

**APLICACIÓN DE TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION GEOGRAFICA PARA  
LA CARACTERIZACION BIOFISICA DEL DELTA DEL RIO PATIA**

**DIEGO FERNANDO PALECHOR**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS Y SOCIALES  
PROGRAMA DE GEOGRAFÍA  
POPAYÁN  
2011**

**APLICACIÓN DE TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION GEOGRAFICA PARA  
LA CARACTERIZACION BIOFISICA DEL DELTA DEL RIO PATIA**

**DIEGO FERNANDO PALECHOR**

**MSc. CAROLINA CASTRILLÓN OJEDA**

**Directora del proyecto Universidad del Cauca**

**MSc. MILTON PUENTES GALINDEZ**

**Asesor Centro de Control de Contaminación del Pacifico**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS Y SOCIALES**

**PROGRAMA DE GEOGRAFÍA**

**POPAYÁN**

**2011**

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
1. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....	10
2. JUSTIFICACIÓN.....	14
3. OBJETIVOS.....	15
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
4. MARCO TEÓRICO.....	16
4.1 INFORMACION DISPONIBLE.....	19
4.2 REGIMEN HIDROLOGICO.....	19
4.3 HIDRAULICA.....	19
4.4 SEDIMENTOLOGÍA.....	20
5. GENERALIDADES.....	22
5.1 MORFOGENESIS Y DINAMICA FLUVIAL.....	23
5.2 EVIDENCIAS TECTONICAS.....	24
5.2.1 Evolución Morfológica Del Cono Aluvial.....	25
5.2.2 Dinámica Fluvial Del Rio Sanquianga - Patía.....	26
6. GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA.....	28
6.1 GEOLOGÍA.....	28
6.2.1 Marco Geológico Regional.....	28
6.2.2 Estratigrafía.....	29

6.2.3 Grupo Del Pacifico .....	30
6.2.3 Formación Naya .....	30
6.2.4 Formación Guapi .....	30
6.2.5 Cuaternario.....	31
6.2.6 Rocas Volcánicas y Plutónicas .....	32
6.2.7 Tectónica .....	32
6.2.8 Aspectos Sismológicos .....	33
6.3 GEOMORFOLOGIA.....	33
6.3.1 Marco Geomorfologico Regional.....	33
6.4 UNIDADES GEOMORFOLOGICAS .....	34
6.4.1 Paisaje Costero .....	34
6.4.2 Paisaje Fluvial.....	35
6.4.3 Llanura Fluvial .....	35
6.4.4 Terrazas .....	36
6.4.5 Lomeríos.....	36
6.4.6 Depresiones Inundables .....	37
6.4.7 Zona de Meandros.....	37
6.4.8 Albardón Natural.....	37
6.4.9 Cauces Antiguos.....	37
6.4.10 Lecho del Rio.....	37
6.4.11 Talud de Socavación .....	38
6.4.12 Zonas De Recarga.....	38
6.5 ANÁLISIS MORFOMÉTRICO Y DELIMITACIÓN DE CUENCAS DEL DELTA DEL RIO PATÍA.....	39

6.6 ÍNDICES Y PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS .....	40
6.7 COBERTURA Y USO DEL SUELO DEL DELTA PATIA .....	41
6.8 IMPORTANCIA DE LA PROTECCIÓN DEL MANGLAR PARA LA PESCA .	43
7. METODOLOGÍA .....	46
7.1 ANÁLISIS ESPACIAL .....	48
7.1.1. Desarrollo del estudio .....	49
8. DELIMITACION DE MICROCUENCAS DEL DELTA DEL RIO PATIA.....	57
8.1 PASO 1. FILL SINKS .....	57
8.2 FLOW DIRECTION.....	58
8.2.1 Flow Direction. ....	58
8.3 FLOW ACCUMULATION .....	59
8.4 STREAM DEFINITION.....	60
8.5 STREAM LINK.....	61
8.6 STREAM ORDER .....	62
8.7 STREAM FEATURE .....	63
8.8 FEATURE VERTICE TO POINT .....	63
8.9 PASO 6.9. WATERSHED DELINEATION.....	64
8.10. ANALISIS Y RESULTADOS .....	65
8.11. ESCALA DE LA CUENCA .....	65
8.12 FACTOR DE FORMA .....	66
8.13 COEFICIENTE DE COMPACIDAD .....	66
8.14 GRADIENTE Y FORMA DEL RELIEVE .....	67
8.15 LA RED DE DRENAJE .....	68
8.16 ORDEN Y MAGNITUD DE LA RED DE DRENAJE .....	71

8.16.1 Procesos de sedimentación del Delta del Rio Patía .....	71
CONCLUSIONES.....	73
BIBLIOGRAFÍA .....	76

## LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura No 1. Localización del Área de estudio .....	13
Figura No 2. Desvío del delta del rio Patía .....	27
Figura No 3. Despliegue de capas en Formato .dwg .....	50
Figura No 4. Capas exportadas a formato Shapefile. ....	51
Figura No 5. Georreferenciación de fotografías aéreas, utilizando puntos de control. ....	52
Figura No 6. Elaboración de mosaicos con las fotografías aéreas .....	53
Figura No 7. Clasificación no supervisada de imagen Aster. ....	54
Figura No 8. Edición de coberturas con el programa ArcGis 10. ....	56
Figura No 9. Relleno de imperfecciones con Fill Sinks .....	58
Figura No 10 Dirección de flujo .....	59
Figura No 11. Acumulación de flujo .....	60
Figura No 12. Definición de celdas de flujo.....	61
Figura No 13. División del cauce en segmentos .....	61
Figura No 14. Órdenes de corriente.....	62
Figura No 15. Shapefile de drenajes.....	63
Figura No 16. Vértices de cada tributario .....	64
Figura No 17. Microcuencas del delta del rio Patía .....	64

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pag</b>
Tabla No. 1. Parámetros morfo métricos medidos y calculados para el Delta del rio Patía.....	65
Tabla No 2. Tipos de Forma.....	67
Tabla No 3. Orden y magnitud de las corrientes de la red de drenaje del Delta del Rio Patía .....	69
Tabla No 4. Relación de área y confluencia del Delta del Rio Patía .....	70



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo denominado APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA DEL DELTA DEL RÍO PATÍA; busca realizar un diagnóstico biofísico, en el cual se tendrán en cuenta los componentes del medio natural en los que se incluyen las características físicas del suelo, del agua, del clima y cobertura vegetal, que permita, identificar las áreas que deben ser priorizadas para implementar cambios en las prácticas de manejo de los suelos y del agua, además de las actividades que afectan negativamente los recursos naturales presentes alrededor de esta área de la cuenca; para la consecución del objetivo propuesto se utilizará como elemento metodológico importante las tecnologías de la información geográfica que permita determinar el uso del suelo, y la clasificación de la cobertura vegetal actual del delta, seguido de un análisis de los parámetros morfométricos del recurso hídrico y los depósitos de sedimento que se forman en la desembocadura, como resultado de la acción de los ríos.

Este estudio se realiza mediante la utilización de programas especializados en el uso de sistemas de información geográfica teniendo como principal objetivo, la elaboración de cartografía temática a partir de la identificación de las variables biofísicas, con el fin de mejorar la calidad ambiental de la zona de estudio.

## 1. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO<sup>1</sup>

El Rio Patía nace en el Macizo colombiano, en la vertiente occidental de la cordillera central en el departamento del Cauca, luego de la confluencia de los ríos Timbío y Quilcacé en la vereda el Hoyo, municipio de Timbío a 820 m.s.n.m. (Lehmann et al. 2005).

A partir de este punto el cauce recorre una distancia de 445 Km., hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, con una dirección predominante al suroeste, “drenando una área de cerca de 20610 Km<sup>2</sup> en los departamentos de Nariño y Cauca. La extensión es de 20858 Km<sup>2</sup>, el cauce principal posee una longitud de 421 Km”<sup>1</sup>; hasta la población de Bocas de Satinga y de 440 Km hasta su desembocadura en el Mar Pacífico. Por lo cual es considerado el segundo río más caudaloso del litoral Pacífico colombiano y el primero en extensión de la cuenca, constituyéndose así como uno de los más importantes de la vertiente del Pacífico. Ver mapa No 1.

Las cuencas alta y media que drenan los valles interandinos entre Popayán y Tulcán quedaron aisladas de la cuenca baja por el levantamiento paulatino de la cordillera Occidental en la zona encañonada conocida como Hoz de Minamá, que constituye una barrera para la migración de muchas de las especies (Ortega-Lara 2004). Posteriormente, atraviesa la planicie del Pacífico nariñense y desemboca en el Océano Pacífico, formando un amplio delta de una extensión aproximada de 5000 km<sup>2</sup> (IGAC 1980). A lo largo de su curso recibe numerosos afluentes como

---

<sup>1</sup> DIAGNOSTICO DE LOS PROBLEMAS DE EROSIÓN FLUVIAL EN EL PUERTO DE BOCAS DE SATINGA - Departamento de Nariño - Colombia. (1996) p, 16.

los ríos Guachicono, Mayo, Juanambú, Guáitara, Telembí, Magüí (Usma 2001), Mamaconde, Dos Ríos, San Pablo, Piusbí y Nansalví (IGAC 1980).

El área de estudio se encuentra ubicada en el suroccidente colombiano, dentro del contexto tectónico, actualmente activo, debido a la presencia de la placa de Nazca, de origen oceánico, la cual penetra por debajo de la placa Suramericana, de formación continental.

En cuanto a la línea de costa actual entre Buenaventura y el Río Matajes se encuentra dentro del denominado Sinclinal de Bolívar o Cuenca del Pacífico, la cual se encuentra conformada por dos subcuencas; El Valle del Atrato, al Norte y la Llanura Pacífica, al sur.

La zona de estudio está conformada por rocas sedimentarias de edad terciaria correspondiente a las formaciones Guapi-Naya, conformando así la unidad de paisaje de lomeríos. Otra unidad presente en la cuenca, corresponde a los extensos sedimentos fluviales que conforman la llanura aluvial del río Patía, se encuentran acumulados a manera de terrazas, con zonas de desborde que conforman albardones naturales, constituyéndose así en las únicas zonas estables y menos inundables.

El paisaje Costero, constituye otra unidad, conformada por sedimentos de origen aluvial-marino, constituidos por acción de las corrientes y mareas que constituyen el delta fluvial antiguo del Patía, entre sus afluentes se destacan el río Saquianga, que posee un caudal igual o superior al del Patía.

Los depósitos deltaicos fluviales han sido sometidos a cambios morfodinámicos de erosión sedimentación, presentando una serie de fenómenos como los son la divagación lateral, abandono de meandros, migración de cauce, creación de depresiones inundables y desbordes, entre otros.

En los últimos años se ha incrementado dramáticamente la deforestación y la quema de los bosques secos del Patía y por esta razón se encuentran en peligro de extinción la mayoría de los mamíferos nativos y varias especies de aves<sup>2</sup>.

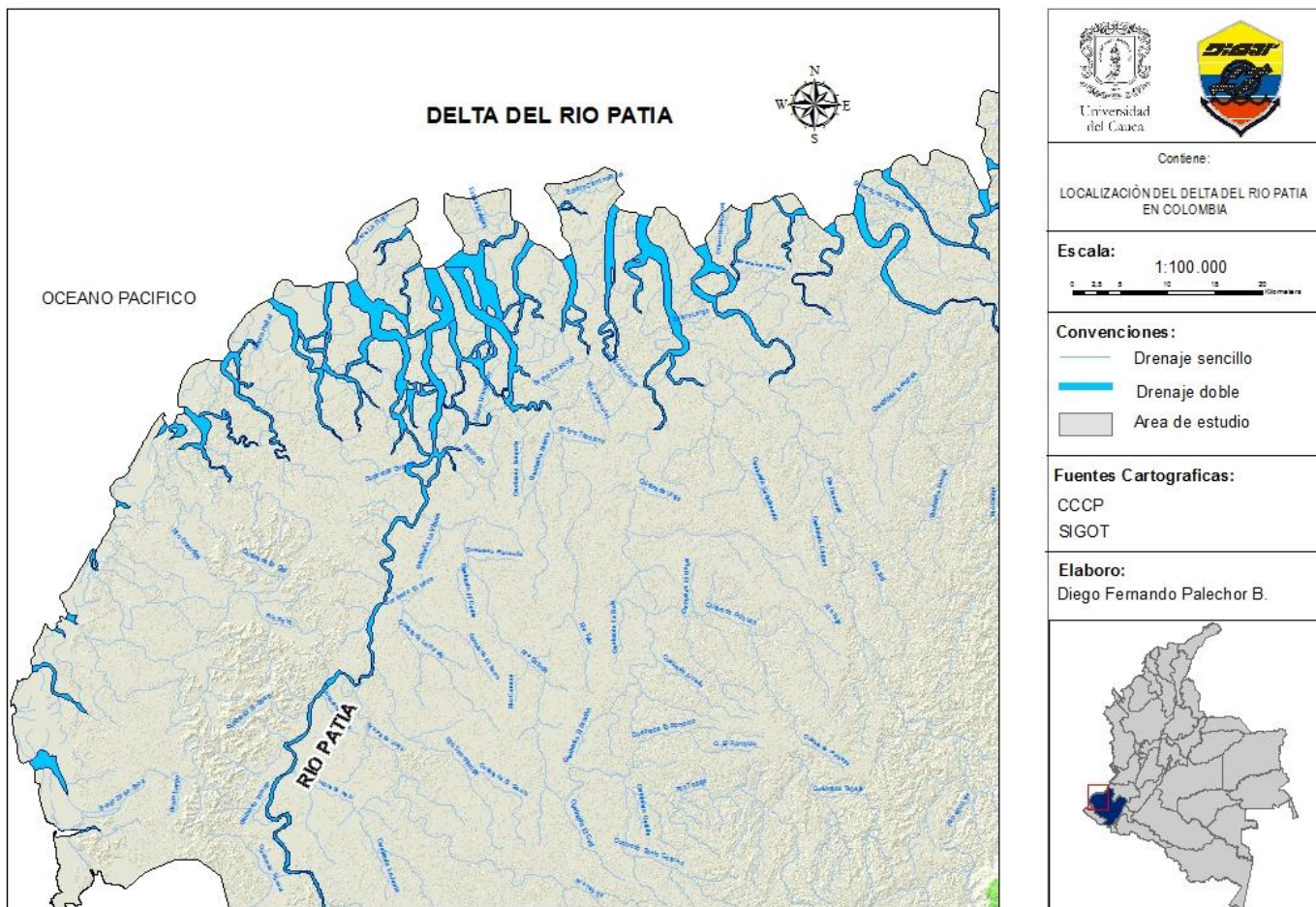
La tala indiscriminada, ganadería extensiva, la ampliación de los cultivos de uso ilícito, la práctica tradicional de las quemas y la cacería, han destruido uno de los patrimonios biológicos más ricos e interesantes del Departamento de Nariño y del país en general.

El Valle del Patía se ha caracterizado por su economía agrícola, realizada en pequeñas parcelas, donde los agricultores, con varios instrumentos, hacen su trabajo en el cultivo de maíz, yuca, plátano, limón y piñuela, planta que además de brindar su fruto sirve también como cerco natural.

