

**INFORME DE PASANTÍAS.**

**CARACTERIZACIÓN FISIAGRÁFICA E HIDROLÓGICA DE  
SUBCUENCAS EN LA CUENCA DEL RÍO CARONÍ, ESTADO BOLÍVAR.**

Br. Jhonatan J. Muñoz M. C.I.12.260.890

Br. Rocío A. Sánchez M. C.I. 15.123.633

Caracas, 03 de octubre de 2004

**INFORME DE PASANTÍAS.**

**CARACTERIZACIÓN FISIAGRÁFICA E HIDROLÓGICA DE  
SUBCUENCAS EN LA CUENCA DEL RÍO CARONÍ, ESTADO  
BOLÍVAR.**

TUTOR ACADÉMICO: Ingeniero Abraham Salcedo

TUTOR INDUSTRIAL: Ingeniero Alfredo Gil

Br. Jhonatan J. Muñoz M. C.I.12.260.890

Br. Rocío A. Sánchez M. C.I. 15.123.633

Trabajo de pasantía realizado en: CVG Electrificación del Caroní.

Caracas, 03 de octubre de 2004

Muñoz M. Jhonatan J.

Sánchez M. Rocío A.

## **CARACTERIZACIÓN FISIAGRÁFICA E HIDROLÓGICA DE SUBCUENCAS EN LA CUENCA DEL RÍO CARONÍ, ESTADO BOLÍVAR.**

Tutor Académico: Profesor Abraham Salcedo. Tutor Industrial: Ingeniero Alfredo Gil. Caracas, UCV; Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2004, 52 p.

### **RESUMEN:**

Como empresa responsable de la producción de energía hidroeléctrica, C.V.G. EDELCA aprovecha el potencial hidroeléctrico de la Cuenca del Río Caroní generando energía para el 72 % de la red eléctrica nacional. Por tal motivo se requiere conocer las características y el comportamiento de dicha cuenca para gestionar y manejar el recurso hídrico de una forma sustentable.

Como parte de los trabajos que desarrolla la Gerencia de Gestión Ambiental, surge la idea de conocer las características fisiográficas e hidrológicas de las subcuencas en la cuenca del Río Caroní, Edo. Bolívar. Las subcuencas consideradas son las que aportan mayor porcentaje de caudal al Río Caroní, colocando los cierres de cuenca en los sitios donde se encuentran las principales estaciones hidrométricas.

El trabajo se llevó a cabo en tres etapas:

#### **1. Recolección de información:**

- Determinar los distintos mapas disponibles de la zona e indagar si hay nuevos mapas.
- Recopilar el número y ubicación (coordenadas) de las estaciones así como el tipo de estación.
- Ubicar y revisar los trabajos y publicaciones relacionados con la cuenca del Río Caroní, realizados en el pasado.

#### **2. Caracterización Fisiográfica:**

- Ubicación de los sitios de estaciones hidrométricas.

- Trazado de la divisoria de las subcuencas.
- Estimación del área de drenaje.
- Estimación de la longitud del cauce principal.
- Estimación de la longitud de cauces secundarios.
- Identificación del grado de cauces.
- Estimación de la Longitud Axial.
- Estimación del Factor Forma.
- Estimación del Coeficiente de Compacidad.
- Perfil Longitudinal del cauce principal.
- Estimación del Tiempo de Concentración.
- Tipo de Drenaje.
- Pendiente del cauce principal.
- Clasificación climática.
- Geomorfología y suelos.
- Tipo de vegetación.
- Hidrografía.

### 3. Información preliminar para la ejecución de un modelo lluvia-escorrentía.

- Identificación de modelos lluvia-escorrentía.
- Identificación de las variables de entrada al modelo.
- Ajuste de las variables para la calibración del modelo.
- Validación del modelo.

## INTRODUCCIÓN:

El presente informe tiene como principal propósito la Caracterización Fisiográfica e Hidrológica de subcuencas en la cuenca del Río Caroní, Edo. Bolívar, a partir de ciertos parámetros tales como: Tiempos de Concentración, Pendientes de los cauces, áreas de drenaje, etc. Adicionalmente se le suma información de hidrografía, fisiografía, pluviografía, vegetación, geología y clima, con el fin de ofrecer una descripción amplia de la zona y utilizar algunos de los parámetros obtenidos como entrada para la ejecución de un modelo lluvia-escorrentía.

La cuenca del Río Caroní está localizada en el Escudo Guayanés, una de las regiones más antiguas y estables del planeta, cuya edad radiométrica oscila entre más de 3500 y 900 millones de años. Se ubica en el sector sur oriental de Venezuela, en la denominada Región Guayana, integrada por los estados Bolívar, Delta Amacuro y Amazonas. Los principales ejes de drenaje de la cuenca son los ríos Caroní y Paragua, los cuales discurren de Sur a Norte en forma casi paralela, hasta la desembocadura del Paragua en el Caroní, a la altura del sitio conocido como San Pedro de las Bocas. Desde este sitio y hasta su desembocadura en el Orinoco, el río continúa llamándose Caroní.

La superficie estimada de la Cuenca es de 93.280 km<sup>2</sup>, lo cual representa un poco más del 10 % del territorio venezolano. Se trata de una Cuenca de grandes dimensiones con un área equivalente a la República de Portugal y casi dos veces el tamaño de República Dominicana. Este espacio limita al norte con el río Orinoco; por el sur con la cuenca del río Branco, que forma parte de la Amazonia brasileña; al este con las cuencas de los ríos Cuyuní y Mazaruni, afluentes del río Esequibo; y por el Oeste con las cuencas de los ríos Caura, Aro y otros afluentes menores del Orinoco.

El área de estudio se ha subdividido por subcuencas considerando el aporte de escurrimiento de las mismas. Los cierres de las subcuencas se ubicaron de manera que coincida con estaciones hidrométricas, con el fin de correr y validar modelos de lluvia escorrentía hasta dichos sitios.

## OBJETIVOS:

### OBJETIVO GENERAL:

- Determinar las características fisiográficas e hidrológicas de subcuencas en la cuenca del Río Caroní, Edo. Bolívar.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Establecer características climatológicas, hidrográficas, fisiográficas, de vegetación, de geología y suelos predominantes en cada una de las subcuencas en estudio.
- Determinar el tiempo de concentración para cada una de las subcuencas en estudio.
- Recolectar información preliminar para la ejecución de un modelo de lluvia-escorrentía.

## BREVE RESEÑA HISTÓRICA

En 1949, la firma Consultora Norteamericana Burns & Roe Inc, contratada por la Corporación Venezolana de Fomento para realizar un plan de Electrificación Nacional, presentó un informe donde recomendaba en capítulo aparte el desarrollo hidroeléctrico del río Caroní que ofrecía excelentes condiciones para su aprovechamiento, especialmente en los sitios correspondientes a los saltos inferiores.

En vista de la importancia que revestía tal proyecto, en 1953 se designó un grupo de ingenieros que conformaron la Comisión de estudios para la electrificación del Caroní, dependiente del Ministerio de Fomento.

A partir de 1955, se definió el primer anteproyecto de construcción de la central hidroeléctrica Macagua en el salto del mismo nombre, con las características deseadas de simplicidad, economía y flexibilidad. Esta obra comenzó a construirse en 1956 y fue concluida en 1961. Es del tipo "a filo de agua", es decir, que no requiere almacenamiento para su operación y tiene una potencia instalada de 360 Megavatios.

Entretanto, la comisión de Estudios para la Electrificación del Caroní, adscrita desde 1958 a la Corporación Venezolana de Fomento, había autorizado la realización de las tareas preliminares del Proyecto Guri, a cuyos fines un grupo de ingenieros se instaló en el cañón de Necuima, aproximadamente 90 Km aguas arriba de Macagua, lugar escogido como base de operaciones de la obra.

En 1960, el equipo profesional que adelantaba los proyectos sobre el Caroní, pasó a formar parte de la Corporación Venezolana de Guayana; y en 1963 se constituyó formalmente la empresa C:V:G Electrificación del Caroní C.A. EDELCA, con un capital inicial de 514 millones de bolívares.

El 8 de Agosto de 1963, se firmó el contrato de construcción de la presa Guri, la primera etapa de esta Central Hidroeléctrica quedó concluida a finales de 1978 con una capacidad instalada de 2065 MW. La etapa final de esta obra consistió fundamentalmente en una ampliación y elevación de la presa y en la incorporación de 10 nuevas unidades generadoras, que elevan la capacidad instalada del conjunto hidroeléctrico a 10.000 MW la cual fue terminada totalmente para el año de 1986.

La construcción de la presa Macagua II se inició en el año 1985, la cual fue inaugurada el 23 de Enero de 1997.

#### IMPORTANCIA HIDROELÉCTRICA:

El potencial hidroeléctrico estimado en la Cuenca es de 25.000 MW, aprovechable en siete sitios a lo largo del río Caroní, y uno sobre el río Paragua. Este potencial representa la riqueza más importante de la Cuenca desde una perspectiva económica, y ha sustentado la vocación privilegiada para la generación hidroeléctrica que el Estado venezolano le ha reconocido y ratificado en los diversos Planes de la Nación, Planes regionales y Planes del Sector Eléctrico, elaborados durante los últimos cincuenta años.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS PRESAS UBICADAS A LO LARGO DEL RÍO CARONÍ.

##### ➤ Macagua I

La central hidroeléctrica Macagua I, construida entre los años 1956 y 1961, entró en funcionamiento con una potencia de 370 Megavatios.

Esta represa se encuentra situada a 18 kilómetros de Pto. Ordaz, vía el Pao, entrada a la Llovizna. Esta central es del tipo denominado "a filo de agua", es decir, no tiene capacidad de almacenamiento adicional en su embalse.

