMENDACIONES

De acuerdo con el trabajo desarrollado en la microcuenca del río Sucio y los resultados obtenidos se sugieren las siguientes recomendaciones:

- Socializar este tipo de estudios ante la comunidad y las autoridades municipales, para que tengan un conocimiento de la problemática de la microcuenca.
- Realizar estudios similares en la parte baja de la microcuenca (Vereda Mosquera), donde estudios previos han demostrado que su fisicoquímica varía drásticamente con relación a las partes alta (Carpinterías y Bocatoma) y media (vereda Magines), debido a la actividad minera que se desarrolla en esta zona.
- Formular programas y proyectos orientados al ordenamiento y gestión ambiental de la microcuenca, donde se lleven a cabo acciones pertinentes para la recuperación, protección y conservación de este valioso recurso hídrico.
- Ingresar la información generada y recopilada al Sistema de Información Regional sobre el Agua "SIRA", desarrollado por el grupo de estudios ambientales "GEA" como mecanismo de planificación y gestión integral del recurso hídrico en el sur occidente colombiano y de difusión y apropiación social para la región.

## 12. BIBLIOGRAFIA

ALZATE, C. Estudio biofísico integrado de la microcuenca quebrada la Lajita. Cajete. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Popayán, 2002.

BALANZA, P. Estilos de desarrollo, reforestación y degradación de los bosques en las tierras bajas de Bolivia. CIFOS, SEDELA, TIERRA: Bolivia, 1998.

BENNEMA, J & GELENS, H. Aerial photointerpretation for soils surveys. Revisions: A. Fashad. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Netherlands, 1996.

CAMPUZANO, M. E. Calidad biológica y fisicoquímica del río Grande en el área de Influencia del municipio de Puracé Coconuco departamento del Cauca. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Popayán, 2004.

CHAO, A. "Nonparametric estimation of the number of classes in a population", Scandinavian Journal of Statistics, 1984.

CHUVIECO, E. Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio. Ariel Ciencia: Madrid-España, 2002.

CHUVIECO E. Fundamentos de Teledetección Espacial. 3 ed. Ediciones Rialp: Madrid, 1996.

COLWELL, R. K. "Estimates". Statistical Stimation of Species Richness and Shared Species from Simples, 2000.

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA, CRC. Agenda ambiental municipio de El Tambo. CRC: Popayán, 2001.

\_\_\_\_\_. Plan de Gestión Ambiental Regional del Cauca, PGAR. CRC: Popayán, 2002.

\_\_\_\_\_. Guía para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas del departamento del cauca. CRC: Popayán, 2005.

DOBSON, A.P.; A.D. BRADSHAW & A.J.M. BAKER. Hopes for the future: Restoration Ecology and Conservation Biology. Science, 277, 1997.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Centro Nacional de Investigaciones de café. Disciplina de Agroclimatología. Estación Manuel Mejía, 2003.

FIGUEROA, A., CONTRERAS, R & SÁNCHEZ, J. Evaluación de Impacto Ambiental. Un instrumento para el Desarrollo. Cali: Corporación Universitaria Autónoma de Occidente, 1998.

FRANCO, J. Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del parque Nacional Pico de Tancítaro. Instituto Nacional de Ecología. Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. México, 2004.

GODET, M. La caja de herramientas de la prospectiva estratégica. Librairie des Arts et Métiers: Paris, 2000.

GONZÁLEZ, M. & GARCÍA, D. Restauración de ríos y riberas. Mundi-Prensa: Madrid, 1998.

GUEVARA, E & SHANER, W. Manejo integrado de cuencas: documento de referencia para los países de América latina. Santiago: Chile, 1997.

HENAO, J. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. Universidad Santo Tomas. Centro de enseñanza desescolarizada. Bogota, 1988.

HOLDRIDGE, L. R. Ecología basada en las zonas de vida. San José, IICA: Costa Rica, 1987.

IDEAM. Sistema De Información Ambiental De Colombia –SIAC-. Primera Generación De Indicadores De Línea Base De La Información Ambiental De Colombia. Tomo II. IDEAM: Bogotá, 2002.