---

<sup>2</sup> ORTEGA Armando Lara, USMA José Saulo, BONILLA Paula Andrea y SANTOS Natalia Lorena. "Peces de la cuenca del río Patía"- vertiente del Pacífico Colombiano Biota Colombiana 7. (2) 179 - 190, 2006

Figura No 1. Localización del Área de estudio



## 2. JUSTIFICACIÓN

El Delta del Río Patía es uno de las más importantes de Colombia en cuanto al aprovechamiento de sus recursos hídricos, utilizados ampliamente para el consumo, la pesca, las vías de navegación y actividades ecoturísticas; pero en los últimos años debido a procesos como la deforestación, la tala indiscriminada y la quema de pastos, así como el posterior deterioro del suelo han llevado a que el Delta presente desequilibrios, afectando no solo la disponibilidad y calidad del agua, sino también las actividades económicas que se desarrollan en la zona y lógicamente en la calidad de vida de la población.

Para las entidades ambientales y locales les resulta difícil llevar a cabo procesos de ordenamiento y planificación para el uso y manejo adecuado del recurso hídrico debido a la carencia de información, ya que no se cuenta con un diagnóstico de las condiciones ambientales presentes en la zona, que permita identificar el estado actual del delta, y a su vez resolver problemas derivados tales como: riesgo, erosión e inundación. En tal sentido, al utilizar las herramientas de las tecnologías de la información geográfica para la caracterización biofísica del Delta del Río Patía, se pretende realizar un diagnóstico en el cual se identifiquen los problemas imperantes de la zona a través de procesos de análisis espacial donde se evidencie el estado actual, los parámetros morfométricos del delta además de elaborar una clasificación de cobertura vegetal no supervisada, para posteriormente realizar mapas temáticos, obteniendo como producto final una cartografía base de las variables identificadas sobre el delta, que permita a las entidades encargadas de los recursos naturales, del medio ambiente y a la comunidad ejecutar planes, programas y proyectos que tiendan por la recuperación ambiental y por ende el mejoramiento de la calidad de vida de la población.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Aplicar las Tecnologías de la Información Geográfica en la elaboración del diagnóstico biofísico para realizar un análisis morfométrico y espacial del delta del río Patía.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la cartografía básica, la red hídrica, la delimitación de microcuencas y principales afluentes del delta del río Patía
- Identificar la cobertura vegetal y el uso del suelo mediante la clasificación no supervisada de imágenes de satélites.
- Realizar el análisis morfométrico del delta del Río Patía utilizando las tecnologías de la información geográfica con el fin de aportar criterios para futuros análisis de fenómenos de inundación
- Analizar espacialmente los elementos y relaciones existentes entre la cobertura vegetal, uso del suelo y las características físicas del área de la cuenca.

#### 4. MARCO TEÓRICO

El reconocimiento de los problemas ambientales, o la revelación de las formas y los procesos que se dan en el aprovechamiento de los recursos biofísicos es fundamental a la hora de desarrollar estrategias encaminadas al mejor uso del recurso hídrico. Con la aplicación del concepto ambiental a los estudios realizados en las cuencas hidrográficas, se infiere que se identifican como unidades ambientales con atributos propios, cualidades que precisan ser evaluadas con juicios precisos, por ser determinantes en la planeación de proyectos integrales del desarrollo, o simplemente para el conocimiento y manejo de los recursos naturales. La investigación de la condición ambiental en las cuencas hidrográficas ha tenido variantes a lo largo de los años (CODETTE, 1970; SRH, 1972, 1973a, 1973b, 1973c, 1973d; Urroz-jimenez, 1976; López-Blanco 1988; Flórez, 1991), tanto en los métodos como en los enfoques utilizados. Sin embargo, los resultados obtenidos han demostrado su valor en el diseño de proyectos, con el aporte de elementos sustentados que describan y faciliten el entendimiento adecuado de los atributos que constituyen un espacio geográfico, en particular en las etapas de descripción y de diagnóstico <sup>3</sup>

Sin embargo hay autores que consideran que el estudio de fenómenos naturales en ciencia requiere la toma de medidas, con el objeto de obtener información que permita la comprobación crítica de teorías científicas. El tipo de mediciones a realizar depende de la teoría que se quiera verificar y del modelo estadístico que se escoja para valorar los resultados. La necesidad de cuantificar es esencial, ya que la comprensión general de un fenómeno está interrelacionada de manera

---

<sup>3</sup>GARCÍA MARTÍNEZ. Fidel; LÓPEZ BLANCO Jorge. Investigaciones Geográficas (Mx). Universidad Autónoma de México, (2005)



inherente con la capacidad de definir y caracterizar las propiedades que la constituyen.

En general, se puede afirmar que si un fenómeno no puede ser controlado mediante medición, su conocimiento queda limitado y su comprensión es más superficial (Goudie,1990).

Esta noción que es importante y valiosa aplica a las denominadas ciencias, e incluso cobija a las diferentes disciplinas, no obstante la Geografía como parte de las ciencias sociales ha recurrido a otras formas de investigación, como los métodos cualitativos, pero en los contextos actuales no es suficiente con decir si se es una investigación de tipo cuantitativo o cualitativo, por el contrario es conveniente generar un proceso de triangulación, es decir, que exista reciprocidad entre los dos métodos, y ello es lo que se propone en este proyecto.

Es en este contexto donde se inserta este trabajo, el cual tiene el propósito de contribuir al estudio del Delta del Río Patía, como un espacio geográfico definido, con métodos sencillos que lo describan a partir de sus unidades ambientales, cuya caracterización debe estar apoyada en información biofísica, sintética e integrada. A partir de este enfoque se pretende también evidenciar la importancia que representa la utilización de las Tecnologías de la Información Geográfica TIG pues en la opinión de varios autores (Goodchild, 1997; Bosque, 1999; Chen y Lee, 2001) puede considerarse como parte de las TIG todas aquellas disciplinas que permiten, generar o representar información geográfica, entendiendo por información geográfica cualquier variable que está, o es susceptible de estar, georeferenciada en el espacio (mediante coordenadas x, y, z). Por tanto como TIG se pueden incluir disciplinas muy variadas, algunas de tradición histórica como la Cartografía (tanto temática, como topográfica), los Sistemas de Información Geográfica (SIG), y los sistemas de Teledetección. En consecuencia dentro del marco en el cual se desarrolla este proyecto se considera la utilización de los sistemas de información geográfica (SIG) para la valoración del medio biofísico

como un elemento fundamental dentro del proceso de caracterización en la planeación socio-ambiental del territorio. Los Sistemas de Información Geográfica como un conjunto de métodos, herramientas y datos están diseñados para actuar coordinada y lógicamente, además para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos<sup>4</sup>.

Los SIG son una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato, entre otras palabras estos sistemas deben estar ligados a una base de datos las cuales contengan o incluyan la información necesaria sobre el tema de estudio.

Así mismo, la caracterización biofísica del delta del río Patía, está encaminada entre otros aspectos al análisis de éste territorio triangular formado por la desembocadura del río, pues un delta es un territorio en el cual se acumulan o depositan sedimentos en la medida que la corriente del río va desapareciendo. Está compuesto por brazos o “caños” fluviales que separan a las islas en las que se han venido depositando los sedimentos acarreados por el río, al llegar al mar, océano o lago. Características que permitirán conocer, la morfometría de cuencas hidrográficas y de drenajes, es una herramienta que permite determinar características importantes de forma y comportamientos en el entorno y en el flujo hídrico, que más adelante se convierten en base para el análisis de particularidades de cada una de las cuencas y para la posterior formulación de líneas de manejo prioritarias, relativas a la red hídrica Hidrografía del Delta del río Patía

---

<sup>4</sup> Ibíd., p. 20

#### **4.1 INFORMACION DISPONIBLE**

Actualmente el IDEAM, mantiene 5 estaciones limnigráficas y limnimétricas para observar el régimen hidrológico e hidráulico del Río Patía, las cuales se encuentran en funcionamiento, la estación los Nortes es la más cercana a la zona de estudio, se ubica en la jurisdicción de Magui Payán, entre sus registros se incluyen niveles de agua y aforos líquidos y sólidos”9, se ubica aproximadamente a 136 Km del sitio conocido como Fátima donde se dio el desvío del canal naranjo y a 186 Km, de la desembocadura. A 64 Km de los Nortes esta la desembocadura del río Telembi, el afluente más importante del río Patía, el cual drena un área de 2836 Km<sup>2</sup>.

#### **4.2 REGIMEN HIDROLOGICO**

Los registros obtenidos en las estaciones Puente Pusmeo y Los Nortes, han servido para establecer el régimen del río Patía. El área de la cuenca del río Patía hasta la estación Los Nortes es de 15.771 Km<sup>2</sup> partiendo desde este punto hasta la desembocadura del río Telembi hay una extensión de 813 Km<sup>2</sup> generando un nivel del caudal por correlación de áreas de 0 y 1.

#### **4.3 HIDRAULICA**

La información obtenida en la estación los Nortes, presenta en el río Patía, unas “velocidades medias de flujo que oscilan entre 1.3 m/s y 3.8 m/s para el rango de caudales medidos con profundidades medidas entre 1.32 m y 6.80 m y un rango de números de Froude entre 0.40 y 0.95”10, estos datos permiten calificar el flujo

de moderadamente rápido a rápido. Para determinar la velocidad superficial del río Sanquianga, se emplearon la distribución de velocidades de Karman-Prandtl, este método produce una distribución logarítmica, con el valor máximo en la superficie y en la cual, la velocidad media es aproximadamente el 60% de la superficie.

#### **4.4 SEDIMENTOLOGÍA**

**Carga de sedimentos.** Es la cantidad de sólido que atraviesa una sección del cauce en ton/d.

Se presenta bajo la forma de sedimento en suspensión y material de arrastre. La arcilla y el limo están en el agua en suspensión: La grava, arena y rocas se mueven como carga de fondo, cerca al piso del canal.

**Capacidad de transporte.** Es la máxima carga de sedimentos, para un caudal determinado, que puede transportar un cauce. Se cuentan tanto los sedimentos en suspensión como los de fondo. La capacidad de transporte se incrementa con la velocidad, ya que esta es directamente proporcional a la fuerza de arrastre. Esto significa que la mayoría de los cambios en la geometría de los cauces ocurren durante las crecientes. La capacidad de transporte depende fundamentalmente del caudal y de la pendiente del cauce.

Cuando una corriente tiene los sedimentos que es capaz de transportar se dice que el cauce está en equilibrio. Si se produce una sobrecarga de sedimentos generada por cualquier causa, empieza un proceso de agradación o sedimentación del lecho.

En este caso el río no tiene la suficiente energía para transportar el material sólido que lleva y éste entonces se deposita en su cauce. Si por el contrario hay una deficiencia el fenómeno que se presenta es el de degradación o erosión del lecho.

En el segundo caso el río tiene energía suficiente para transportar el material sólido y además para socavar el cauce.

La agradación y la erosión de las corrientes pueden ser inducidas por el hombre a través de la intervención del paisaje en procesos como la minería, construcción de obras civiles, como puentes, etc.

El comportamiento fluviomorfológico de un río depende en gran medida de las características y magnitud de la carga sólida que transporta la corriente. Se tomaron dos estaciones cercanas al área de estudio para realizar la estimación de la carga "Medida" del río Patía, como lo son la estación los Nortes y la estación Puente Pusmero, con base en los aforos sólidos. Propuesta de valoración para el recurso hídrico proveniente de la cuenca alta del río botanamo, estado bolívar. venezuela, por becker stalin sánchez torres

## 5. GENERALIDADES

El río Patía nace en el nudo de los Pastos, donde se originan los grandes ríos de Colombia en los tres ramales de la Cordillera de los Andes, desarrollando su cuenca montañosa hacia la vertiente del Pacífico, en una extensión de cerca de 22,000 Km<sup>2</sup> de los cuales 7,300 Km<sup>2</sup> aproximadamente corresponden a la llanura aluvial conformada por el abanico aluvial, el delta marítimo constituida prácticamente una sola geoforma, el delta consiste en la superposición de una serie de lóbulos depositacionales característicos de los procesos de transgresión sedimentológica del piedemonte de la cordillera Andina y de las otras muchas cadenas montañosas similares.

El sistema de drenaje de los abanicos aluviales, tiene una característica fundamental, basada en la morfología convexa de la sección transversal de la cuenca, se diferencia de la morfología cóncava de la sección transversal de las hoyas hidrográficas de montaña que da lugar a la difluencia de los canales subsidiarios, contra la afluencia de los tributarios de la cuenca montañosa.

Lo que significa que todos los canales del drenaje de la geoforma abanico-deltaica de llanura Pacífica del Patía, son canales antiguos del río Patía. Como es el caso de los ríos Curai, Brazo largo, Guandipa, Sanquianga, Patía Viejo, Tola y Tapaje, que se han desarrollado secuencialmente a medida que ha progresado el proceso depositacional que genera la geoforma.

## 5.1 MORFOGENESIS Y DINAMICA FLUVIAL<sup>5</sup>

En cuanto a la morfogénesis del Delta del Patía, este proceso se debe a la consecuencia de las condiciones topográficas, hídricas y climáticas imperantes en la zona a través del tiempo, que influyen en la estabilidad de los taludes de las unidades rocosas que lo conforman. El río Patía y sus brazos, representado por los ríos Tapaje, Santinga, Sanquianga y Patía Viejo, dieron lugar durante el Cuaternario a la formación del Delta progradacional más importante de toda la costa Pacífica.

Dentro del marco regional se presenta sobre las rocas sedimentarias, remanentes de la secuencia vulcanoclastica, indicando una línea de costa más occidental que la actual en donde los ríos comenzaron a incidir sobre sus propios sedimentos, produciéndose un perfil rojizo de meteorización tropical húmedo.

La antigua superficie rojiza se encuentra a nivel del mar; sus desniveles indican que después de formarse sufrió movimientos diferenciables apreciables, causados por la tectónica activa.

Durante esta época el patrón de drenaje normal hacia el Pacífico fue interrumpido, haciendo que el cauce del río Patía se desviara hacia el norte, adaptándose a la depresión tectónica mayor. Los movimientos recientes reactivaron la tectónica progresiva del área en la zona deltaica en formación, por medio de la falla de Remolino, el Charco, que afecta por consiguiente los sedimentos cuaternarios.

---

<sup>5</sup>DIAGNOSTICO DE LOS PROBLEMAS DE EROSIÓN FLUVIAL EN EL PUERTO DE BOCAS DE SATINGA-Departamento de Nariño-Colombia. (1996) p, 16

## 5.2 EVIDENCIAS TECTONICAS

La actividad tectónica reciente en el litoral Pacífico sur Colombiano es un proceso continuo que tiene que ver con el origen y evolución del delta del Patía, igualmente los movimientos sísmicos muy recientes que han dejado a través del tiempo diferentes expresiones sobre un área cambiante, debido a fenómenos naturales y artificiales.

Las anomalías geomorfológicas más importantes de la zona deltaica del Patía son:

- **Rápidos de Remolinos:** localizados al norte de Remolino Grande, corresponde a una zona estrecha por donde el río discurre hacia el Océano Pacífico, con dirección Oeste.
- **Alineamiento de Satinga:** localizado a 20 km, al noreste, con una anomalía brusca del curso noreste, cambiando hacia el suroeste por una distancia de 3 km, definiendo así un control estructural.
- **Alineamiento del río Tola:** 10 km al NE, se observa un desplazamiento del drenaje hacia el norte, como efecto del control de falla regional de los sedimentos.
- **Anomalía del Charco:** 10 km al noreste, donde el río Tapaje, presenta 4 km de curso recto.
- **Anomalía de Chanzará:** El río Iscuandé presenta un brazo estero norte llamado brazo Chanzará, que se dirige inicialmente al EN, también por unos 7 km, pero al encontrar las rocas sedimentarias de la formación Naya-Guapi, cambia su rumbo hacia NW.