El aprovechamiento de esta represa depende de los caudales naturales del río Caroní, y aguas debajo de las fluctuaciones que el río Orinoco representa.

Esta central consta de una casa de máquinas, en la que operan 6 turbinas tipo Francis, las cuales están diseñadas para funcionar con el caudal y los desniveles, que dispone el Caroní, en donde cada unidad genera 61.500 Kilovatios mediante los generadores acoplados, los cuales giran a una velocidad de 116 revoluciones por minuto, contando con un diámetro de 7,5 metros.

##### ➤ Guri

En el cañón de Necuima, 100 kilómetros aguas arriba de la desembocadura del río Caroní en el Orinoco, se levantó imponente la estructura de la central hidroeléctrica "Raúl Leoni", con 10 millones de kilovatios en sus dos casas de máquinas.

La ejecución de esta obra en su primera fase comienza en 1963 y finaliza en 1978, con una capacidad de 2065 megavatios en 10 unidades, con el embalse a la cota

máxima de 215 metros sobre el nivel del mar. La etapa final de la presa de Guri culminó en 1986.

La generación de esta planta puede alcanzar los 50.00 GWH al año, capaces de abastecer un consumo equivalente a 300.000 barriles diarios de petróleo, permitiendo cumplir con la política de sustitución de termoelectricidad por hidroelectricidad, con el fin de ahorrar combustibles líquidos que pueden ser utilizados para su exportación o su conservación con otros fines.

➤ Macagua II

Aproximadamente a unos 18 kilómetros por carretera de Pto. Ordaz y al lado de Macagua I, se encuentra ubicada Macagua II.

Esta central hidroeléctrica tiene una casa de máquinas con 16 unidades que genera una potencia de 2.570.000 kilovatios.

El área máxima de embalse es de 58 km<sup>2</sup> y el nivel del agua está a 54.5 metros de altura.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE EDELCA

CVG Electrificación del Caroní, C.A (CVG EDELCA) bajo la tutela de la Corporación Venezolana de Guayana, es la empresa de generación hidroeléctrica más importante que posee Venezuela. Forma parte del conglomerado industrial de la CVG ubicado en la región de Guayana, conformado por las empresas básicas del aluminio, hierro, acero, carbón, bauxita y actividades afines. CVG EDELCA opera las Centrales Hidroeléctricas "Raúl Leoni" (Guri) con una capacidad instalada de 10.000 Megavatios, considerada la segunda en importancia en el mundo y la Central Hidroeléctrica "23 de enero" (Macagua) con una capacidad instalada de 3.140 Megavatios.

Durante el año 2003 se pondrán en operación comercial 4 unidades de la Central Hidroeléctrica Caruachi, que tendrá una capacidad instalada final de 2.280 megavatios en el año 2.006.

Su ubicación en las caudalosas aguas del río Caroní, al sur del país, le permite producir electricidad en armonía con el ambiente, a un costo razonable y con un significativo ahorro de petróleo.

CVG EDELCA posee una extensa red de líneas de transmisión que superan los 5.700 Km. cuyo sistema a 800 mil voltios es el quinto sistema instalado en el mundo con líneas de Ultra Alta Tensión en operación.

En los últimos tres años, CVG EDELCA ha aportado más del 70% de la producción nacional de electricidad a través de sus grandes Centrales Hidroeléctricas Macagua y Guri.

CVG EDELCA ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo económico y social de Venezuela.

### PROYECTOS FUTUROS DE EDELCA

Esta organización ubicada como empresa pionera en el desarrollo hidroeléctrico, tiene como objetivo principal desarrollar paulatinamente todo el potencial del río Caroní a medida que las necesidades energéticas del país lo requieran.

Tomando en cuenta estas necesidades, ya han sido estudiados los posibles sitios de presa existentes en el Bajo Caroní y en las cuencas del Alto Caroní y el Alto Paragua.

Un pequeño resumen de los adelantos obtenidos en estas investigaciones se ofrece a continuación.

➤ En el Bajo Caroní

Este proyecto tiene como objetivo principal desarrollar todo el potencial existente entre los embalses de Guri y Macagua.

La secuencia de construcción de estos aprovechamientos hidroeléctricos es la siguiente:

- Caruachi y Tocoma:

- Proyecto Caruachi:

Cerca del paso Caruachi a 59 kilómetros de distancia aguas debajo de la central hidroeléctrica Raúl Leoni en Guri, se encuentra el sitio de Caruachi, que incorporará entre los años 2003 y 2006 una capacidad de 2.280 MW.

- Proyecto Tocoma:

La explotación integral del potencial del Bajo Caroní concluye con el desarrollo del sitio Tocota, situado sobre el río Caroní en las cercanías de la confluencia con río

Claro, aproximadamente 15 km aguas debajo de Guri. Este proyecto se encuentra en su fase inicial de construcción y se espera esté concluido para el 2010, agregando 2.250 MW, elevando la potencia instalada a 17.670 MW.

Las bondades y riquezas hidroenergéticas de la Cuenca no se agotan con la explotación del Bajo Caroní. Se estima que por lo menos 7.300 MW adicionales pueden ser desarrollados en el futuro, en los sitios conocidos como Tayucay, Aripichí y Eutobarima, localizados aguas arriba del embalse guri, en el río Caroní; y en el sitio conocido como salto Auraima, sobre el río Paragua. Dichos desarrollos incorporarán a futuro 9.100 Mw de energía.

#### MISIÓN DE CVG-EDELCA

Producir, transportar y comercializar energía eléctrica a precios competitivos, en forma confiable y en condiciones de eficiencia y rentabilidad.

#### VISIÓN DE CVG-EDELCA

Ser una empresa líder en la prestación del servicio eléctrico, comprometida con la conservación del medio ambiente, con un mercado diversificado a nivel nacional e internacional; dotada de tecnología de vanguardia y conformada por un recurso humano competente; orientada a la obtención de adecuados índices de calidad, rentabilidad y eficiencia, que satisfagan los requerimientos de nuestros clientes, trabajadores, accionistas, comunidades, proveedores y el desarrollo integral del país.

#### VISIÓN DE LA GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL

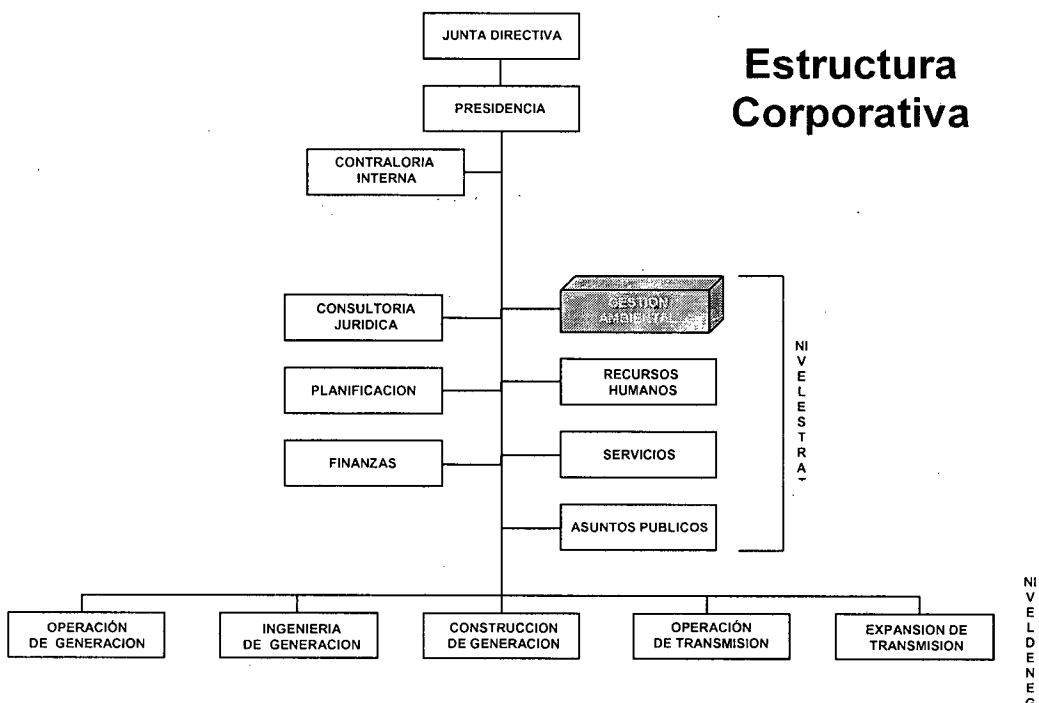
Es una Unidad de referencia en materia de Gestión Ambiental, útil y efectiva para que CVG-EDELCA realice sus proyectos bajo estándares de certificación internacional, consolidando una cultura e imagen organizacional comprometida con el ambiente y orientada a la obtención de índices de calidad y eficiencia que satisfacen los requerimientos de nuestros accionistas, clientes, trabajadores y las comunidades en general

## MISIÓN DE LA GERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL

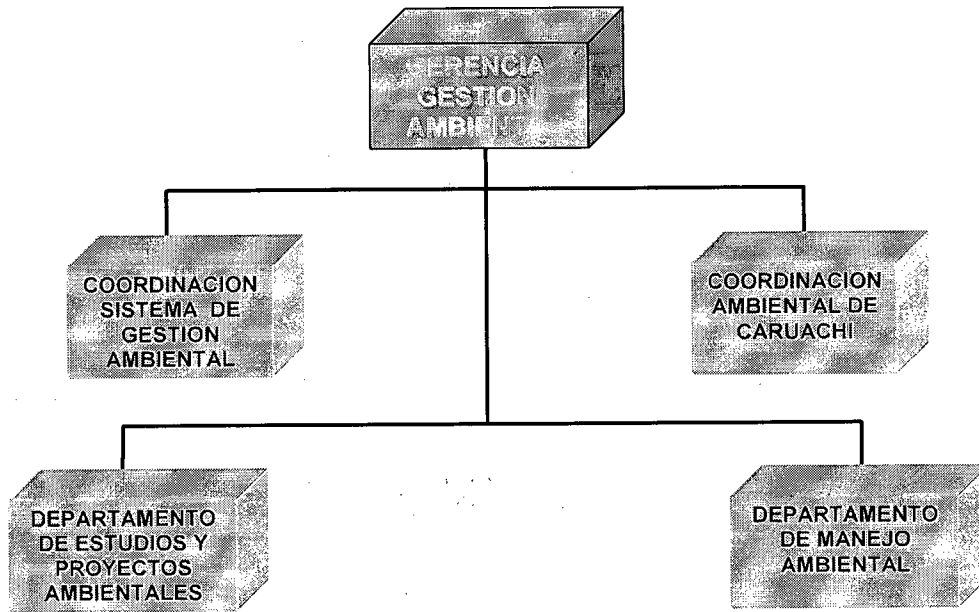
Contribuir con el logro de la Misión de EDELCA, incorporando en sus actuaciones los principios ambientales que garanticen el manejo sustentable de los recursos y el cumplimiento de las normas legales.