INSTITUTO CINARA. Análisis de sostenibilidad. Red de acueducto. Cali: Universidad del Valle, 2004.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Tesis y otros trabajos de grado. ICONTEC: Bogota, 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE FOMENTO MUNICIPAL, SECCION TÉCNICA. Proyecto de captación y conducción para el acueducto. El Tambo, 1961.

\_\_\_\_\_. Proyecto de acueducto. Estudio de conducción para el acueducto. El Tambo, 1979.

JOAQUI, S. Análisis multitemporal de las coberturas vegetales para ecotopos paramunos caracterizando las intervenciones antropicas, en una ventana del Parque Nacional Natural Puracé. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Popayán, 2005.

KILLEEN *et al.* La ecología paisajística de la región de Concepción y Lomerio en la provincia Ñuflo de Chavez, Santa Cruz, Bolivia. Revista Ecología en Bolivia, N°16, La Paz, 1990.

LUDWIG, J. & REYNOLDS, J. Statistical Ecology. Canada, 1988.

MACHADO, T & ROLDÁN, G. Estudio de las características fisicoquímicas y biológicas del río Anorí y sus principales afluentes. Actual Biol 10 (35): 3-19, 1981.

MINISTERIO DE SALUD. Dirección de promoción y prevención. Subdirección de ambiente y salud. Colombia, 1998.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Decreto 1729 de 2002.

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución número 2115, 2007.

MOZO, T. Ecología y conservación de recursos naturales renovables. ECOE: Colombia, 1999.

PARRA, R., MARULANDA, J & ESCOBAR, F. Sistema de Información Geográfica (SIG): Base de la gestión ambiental Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín, 1997.

PELAEZ, R. Avaliação da qualidade da Água da bacia do alto Jacaré através de variáveis físicas, químicas e biológicas. Universidade de São Paulo. Campus de São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos, 2001.

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, POT. Alcaldía municipal de El Tambo. El Tambo, 2002.

PRATT, N. Bioindicadores de calidad de aguas. Manuscritos Curso bioindicadores de Calidad de agua. Universidad de Antioquia. Medellín, 1998.

QUIÑONES, M., RAMÍREZ, J & DÍAZ, A. Estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos derivados en la zona del ritral del río Medellín. Actual Biol **20**(69): 75-86. Medellín, 1998.

ROLDAN, G. Guía para el Estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Fondo FEN Colombia. COLCIENCIAS. Universidad de Antioquia, 1988.

\_\_\_\_\_. Fundamentos de Limnología Neotropical. Medellín: Universidad de Antioquia, 1992.

\_\_\_\_\_. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. Rev. Acad. Colombia. Ciencia. 23 (88): 375-387, 1999.

\_\_\_\_\_. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia. Colombia, 2003.

ROMERO, J. A. Calidad del agua. Colombia: Escuela colombiana de Ingeniería. 2005.

SERRATO, C. S. Efecto de las alteraciones producidas por la construcción de la Microcentral Hidroeléctrica Riofrío ii, sobre la fauna bentónica. Tesis Programa de Biología Universidad del Valle. Cali, 1999.

STANESCU, S. Influencia de la vegetación forestal en régimen hidrológico de las corrientes. Ecología y conservación de recursos naturales renovables. ECOE: Colombia. 1999.

SHANNON & WEAVER. Índice de diversidad. 1949.

VANNOTE, R. L., G.W. MINSHALL, K.W. CUMMINS, J. R. SEDELL & C. E. CUSHING. The river continuum concept. In: Can. J. Fish Aquat. Sci. 37. 130-137, 1980.

VAZQUEZ, G. Evaluación de la calidad de las aguas naturales: Significado y alcances en la determinación de análisis de parámetros físico químicos y biológicos fundamentales. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Popayán, 2001.

VILLARREAL H., M. ÁLVAREZ, S. CÓRDOBA, F. ESCOBAR, G. FAGUA, F. GAST, H. MENDOZA, M. OSPINA y A. M. UMAÑA. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Colombia, 2004.