- **Anomalía del Guapi:** El meandro del Guapi se desarrolla inicialmente hacia el NE, afectando por un afloramiento terciario y converge luego hacia el sur presentando un desarrollo costero muy anómalo, que puede corresponder a uno de los extremos de la falla de Remolinos-El Charco.

### 5.2.1 Evolución Morfológica Del Cono Aluvial<sup>6</sup>

- **Lomerios:** Esta unidad está conformada por rocas sedimentarias estratificadas representando un control litológico en el cauce del río Patía, en especial en la parte conocida como rápido de Remolino, donde afloran rocas terciarias depositadas en un ambiente continental fluvial.
- **Terrazas:** Esta unidad se encuentra afectada por los procesos dinámicos del cauce, ya que se deposita sobre las colinas circundantes rellenando la paleotopografía, solo se ven afectadas por la erosión de corrientes menores superficiales, principalmente en épocas de lluvia.
- **Albardones Naturales:** Los albardones naturales se desarrollan en las márgenes del río y sobre las planicies aluviales. Son diques donde ocasionalmente se presentan algunos chorros que alimentan las zonas de pantano detrás de la estructura. Una mayor acumulación de sedimentos en el albardón se presenta en el borde del cauce.
- **Zona Aluvial:** Se encuentra constituida por islas, presentando la mayor dinámica actual del cauce, debido a la inestabilidad de las geoformas y constante movimiento.

---

<sup>6</sup> Ibíd., (1996) p, 16

- **Depresiones Inundables:** Estas depresiones inmutables se ocasionan principalmente por descarga fuera del lecho del río, debido a la ruptura del albardón. La génesis de algunas de estas depresiones, está claramente relacionada con el cambio del curso del río, donde la zona de dique correspondía a una isla y a la zona lacustre.

### 5.2.2 Dinámica Fluvial Del Río Sanquianga - Patía

El río Sanquianga desde aguas arriba del sector de la desviación, hasta aguas debajo de la población de Bocas de Satinga, transcurre en un cauce unicanal bastante sinuoso, casi meandrónico y totalmente de lecho aluvial, esto se debe a la presencia de sinuosidad en el lecho del río, la cual representa curvas alternas que se desplazan más o menos activamente según un mecanismo especial de erosión y acumulación en sus orillas cóncavas y convexas<sup>7</sup>

La unidad de Lomeríos que aflora cerca a la difluencia en el río Patía, se encuentra cubierta en algunos puntos por terrazas, mientras que en otros sectores lo está por materiales en tránsito, sobre los cuales el cauce tiene libertad para ajustar dimensiones y alineamiento.

El sitio de la bifurcación reciente del río Patía, se encuentra aun dentro de la zona de alta torrencialidad y arrastre sólido del río, a partir de la cual se extienden los dos últimos lóbulos depositacionales del abanico, una más bajo que barre un ángulo de cerca de 350 entre el estero Salanquito y el río Tapaje.

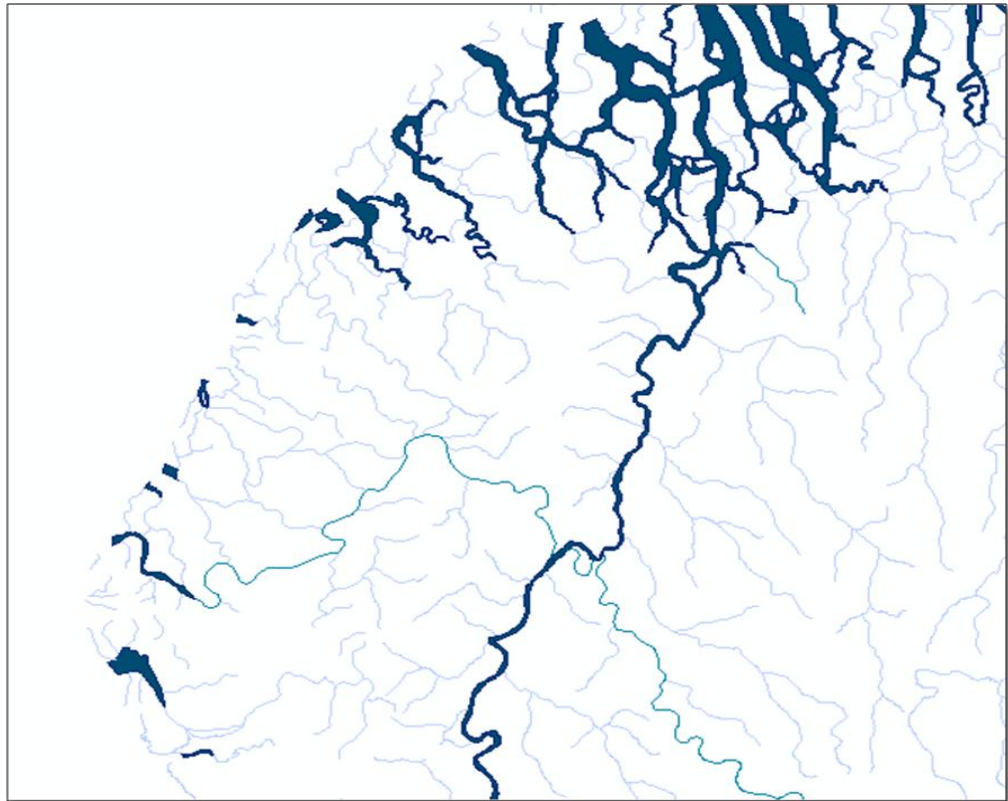
Cuando el río Patía desvió su cauce hacia el Sanquianga, el lóbulo inferior había desarrollado una diferencia de nivel tan grande hacia el norte, que una sola gran

---

<sup>7</sup> Ibíd., (1996) p, 16

avenida o una sucesión de eventos de magnitud alta, durante una sola estación húmeda, pudieron haber bastado para abandonar el cauce anterior y precipitar el forma irreversible el caudal de la corriente en la dirección alterna.

**Figura No 2. Desvío del delta del rio Patía**



Fuente. SIGOT [http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/images/titulo\\_sigot.jpg](http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/images/titulo_sigot.jpg) T

## **6. GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA**

### **6.1 GEOLOGÍA**

La Cuenca Pacífica, se extiende desde el oriente de Panamá hasta el extremo norte de las montañas de Mache en Ecuador, rodeando la costa noroccidental de sur América, estableciéndose una franja de alrededor de 80 Km, de amplitud y 90.000 KM<sup>2</sup> de superficie, en parte cubierta por el mar, entre el cabo Corrientes y la Punta Guascama, al suroeste de la isla de Gorgona.

Geomorfológicamente está limitada por las cordilleras Occidental al Oriente y la Cordillera Pacífica, al Occidente.

Fisiográficamente se pueden diferenciar dos unidades de Paisaje como lo son; La llanura del Pacífico y Valle Atrato, que forman la Cuenca Pacífica. La Cordillera Pacífica, corresponde a una cadena en formación cuya definición morfológica es total, pero su enmascaramiento es hacia el sur.

#### **6.2.1 Marco Geológico Regional**

La cuenca del Pacífico, limita al este con la Cordillera Occidental, debido al sistema fallado inverso del Chocó, este se extiende desde Panamá hasta el Ecuador, dirigiéndose hacia el Occidente donde limita con otro sistema de fallas inversas que la separan de la Cordillera Pacífica que se halla cubierta por el mar. "En cuanto a la profundidad de la cuenca se indica que posee 10.000m" <sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> PARIS G. Marín, P, Generalidades Acerca de la Geología del Departamento del Cauca, Ingeominas, Bogotá (1979)

La cuenca limita al Oriente por el sistema de fallas del Atrato, siendo la falla del Tambor la más importante en el sector meridional del área. “Esta falla se extiende en dirección NNE, atravesando los departamentos de Nariño, Cauca y Valle, se encuentra truncada y desplazada por fallas transversales de dirección EN y SE como las de Buenaventura y Tumaco”.<sup>9</sup>

Al occidente siguiendo la línea de costa actual en dirección EN se encuentra la falla de Remolino y Naya - Micay, la cual presenta su bloque occidental hundido y basculado al noreste.

### **6.2.2 Estratigrafía**

La mayor parte de la cuenca del Pacífico se encuentra “conformada por rocas ígneas plutónicas y sedimentarias de origen marino somero o continental, depósitos aluviales, de playa, y dunas”<sup>10</sup>.

Referente a su Estratigrafía la cuenca se ha definido a partir de algunos relictos presentes en la Cordillera Pacífica, interpretaciones sísmicas y perforaciones petroleras realizadas en la zona, aunque aún no se tiene una total claridad acerca de los diferentes tipos de litologías presentes.

Se han podido diferenciar cuatro ciclos sedimentarios presentes en la cuenca como lo son:

- El Cretáceo Superior, este se define a partir de sedimentos de llanura abisal, turbiditas distales e intercalaciones de diabasas representando la capa número uno de la corteza Oceánica.

---

<sup>9</sup>PEREZ TG. “Evolución Geológica de la Cuenca del Pacífico”. Boletín de Geología U.I.S. Vol.14, No 28. Bucaramanga (1980)

<sup>10</sup>Ibíd., (1996) p, 6.

- El Paleoceno, se representa por sedimentos pelágicos, posee una mayor proporción de turbiditas intermedias a proximales las cuales corresponden a sedimentos depositados en la trinchera Pacífica.
- El Eoceno Medio-Mioceno Medio, constituye la colmatación de la cuenca intermedia, resultado de la acreción al continente de la Cordillera Pacífica, con sedimentos turbidíticos volcánico clásticos.
- Este ciclo se conforma por sedimentos marinos someros, transicionales y continentales pertenecientes al Mioceno Superior.

### **6.2.3 Grupo Del Pacifico**

Este nombre se ha adoptado para el Pacífico Sur, debido a su conjunto rocoso sedimentario de 500 a 1.000m de espesor, conformado por areniscas, arcillolitas arenosas y “caliza perteneciente al Eoceno Superior/ Oligoceno superior”<sup>11</sup>

### **6.2.3 Formación Naya**

“Esta unidad descansa discordantemente sobre el Grupo del Pacífico, constituida en su mayor parte por conglomerados rojos y grises conformados a partir de cantos subangulares a subredondeados de diabasa con rocas metamórficas y cuarzo lechoso; con intercalaciones de arenisca y arcillolitas de color rojo con locales bancos de caliza”<sup>12</sup>.

### **6.2.4 Formación Guapi**

Nombre que se emplea para describir una secuencia de edad Mioceno Superior que reposa discordantemente sobre las rocas infrayacentes, aguas someradas

---

<sup>11</sup> PEREZ T.G. (1980) Evolución Geológica de la Cuenca del Pacífico. Boletín de Geología U.I.S. Vol. 14, No28. Bucaramanga, p, 6.

<sup>12</sup> Ibíd. (1996) p.7

con gran aporte continental, conformadas por areniscas, lodolitas y lentes de conglomerados.

Nombre que se emplea para describir una secuencia de edad Mioceno Superior que reposa discordantemente sobre las rocas infrayacentes, aguas someradas con gran aporte continental, conformadas por areniscas, lodolitas y lentes de conglomerados.

Aspen<sup>13</sup>; menciona para esta unidad dos formaciones, las formaciones Reposo y Mayorquin, las emplea para describir una serie de areniscas gravas grises azulosas de grano fino a medio, estas se encuentran interestratificadas con conglomerados polimicticos, que afloran en la confluencia de los ríos Raposo y Caracolí.

### **6.2.5 Cuaternario**

Los depósitos recientes se ubican dentro del contexto general, independiente del número de unidades definidas, entre los que se encuentran:

- Aluviales Antiguos: Son acumulaciones areno-limosas consolidadas, conformadas por arenas pardas grises de tamaño de grano fino a medio.
- Depósitos Eólicos: Son caracterizados, por ser arenosos, desarrollándose mejor en los sectores comprendidos entre Majagual y Mulatos, encontrándose cuerpos de dunas de 1 a 2 m de altura, alineados diagonal o paralelamente a la línea de costa.
- Depósitos Fluviales: Se presentan como niveles aterrazados de 1.5 a 3 m de alto, y como barras puntuales y longitudinales a lo largo del curso de los ríos.

---

<sup>13</sup> RAMIREZ, ET AL. (1979) Terremotos Colombianos. Instituto geofísico de los Andes Colombianos. Universidad Javeriana Serie A, Sismol 45.

- Depósitos de Playa: Son en su mayoría un conjunto de acumulaciones arenosas de colores entre gris y tonalidades oscuras.
- Depósitos de Llanura Mareal: Por lo general se ubican en la parte interna de las bocanas a la entrada de los esteros, también en sectores aledaños a la playa o en algunas zonas protegidas por acantilados.

### **6.2.6 Rocas Volcánicas y Plutónicas**

La Cordillera Pacífica tiene gran relación con la actividad volcánica presente en la Cuenca Pacífica, se compone por basaltos, lavas almohadillas y diabasas.

Los flujos volcánicos se intercalan con cuerpos sedimentarios su origen es tan antiguo como el Santoniano según se desprende de las dataciones radiométricas del Pozo Remolino Grande.

### **6.2.7 Tectónica**

Existen tres patrones de fallamiento en la Cuenca Pacífica: Sobre el margen oriental, aparece el sistema inverso del Choco, desde el Cretácico tardío, el cual limita la cordillera Occidental por el Occidente; al Occidente se presenta un fallamiento inverso de edad terciaria, asociado a la formación de la Fosa Colombiana, estas dos fallas juntas forman los límites de la cuenca Pacífica: las fallas transversales E-W conforman otro sistema, que afectan el basamento y que parece corresponder a fallas transformantes asociadas a la tectónica global de placas, desplazando así las estructuras transversalmente a la Cuenca.



### **6.2.8 Aspectos Sismológicos**

El efecto compresivo ocasionado por la subducción de la placa de Nazca bajo la placa suramericana, se relaciona directamente con la actividad sísmica del suroccidente Colombiano: que produce la subsecuente generación de terremotos en el límite de la Zona de Benioff. “De acuerdo con información recolectada, los sismos con foco más superficial (30 a 40 metros de profundidad) se localizan predominantemente en la zona oceánica, entre las latitudes 78o W y 79o W, aumentando la profundidad de foco en dirección Este”<sup>14</sup>.

## **6.3 GEOMORFOLOGIA**

### **6.3.1 Marco Geomorfológico Regional**

El litoral Pacífico Sur- Colombiano, entre Tumaco y Buenaventura ha presentado un desarrollo geológico y geomorfológico, con una línea de costa producto de procesos dinámicos marinos, fluviales mixtos y contrastantes. Se diferencian dos regiones entre las que se encuentran: Una ancha al Sur entre Tumaco y Guapi. Otra lineal hacia el Norte, desde Guapi hasta Buenaventura.