## ESTRUCTURA ORGANIZATIVA

El organigrama general de la empresa C:V:G. Electrificación del Caroní C:A. EDELCA, actualmente está conformado de la siguiente manera:



# Estructura Organizativa



## ANTECEDENTES

CVG EDELCA cuenta con la Gerencia de Gestión Ambiental para incorporar en sus actuaciones los principios ambientales que garanticen el manejo sustentable de los recursos y el cumplimiento de las normas legales como también crear una cultura e imagen organizacional comprometida con el ambiente y orientada hacia la obtención de índices de calidad y eficiencia que satisfagan los requerimientos de los accionistas, clientes, trabajadores y las comunidades en general.

Por más de 30 años se han realizado mediciones hidrológicas y climatológicas, que se traduce hoy en día en un importante volumen de información básica que ha servido como fundamento para la toma de decisiones estratégicas en los diferentes proyectos y obras que la empresa ha desarrollado.

Hasta la actualidad se han desarrollado diversos trabajos relacionados con la dinámica fluvial de los ríos Caroní, Caura y Paragua, fundamentados en los registros de niveles, caudales y de precipitación. Entre los trabajos más importantes se pueden mencionar: Implementación de modelos Lluvia-Escorrentía para el pronóstico de caudales de entrada a Guri, Pronóstico de Gasto a largo plazo utilizando variables macro climáticas para Guri, Tránsito de crecientes, etc.

En esta oportunidad, se nos encargó la tarea de realizar una caracterización hidrológica de la cuenca, dividiendo a la misma en 11 subcuencas de interés para la empresa C.V.G. EDELCA. Con el fin de obtener la información básica necesaria que permita una descripción detallada de las características de cada una de las subcuencas para el desarrollo de trabajos futuros.

## CARACTERIZACIÓN FISIGRÁFICA E HIDROLÓGICA DE SUBCUENCAS EN LA CUENCA DEL RÍO CARONÍ, ESTADO BOLÍVAR.

### UBICACIÓN GEOGRÁFICA Y RELATIVA DE LA CUENCA DEL RÍO CARONÍ

La cuenca se ubica en el sector Suroriental de Venezuela en la denominada Región Guayana, integrada por los estados Bolívar, Delta Amacuro y Amazonas. Toda la cuenca se encuentra situada en el uso horario 20 y se extiende desde su punto más meridional, a los 3°37' de latitud norte, en los límites con la república Federativa del Brasil (Sierra Pacaraima), hasta su punto más al norte, en los 8° 21' de latitud norte, en la desembocadura del Caroní en el río Orinoco. De este a oeste, se localiza entre los 60°35' de longitud oeste en su punto más oriental en las cabeceras del río Arabopó, hasta los 64° 7' de longitud oeste, en las cabeceras del río Oris.

### CLIMATOLOGÍA

En la cuenca del río Caroní se han identificado ocho zonas de vida, a partir de la relación y dependencia que existe entre la vegetación natural y los principales elementos del clima como lo son la biotemperatura, la precipitación y la humedad del ambiente, estimada con base en la relación en la relación de evapotranspiración. Estas Zonas de Vida se originan por la presencia de tres pisos altitudinales obtenidos a partir de la biotemperatura: Tropical (superior a 24 °C), Premontano (entre 18 y 24 °C) y Montano bajo (entre 12 y 18 °C); y cuatro provincias de humedad: Seca, Húmedad, Muy Húmeda y Pluvial.

Las zonas de vida identificadas son:

- Bosque Seco Tropical.
- Bosque Húmedo Tropical.
- Bosque Muy Húmedo Tropical.
- Bosque Húmedo Premontano.
- Bosque Muy Húmedo Premontano.
- Bosque Pluvial Premontano.
- Bosque Muy Húmedo Montano Bajo.
- Bosque Pluvial Montano Bajo.

## CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA (SEGÚN HOLDRIDGE) POR SUBCUENCAS

### ➤ Caroní en Arekuna.

Entre las ocho zonas de vida predominan: 8 % de Bosque Pluvial Premontano, distribuido en la parte central de la cuenca y al Este de la subcuenca; un 45 % de Bosque Muy Húmedo premontano situado en la parte alta de la subcuenca; 20 % de Bosque Húmedo Tropical a lo largo del eje occidental de la subcuenca; un 10 % de bosque Bosque Muy Húmedo Tropical, localizado principalmente en el centro da la subcuenca y un 15 % de Bosque Húmedo Premontano, situado en la parte alta de la subcuenca; 3 % de Bosque Pluvial Montano Bajo y un 3 % de Bosque Muy Húmedo Montano Bajo.

### ➤ Caroní en Aripichi.

Tiene un 65 % de Bosque Muy Húmedo Premontano, en la parte alta y media; un 10 % de Bosque Húmedo Tropical, en la parte baja; un 5 % de Bosque Muy Húmedo Tropical y un 20 % de Bosque Húmedo Premontano en la parte alta de la subcuenca.

### ➤ Paragua en Auraima.

Tiene un 80 % de Bosque Húmedo Tropical, distribuido a lo largo de toda la subcuenca; 10 % de Bosque Muy Húmedo Tropical, en la parte media de la cuenca y un 10 % de Bosque Muy Húmedo Premontano, situado principalmente en la parte alta de la subcuenca.

### ➤ Carrao en Canaima.

Presenta un 40 % de Bosque Húmedo Tropical, distribuido a lo largo de la subcuenca; un 30 % de Bosque Muy Húmedo Premontano; un 10 % de Bosque Muy Húmedo Tropical, en la parte central de la cuenca; y un 20 % de Bosque Pluvial Premontano.

### ➤ Caroní en Capaura.

Presenta un 40 % de Bosque Muy Húmedo Premontano, en la parte alta de la subcuenca; un 20 % de Bosque Húmedo Tropical, para el eje occidental de la subcuenca; un 15 % de Bosque Húmedo Premontano, para la parte alta de la subcuenca; un 10% de Bosque Muy Húmedo Tropical, parte baja; 10 % de Bosque

Pluvial Premontano para la parte media; 3 % de Bosque Pluvial Montano Bajo y 2 % de Bosque Muy Húmedo Montano Bajo.

➤ Caroní en Caruaiken

Presenta un 60 % de Bosque Muy Húmedo Premontano; 30 % de Bosque Húmedo Premontano en la parte media alta y un 10 % de Bosque Pluvial Premontano en la parte alta.

➤ Kukenán en El Mosquito.

Presenta 45 % de Bosque Muy Húmedo Premontano para la parte baja y media alta de la subcuenca; 25 % de Bosque Húmedo Premontano para la parte media; 20 % Bosque Pluvial Premontano y 10 % de Bosque Pluvial Montano Bajo.

➤ Aponwao en Iboribó.

Presenta 50 % de Bosque Muy Húmedo Premontano en la parte media, un 30 % de Bosque Pluvial Premontano en la parte alta y 20 % de Bosque Húmedo Premontano.

➤ Paragua en Karum.

Presenta un 75 % de Bosque Húmedo Tropical, distribuido en toda la subcuenca; 15 % de Bosque Muy Húmedo Tropical, en la parte baja y media y 10 % de Bosque Muy Húmedo Premontano, en el eje occidental de la subcuenca.

➤ Yuruaní en San Ignacio.

Presenta un 50 % de Bosque Muy Húmedo Premontano, en la parte alta de la subcuenca y un 50 % de Bosque Húmedo Premontano en la parte Baja.

➤ Karuáy en Wonken.

Presenta un 50 % de Bosque Muy Húmedo Premontano, distribuido en toda la subcuenca; un 25 % de Bosque Pluvial Premontano, en la parte baja; un 10 % de Bosque Pluvial Montano Bajo; un 5 % de Bosque Muy Húmedo montano Bajo; 5 % de Bosque Muy Húmedo Tropical y un 5 % de Bosque Húmedo Premontano.

## GEOMORFOLOGÍA Y SUELOS

En la cuenca se presentan ocho tipos de paisajes, los predominantes son los lomeríos y las altiplanicies que ocupan 33% y 32% respectivamente. Siguen en orden de extensión las peniplanicies con 10%, los piedemontes con 9%, los valles con 6% y las montañas con 4%.

**Lomerío:** el tipo de relieve predominante en este paisaje son las lomas disimétricas con pendientes que oscilan entre 8 y 60%. Aunque el origen de los lomeríos es mayoritariamente erosivo, también es posible localizar algunos paisajes identificados como lomeríos estructurales, de carácter intrusivo.

Este paisaje está presente en todos los sectores de la cuenca y se concentra principalmente en el sector Alto Paragua donde cubre aproximadamente un 63% del área, el tipo de relieve predominante es de lomas muy quebradas y escarpadas de altura relativa mediana.