WATER MANAGEMENT CONSULTANTS, Ministerio del Medio Ambiente. Guías metodológicas para el Manejo Integral del Agua Subterránea. Bogotá, 2001.

ZAMORA, H. Niveles de alteración de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos del río Molino, por efecto de las actividades antrópicas y la contaminación doméstica. Universidad del Cauca. Departamento de Biología. Popayán, 1996.

\_\_\_\_\_. Aspectos bioecológicos de las comunidades de macroinvertebrados dulceacuícolas en el departamento del Cauca. Universidad del Cauca. Departamento de Biología. Popayán. Colombia, 1996.

\_\_\_\_\_. Adaptación del índice BMWP para la evaluación biológica de la calidad de las aguas epicontinentales para Colombia. Universidad del Cauca. Departamento de Biología. Popayán. Colombia, 1999.

ZUÑIGA, M. C, ROJAS, M & CAICEDO, G. Indicadores ambientales de calidad de agua en la cuenca del río Cauca. XXVIII Congreso Nacional de Ciencias Biológicas. Armenia, 1993.

## ANEXO 1. CONDICIONES CLIMATICAS.

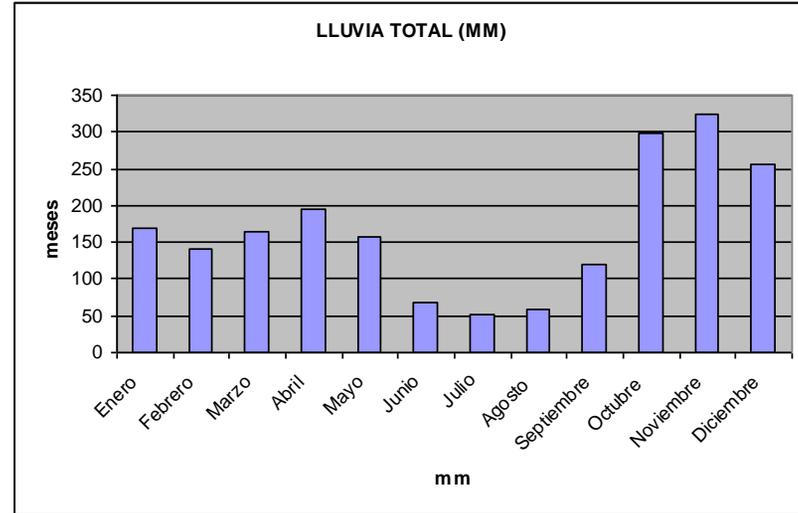
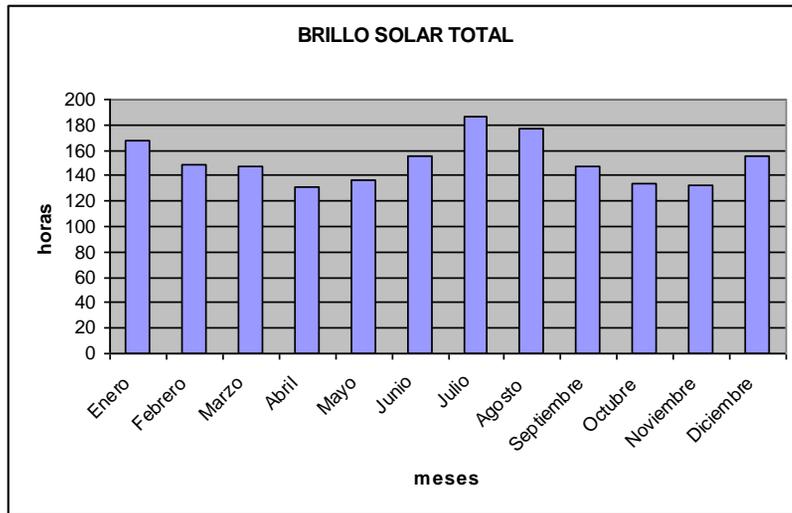
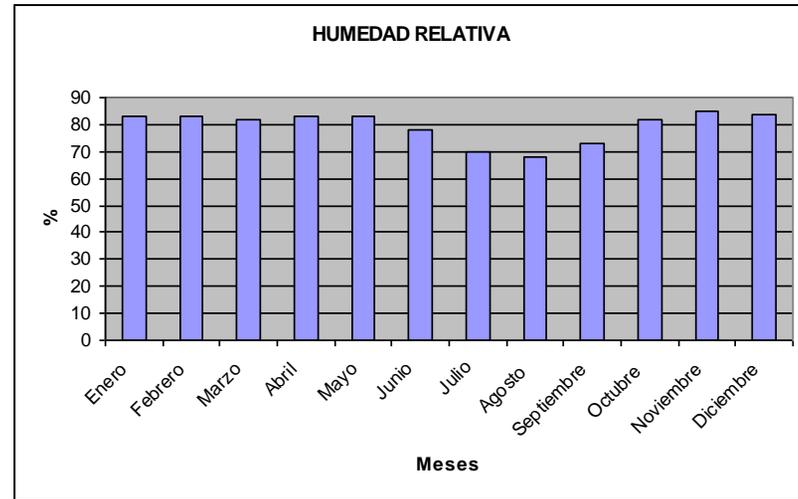
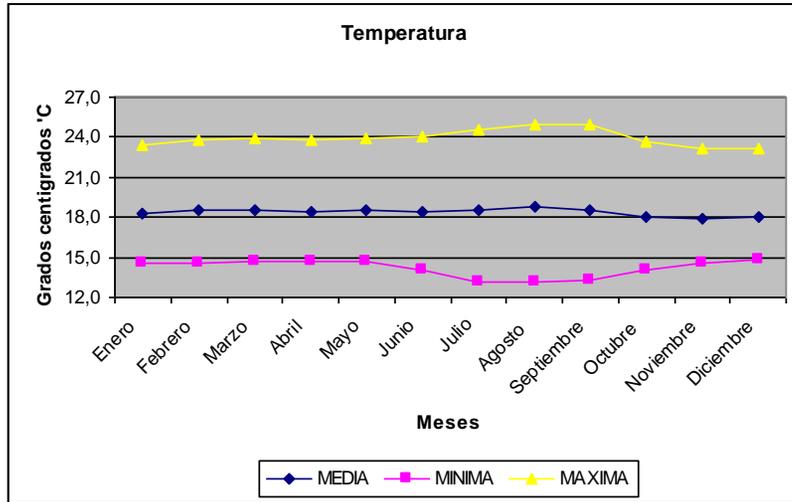
Estación: Manuel Mejía  
 Latitud: 2° 24' N