El origen y la evolución del delta del Patía, el cambio de sus antiguos causes y la migración hacia el sur de la línea de costa, ha dejado sobre el paisaje una serie de anomalías geomorfológicas, que indican la existencia de un sistema costero de fallas como la de Remolino- El Charco.

---

<sup>14</sup> DIAGNOSTICO DE LOS PROBLEMAS DE EROSIÓN FLUVIAL EN EL PUERTO DE BOCAS DE SATINGA-Departamento de Nariño-Colombia. (1996) p, 9.

## **6.4 UNIDADES GEOMORFOLOGICAS**

Durante el proceso de recolección de datos se ha logrado obtener información necesaria para llevar a cabo la caracterización Biofísica del Delta del Rio Patía.

Empleando herramientas practicas como la interpretación de fotografías aéreas, mapas topográficos y reconocimiento del terreno, se realizo la cartografía geomorfológica.

En los cuales se identificaron y describieron las principales unidades que afloran en el área. Los causes sobre el Delta del Patía, se encuentran en una gran unidad morfológica principal, estos se deben en su mayoría a una mezcla de paisaje costero fluvial, presentándose como una amplia zona plana a ligeramente ondulada, sobre la que se ha desarrollado los valles de los demás tributarios del delta.

En el análisis de las fotografías aéreas se han logrado distinguir algunas zonas geomorfológicamente diferenciables, las cuales corresponden a depresiones inundables, manglares, causes abandonados, lagunas, meandros, terrazas y depósitos aluviales de playa, barras islas y albardones o diques naturales, este análisis permite crear un modelado de dinámica fluvial. De acuerdo con la información obtenida se puede identificar dos principales unidades de paisaje; una en la zona costera, con relación al relieve dominante y a los procesos morfodinámicos en el paisaje fluvial: el primero incluye la planicie de marea baja; costa actual y llanura de marea alta; el segundo incluye la llanura fluvial con terrazas y lomeríos.

### **6.4.1 Paisaje Costero**

Se encuentra constituido por la planicie de marea baja la cual se conforma por limos y arenas finas, seguido hacia el continente por la zona de costa actual

conformada por barras de playas recientes de arenas costeras, las playas antiguas, se constituyen en depósitos de arcillas y limos orgánicos.

#### **6.4.2 Paisaje Fluvial**

Se conforma por arcillas, arenas y gravas aluviales interdigitadas por la acción dinámica de los ríos que migran dentro del gran paisaje deltaico. Posteriormente le siguen hacia el interior, los niveles de terrazas fluviales se conforman por sedimentos aluviales antiguos, que sobresalen morfológicamente en altura sobre la llanura fluvial.

#### **6.4.3 Llanura Fluvial<sup>15</sup>**

Entre las geoformas que se han desarrollado en el valle aluvial del río, se encuentran, las islas o barras longitudinales, los limos y arenas sin consolidar en el lecho del río, y canales abandonados.

- a) Barras (Q b): Son Geoformas laterales longitudinales y longitudinales, que corresponden a los depósitos aluviales recientes en el valle del río, con los de la zona aluvial.
- b) Los sedimentos se pueden acumular de dos maneras, por depositación vertical de los flujos de agua que inundan la planicie aluvial y el lecho o por migración lateral de los canales dentro del cauce.
- c) Playas (Q p): Las zonas de playa son otro tipo de depósitos aluviales, donde los sedimentos pueden ser acumulados por la migración lateral de los canales dentro del cauce, o por la depositación vertical de los flujos.

---

<sup>15</sup> *Ibíd.*, (1996) p, 16

#### **6.4.4 Terrazas**

Las geoformas que se han desarrollado en el valle aluvial, conforman la unidad geomorfológica; estas geoformas se encuentran constituidas por materiales de una alta permeabilidad, con gravas en poca proporción, arenas y limos sin consolidación.

Dependiendo de la relación tipográfica, las terrazas estas constituidas por dos partes de escarpe o talud.

Por lo general las terrazas definidas en el Valle deltaico-fluvial se constituyen en superficies abandonadas por el río, se caracterizan por suelos donde se desarrolla vegetación sobre los depósitos de materiales finos. Las terrazas se han generado por la depositación fina detrás de los albardones o diques naturales, en las épocas de crecida, formándose una estratificación de limos, que van apareciendo como rasgo topográfico por la incisión del río en su lecho y la socavación lateral.

#### **6.4.5 Lomeríos**

La unidad geomorfológica de Lomeríos corresponde a pequeñas lomas o colinas convexas caracterizadas por ser redondeadas de relieve tabular, las cuales no sobrepasan una cota de 150 m.s.n.m., afloran especialmente a lado y lado del cauce actual del Río Patía.

Esta constituida en su mayor parte por capas de arenisca feldespáticas de grano medio a fino, en capas masivas, friables de color rojizo a amarillento; en pocos casos se presentan suelos rojizos muy alterados por el clima y con perfiles poco profundos y poco diferenciados en los que las colinas se encuentran cubiertas con sedimentos de terraza.

#### **6.4.6 Depresiones Inundables**

Las depresiones inundables corresponden a zonas inundables y con lagunas, algunas ocasionadas por meandros abandonados, divagación de ríos, canales o depresiones donde la escasa pendiente y suelos impermeables ocasionan una alimentación muy lenta sub-terrestre hacia los cauces de agua.

#### **6.4.7 Zona de Meandros**

Definida por la aquella parte del valle aluvial donde se han generado curvas proporcionales al tamaño del cauce.

#### **6.4.8 Albardón Natural**

Son bandas paralelas que sirven de límite, entre el lecho actual y las unidades geomorfológicas vecinas, como son las unidades permeables y semipermeables de la planicie aluvial.

#### **6.4.9 Cauces Antiguos**

Corresponde a áreas que anteriormente fueron drenadas por ríos antiguos del Patía, cuyos rastros se pueden observar durante visita de campo, actualmente están llenos de sedimentos finos como lagos permanentes o temporales.

#### **6.4.10 Lecho del Río**

El río Patía posee dos tipos de lecho en sus diferentes brazos; El lecho mayor o de aguas altas y el lecho menor o de aguas bajas.

El lecho mayor es una unidad morfológica e hidrológica, que contiene al lecho menor y por el cual circulan las aguas altas del río, también se encuentran algunas lagunas y depresiones inundables.

El lecho menor es el canal conocido como “el río” por el cual circulan las aguas bajas y probablemente medias, debido a que las altas después de desbordarlo circulan por el lecho menor.

#### **6.4.11 Talud de Socavación**

El talud de socavación corresponde a los escarpes originados por los procesos de socavación lateral en las márgenes del río y sobre la Terraza y en la unidad de lomeríos, ampliamente expuestos en el sitio de Remolinos.

#### **6.4.12 Zonas De Recarga<sup>16</sup>**

Son áreas bajas sobre los diques o sobre los depósitos aluviales donde en épocas de aguas altas el río se desborda alimentando las depresiones inundables; generando así un enriquecimiento de sedimentos finos tanto del albardón como de las mismas depresiones.

---

<sup>16</sup> *Ibíd.*,(1996) p, 16

## **6.5 ANÁLISIS MORFOMÉTRICO Y DELIMITACIÓN DE CUENCAS DEL DELTA DEL RIO PATÍA**

La Cuenca como unidad, tiene características geográficas, físicas y biológicas similares que la hacen funcionar como un ecosistema. Es por esto que las cuencas hidrográficas son la mejor unidad geográfica para la planeación del desarrollo regional en beneficio de los habitantes que viven en ellas.

Una de las herramientas más importantes en el análisis hídrico es la morfometría de cuencas (Maidment, 1992; Verstappen, 1983; Campos, 1992, Gregory and Walling, 1985) ya que permite establecer parámetros de evaluación del funcionamiento del sistema hidrológico de una región.

Dicha herramienta puede servir también como análisis espacial ayudando en el manejo y planeación de los recursos naturales (López Blanco, 1989) al permitirnos, en el marco de una unidad bien definida del paisaje, conocer diversos componentes como el tamaño de la cuenca, la red de drenaje, la pendiente media, el escurrimiento, y la dinámica de las condiciones ambientales que se desarrolla en los Deltas de los ríos en este caso el Delta del Rio Patía, etcétera.

Dichos componentes pueden ser obtenidos y modelados mediante el uso de sistemas de información geográfica. Y, convenientemente combinados con la geomorfología, puede obtenerse un diagnóstico hidrológico útil para la planeación ambiental.

El objetivo de este estudio es obtener y analizar los parámetros morfométricos del Delta del Rio Patía. Este tipo de estudios puede ayudar a establecer las bases hidrológicas del análisis ambiental en el Delta con miras a la planeación y ordenamiento de un mejor uso del recurso hídrico.

Para lograr lo anterior, se realizó la delimitación de microcuencas, se aplicaron y compararon un total de seis índices hidrológicos y nueve parámetros hidrológicos.

Los índices fueron los siguientes: el índice de forma, el de alargamiento, el de compacidad, el de masividad, el de densidad de drenaje y el de elevación media de la cuenca; los parámetros medidos fueron: el área, desnivel altitudinal, el orden de corrientes por cuenca, la densidad de drenaje, el número de escurrimientos por cuenca, pendiente media del cauce principal, y el tiempo de concentración.

Otros parámetros y elementos fueron obtenidos como paso previo a la obtención de los ya mencionados pero que no son analizados debido a que están contenidos en los anteriores: red de drenaje, curvas de nivel, delimitación de las cuencas, ancho y largo de la cuenca.

Introducción al manejo de cuencas hidrográficas, Jesús Eugenio Hena: Referencia

## **6.6 ÍNDICES Y PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS**

Una cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje de un río es el área limitada por un contorno al interior del cual las aguas de la lluvia que caen se dirigen hacia un mismo punto, denominado salida de cuenca. Es en suma, el área de captación de aguas de un río delimitado por el parteaguas.

Una cuenca está compuesta por un conjunto de quebradas o pequeños ríos que se llaman subcuencas o cuencas tributarias, o sea, las que tienen menor extensión que la principal. Cuando una cuenca posee pocas hectáreas, se le llama microcuenca

Puede considerarse una cuenca principal, como el conjunto de pequeñas cuencas que pertenecen a un mismo desagüe. Un conjunto de cuencas forman una hoya o cuenca principal y un conjunto de cuencas principales forman una vertiente.



Colombia tiene (3) vertientes: La Vertiente del Atlántico, la Vertiente del Pacífico y la vertiente Oriental<sup>17</sup>

La cuenca hidrográfica actúa como un colector natural, encargada de evacuar parte de las aguas de lluvia en forma de escurrimiento. En esta transformación de lluvias en escurrimiento se producen pérdidas, o mejor, desplazamiento de agua fuera de la cuenca debido a la evaporación y la percolación.

El movimiento del agua en la naturaleza es una función compleja en la cual intervienen diversos factores, entre los cuales se pueden resaltar su clima y sus características fisiográficas.

## **6.7 COBERTURA Y USO DEL SUELO DEL DELTA PATIA<sup>18</sup>**

En Colombia, los manglares comprenden una superficie aproximada de 380.634 ha de las cuales 292.726 se encuentran en el litoral Pacífico y 87.908 en el Caribe. Los manglares de la costa pacífica se distribuyen en una franja más o menos continua y de ancho variable desde el río Mataje hasta Cabo Corrientes en el Chocó, y desde este sitio hasta Punta Ardita se presentan en forma de pequeños rodales dada la presencia de acantilados (Prahl, 1989). Desde el punto de vista ecológico, se relaciona con una formación arbustiva-arbórea que se encuentra y ocupa densamente los litorales tropicales de terrenos con relieve plano y fangoso, periódica y parcialmente inundados por aguas relativamente tranquilas en

---

<sup>17</sup> HENA, Jesús Eugenio; Introducción al manejo de cuencas hidrográficas.

<sup>18</sup> MARTÍNEZ .Jorge Restrepo PIÑUELO [http://www.redmanglar.org/redmanglar.php?c=224/ESTADO DE LOS MANGLARES EN COLOMBIA](http://www.redmanglar.org/redmanglar.php?c=224/ESTADO%20DE%20LOS%20MANGLARES%20EN%20COLOMBIA).

estuarios, ensenadas, islas, islotes y deltas donde no se presenta una diferencia marcada entre la pleamar y la bajamar.

En esta zona del pacifico Colombiano, el manglar está constituido por dos tipos de bosque, el manglar maduro y el manglar joven, ocupando un área total de 281.200 hectáreas. Por su parte, en el litoral Atlántico, el bosque de manglar se encuentra localizado en las islas de san Andrés y providencia, en el sistema deltaico del río Magdalena, en la ciénaga grande de santa marta en el canal del dique y en el golfo de Uraba, con un área total de 25.300 hectáreas. Según la clasificación de formaciones vegetales en el mundo, en los dos litorales de Colombia la formación ecológica de los bosques de manglar es diferente: Costa pacífica, bosque muy húmedo tropical. Costa atlántica, bosque seco tropical.

Debido principalmente a estos tipos de formaciones ecológicas, la estructura en conformación de bosques de manglar es diferente en las dos costas colombianas, ya que las condiciones climáticas (precipitación, temperatura y nubosidad) varían ostensiblemente. Por tal motivo, dicho bosque en la costa del pacifico es mejor estructurado en cuanto a altura, diámetro y exuberancia de la copa. Por el contrario, en las costas del Caribe, el bosque del manglar es menos estructurado dando como resultado menor altura, menor diámetro y copas más reducidas. En algunas partes, como el caso del golfo de Uraba, el bosque de manglar se presenta casi achaparrado.

La asociación manglar en Colombia es relativamente homogénea, y la constituyen predominantemente las siguientes especies:

- Mangle rojo (*rhizophora mangle*).
- Mangle negro (*avicennia nítida*).
- Mangle blanco (*laguncularia racemosa*).

Finalmente, el uso que se ha dado en Colombia al bosque de manglar en el litoral pacífico ha sido para el aprovechamiento de la corteza con desperdicio de la madera, extracción de varas, pilotes y postes. En el litoral Atlántico para leña-carbón y sus industriales. En ambos litorales para la producción hidrobiología.

La totalidad cubierta por manglares ha sido intervenida para la obtención de diferentes productos y subproductos.

En los últimos 20 años las empresas madereras han explotado al manglar con 2 objetivos principales: Obtención de carbón activado para utilizarlo en el proceso de elaboración de textiles sintéticos y obtención de maderas para producir láminas prensadas de uso múltiple. En el promedio comprendido entre 1965-1978 se extrajeron en promedio 15.000 m<sup>3</sup>/años para fines industriales. No obstante la extensión de los manglares en Colombia (306.500 hectáreas), su producción actual es mínima, aproximadamente 12.000.m<sup>3</sup>, representado en productos tales como los mencionados antes, varas, pilotes, etc.

Es importante anotar que las industrias basadas en el recurso mangle desaparecidas por la degradación del bosque no podrán reinstalarse ni en el corto ni en el mediano plazo (5-15 años), y esto solo será posible si se adelantan labores de investigación, protección y manejo.

## **6.8 IMPORTANCIA DE LA PROTECCIÓN DEL MANGLAR PARA LA PESCA<sup>19</sup>**

El manglar en Colombia es un sistema que ha permitido la formación de áreas estuarinas dando condiciones especiales de salinidad ph, nutrientes, centros de

---

<sup>19</sup> FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO INTEGRADO DE LA ZONA COSTERA DE GUAPI - Iscuandé, Pacífico Colombiano

adición, etc. Que sostienen larvas y juveniles de organismos tan importantes como el camarón que sostiene casi 99% de las pesquerías de langostinos, igualmente en la especie *penaeus* representa la mejor perspectiva en el cultivo del camarón.