En el Bajo Paragua y al sur del Caroní, se encuentran paisajes de lomeríos de mayor altura que representan el 36% y 29% de la superficie sectorial respectivamente.

**Altiplanicie:** en la cuenca predominan las altiplanicies bajas y medias que ocupan cerca del 32% del espacio, mientras que las altiplanicies elevadas tienen muy poca expresión y representan menos del 1% del área de la cuenca. El paisaje de altiplanicie media y baja predomina en el Alto y Medio Caroní donde ocupa casi el 90% del área sectorial.

Dentro del paisaje de altiplanicies merecen particular relevancia los tepuyes, remanentes aislados de la superficie original, bordeados por un escarpe caracterizado por una caída abrupta de la pendiente que origina paredes casi verticales. Las formaciones tepuyanas están constituidas por rocas sedimentarias e ígneas cuya altitud mínima es de 800-1000 m y máxima de 3015 metros sobre el nivel del mar. Los tepuyes representan los elementos escénicos más emblemáticos de la cuenca. Los más representativos se localizan en el Alto Caroní, el Roraima – Tepuy y el Kukenán – Tepuy, y en el medio Caroní donde destacan el Chimantá – Tepuy y el Auyan – Tepuy. En los sectores del Alto y Bajo Paragua existen dos áreas importantes de altiplanicies donde se identifican el Cerro Ichún, y el Waikinima – Tepuy.

**Peniplanicies:** Las peniplanicies medias con alturas relativas de 200 a 500 metros, son las más extendidas en la cuenca y se encuentran en todos los sectores aunque

ocupan mayores extensiones en el Bajo Caroní y Bajo Paragua. Estas planiplanicies se caracterizan por estar conformadas por una superficie plana con pendientes suaves, usualmente menores a 4 %.

**Piedemonte:** En la cuenca se identificaron dos tipos de piedemonte, el piedemonte inclinado muy disectado se encuentra solamente en el Alto Caroní, por su parte el piedemonte muy inclinado, con pendientes superiores al 60 % predomina en el Medio Caroní, donde también se localiza el piedemonte inclinado con pendientes entre 30 % y 60 %. El paisaje piedemonte abarca el 9% de la superficie total de la cuenca.

**Valles:** Ocupan los espacios geográficos mas deprimidos y bajos, una característica importante de estas áreas es su escaso aporte aluvial de sedimentos, de tal forma que en tramos de recorridos de algunos ríos el agua fluye cortando el lecho rocoso y formando numerosos rápidos y saltos. Esta situación es muy común en la zona de la Gran Sabana, en tramos de los ríos Caroní, Carrao, Churún, Ikabarú y Karuay; en los sectores Alto y Medio Caroní.

**Montañas:** Este tipo de paisaje se restringe a 3,9 % de la superficie de la cuenca y se manifiesta con preponderancia en el sector Bajo Caroní, principalmente al Norte del Embalse Guri. Igualmente, en el límite de los sectores Alto Caroní, Medio Caroní y Alto Paragua, entre los ríos Caroní y Karen, se localiza una zona importante de paisaje de montaña. Este paisaje se caracteriza por su baja altura sobre el nivel del mar, representa paisajes cuya topografía es la más abrupta del área, con pendientes fuertemente inclinadas, entalles profundos y pendientes entre 30 y 60 %.

En la amplia gama de paisajes presentes en la cuenca del río Caroní, se han desarrollado diferentes tipos de suelos que responden a la diversidad existente de materiales litológicos, tipo de relieve, clima y cobertura vegetal. Sin embargo, debido a un largo período de desarrollo pedogenético convergente se ha producido un proceso de homogeneización conducente al predominio de dos tipos de órdenes de suelos: los Ultisoles, que ocupan 57 % del área total de la cuenca; y los Entisoles, con 21 %. Los otros órdenes de suelos existentes, si bien variados, representan porcentajes pequeños de dicha superficie. Entre ellos se incluyen: Inceptisoles, Histosoles, Alfisoles y Oxisoles. Todos ocupan menos del 3 % de la superficie total de la Cuenca.

Ultisoles: son suelos de gran evolución pedogenética que se distribuyen en la amplia gama de paisajes presentes en la Cuenca, con mayor frecuencia en

lomeríos. Se trata de suelos moderadamente profundos a muy profundos (50 a más de 150 cm) con texturas superficiales francosa, francoarcillosa, franco arcillo arenosa y francolimosa, comúnmente asociada con fragmento grueso, en particular gravas, guijarros de cuarzo y nódulos de hierro.

Entre los Ultisoles predominan los suelos del suborden Humults, en particular los Kanhaplohumults, que ocupan 24.5 % de la Cuenca y están caracterizados por contenido de carbono orgánico superiores a los 12 kg/m entre la superficie del suelo y los 100 cm de profundidad. Siguen los del suborden Udults, en especial los Kanhapludults, que representan el 24 % del área de la Cuenca y que comprenden suelos con un régimen de humedad údico.

#### TIPO DE SUELOS POR SUBCUENCAS:

➤ Caroní en Arekuna.

Presenta un 12% de afloramientos rocosos Entisoles-Ultisoles distribuido en la parte norte y sur de la cuenca, un 5% de afloramientos rocosos Histisoles en la parte media de la cuenca, 10% de afloramientos rocosos en la parte alta y media de la cuenca, 5% de Entisoles distribuidos en toda la cuenca, 8% de Entisoles-Ultisoles en la parte baja de la cuenca, 10% de Entisoles- Ultisoles –afloramientos rocosos distribuidos en toda la cuenca, 15% de Ultisoles- afloramientos rocosos distribuidos en toda la cuenca, 15% de Ultisoles en toda la cuenca y un 20% de Ultisoles –Entisoles distribuidos en toda el area de la cuenca.

➤ Caroní en Aripichi.

Presenta un 15% de Entisoles en la parte alta y baja de la cuenca, 10% de Entisoles-Ultisoles-Afloramientos rocosos, 20% de Ultisoles, 15% de Ultisoles-Afloramientos rocosos, 35% de Ultisoles-Entisoles, todos los anteriores distribuidos en toda la cuenca, y un 5% de afloramientos rocosos- Histisoles.

➤ Paragua en Auraima.

Esta cuenca presenta un 60% de Ultisoles distribuido en toda su área, también se observa un 10% de Afloramientos rocosos- Ultisoles, en la parte alta de la cuenca, 10% de Ultisoles-Afloramientos rocosos en toda la cuenca, 10% de Ultisoles-Entisoles en la parte alta de la cuenca, 5% de Entisoles-Ultisoles-Afloramientos rocosos en toda la cuenca y 5% de Afloramientos rocosos- Ultisoles-Entisoles.

➤ Carrao en Canaima.

Se observa, para esta cuenca, un 35% de Ultisoles-Entisoles distribuido en clarea total de la misma, 10% de Entisoles-Ultisoles en la parte sur de la cuenca, 5% de Entisoles en la parte norte, 15% de Afloramientos rocoso-Entisoles-Ultisoles, distribuido en toda la cuenca, 5% Ultisoles-Afloramientos rocosos en la parte norte de la cuenca, 10% de Entisoles-Ultisoles-Afloramientos rocosos distribuidos en la totalidad de la cuenca, 10% Ultisoles en la parte media de la cuenca y 10% de Entisoles-Afloramientos rocosos distribuidos por toda la cuenca.

➤ Caroní en Capaura.

Para esta cuenca se observa un 30% de Ultisoles-Entisoles distribuido en toda el área de la misma, 15% de Ultisoles-Entisoles-Afloramientos rocosos en la parte este de la cuenca, 10% de Ultisoles distribuido en toda la cuenca, 10% de Entisoles-Ultisoles-Afloramientos rocosos en la parte central de la cuenca, 5% de Entisoles en la parte este, 5% de Afloramientos rocosos, 5% de Afloramientos rocosos-Ultisoles, en la parte oeste, 10% de Afloramientos rocosos-Entisoles-Ultisoles en la parte alta de la cuenca y 10% de Entisoles-Afloramientos rocosos distribuidos a lo largo de la misma.

➤ Caroní en Caruaiken.

Se observa un 30% de Ultisoles-Entisoles, 15% de Ultisoles-Entisoles-Afloramientos rocosos, 10% de Entisoles-Ultisoles-Afloramientos rocosos, 15% de Ultisoles distribuido en toda el área de esta cuenca, 10% de Entisoles en la parte alta de la cuenca, 10% de Afloramientos rocosos-Entisoles-Ultisoles en la parte baja, 5% de Afloramientos rocosos y 5% de Afloramientos rocosos- Ultisoles en la parte baja de la cuenca.

➤ Kukenán en El Mosquito.

Se observa un 40% de Ultisoles-Entisoles, 20% de Ultisoles, 10% de Ultisoles-Entisoles-Afloramientos rocosos, 10% de Entisoles-Ultisoles-Afloramientos rocosos, distribuidos en toda el área de la cuenca, 10% de Entisoles en la parte alta de la cuenca, 5% de Afloramientos rocosos y 5% de Afloramientos rocosos-Ultisoles, en la parte baja de la cuenca.

➤ Aponwao en Iboribó.

Se observa un 50% de Entisoles, 30% de Ultisoles- Afloramientos rocosos y 20% de Ultisoles, distribuidos en la totalidad del área de la cuenca.

➤ Paragua en Karum.

Presenta un 50% de Ultisoles, distribuido a lo largo de la cuenca, 10% de Entisoles, 10% de Ultisoles-Entisoles, 10% de Ultisoles-Entisoles-Afloramientos rocosos, 10% de Entisoles-Ultisoles-Afloramientos rocosos, 5% de Afloramientos rocosos-Entisoles-Ultisoles y 5% de Afloramientos rocosos-Entisoles, distribuidos en la parte baja de la cuenca.