Dpto: Cauca  
 Longitud: 76° 44' W

Mpio: El Tambo  
 Altitud: 1.735 m.s.n.m.

Tabla 1. Condiciones climáticas de la subestación experimental El Tambo (periodo 1953-2003).

MESES	TEMPERATURA			HUMEDAD RELATIVA (%) MEDIA	BRILLO SOLAR TOTAL (h)	LLUVIA TOTAL (MM)
	MEDIA	MINIMA	MAXIMA			
Enero	18,3	14,6	23,4	83	168	169
Febrero	18,5	14,6	23,8	83	148	141
Marzo	18,6	14,7	23,9	82	147	165
Abril	18,4	14,7	23,8	83	131	195
Mayo	18,5	14,7	23,9	83	137	157
Junio	18,4	14,1	24,0	78	155	67
Julio	18,6	13,2	24,6	70	187	51
Agosto	18,8	13,1	25,0	68	177	59
Septiembre	18,6	13,3	24,9	73	147	120
Octubre	18,0	14,1	23,7	82	134	299
Noviembre	17,9	14,6	23,1	85	132	324
Diciembre	18,0	14,8	23,1	84	156	256
Anual	18,4	14,2	23,9	80	1819	2003



## ANEXO 2. COLIFORMES TOTALES Y FECALES EN LA MICROCUENCA RIO SUCIO-PATIA.

**Cuadro 1.** Registro de coliformes totales y fecales en la microcuenca río Sucio-Patía.

PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS		BOCATOMA			ANTES DE DESEMBOCADURA		
		Muestreo 1 NOV	Muestreo 2 DIC	Muestreo 7 OCT	Muestreo 1 NOV	Muestreo 2 DIC	Muestreo 7 OCT
<b>COLI TOTAL</b> Unidades Formadas de Colonias (UFC/100) cm <sup>3</sup>	10 <sup>-1</sup>	23	165	89	163	239	165
	10 <sup>-2</sup>	8	100	82	18	105	103
	10 <sup>-3</sup>	4	15	74	12	75	95
<b>COLI FECAL</b> Unidades Formadas de Colonias (UFC/100) cm <sup>3</sup>	10 <sup>-1</sup>	257	127	0	280	168	0
	10 <sup>-2</sup>	102	31	0	120	132	0
	10 <sup>-3</sup>	9	1	0	25	87	0

### ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

El número total de bacterias en un cuerpo de agua puede dar una indicación útil de la calidad general del recurso, mientras que la determinación de bacterias intestinales como es el caso del grupo de las Coliformes, está relacionada con la salud humana. Su presencia en el agua puede estar acompañada de otros microorganismos comunes en la flora microbiana intestinal, tales como bacterias estreptococos, enterococos, estafilococos, hongos amibas y otros (Ministerio de Salud, 1988).

En el cuadro 1, se consignan los valores de análisis microbiológicos hallados en las 2 estaciones de muestreo elegidas para su ejecución, los valores obtenidos en las muestras del río fueron notablemente altos durante el periodo de estudio, especialmente en la zona media donde el nivel de intervención es considerable y en el mes de diciembre donde hubo un incremento en las precipitaciones, dichos valores muestran que en general los coli totales estuvieron entre 12 y 239 Unidades Formadoras de Colonias (UFC) y los fecales entre 25 y 280 UFC. En la Bocatoma los coliformes totales oscilaron entre 4 y 165 (UFC), mientras que por su parte las *E. coli* variaron entre 1 y 257 UFC, presentándose la particularidad de que en el mes de octubre los valores para cada sitio de muestreo fue de cero para las tres diluciones empleadas, posiblemente debido a que en este periodo las lluvias habían disminuido sustancialmente logrando una disminución de los procesos de arrastre de sedimentos y escorrentía.

Según Roldán (1992), la presencia del grupo coliforme en un ecosistema acuático constituye el indicio más delicado y evidente de polución, lo cual es evidente en este caso ya que en esta región las prácticas antrópicas más relevantes son la ganadería, la agricultura y todo lo que esto implica.

Según los anteriores resultados, se puede decir que el agua en la microcuenca o por lo menos la de los dos sitios muestreados no reúne los requisitos de potabilidad necesarios para ser consumida por la población humana sin un previo tratamiento, ya que podría llegar a producir efectos perjudiciales a la salud, pues de acuerdo con lo establecido en la normatividad vigente del Ministerio de Protección Social y del Ambiente (2007), ninguna muestra de agua “potable” debe contener coliformes y *Escherichia coli*, es decir, el valor de estos microorganismos en el agua debe ser de cero. Por tanto, es muy importante que se tomen medidas para evitar la contaminación por estos microorganismos, tales como, no arrojar residuos sólidos y líquidos directamente a los cuerpos de agua, no talar, ni quemar los bosques en especial los que se encuentran bordeando las zonas de nacimiento de agua de la microcuenca y sobre todo, educar ambientalmente a la población con programas que permitan que los habitantes tomen conciencia de la importancia de mantenerlas limpias.

**ANEXO 3. FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS ENCONTRADOS EN LA MICROCUENCA RÍO SUCIO-PATÍA**

**ODONATA**



Gomphidae



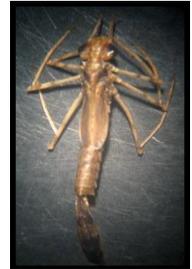
Libellulidae



Libellulidae



Polythoridae



Calopterygidae

**EPHEMEROPTERA**



Oligoneuriidae



Tricorythidae

**PLECOPTERA**



Perlidae

**NEUROPTERA**



Corydalidae

**HEMIPTERA**



Naucoridae

**HEMIPTERA**



Veliidae

**COLEOPTERA**



Psephenidae