Al ser esta una barrera natural impide la acción erosiva del oleaje y la acción erosiva aleoica, ya que frena la fuerza de los vientos. Sus canales naturales permiten una dinámica normal del flujo y reflujo de las mareas.

En las zonas costeras del Pacífico colombiano, el desarrollo de actividades productivas tradicionales ha sido el mecanismo a través del cual, las poblaciones locales han aprovechado constantemente los recursos naturales desde el siglo pasado, sin considerar la sostenibilidad de los mismos en estas áreas. De igual manera, el desarrollo de la región se ha venido realizando de forma poco sostenible, con una tendencia a solventar las necesidades inmediatas de la población a causa de la reducida productividad terrestre, la gran distancia a los mercados de consumo y el costo elevado de los servicios no subsidiados (MMA e IIAP, 2000a; MMA e IIAP, 2000b).

El análisis de la información de carácter primario y secundario permite establecer que para el área de estudio del delta, existen varios factores importantes de carácter antrópico y natural que han afectado y están afectando a la cobertura vegetal de manera significativa, en unos lugares más que en otros. Factores como los procesos antrópicos representados en una marcada utilización selectiva de especies, con un nivel de manejo bajo en su aprovechamiento, que es condicionado por un mercado nacional, en donde no se ha desarrollado la posibilidad de diversificación de productos tanto primarios como secundarios, pues existe una investigación forestal y de flora incipiente, sin continuidad para las condiciones especiales de estos tipos de bosques, baja asesoría y presencia real de las entidades gubernamentales, el poco desarrollo de medidas que permitan recuperar, restaurar, manejar y conservar estos bosques, buscando así disminuir

de manera paulatina y significativa los tensores. Para el caso del bosque de manglar es importante citar el cambio en el uso del suelo propiciado por la necesidad económica del área, afectando grandes extensiones al establecerse cultivos de coco (*Cocos nucifera*) y palma naidi, (*Euterpe oleracea*) presencia de la especie ranconcha (*Acrostichum aereum*) que ocupa sustratos propios del manglar y en donde la posibilidad de regeneración es limitada, dadas las particularidades de ésta especie, que en muchos sitios domina por lo general hacia los bordes de los esteros, ríos o bocanas, otros factores son; corte de raíces para la obtención de piangua, corte de árboles para la obtención de leña dadas las bajas condiciones de electrificación en el área, efectos indirectos que se han propiciado por derrames de hidrocarburos, contaminación por aguas servidas de carácter doméstico, en menor escala industrial, construcción de camaroneras, presencia y acumulación de sedimentos que alteran las condiciones edáficas de este bosque<sup>8</sup>.

En forma general se puede plantear que las densidades del manglar son bajas, muy bajas y en algunos sectores críticas para el estrato fustal, lo que repercute en la posibilidad de establecer árboles semilleros que den origen o aseguren la continuidad de la sucesión natural, esto asociado a una estratificación media con algunos árboles emergentes, una distribución diamétrica en donde los mayores porcentajes están en las primeras categorías y una mezcla de especies nucleares del manglar y otras asociadas, propiciando de una u otra una forma competencia real por el terreno y por la supervivencia. Para los diferentes tipos de bosque tanto de guandal como mixtos citados en este estudio, es importante reseñar que presentan densidades muy bajas a críticas en la mayoría de las categorías definidas, existiendo muchas especies pero pocos individuos, entre ellas tenemos el sajo (*Camnosperma panamensis*), cuangare (*Otoba gracilipes*), tangare (*Carapa guianensis*), machare (*Symphonia globulifera*), peinemono (*Apeiba aspera*) y sande (*Brosimum utile*).

## 7. METODOLOGÍA

En el ámbito nacional e internacional, las Tecnologías de la Información Geográfica, se encuentran orientadas al desarrollo de modelos que permiten la realización de análisis espaciales dirigidos a encontrar las soluciones a problemas cotidianos. Hoy en día podemos evidenciar que las TIG son una herramienta que facilita la evaluación y valoración de fenómenos espaciales siendo reconocida fundamentalmente en las investigaciones sobre fenómenos físico-bióticos. Para el caso colombiano estas herramientas han sido muy indispensables a la hora de desarrollar proyectos de gestión ambiental, donde hay zonas de difícil acceso permitiendo así desarrollar estudios más completos y ahorrando tiempo y costos.

La metodología utilizada para realizar la caracterización biofísica del delta del río Patía a través del uso de las tecnologías de la información geográfica comprende las fases de trabajo siguientes: (a) estructuración de la información temática base, (b) clasificación de cobertura vegetal no supervisada, (c) determinación de los parámetros morfométricos, y (d) Análisis espacial mediante la superposición de capas temáticas.

**(a) Estructuración de la información temática base:** Para esta fase se utilizó un proceso de recolección de información secundaria haciendo una revisión bibliográfica de documentos temáticos, informes institucionales y registros climatológicos de la zona de estudio, realizados por diferentes entidades ambientales como: IDEAM, DANE, CRC, CORPONARIÑO, CCCP, entre otras para poder determinar las variables físicas y bióticas que hacen parte del delta mencionado; en primera instancia se realizó un reconocimiento de antecedentes históricos en materia de proyectos que se habían elaborado para el río Patía, este

reconocimiento enmarca varios aspectos como es el uso de herramientas cartográficas que hacen parte del archivo histórico, y documentación preliminar acerca de las condiciones ambientales de la zona de estudio.

Para el caso de estudio se eligieron mapas topográficos a escalas 1:100000 y 1:25000 de Cartografía Nacional, así como capas temáticas, tales como, Drenajes, Curvas de nivel, Bosque, Pantano, Laguna, Línea de costa y playa, suministradas por el centro de investigaciones oceanográficas del pacifico (a escala 1:25000) con el fin de determinar cartografía base que más adelante se utiliza para realizar un análisis espacial<sup>20</sup>

**(b) Clasificación de cobertura vegetal no supervisada:** Para realizar la clasificación no supervisada del Delta se utilizó un proceso de teledetección a partir de fotografías aéreas e imágenes de satélite, las cuales fueron sometidas a técnicas de procesamiento digital que permitieron identificar los diferentes rasgos geomorfológicos de la zona de estudio, así como clasificar y catalogar las coberturas vegetales, utilizando algoritmos de reconocimiento de texturas basados en el análisis de su firma espectral.

Se trabajó con la plataforma de Erdas Imagine (versión 8.6) para realizar el proceso de ortorectificación, georeferenciación y elaboración de mosaicos. Una vez procesados estos mosaicos se procede a elaborar una clasificación no supervisada en la cual se asignan un número determinado de variables a clasificar que posteriormente se vectorizan y editan con el programa ArcGis (versión 10) obteniendo como resultado información temática de acuerdo a las variables identificadas.

---

<sup>20</sup> ESTUDIO DE CASOS DE MODELOS INNOVADORES EN LA FORMACIÓN DOCENTE EN AMÉRICA LATINA Y EUROPA, UNESCO.

**(c) Determinación de los parámetros morfométricos:** Existen métodos para medir las diferentes dimensiones y características morfométricas de una cuenca, ya que ella no es un ente plano y posee tamaños a lo largo, ancho y profundidad.

Para el desarrollo de esta fase que es determinar los parámetros morfométricos del delta del Rio Patía se emplea el software ArcMap (versión 10) y el modelo de datos hidrológicos ArcHydro 10 creado por la Universidad de Texas para la administración de los recursos hídricos, con la cual se puede identificar de forma automática características tales como: delimitación de subcuencas, dirección de flujo, caudales máximos y mínimos por subcuenca, mapa de pendientes y perfiles de cauces, utilizando un Modelo Digital de Elevación DEM de 30 metros y coberturas en formato vector (Shapefile) a escala 1:25.000 ,ambos elementos suministrados por el CCCP.

## **7.1 ANÁLISIS ESPACIAL**

Los análisis geospaciales combinan y manipulan los datos almacenados en el SIG para crear información nueva, la cual puede ilustrarse con mapas y resumirse en registros para ser estudiados por el usuario y decidir si el modelo adoptado constituye una solución óptima; incluye medición de distancias y áreas, análisis de proximidad, (buffers), operaciones de disolución y fusión de polígonos, superposición, análisis de superficies y análisis de redes. Para el delta del rio Patía se analizara espacialmente los elementos y relaciones existentes entre la cobertura vegetal, uso del suelo y las características físicas del área de la cuenca que permitan identificar los procesos de sedimentación que viene presentando el delta.



### 7.1.1. Desarrollo del estudio

En este capítulo se presenta el desarrollo metodológico que permitió elaborar el presente estudio. Se muestran las técnicas y procedimientos que fueron utilizados para llevar a cabo la investigación.

El trabajo se fundamenta en la caracterización biofísica, que contempla la recopilación de información para poder identificar las variables biofísicas a partir de la utilización de métodos descriptivos y correlacionales y de esta forma llevarlos a un SIG, pues es una herramienta que facilita el análisis de la información y su posterior presentación, en tal sentido se desarrollan las siguientes etapas:

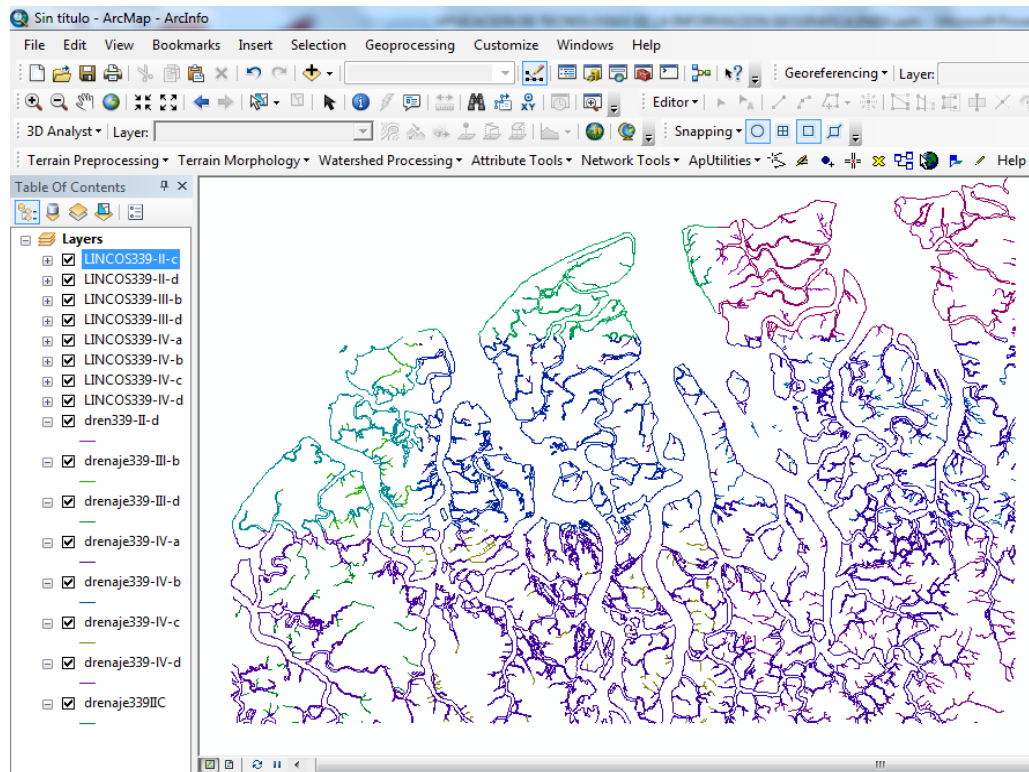
**ETAPA No. 1** Inventario de información cartográfica e hidrográfica existente de la zona, y diagnostico preliminar del área de estudio para identificar los principales afluentes del rio Patía

- **Fase I recolección de información:** Para el desarrollo de esta investigación fue necesario utilizar herramientas que permitieron recolectar el mayor número de información necesaria, con el fin de obtener un conocimiento más amplio de la realidad de la problemática. Por naturaleza del estudio se requirió la recopilación documental, que se trata del acopio de los antecedentes relacionados con la investigación. Para tal fin se consultaron documentos escritos, formales e informales, La mayor parte de la información se obtuvo mediante una revisión bibliográfica de documentos temáticos, informes institucionales, boletines científicos y registros climatológicos de la zona de estudio.
- **Fase II Determinación de la cartografía básica:** El Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacifico suministro cartografía a escala 1:25.000 en formato dwg, con las siguientes variables:

a) Drenajes



**Figura No 4. Capas exportadas a formato Shapefile.**



**ETAPA No. 2** Clasificación de Cobertura Vegetal. Los avances en informática y tecnología de sensores remotos cambian la forma de recoger, procesar y usar la información geoespacial.

La teledetección y la visión artificial son herramientas eficientes para procesar este tipo de información y facilitar el análisis de los datos, permitiendo el seguimiento de los cambios en la superficie terrestre (Chen y Stow, 2003).

La etapa II consistió en realizar una clasificación no supervisada de la cobertura vegetal mediante el uso de fotografías aéreas e imágenes satelitales, para dicho objetivo se utilizó la metodología utilizada por el CCCP, basada en un proyecto que se implementó para elaborar el mapa de cobertura vegetal del borde costero de la Bahía de Tumaco realizado en el 2008. Se procedió a georeferenciar las

fotografías aéreas e imágenes de satélite para posteriormente realizar un tratamiento y análisis con los programas ERDAS IMAGINE 8.6, y ArcGIS, 10 para realizar la edición obteniendo como resultado los mapas temáticos de acuerdo con las variables identificadas.

Esta etapa comprende tres fases: Georeferenciación, elaboración de mosaicos y clasificación no supervisada.