➤ Yuruaní en San Ignacio.

Se observa un 60% de Ultisoles-Entisoles, 20% de Ultisoles, distribuidos en toda el área de la cuenca, 20% de Entisoles y 10% de Entisoles-Ultisoles en la parte alta de la cuenca.

➤ Karuay en Wonken.

Presenta 30% de Ultisoles-Entisoles, 15% de Ultisoles, 20% de Ultisoles-Entisoles-Afloramientos rocosos, 20% de Entisoles-Ultisoles-Afloramientos rocosos, distribuidos a lo largo de toda la cuenca, 15% Afloramientos rocosos- Entisoles-Ultisoles, en la parte oeste de la cuenca.

## VEGETACIÓN

Como consecuencia de las condiciones climáticas presentes en la cuenca, 70% de su superficie se encuentra cubierta de bosques, asociaciones de bosques y formaciones mixtas arbóreas. En segundo lugar se encuentra la vegetación herbácea que cubre 19% de la superficie y por último, las arbustivas y mixtas arbustivas que representan el 6% del área. El 5% restante corresponde a afloramientos rocosos, cobertura antrópica y cuerpos de agua.

## TIPO DE VEGETACIÓN POR SUBCUENCAS:

➤ Caroní en Arekuna.

Esta subcuenca presenta un 40% de bosque medio y sus asociaciones distribuido en toda el área, especialmente en las zonas muy cercanas a los límites de dicha cuenca, un 20% de Bosque bajo y sus asociaciones en la parte media de la cuenca, 25% de Herbáceas y mixtas herbáceas hacia el este de la cuenca, 10% de Bosque tepuyano, 5% de Arbustivas y mixtas arbustivas y 5% de Afloramientos rocosos y vegetación tepuyana, todos estos en las cercanías de la estación Arekuna (parte baja de la cuenca).

➤ Caroní en Aripichi.

Presenta un 60 % de vegetación Herbáceas y mixtas herbáceas, en la parte alta de la subcuenca; 35 % de bosque medio y sus asociaciones, concentrado principalmente en la parte baja de la subcuenca; un 5 % de Arbustivas y mixtas arbustivas, esparcida en la parte medi y alta de la subcuenca.

➤ Paragua en Auraima.

Presenta un 70 % de Bosque medio y sus asociaciones, distribuido en toda la subcuenca, 20 % de Bosque bajo y sus asociaciones localizado en la parte baja y media baja y 10 % de Arbustivas y mixtas arbustivas localizado en la parte baja, principalmente.

➤ Carrao en Canaima:

Presenta un 40 % de Bosque bajo y sus asociaciones distribuido en toda la subcuenca; un 40 % de Bosque medio y sus asociaciones localizada principalmente en el eje este de la subcuenca y en la zona media; un 5 % de Afloramientos rocosos y vegetación tepuyana concentrada en la parte central de la zona media; 7 % de Bosque tepuyano en la parte central de la zona media y un 8 % de vegetación arbustivas y mixtas arbustivas a lo largo del eje occidental de la subcuenca, principalmente.

➤ Caroní en Capaura:

Presenta un 45 % de vegetación herbáceas y mixtas herbáceas, distribuida en la parte media y alta de la subcuenca ; 30 % de Bosque medio y sus asociaciones, distribuido en el eje occidental de la subcuenca y en la parte alta; 18 % de Bosque bajo y sus asociaciones, concentrado en la parte baja de la subcuenca; 5 % de Afloramientos rocosos y vegetación tepuyana en la parte central de la zona media baja da la subcuenca y un 2 % de vegetación Arbustivas y mixtas arbustivas en focos dispersos de la subcuenca.

➤ Caroní en Caruaiken.

Presenta un 80 % de vegetación Herbáceas y mixtas herbáceas esparcida por toda la subcuenca; 10 % de bosque medio y sus asociaciones, concentrado en la parte alta principalmente; 5 % de bosque bajo y sus asociaciones en la parte sur, principalmente y un 5 % de Arbustivas y mixtas arbustivas.

➤ Kukenán en El Mosquito:

Presenta un 65 % de Herbáceas y mixtas herbáceas; un 23% de Bosque medio y sus asociaciones; 5% de Bosque bajo y sus asociaciones en la parte sur; 5% de Arbustivas y mixtas arbustivas al centro de la subcuenca y un 2 % de Afloramientos rocosos y vegetación tepuyana al norte.

➤ Aponwao en Iboribó:

Esta pequeña subcuenca tiene un 85 % de Herbáceas y mixtas herbáceas; 5 % de Arbustivas y mixtas arbustivas; 5 % de Bosque bajo y sus asociaciones y 5% de bosque medio y sus asociaciones en la parte norte de la subcuenca.

➤ Paragua en Karum.

Presenta un 68% de bosque medio y sus asociaciones; 21 % de Bosque bajo y sus asociaciones en la parte central, principalmente; 10 % de Arbustivas y mixtas arbustivas sobre el eje occidental de la subcuenca y un 1 % de Afloramientos rocosos y vegetación tepuyana.

➤ Yuruaní en San Ignacio.

Presenta un 45% de Herbáceas y mixtas herbáceas, en la parte baja y media; 40 % de bosque medio y sus asociaciones para la parte alta; 10 % de Arbustivas y mixtas arbustivas al centro, y 5 % de Bosque bajo y sus asociaciones al sur.

➤ Karuay en Wonken:

Presenta un 45% de Bosque bajo y sus asociaciones en la parte alta y media; 30 % de Herbáceas y mixtas herbáceas en la parte baja, principalmente; 20% de Bosque medio y sus asociaciones en el eje central; 4 % de Afloramientos rocosos y . vegetación tepuyana y 1% de arbustivas y mixtas arbustivas.

## HIDROGRAFÍA

### CAUCE PRINCIPAL Y TRIBUTARIOS.

El Río Caroní alcanza una longitud de 957,9 Km. Incluyendo el tramo del río Kukenán. Entre los afluentes directos al río Caroní se encuentran los ríos: Paragua, Yuruaní, Carrao, Karuay, Aponwao, e Icabarú.

Se muestra a continuación las características para las subcuencas seleccionadas:

- Caroní en Arekuna: El Río Caroní hasta Arekuna alcanza una longitud de 636,59 Km, desde sus cabeceras. La subcuenca de este río tiene un área de 42.309,46 km<sup>2</sup>. Sus mayores afluentes son los ríos Carrao, de 219,49 km de longitud, Icabarú de 215 km de longitud y Karuay de 172,66 km de longitud. El caudal medio anual es esta estación es de 2416.9 m<sup>3</sup>/s.
- Caroní en Aripichi: Esta subcuenca abarca una superficie de 12.277,51 km<sup>2</sup>, el río Caroní presenta un desarrollo longitudinal de 273,11. km y tiene como afluente principal el río Icabarú de 215,02 km de longitud. El caudal medio anual para esta subcuenca es de 995.1 m<sup>3</sup>/s.
- Paragua en Auraima: Esta subcuenca cuenta con un área de 29.738,6 km<sup>2</sup>, el río Paragua tiene una longitud de 486,85 km dentro de esta subcuenca. Los afluentes principales son: el río Karum de 222,39 km de longitud, el río Ichún de 112,86 km

de longitud y el río Curutu de 129,05 km de longitud. El caudal medio anual en esta estación es de 2096.3 m<sup>3</sup>/s.

- Carrao en Canaima: El área ocupada por esta subcuenca es de 6624,47 km<sup>2</sup>, su cauce principal, el río Carrao, cuenta con un desarrollo longitudinal de 208,7 km. Su afluente principal es el río Acanam que presenta una longitud de 91,8 km. El caudal medio anual en esta subcuenca es de 577.2 m<sup>3</sup>/s.
- Caroní en Capaura: El río Caroní dentro de esta subcuenca alcanza una longitud de 476,94 km, la subcuenca de este río cubre un área de 30483,98 km<sup>2</sup>. Los mayores afluentes son los ríos: Karuay de 178,18 km de longitud, Icabarú de 215,02 km de longitud y Acanam cuya longitud es de 78,34 km. El caudal medio anual en esta estación es 1518.2 m<sup>3</sup>/s.
- Caroní en Caruaiken: Al contrario de lo que se podría pensar, el cauce principal de esta subcuenca es el río Aponwao, que presenta un desarrollo longitudinal de 268,43 km. El área cubierta es de 11.445,37 km<sup>2</sup>. El afluente principal de río Aponwao es el río Caroní con una longitud de 247,67 km. El caudal medio para esta subcuenca es 655.1 m<sup>3</sup>/s.
- Kukenán en el Mosquito: Esta subcuenca cubre una superficie de 3451,09 km<sup>2</sup>, su cauce principal, el río kukenán, presenta una longitud de 136,6 km y su principal afluente es el río Uairen con 55,58 km de longitud. El caudal medio para esta subcuenca es 83.6 m<sup>3</sup>/s.
- Aponwao en Iboribó: El río Aponwao dentro de esta subcuenca presenta una longitud de 63,67 km, el área cubierta es de 865,31 km<sup>2</sup> y los principales afluentes al cauce principal son los ríos: Parupá de 23,43 km de longitud y un tramo del mismo Aponwao de 18,36 km de longitud. El caudal medio en esta estación es de 47.6 m<sup>3</sup>/s.
- Paragua en Karum: El área cubierta por esta subcuenca es de 22.422,26 km<sup>2</sup>, su cauce principal, el río Paragua, presenta un desarrollo longitudinal de 305,25 km y sus principales afluentes son los ríos: Ichún de 112,86 km de longitud, Curutú de

129,05 km de longitud y Karum de 222,39 km de desarrollo longitudinal. El caudal medio en esta subcuenca es 1616.7 m<sup>3</sup>/s.