**Figura No 5. Georreferenciación de fotografías aéreas, utilizando puntos de control.**

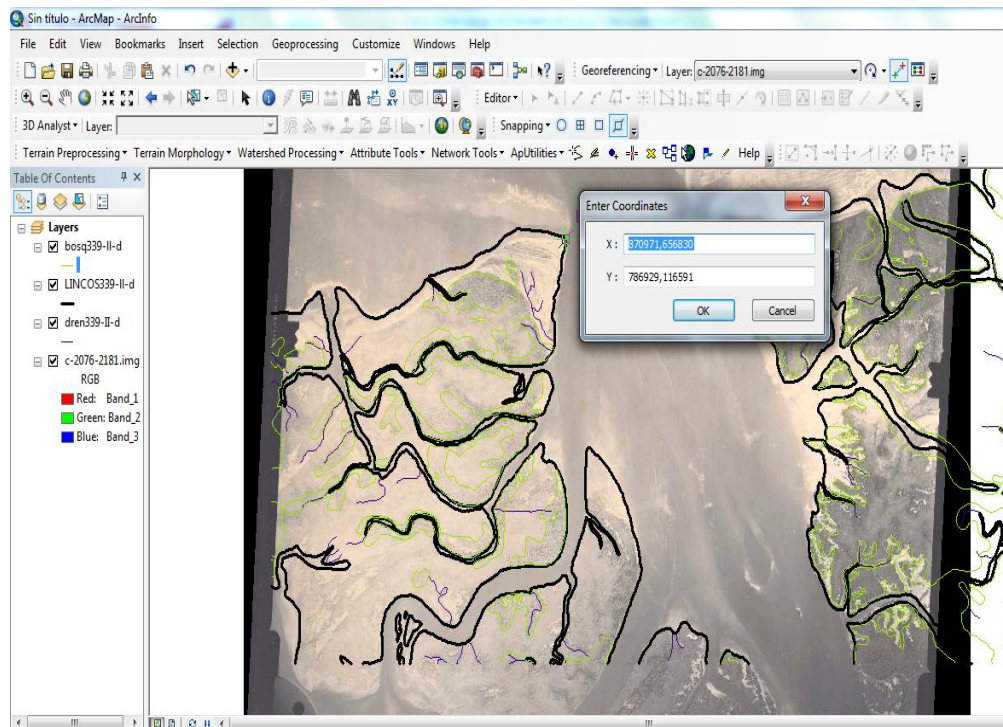
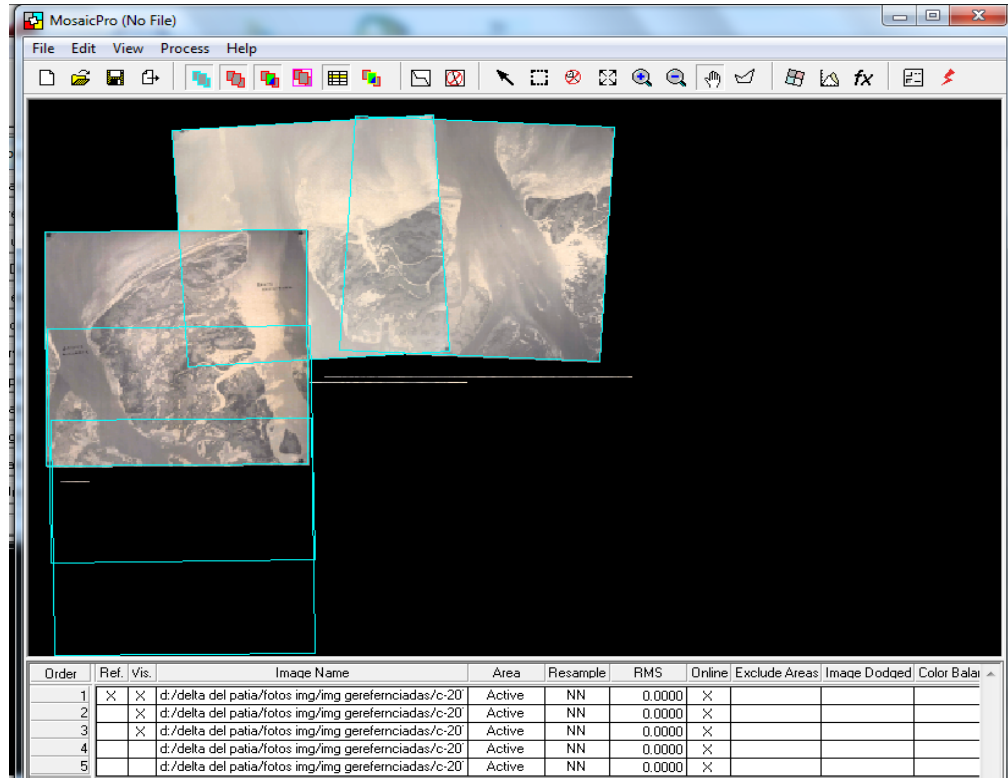


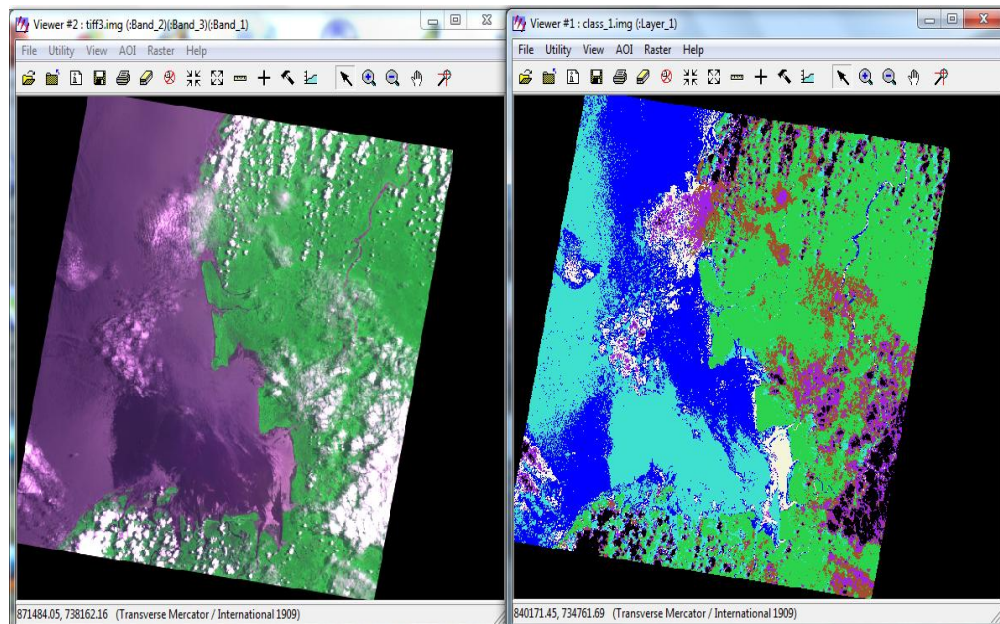
Figura No 6. Elaboración de mosaicos con las fotografías aéreas



Las fotografías aéreas e imágenes de satélite contienen mucha información acerca de la cobertura terrestre, la vegetación, los suelos, y los elementos construidos por el hombre. Cada vez el tamaño de pixel de las imágenes es más pequeño con mayor resolución y con mayor información multispectral, permitiendo derivar información mucho más rica o acertada de los datos.

Teniendo el mosaico georeferenciado se procedió a realizar la clasificación no supervisada.

**Figura No 7. Clasificación no supervisada de imagen Aster.**



La clasificación es el proceso de agrupar los píxeles en un número finito de clases individuales o de categorías de datos con base en los niveles digitales de estos mismos. Si un píxel satisface cierto criterio, entonces el píxel es asignado a la clase que corresponda a este criterio.

Clasificación No Supervisada: consiste en la determinación exclusivamente por el programa del número de clases que va a tener la imagen, hace una evaluación de los valores de píxel y con base a eso determina a que clase pertenece.

El proceso de clasificación supervisada es mucho más completo, más dispendioso para obtener el resultado final. El proceso de clasificación no supervisada es un menú donde se define prácticamente su archivo de entrada su archivo de salida, se define el número de clases y se obtiene un resultado estos dos métodos se pueden utilizar con cualquier tipo de imagen multispectral.

El algoritmo de clasificación no supervisada se denomina ISODATA es una técnica de análisis que se llama Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques, es decir los pixeles son agrupados en clases de acuerdo a sus características espectrales no hay injerencia humana en el proceso de decisión, es posible modificar los resultados más adelante refinar estos resultados, combinarlos con otros procesos, de acuerdo como estén los datos va a ser la clasificación de estos mismos, si hay mucha interferencia o si es una imagen que haya sido procesada anteriormente los datos van a variar.

Para el Delta del Rio Patía se realizó una clasificación no supervisada, en la cual se determinaron las siguientes clases:

- a) Cuerpos de agua
- b) Sedimentos
- c) Bosque de manglar denso joven
- d) Mangle adulto
- e) Playa de bajar mar
- f) Camaroneras
- g) Áreas sin información

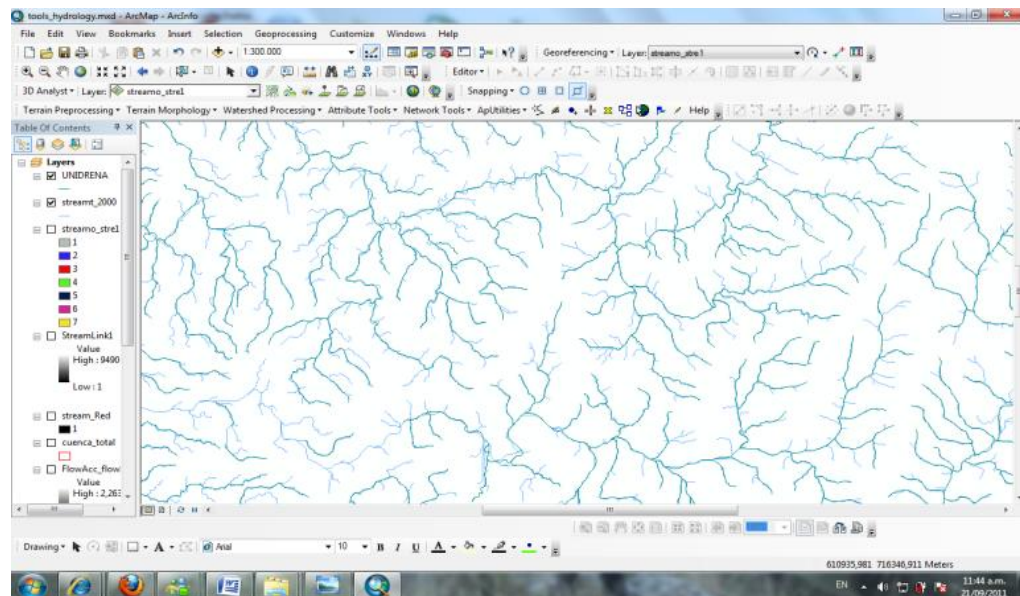
Al final como resultado se obtuvo información temática y una tabla de atributos

**ETAPA No. 3** Parametros Morfometricos: Consiste en Analizar con las herramientas SIG los parámetros morfométricos del delta del Rio Patía lo que permitirá obtener características tales como: Delimitación de subcuencas, dirección de flujo, caudales máximos y mínimos por subcuenca, mapa de pendientes y perfiles de cauces, para dicha realización se utilizarán Modelos Digitales de Elevación DEM de 30 metros, suministrado por el CCCP.

La metodología desarrollada en esta etapa se basó fundamentalmente en mediciones y cálculos de variables y parámetros morfométricos del Delta del Rio Patía y su red de drenaje, para lo cual se utilizó como fuente de información planchas topográficas del área de estudio a escala 1:25.000, fotografías aéreas, imágenes de satélite y un modelo digital de elevación de 30 metros, estos elementos fueron suministrados por el Centro de investigaciones oceanográficas e hidrográficas del Pacífico (CCCP).

A partir de la cartografía digital del área de estudio y empleando el software ArcGIS 10 y herramientas como Hydrology y ArcHydro versión 10, se calcularon los parámetros morfométricos básicos puntuales, lineales, areales y pendientes de la cuenca y de su red de drenaje. Otros parámetros se obtuvieron de la lectura directa sobre la base cartográfica original, y otros por medio de las ecuaciones matemáticas que los definen.

**Figura No 8. Edición de coberturas con el programa ArcGis 10.**





Mediante la interpretación de las planchas topográficas se obtuvo el área total del delta y la red hidrológica, ésta última también a través de interpretación e inferencia de los cursos fluviales a partir de las curvas de nivel.

La obtención de ciertos parámetros como la densidad de drenaje y la delimitación de microcuencas fue realizada en forma totalmente automatizada en el SIG ArcGis 10 (fig. 9), mientras que los datos necesarios para los índices fueron extraídos de tablas generadas por ArcGIS a partir de los mapas rasterizados de topografía (del modelo digital del terreno o MDT), de cuencas y de ríos; y posteriormente tratados en una hoja de cálculo en el programa Excel v.2007 para Windows.

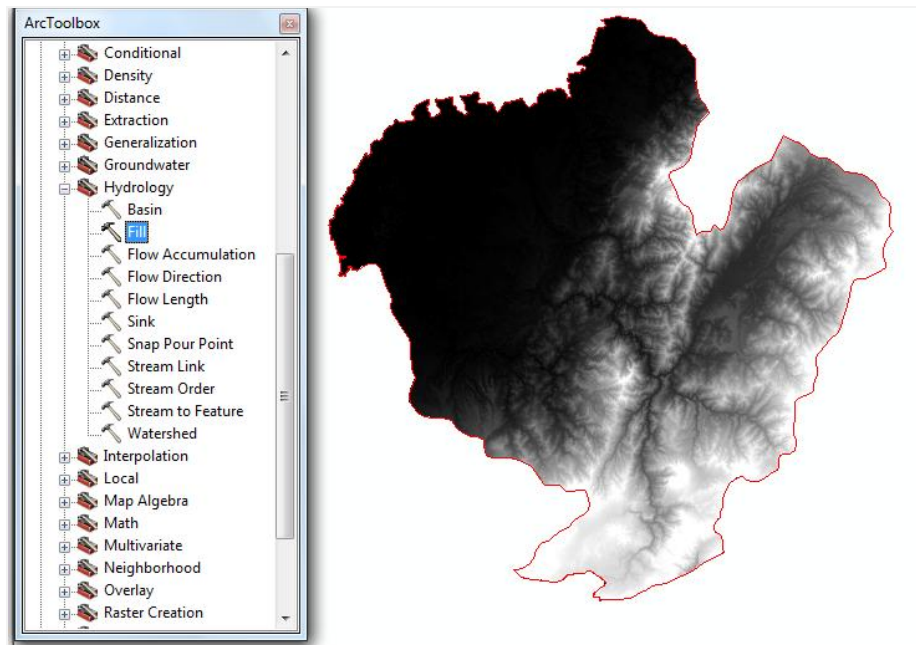
## **8. DELIMITACION DE MICROCUENCAS DEL DELTA DEL RIO PATIA**

A continuación se muestran los pasos que se elaboraron para obtener la hidrografía del área de estudio utilizando el software Arcgis 10 con la herramienta Hydrology y ArcHydro, y que permitieron realizar los parámetros morfométricos mencionados anteriormente.

### **8.1 PASO 1. FILL SINKS**

Con esta herramienta se rellenaron las imperfecciones existentes en la superficie del modelo digital de elevaciones, de tal forma que las celdas en depresión alcancen el nivel del terreno de alrededor, con el objetivo de poder determinar de forma adecuada la dirección del flujo.

**Figura No 9. Relleno de imperfecciones con Fill Sinks**

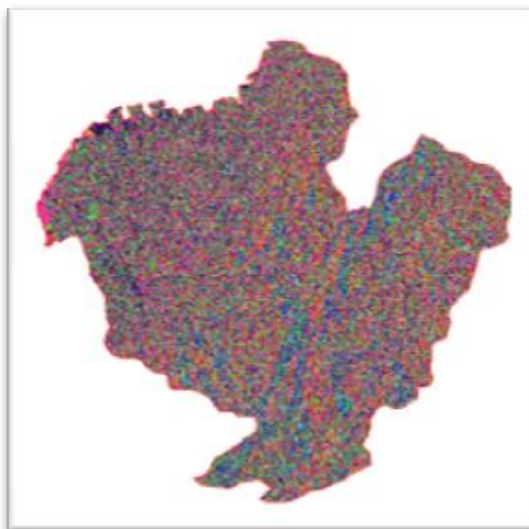
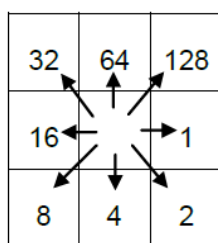


## 8.2 FLOW DIRECTION

Se define aquí la dirección del flujo buscando el camino descendente de una celda a otra.

**8.2.1 Flow Direction.** Consiste en determinar la dirección del flujo a través de cada celda, es uno de los más importantes pasos en el análisis de superficies hidrológicas; todas las restantes herramientas hidrológicas requieren de esta información para trabajar. La herramienta Dirección del Flujo encuentra la dirección del flujo para una celda comparando su valor de elevación con los valores de la elevación de sus celdas vecinas. El resultado es un código que identifica al vecino hacia donde el agua fluirá. El gráfico siguiente muestra los códigos (valores enteros) que representan la dirección del flujo a partir del centro de la celda en el mapa de salida:

**Figura No 10 Dirección de flujo**



### **8.3 FLOW ACCUMULATION**

Crea el raster de acumulación de flujo en cada celda. Se determina el número de celdas de aguas arriba que vierten sobre cada una de las celdas inmediatamente aguas abajo de ella.

La herramienta Acumulación del Flujo (Flow Accumulation) calcula para cada celda la cantidad de agua que fluye dentro de la celda desde todas las celdas que drenan hacia ella. A menos que el usuario especifique el mapa raster de ponderación (opcional), el valor de salida para una celda cualquiera será solamente determinado por la cantidad de todas las celdas que drenaron hacia ella.

El mapa raster de ponderación puede ser usado para especificar la cantidad de agua que está disponible en cada celda para servir como escorrentía. Este mapa es normalmente el resultado de un modelo, donde el mapa de precipitación es modificado por la cantidad de agua absorbida por el suelo y la vegetación que cubre las celdas

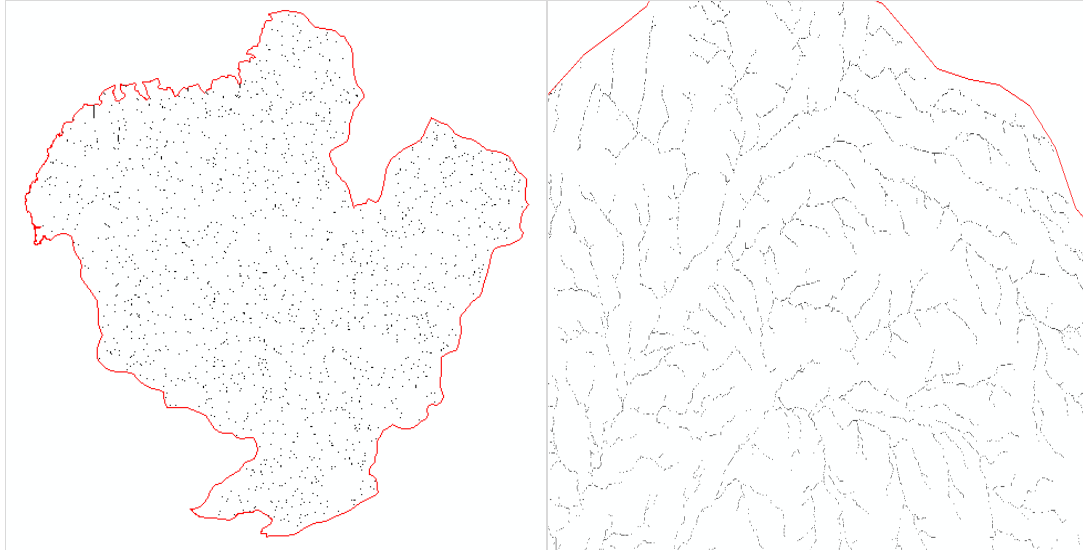
**Figura No 11. Acumulación de flujo**



#### **8.4 STREAM DEFINITION**

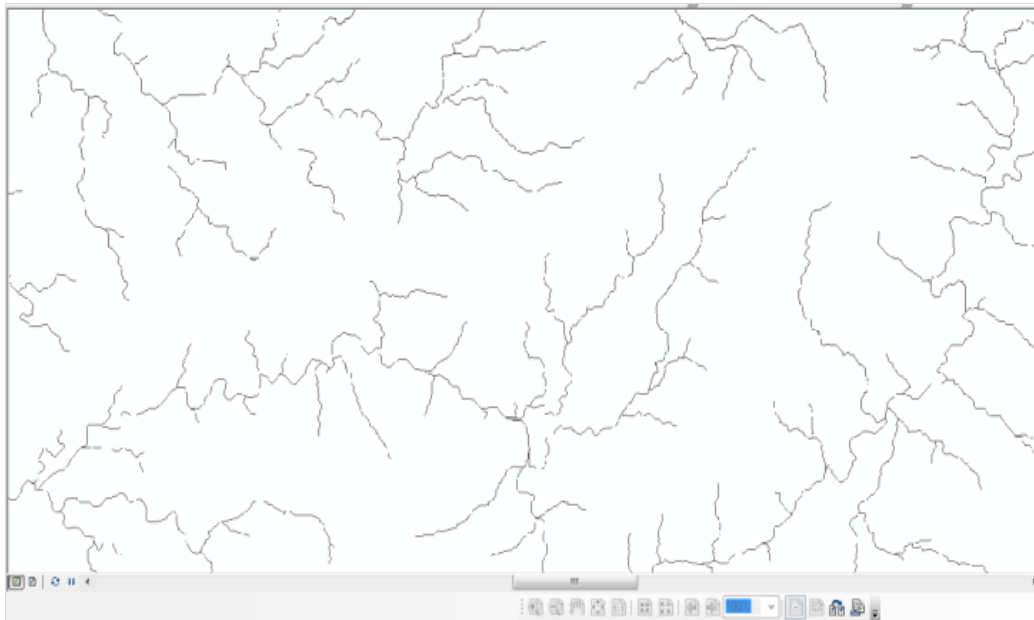
En esta fase se clasifican las celdas con acumulación de flujo superior a un umbral especificado por el usuario como celdas pertenecientes a la red de flujo. El umbral debe ser especificado como el número de celdas vertientes a la que se está clasificando en cada momento. Aquí se debe efectuar un análisis experto para sopesar que valor sería el más indicado, ya que si el valor de acumulación es muy bajo muchos pixeles serán seleccionados como pertenecientes a la red hídrica, si por lo contrario, el valor del pixel es muy alto solo aquellos drenajes de orden alto serían definidos como red hídrica.

**Figura No 12. Definición de celdas de flujo**



## 8.5 STREAM LINK

**Figura No 13. División del cauce en segmentos**



Divide el cauce en segmentos no interrumpidos. Es decir, que dichas secciones en las que se divide el recorrido del flujo serán segmentos que conectan dos uniones sucesivas, una unión y un punto de desagüe o una unión y una división del área de drenaje.

## 8.6 STREAM ORDER

Crea un raster del orden de las corrientes. Para ello se usan dos métodos:

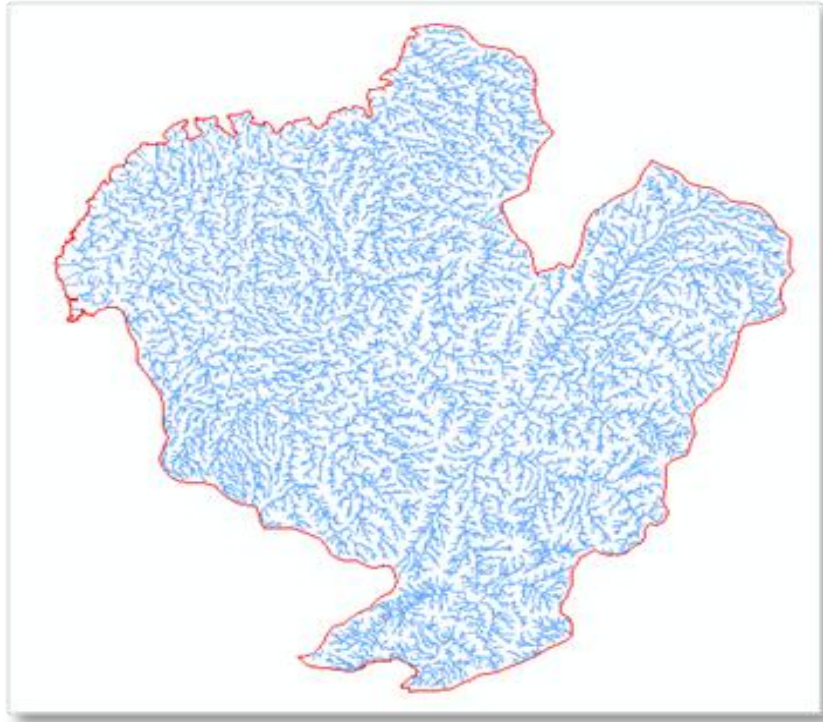
- a) En el método Strahler, el orden de la corriente se incrementa cuando se cruzan dos drenajes del mismo orden. Dos drenajes de diferentes órdenes no se traducirán en un aumento del orden de la siguiente corriente.
- b) En el método Shreve los órdenes de corrientes son aditivos.

**Figura No 14. Órdenes de corriente.**



## 8.7 STREAM FEATURE

**Figura No 15. Shapefile de drenajes**

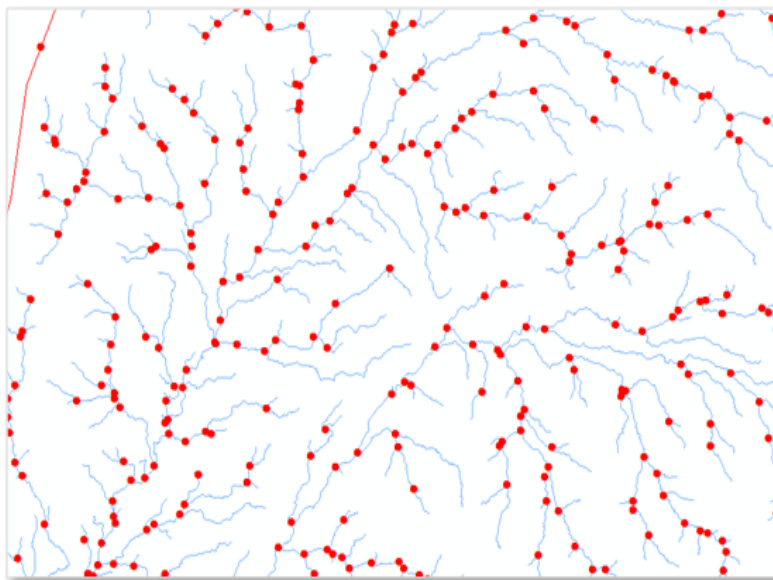


Lo que hace es crear un shapefile de drenajes para posteriormente realizar ciertos cálculos morfométricos.

## 8.8 FEATURE VERTICE TO POINT

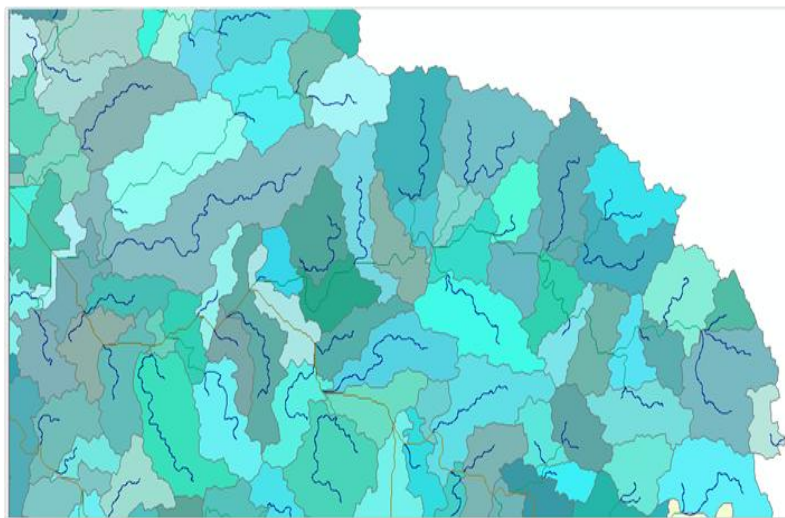
Esta herramienta permite determinar los puntos de intersección de los drenajes, es decir convierte los vértices a punto. Podemos determinar un punto al inicio, la mitad o al final de cada tramo de corriente, para este caso nos interesan los puntos finales que es donde existe acumulación de flujo.

**Figura No 16. Vértices de cada tributario**



**8.9 PASO 6.9. WATERSHED DELINEATION<sup>21</sup>**

**Figura No 17. Microcuencas del delta del rio Patía**



---

<sup>21</sup> <http://aguaysig.blogspot.com/2011/03/delimitacion-de-cuencas-con-arcgis.html>



Delinea una subcuena por cada uno de los segmentos de cauce definidos en el paso anterior, además permite calcular el área de cada tributario.

## 8.10. ANALISIS Y RESULTADOS

**Tabla No. 1. Parámetros morfo métricos medidos y calculados para el Delta del rio Patía.**

PARÁMETRO	MAGNITUD	UNIDAD
Área	32886	Km2
Perímetro	1083,48	km
Longitud	224	km
Factor forma	0,65	---
Coefficiente de com.	1,6	---
Longitud total de cauce	440-344	km
Ancho	141,86	---
Altura máxima	4200	msnm
Altura mínima	0	msnm
Altura mediana	1030	msnm
Relieve máximo	4200	msnm

## 8.11. ESCALA DE LA CUENCA

Para este tipo de estudios no solamente interesa el volumen total a la salida de la cuenca, sino también su distribución espacial y temporal, para lo cual se necesita tener un buen conocimiento de sus características de tamaño, forma, orientación, etc. Dada la importancia de la configuración de las cuencas, se trata de cuantificar

estas características por medio de índices o coeficientes, los cuales relacionan el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento, y cómo influye esa dinámica en este caso en el delta del Patía.

Al estudiar el delta del Patía fue necesario determinar la escala o el tamaño total de la cuenca del Patía, ya que es una de las características más importantes para este tipo de estudios. En un principio se había determinado una extensión de 20286 km<sup>2</sup> que correspondía a las áreas de Alto Patía y bajo Patía, pero debido a la desviación del cauce principal el cual comenzó a drenar hacia el río Sanquianga formando una nueva área llamada Patía norte, siendo necesario calcular esta área nuevamente dando como resultado un área total de 32886 km<sup>2</sup>, resultado que muestra un sistema hidrogeomorfológico de Grandes dimensiones (tabla 1), que lo califican bajo la categoría de cuenca u hoya hidrográfica.

### **8.12 FACTOR DE FORMA**

La forma de la cuenca controla la velocidad con que el agua llega al cauce principal, cuando sigue su curso, desde el origen hasta la desembocadura. La forma de la cuenca para el delta del río Patía es de 0,65. Indicando un factor alto en la tendencia hacia las crecidas siendo más propensas a tener lluvias intensas y simultáneas sobre su superficie.

### **8.13 COEFICIENTE DE COMPACIDAD**

El coeficiente de compacidad está relacionado estrechamente con el tiempo de concentración, que es el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de cuenca 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. Para el caso de nuestra área de estudio es de 1,6 ubicándose en el rango de “Clase Kc3”.