- Yuruaní en San Ignacio: El río Yuruaní alcanza una longitud de 73,45 km a lo largo de esta subcuenca, la misma cubre una superficie de 1273,48 km<sup>2</sup>. Los mayores afluentes son los ríos: Soruapa con 17,52 km de longitud y Capuy con 28,65 km de longitud. El caudal medio en esta subcuenca es 59.3 m<sup>3</sup>/s.
- Karuay en Wonken: Esta subcuenca cubre un área de 3985 km<sup>2</sup>, su cauce principal, el río Karuay, presenta un desarrollo longitudinal de 158,57 km y sus principales afluentes son los ríos: Mauruk con 51,93 km de longitud y un tramo del río Karuay con 37,96 km de longitud. El caudal medio para esta estación es de 259.6 m<sup>3</sup>/s.

## FISIOGRAFÍA

El área de estudio ha sido dividida en 8 subcuencas principales y 3 subcuencas secundarias para un total de 11 subcuencas estudiadas. 9 de las mismas pertenecen a la cuenca del río Caroní y las 2 restantes a la cuenca del río Paragua.

### CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS PARA CADA SUBCUENCA.

- Caroní en Arekuna: Esta subcuenca presenta una longitud axial ( $L_{ax}$ ) de 304,35 km, un perímetro (P) de 1142,31 km, su Factor Forma (Ff) es de 0,46, Coeficiente de Compacidad (Kc) igual a 1,57. El número de orden de esta subcuenca es 6 y presenta un tipo de drenaje Dendrídico, con un Tiempo de Concentración (Tc) igual a 205,08 horas; la pendiente media del río Caroní es de 0,36 m/km.
- Caroní en Aripichí: En esta subcuenca el río Caroní tiene una pendiente media de 0,22 m/km, mostrando un drenaje Dendrídico y un número de orden igual a 6. El Tiempo de Concentración (Tc) es de 150,05 horas, el Factor Forma (Ff) es 0,69, Coeficiente de Compacidad (Kc) 1,63. El perímetro encerrado es de 641,82 km y la Longitud Axial ( $L_{ax}$ ) es de 133,82 km.

- Paragua en Auraima: Esta subcuenca cuenta con un Perímetro de 912,25 km, una Longitud Axial (Lax) de 322,52 km, su Factor Forma (Ff) es igual a 0,29 y su Coeficiente de Compacidad (Kc) es igual a 1,49. Se observa drenaje subparalelo con un número de orden igual a 6, Tiempo de Concentración (tc) igual a 240.18 horas y una pendiente media para el río Paragua de 0.17 m/km.
- Carrao en Canaima: El río Carrao alcanza una pendiente media de 1,40 m/km, un Tiempo de Concentración (Tc) de 51.04 horas y se observa un Tipo de Drenaje Dendrídico con un Número de Orden igual a 5. La Longitud Axial (Lax) es de 147,37 km, su Factor Forma (Ff) es 0.31, su Coeficiente de Compacidad (Kc) igual a 1,42 y el perímetro encerrado por la misma es de 410,22 km.
- Caroní en Capaura: La Longitud Axial (Lax) para esta subcuenca es de 269,24 km, el Factor Forma (Ff) es de 0.53, Coeficiente de Compacidad (Kc) igual a 1,50 y el Perímetro encerrado por la misma es de 927,37 km. La Pendiente media del río Caroní es igual a 0,30 m/km, con un Tiempo de Concentración (Tc) de 177.5 horas, Drenaje desordenado y un Número de Orden igual a 6.
- Caroní en Caruaiken: Para esta subcuenca la Longitud Axial (Lax) es de 118,23 km, el Factor Forma (Ff) es 0,82, el Coeficiente de compacidad (Kc) es de 1.60 y se encierra un Perímetro igual a 608 km. Se observa un Drenaje Desordenado, Número de Orden 6, la Pendiente media del río Aponwao es de 0,30 m/km para un Tiempo de Concentración (Tc) de 115.82 horas.
- Kukenan en el Mosquito: El río Kukenán tiene dentro de esta subcuenca una pendiente media de 1,43 m/km, para un Tiempo de Concentración (Tc) igual a 36.3 horas, con un Tipo de Drenaje Dendrídico y un Número de Orden igual a 4. Esta subcuenca presenta una Longitud Axial (Lax) de 69,29 km, encierra un perímetro igual a 286,68 km y tiene un Factor Forma (Ff) y un Coficiente de Compacidad (Kc) iguales a 0,72 y 1,38 respectivamente.
- Paragua en Karum: Esta subcuenca presenta una Longitud Axial (Lax) igual a 203,65 km, encierra un perímetro de 721,43 km, un Factor Forma (Ff) igual a 0,54 y un Coeficiente de Compacidad (Kc) de 1,36. El Tipo de Drenaje que se observa es

Trenzado con un Número de Orden Igual a 5, la pendiente media del río Paragua es de 0,16 para un Tiempo de Concentración (Tc) de 181.1 horas.

### PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA.

El régimen de precipitación anual en la cuenca es unimodal, con un período lluvioso entre mayo y noviembre y otro seco entre diciembre y abril. La temporada de lluvia se inicia primero en la parte sur de la cuenca, sectores Alto Caroní y Alto Paragua, y aproximadamente un mes más tarde en la parte norte, sector Bajo Caroní. La precipitación media anual es de 2900 mm, con variaciones importantes en los cinco sectores (Alto, Medio y Bajo Caroní y Alto y Bajo Paragua). Los sectores Medio Caroní y Alto Paragua presentan los valores más elevados de precipitación media anual y el sector Bajo Caroní, los menos elevados.

En la cuenca se observan cuatro núcleos con los valores de precipitación anual, igual o superior a 4000 mm, los primeros tres núcleos se ubican alrededor de las estaciones Waiquinimita-Tepuy, Guaina y Ahonda donde la precipitación alcanza una lamina anual de 4285 mm, 4030 mm y 5430 mm, respectivamente.

Sectores	Precipitación media anual (mm)		
	Anual	Período seco	Período lluvioso
Cuenca	2900	630	2270
Alto Caroní	2670	460	2210
Medio Caroní	3560	1390	2170
Bajo Caroní	1430	200	1230
Alto Paragua	3440	690	2750
Bajo Paragua	2920	240	2680

Precipitación media por sectores

*("La Cuenca del río Caroní, una visión en cifras")*

## METODOLOGÍA APLICADA

### REVISIÓN Y RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA NECESARIA

- Tipos de mapas disponibles (digitales, papel, etc).
- Mapa Cartográfico a escala 1:500.000 del área de la Cuenca del Río Caroní, para el trazado de la divisoria y ubicar las estaciones.
- Coordenadas de las Estaciones Hidrométricas que serán usadas como cierre de cuenca.
- Clasificación climática de la cuenca. Se uso clasificación según Holdridge.
- Descripción general y Mapa con los Tipos de Suelos en la cuenca.
- Descripción general y Mapa con los Tipos de Vegetación en la cuenca.

### ASPECTOS GENERALES

Se utilizó la siguiente metodología para la caracterización fisiográfica:

- Se Digitalizo el mapa de la cuenca (Escala 1:500.000) con el objeto de utilizar las bondades que ofrece el paquete AutoCad para el cálculo de áreas, longitudes, etc.
- Ubicar las estaciones hidrométricas (cierre de subcuencas) sobre el mapa.
- Trazar la divisoria total de la cuenca y las divisorias de las subcuencas, usando las estaciones hidrométricas respectivas como cierre de cuenca.
- Calcular el área total de drenaje de la cuenca y de cada una de las subcuencas, a través de una función de AutoCad.
- Estimar la longitud axial para cada una de las subcuencas, tomando como punto de partida para la medición la salida de la cuenca y como punto final aquel que se encontrase mas alejado en línea recta.
- Identificación del grado de los cauces.
- Estimación de la longitud del cauce principal, tomando como el mismo al río con mayor longitud dentro de la subcuenca correspondiente, a través de una función de AutoCad.
- Estimación de la longitud de los cauces secundarios, considerando el área de drenaje y la cantidad de aporte de cada río al cauce principal, a través de una función de AutoCad.

- Estimación del Factor Forma (Ff), este término indica la relación del ancho promedio de la cuenca respecto su longitud axial, la expresión para obtenerlo es:

$$F_f = \frac{Area}{Lax^2}$$

Las cuencas que presentan un Factor Forma cuyo valor se acerca a 0.785 (Factor forma de la cuenca circular) tendrán mas posibilidades de producir crecientes mayores.

- Estimación del Coeficiente de Compacidad (Kc). Este coeficiente compara el perímetro de la cuenca receptora con el de un círculo que tuviera su misma superficie, la expresión para obtenerlo es:

$$K_c = 0.282 * \frac{P}{\sqrt{Area}}$$

Kc siempre será mayor a 1; mientras mayor sea su valor la cuenca producirá menores crecientes.

- Elaboración del perfil longitudinal del cauce principal para cada subcuenca. El perfil longitudinal de un río representa su cauce desde su nacimiento hasta un sitio considerado de su trayecto. Para su elaboración se observa sobre un mapa cartográfico el recorrido del cauce y sus cortes con las curvas de nivel durante el mismo, esto definirá puntos cuyas abscisas son progresivas (Km) y las ordenadas son elevación (m), que permitirán realizar la gráfica del perfil longitudinal.
- Cálculo de la pendiente del cauce principal para cada subcuenca. Una vez obtenido los perfiles longitudinales para cada cauce se procede a estimar la pendiente de cada uno de los mismos, en este caso a través del método gráfico, que consiste en encontrar una recta que compense áreas que se forman tanto por encima como por debajo de la misma en el perfil; la pendiente de dicha recta será la pendiente media del cauce.
- Estimación del Tiempo de Concentración (Tc). El Tiempo de Concentración es el tiempo transcurrido para que una gota de agua caída, en el extremo hidrológicamente más alejado de la cuenca, llegue a través de los cauces al sitio de salida. La formula para obtenerlo (Bureau of Reclamation) es:

$$T_c = 0.0195 * \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde: L es la longitud del cauce principal (m), H es la diferencia de elevación (m) y Tc es el Tiempo de Concentración (min).

- Definición del tipo de drenaje para cada subcuenca. Los efectos combinados del clima y la geología en la topografía de la cuenca receptora muestran un patrón erosionante caracterizados por una red de canales y ríos. Los geomorfólogos han dado una clasificación descriptiva de los patrones mas frecuentes. Para nuestra definición se comparó la red fluvial de cada subcuenca con los patrones gráficos antes mencionados.

## RESULTADOS

Área, longitud del cauce principal y longitud de cauces secundarios más importantes:

Subcuencas	Área (Km <sup>2</sup> )	Longitud del cauce principal (Km)	Cauces secundarios más importantes	
			Longitud (Km.)	Río
Arekuna	42309.46	636.59	219.49	Carrao
			215.02	Icabarú
			172.66	Karuay
			247.67	Caroní
Aripichi	12277.51	273.11	215.02	Icabarú
Auraima	29738.60	486.85	222.39	karum
			112.86	Ichún
			129.05	Curutu
Canaima	6624.47	208.70	91.81	Acanam
Capaura	30483.98	476.94	247.67	Caroní
			178.18	Karuay
			215.02	Icabarú
			78.34	Acanam
Caruaiken	11445.37	268.43	247.67	Caroní
El Mosquito	3451.09	136.59	53.37	Kukenám
			55.58	Uairen
Iboribó	865.31	63.67	18.36	Aponwao
			23.43	Parupá
Karum	22422.26	305.25	222.39	karum
			112.86	Ichún
			129.05	Curutu
Sn. Ignacio de Yuruani	1273.48	73.45	28.65	Capuy
			17.52	Soruapa
Wonken	3985.05	158.57	51.93	Mauruk
			37.96	Karuay
Cuenca completa	93280.74	957.90		

Longitud axial (Lax), perímetro, Factor Forma (Ff) y Coeficiente de compacidad de cada subcuenca:

Subcuencas	Longitud axial (Km.)	Perímetro (Km.)	Factor forma	Coeficiente de compacidad
Arekuna	304.35	1142.31	0.46	1.57
Aripichi	133.82	641.82	0.69	1.63
Auraima	322.52	912.25	0.29	1.49
Canaima	147.37	410.22	0.31	1.42
Capaura	239.24	927.37	0.53	1.50
Caruaiken	118.23	608.00	0.82	1.60
El Mosquito	69.29	286.68	0.72	1.38
Iboribó	30.80	129.85	0.91	1.24
Karum	203.65	721.43	0.54	1.36
Sn. Ignacio de Yuruaní	47.34	167.10	0.57	1.32
Wonken	85.15	291.10	0.55	1.30

Pendiente media del cauce principal, diferencia de elevación y Tiempo de concentración (Tc):

Subcuencas	Pendiente media del cauce principal (m/Km)	Diferencia de elevación (m)	Tiempo de concentración (min.)
Arekuna	0.362	222.0734	12305.25
Aripichi	0.224	39.4819	9003.09
Auraima	0.171	65.9047	14410.87
Canaima	1.408	289.9415	3062.70
Capaura	0.300	135.9197	10650.04
Caruaiken	0.300	73.4446	6949.37
El Mosquito	1.434	196.9856	2178.05
Karum	0.166	33.8194	10866.26

Número de orden y Tipo de Drenaje:

Subcuencas	No de Orden	Tipo de drenaje
Arekuna	6	Dendrídico
Aripichi	6	Dendrídico
Auraima	6	Subparalelo
Canaima	5	Dendrídico
Capaura	6	Desordenado
Caruaiken	6	Desordenado
El Mosquito	4	Dendrídico
Iboribó	3	Paralelo
Karum	5	Trenzado
Sn. Ignacio de Yuruani	5	Trenzado
Wonken	4	Dendrídico

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

➤ Tomando en cuenta los resultados obtenidos en el cálculo de las áreas se puede observar que las subcuencas con mayores áreas son Caroní en Arekuna y Paragua en Auraima y las de menores Áreas son Aponwao en Iboribó y Yuruaní en San Ignacio; esta información puede ser utilizada para decidir si es viable la corrida de diferentes modelos hidrológicos, ya que algunos modelos son confiables para ciertos tamaños de cuencas.

➤ Es importante comparar las estaciones de Caroní en Arekuna y Paragua en Auraima ya que representan las salidas de dos de las subcuencas más grandes estudiadas, y pertenecen a los dos grandes ejes de escurrimiento que existen en la cuenca del río Caroní.

A pesar de que la subcuenca del Caroní en Arekuna supera en Área a la del Paragua en Auraima, el tiempo de concentración del Caroní hasta Arekuna es menor que el del Paragua hasta Auraima (205.08 h y 240.18h respectivamente). Esto se debe principalmente a cuatro causas: 1) La pendiente media del cauce principal para la subcuenca Arekuna es mayor que para la subcuenca de Auraima, esto aumenta las velocidades del agua y a su vez disminuye los tiempos de viaje. 2) El Factor Forma para la subcuenca Arekuna se acerca mas al valor 0.785 (Ff para una cuenca circular) por lo que las crecientes son mayores en Arekuna que en Auraima. 3) La longitud axial para Auraima es mayor que para Arekuna, esto muestra que la forma de la subcuenca Auraima es más alargada, por tanto las crecientes y los tiempos de viaje son menores en esta subcuenca. 4) Observamos, por otro lado, que la vegetación de ambas subcuencas ayuda a marcar la diferencia en los tiempos de concentración antes mencionados. Para la subcuenca Arekuna tenemos Herbáceas y Bosques bajos, principalmente; mientras que para Auraima tenemos, principalmente, Bosques medios, estos retienen mucho más el agua.

➤ En cuanto a los caudales para cada subcuenca se puede observar que los valores de estos tienen concordancia con las áreas y longitudes de los cauces principales de las mismas, es decir existen mayores valores de caudales para aquellas subcuencas con mayor desarrollo longitudinal de su cauce principal y mayor área de drenaje.

- Las subcuencas Kukenán en El Mosquito y Carrao en Canaima son las que presentan mayores pendientes medias del cauce principal en la cuenca del río Caroní, mientras que la subcuenca Karum es la de menor pendiente.

## INFORMACIÓN PRELIMINAR PARA LA EJECUCIÓN DE UN MODELO LLUVIA- ESCORRENTÍA.

Dentro de los modelos de lluvia-escorrentía podemos encontrar dos tipos básicos, modelos de simulación del caudal medio de una cuenca y modelos de simulación de crecidas para diferentes períodos de retorno, en nuestro caso, este último será el estudiado.

### ESTIMACIÓN DE GASTOS MÁXIMOS.

El procedimiento adoptado por el método de la onda cinemática es el siguiente: con las curvas de Profundidad-Duración-Frecuencia, se construyen los histogramas de diseño asociados a los períodos de retorno seleccionados, luego usando el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (U.S. Bureau of Reclamation, 1978), se determina la lluvia efectiva que va a producir escurrimiento superficial. Posteriormente se realiza el tránsito de este escurrimiento a través de la red de drenaje de la cuenca y se determinan los hidrogramas de crecida a la salida de cada segmento.

### ESTIMACIÓN DE LA LLUVIA EFECTIVA.

El método del U.S. Soil Conservation Service (U.S. Bureau of Reclamation, 1978), indica que (en mm):

$$P_e = (P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S)$$

donde S es la diferencia potencial máxima entre la lámina precipitada (P), y la lámina escurrida ( $P_e$ ) en el momento en que comienza la tormenta generadora de la crecida. Esta variable se obtiene de la expresión:

$$S = (25400 / NC) - 254 \quad (\text{En mm})$$

donde NC corresponde al número de la curva del U.S. Soil Conservation Service, el cual es función de las características de la cuenca (tipo de suelo, topografía, vegetación, áreas impermeables, tipos de cultivos, etc).

## DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE LA ONDA CINEMÁTICA.

En este método (Schaake, 1973) se divide la cuenca en subcuencas, que son representadas por dos planicies o laderas que drenan hacia un cauce o canal colector.

Cada planicie tiene forma rectangular, de área igual a la de la subcuenca que represente, y una pendiente constante e igual a la pendiente promedio de la subcuenca. La longitud normal al canal de la planicie se obtiene dividiendo el área por la longitud del cauce recolector. Lo anterior significa que las diferencias planicies de una cuenca tendrán áreas, pendientes y longitudes diferentes. El número de las subcuencas que se selecciona depende básicamente del tamaño de la cuenca, de la uniformidad de sus características físicas y de la diversificación de su red de drenaje.

Una vez idealizada la cuenca, se establecen los vínculos entre todas las subcuencas, indicando los tramos de canales que vierten sus aguas a los de otras subcuencas, situadas corriente abajo.