**Tabla No 2. Tipos 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 Kc1	De 1.25 a 1.50	Oval redonda a oval-oblonga
Clase Kc1	De 1.50 a 1.75	Oval oblonga a rectangular-oblonga

Por lo tanto la cuenca del delta del río Patía tiene una forma: oval-oblonga a rectangular-oblonga, lo que significa que es poco susceptible a las crecidas porque su número se aleja de 1 que es cuando la cuenca es más peligrosa y tiende a hacer de forma redonda. Esta forma de la cuenca (oval-oblonga a rectangular-oblonga) significa que el tiempo de concentración es mayor, es decir que retarda, la acumulación de las aguas al paso del río por su punto de desagüe.

#### **8.14 GRADIENTE Y FORMA DEL RELIEVE**

Los métodos de morfometría han sido utilizados para evaluar el relieve de las cuencas fluviales. Se han investigado diferentes posibilidades para alcanzarlo y al mismo tiempo relacionarlo con la acción ejercida por otras variables como el clima para el cálculo tentativo de la pérdida del suelo.

Es evidente que tanto el caudal máximo como el proceso de degradación están influidos por la configuración topográfica de la cuenca, ya que si crece la pendiente, aumenta la velocidad del agua, es decir, son directamente

proporcionales. Con el aumento de la velocidad del agua, crece la capacidad de la erosión y la cantidad y el tamaño de los materiales arrastrados. Las pérdidas de tierra aumentan con relación a la pendiente, con pendientes mayores el aumento es más rápido; ejerce una relación compleja con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y el agua freática que llega al río. Referencia

Las alturas en el área de la cuenca están comprendidas desde los 0 msnm (altura mínima) que corresponde a la cota en la que desemboca el Río Patía directamente al mar, y 4200 msnm (altura máxima). La diferencia entre estas dos alturas extremas definen pendientes significativas favorables a la génesis y activación de procesos erosivos y de transporte de materiales.

Se evidencian dos contrastes altimétricos, un sector montañoso en el cual es brusco y abrupto, y el sector de abanico aluvial donde se exhibe una pendiente más suave. Estos contrastes altimétricos implican el predominio de procesos erosivos y de generación de precipitaciones asociadas al ascenso orográfico forzado de masas de aire, y de procesos de transporte y depositación.

El radio del relieve indica que por cada kilómetro de longitud de la cuenca existe un incremento promedio en altura de 320 m, lo cual es un valor significativo y de esperar para una cuenca cuya mayor extensión se asienta sobre un relieve montañoso, por lo tanto este parámetro es un indicador del incremento de la pendiente a medida que se asciende en altura y, por ende, del potencial erosivo de la misma.

## **8.15 LA RED DE DRENAJE**

Uno de los inconvenientes, al estudiar el proceso del ciclo hidrológico, en una cuenca, es la falta de información cuantitativa de los factores climáticos e hidrológicos, ya que esta información requiere de instalación y mantenimiento de

estaciones costosas. Ante la imposibilidad de dotar a todas las cuencas hidrográficas, de dichas estaciones, se han desarrollado métodos indirectos para la estimación de regímenes de caudales con base en los análisis morfométricos de las redes fluviales. Referencia

La red drenaje utilizada como base en el trabajo recoge los cauces principales de la totalidad de la red fluvial presente en la topografía a escala 1:100.000 y 1:25.000

**Tabla No 3. Orden y magnitud de las corrientes de la red de drenaje del Delta del Rio Patía**

ORDEN DE LA CORRIENTE	NUMERO DE CORRIENTES	RELACIÓN DE BIFURCACIÓN	LONGITUD TOTAL DE LAS CORRIENTES (KM)	LONGITUD MEDIA DE LAS CORRIENTES (KM)	LONGITUD MEDIA ACUMULADA DE LAS CORRIENTES (KM)	RELACIÓN DE LONGITUD
1	2029		5323	2,62	2,62	
2	704	2,88	5007	7,11	9,73	2,71
3	209	3,36	2247	10,75	20,48	1,51
4	53	3,94	1377	25,98	46,46	2,42
5	10	5,3	676	67,6	114,06	2,6
6	2	5	293	146,5	260,56	2,16
7	1	2	127	127	387,56	0,86
total	3008	rb= 3,75	15050		Dd= 0,46	Fx=0.01

La red de drenaje del Delta del Rio Patía está constituida por cauces o corrientes de agua de corto recorrido y régimen intermitente con una longitud total de 15050 Km, que en conjunto muestran un patrón de drenaje de tipo subdendrítico. La existencia de sistemas de fracturas (diaclasas y fallas como la de remolinos-el charco) y los desniveles topográficos entre bloque tectónicos, también ejercen control en la disposición y distribución de las corrientes que conforman la red de drenaje, como es el caso de la desviación natural del cauce principal del rio Patía hacia el Sanquianga. La densidad de drenaje calculada para el delta del rio Patía

(Cuadro 3) de 0,46 km de cauce por kilometro cuadrado muestra una densidad muy baja, significa entonces que por unidad de superficie hay un número insuficiente de elementos de drenajes (talwegs) poniendo de manifiesto que el manejo de la cuenca debe ser cuidadoso e intenso, para evitar el deterioro de los cauces y el desequilibrio total de la cuenca.

**Tabla No 4. Relación de área y confluencia del Delta del Río Patía**

ORDEN DE LA CORRIENTE	NUMERO DE ÁREAS DE DRENAJE	ÁREA TOTAL DE DRENAJE DE LAS CORRIENTES (KM2)	ÁREA MEDIA DE DRENAJE DE LAS CORRIENTES (KM2)	ÁREA MEDIA ACUMULADA DE DRENAJE DE LAS CORRIENTES (KM2)	RELACIÓN DE ÁREA	RELACIÓN DE CONFLUENCIA
1	2029	20289	9,99	9,99		2,88
2	704	21162	30,05	40,04	3,01	3,37
3	209	8001	38,28	78,32	1,27	3,94
4	53	4482	84,56	162,88	2,21	5,3
5	10	2178	217,8	380,68	2,57	5
6	2	1012	506	886,68	2,32	2
7	1	386	386	1272,68	0,76	

La densidad de drenaje media en esta área indica que la mayor parte de la superficie experimenta escorrentía concentrada, por lo que es de suponer una alta tasa de erodabilidad en toda su extensión, inestabilidad morfogenética, gastos sólidos significativos, y reducidos tiempos de concentración, condicionados por las características del relieve (pendiente), el tamaño, y las características (extensión, intensidad y duración de las lluvias) de las lluvias torrenciales.

Este promedio de 3,75 dice entonces que la relación de confluencia del área de estudio es un valor que traduce una fuerte potencialidad erosiva y un rápido escurrimiento.

## **8.16 ORDEN Y MAGNITUD DE LA RED DE DRENAJE**

El Delta del Rio Patía corresponde a un sistema hidrogeomorfológico de orden 7, siendo esta magnitud de cierta manera un indicador importante de la extensión y ramificación de la red de drenaje, así como de alta probabilidad a experimentar crecidas. El 80 % de las corrientes son de orden 1 (Cuadro 4) con áreas de drenaje promedio de 1,32 Km<sup>2</sup>, la corriente principal de la red correspondiente al Delta del Rio Patía, alcanza su orden 7 a una distancia de 321 Km de su desembocadura en el mar.

### **8.16.1 Procesos de sedimentación del Delta del Rio Patía**

El comportamiento fluviomorfológico de un río depende en gran medida de las características y magnitud de la carga sólida que transporta la corriente, Si se produce una sobrecarga de sedimentos generada por cualquier causa, empieza un proceso de agradación o sedimentación del lecho.

El resultado del análisis espacial y la relación entre las coberturas de tipo raster con las de de tipo shapefile permiten identificar una gran cantidad de sedimentación que viene presentando el Patianga, hecho originado por la desviación del cauce principal del Patía, se evidencia que cada vez cae más sedimento en esta área de la cuenca, observación que se puede constatar a través de la información obtenida, de las dos estaciones (los Nortes y Puente Pusmeo) localizadas estratégicamente para determinar la Carga Media del río. El valor resultante para "la carga Medida es de 24'618.759 toneladas anuales para la estación los Nortes y de 14'353.800 de toneladas para la estación de Puente Pusmeo, lo que indica que hay un incremento entre las dos estaciones de

10.256.000”<sup>22</sup>, toneladas. Estos resultados muestran que hay una gran producción de sedimentos por la cuenca del río que afecta al parque natural sanquianga y cerca de 8000 personas que viven en esta área del delta.

---

<sup>22</sup> DIAGNOSTICO DE LOS PROBLEMAS DE EROSIÓN FLUVIAL EN EL PUERTO DE BOCAS DE SATINGA  
- Departamento de Nariño - Colombia. (1996) p, 6.



## CONCLUSIONES

1. La determinación de los parámetros morfométricos y las características de relieve más usuales utilizadas para el diagnóstico biofísico del delta del río Patía, y el consiguiente análisis comparativo de resultados, llevado a cabo en este estudio, permiten extraer unas primeras conclusiones que se han tratado de concretar a lo largo del presente trabajo. Para ello se han definido nuevos parámetros y se han ensayado varias técnicas, algunas de las cuales han demostrado ser muy válidas para este propósito, y demuestran que estas técnicas son aplicables para otros estudios.
2. Con la caracterización biofísica del delta del río Patía del presente trabajo hecha a través del uso de las herramientas de las tecnologías de la información geográfica permiten concluir que el desvío del cauce principal del río Patía hacia el Sanquianga se debe a las consecuencias de las condiciones topográficas, hídricas y climáticas de la zona, y no a otras variables, como lo es la construcción del canal Naranjo en 1972 y 1973, hecho por un propietario de aserríos de la región del bajo Patía, el señor Naranjo, con el fin de unir los ríos Patía y Sanguianga para así ahorrar camino para transportar su madera hacia el norte y los aserríos de Bocas de Satinga. Este canal de alguna manera influyó al que el transcurso del agua se trasladara de forma exponencialmente hacia el Sanquianga pero en sí no es la causa principal del desvío; debido a las diferencias de relieve entre ambos ríos, la mayor parte del caudal del Patía comenzó a fluir hacia el Sanguianga.

3. Los fenómenos asociados a eventos neotectónicos, han ocasionado las condiciones actuales del cauce; Los movimientos sísmicos originados por fallas como las de remolinos-el charco han provocado un desnivel en la geoforma del los ríos Patía y Sanquianga, lo que han dado origen al abanico fluviodeltaico. Estos fenómenos generaron probablemente levantamientos de la estructura plegada de Remolinos y la colmatación del cauce anterior del Patía, los cuales permitieron la desviación del Patía hacia el Sanquianga; estos cambios en la mayoría son naturales, también se han generado en otros lóbulos de sedimentación que fueron abandonados años atrás.
  
4. El manejo de cuencas representa en Colombia, uno de los aspectos más importantes dentro del ámbito de los recursos naturales del país, dado el empuje industrial del mismo, y el alto índice de la tasa de crecimiento de la población. Para suplir esta necesidad de agua, que inevitablemente proviene de las hoyas hidrográficas, se requieren proporciones abundantes de ella en forma permanente y de optima calidad, lo cual solo puede conseguirse con un manejo integrado y un aprovechamiento apropiado de nuestras hoyas hidrográficas y por ende es muy importante conocer cuáles son sus condiciones ambientales.
  
5. Los deltas de los ríos son unidades geográficas definidas que tienen gran importancia, porque de su buen uso dependerá el desarrollo de una región o del país. Para poder establecer un manejo adecuado de ellos, es necesario saber cuáles son sus componentes o sus características de clima, vegetación, forma, etc. Y estudiar las diversas relaciones que ahí se presentan.

6. La descripción que se ha hecho de las condiciones ambientales del abanico fluvio-deltaico del río Patía, indica que los problemas de Bocas de Satinga se originan localmente por la acción de las corrientes sobre las orillas del río, teniendo en cuenta los fenómenos de socavación lateral, resultado del ensanchamiento y migración del canal principal del río, efectos atribuibles a la variedad natural de los cauces que se desarrollan sobre abanicos aluviales, originados por la desviación del río Patía hacia Sanquianga.
  
7. Este análisis morfométrico del presente estudio aporta elementos de gran importancia para el control de crecientes y de sedimentos, así como para el análisis, evaluación y zonificación de la amenaza por inundaciones, movimientos de masa y aludes torrenciales y el diseño de sistemas de alerta.
  
8. En general se concluye que es posible utilizar esta metodología para la realización de diagnósticos de las condiciones ambientales en ciertas zonas donde es muy difícil el acceso, permitiendo realizar procesos de análisis de información espacial confiable, ahorrando tiempo y recursos elevados, y entre más detallados sean los insumos o materiales de trabajo, los resultados van a hacer más acertados a la realidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- BETANCOURT Glenia, DORIA Walter y ESCOBAR M. John. “Los Sig como Herramienta de Apoyo”. En La Gestión Ambiental Universidad Politécnica de Madrid, 2007.
- CZEKANSKI, Adam J.; McKinney Turismo, Sanidad, Recreación, Minería, Industrial, Energético, Ambiental, Agricultura, Daene C CENTER FOR RESEARCH IN WATER RESOURCES; University of Texas at Austin 15/05/2006
- DOMÍNGUEZ Fabricio Mariano, Dr. Gómez Alberto R.EL ANÁLISIS MORFOMÉTRICO CON SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, UNA HERRAMIENTA PARA EL MANEJO DE CUENCAS, Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales –UMSNH. 2006.
- ECOLOGIA, ecosistemas valiosos, tomado de:El área de Sistemas de Información Geográfica, consultado en: Esquivel Suárez Irma Del Pilar. Estimación del impacto en la hidrodinámica y la calidad del agua por la regeneración de la antigua isla barrera “el guano” como elemento protector de Tumaco ante tsunamis mediante la aplicación de modelos numéricos. UNIVERSIDAD DE LA SALLE Tumaco 2006.
- FONADE DIAGNOSTICO DE LOS PROBLEMAS DE EROSIÓN FLUVIAL EN EL PUERTO DE BOCAS DE SATINGA Departamento de Nariño-Colombia. (1996) p, 9
- INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI- IGAC. Curso para la enseñanza de la Geografía COSTA RICA 2006. A. Harold Wood – Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en

levantamientos de cobertura y uso de la tierra-  
[http://gis.sopde.es/cursosgis/DHTML/que\\_2.html](http://gis.sopde.es/cursosgis/DHTML/que_2.html); <http://www.memo.com.co/ecología/estuario.html>

- M. PÉREZ-Arlucea. “Parámetros morfométricos e hidrológicos de las cuencas de drenaje y ríos tributarios a la ría de Vigo”. vol. 26, 171-187 Dpto. de Geociencias MARINAS Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO, Facultad de Ciencias, Universidad de Vigo, 2006.
- MÉNDEZ Williams, Marcucci Ettore, Analisis morfométrico de la microcuenca de la quebrada Curucuti, Revista Geográfica Venezolana estado Vargas-Venezuela. Enero 01, 2006.
- ORTEGA Lara Armando, Saulo Usma José. Peces de la cuenca del río Patía, Vertiente del Pacífico colombiano, Grupo de investigación en zoología, Instituto para la Investigación y Preservación del Patrimonio Cultural y Natural del Valle del Cauca, INCIVA, Cali, Colombia. 2006.
- SANCHEZ Karla. Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiqu., Costa Rica. 2008.
- USMA J. S. (2001) Peces de la cuenca Media del río Patía y el río Güiza, Nariño Céspedesia 24(75-76-77-78): 7-25.