El procedimiento de tránsito del escurrimiento superficial, a lo largo de las planicies, empleado por el método, es llamado de la onda cinemática que considera, en primer lugar, la ecuación unidimensional de la continuidad de la masa para flujo no permanente con superficie libre; es decir, una de las ecuaciones de Sain Vennat (Chow, 1959). Esta ecuación puede escribirse así:

$$\left(\frac{\partial q}{\partial x}\right) + \left(\frac{\partial y}{\partial t}\right) = i \quad (1)$$

donde  $q$  es el gasto por unidad de ancho ( $m^3/s/m$ ), y la profundidad del agua (m),  $x$  la distancia medida en el sentido del movimiento (m),  $t$  el tiempo (s) e  $i$  la intensidad de la lluvia efectiva (m/s). La segunda ecuación de Sain Vennat, se obtiene de la ecuación de la cantidad de movimiento, la cual al desprestigiar los términos de inercia y presión (Chow, 1959), se reduce a la siguiente expresión:

$$S_o = S_f \quad (2)$$

Donde  $S_o$  es la pendiente de la planicie y  $S_r$  la de la línea de energía. La igualdad de pendientes equivale a decir que para cualquier instante de tiempo en una misma sección, la ecuación anterior se cumple, pero los valores de esas pendientes se modifican de sección en sección. La ventaja de estas suposiciones radica en que para cada sección existe una relación única entre gasto y profundidad  $y$ , por lo tanto, se puede seleccionar cualquier fórmula de flujo permanente para representar esta relación, por ejemplo, la ecuación de Manning, cuya expresión para flujo bidimensional viene dada por:

$$q = (S_o^{1/2} * y^{5/3}) / n \quad (3)$$

donde  $n$  es el coeficiente de rugosidad de Manning. Sustituyendo el valor de  $q$  dado por la expresión anterior en la ecuación (1), se obtiene una ecuación diferencial representativa de la variación de la profundidad con el tiempo a lo largo de la planicie, la cual puede ser resuelta, utilizando un esquema de diferencia finita.

Una vez resueltas estas ecuaciones para la planicie, se procede a su solución en el cauce o canal, cambiando las variables gasto por unidad de ancho  $q$  y profundidad  $y$ , por gasto total en el cauce  $Q$  y área  $A$ , respectivamente. Adicionalmente, la intensidad efectiva de lluvia  $i$  se reemplaza por el gasto lateral  $q$ , que aportan las planicies contribuyentes al cauce, el cual resulta de la solución de las ecuaciones de Saint Venant en la planicie.

La intensidad efectiva de la lluvia se calcula aplicando el método del U.S. Soil Conservation Service, al hietograma de precipitación total, que se define tomando las láminas de lluvias máximas correspondientes a diferentes períodos de retorno y distintas duraciones. Se diseñan los hietogramas para cada período de retorno, considerando que la máxima intensidad ocurre a la mitad de la lluvia, mediante la aplicación del método de los bloques alternos, (Chow et al, 1988).

#### VARIABLES DE ENTRADA PARA LA EJECUCIÓN DEL MODELO.

Los insumos de entrada para la ejecución del método son los siguientes:

1. La longitud y la pendiente media del cauce principal.
2. La Longitud y la pendiente media de las laderas que drenan al cauce principal.
3. Coeficiente de Manning ( $n$  de Manning).
4. Coeficiente de rugosidad ( $C$ ).

5. Índice impermeable.

- Se debe determinar la conectividad de la cuenca, que no es más determinar las conexiones de los cauces de las subcuencas usando una enumeración. Esto con el fin de que el modelo pueda conocer los cauces que se van incorporando al principal, hasta llegar a la salida de la cuenca.

#### SALIDAS DEL MODELO.

Los productos a obtener, una vez ejecutado el modelo son:

- Hidrogramas de salida en los puntos deseados para diferentes períodos de retorno.
- Caudales de diseño para diferentes períodos de retorno.

## CONCLUSIONES

Finalizado el trabajo de la determinación de parámetros que permitieron la caracterización de la cuenca del río Caroní, se concluye lo siguiente:

- La cuenca del Río Caroní, presenta un patrón de drenaje Dendrídico bastante bien definido, aunque a nivel de algunas subcuencas, como consecuencia de la geología se manifiesta drenajes paralelos y desordenados.
- La cuenca del río Caroní posee dos ejes principales de drenajes (río Caroní y río Paragua) que escurren de Norte a Sur, en forma casi paralela y que se unen en el sitio denominado San Pedro de las Bocas.  
En la parte alta del río Caroní se observan las mayores pendientes del cauce principal.
- Generalmente en las subcuencas estudiadas del río Caroní se observan números de orden de los ríos que van hasta el orden 6. Esto muestra la gran densidad de afluentes que escurren al río.
- La pendiente del río Caroní en todo su recorrido es aproximadamente de 3,06 m/km. En lo que respecta al río Paragua, este posee una pendiente media de 0,17 m/km hasta la estación auraima y de 0,16 m/km hasta Estación Karum, en otras palabras, la pendiente media del río Paragua es cuatro veces menor que la del río Caroní.
- La decisión de dividir la cuenca en varias subcuencas, además de servir para obtener las características fisiográficas básicas de las mismas, se basó en la facilidad que esto otorga para las corridas de modelos hidrológicos hasta ciertos sitios de la cuenca, ya que la mayoría de las veces, estos modelos no dan resultados confiables cuando las cuencas se salen de su rango de tamaño.

## RECOMENDACIONES

- Los organismos encargados deben generar información cartográfica de la zona a escalas grandes (1:25.000, 1:100.000, etc), ya que la no disponibilidad de los mismos reduce el grado de detalle y la exactitud que debe tener un trabajo como el llevado a cabo.
- Se debe procurar continuar este trabajo con la ejecución completa de algún modelo de lluvia-escorrentía para modelar caudales en las subcuencas estudiadas, que puedan servir para futuros proyectos a desarrollar.
- Mantener la continuidad del registro de datos hidrometeorológicos en todas las estaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- CHOW, V. T., MAIDMENT D. Y L. MAYS, "Hidrología Aplicada" Mc Graw Hill, New York 1988.
- PEREZ, J, "Fundamentos del Ciclo Hidrológico". UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA 1979.
- "La cuenca del río Caroní, una visión en cifras", C.V.G.-EDELCA 2004.
- PERDOMO, E. "Hidrografía y Morfometría Fluvial de la cuenca del río Caroní", C.V.G.- EDELCA 1980.
- ROMERO, M. "Caracterización hidrológica de la cuenca alta del río Caroní hasta Caruaiken", C.V.G.-EDELCA 1998.

# ANEXOS

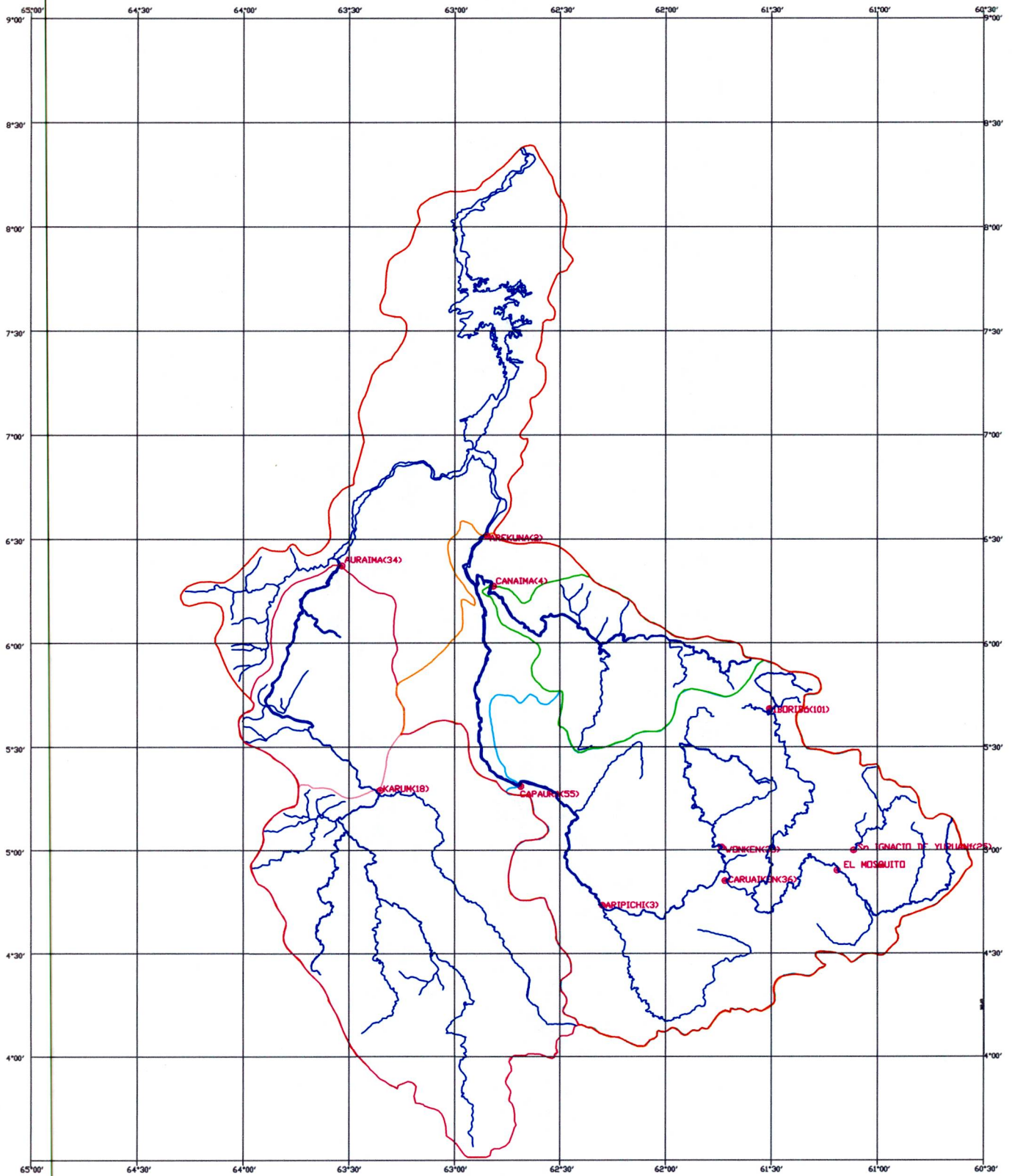


Figura 1.1 Principales subcuencas de la cuenca del río Caroní

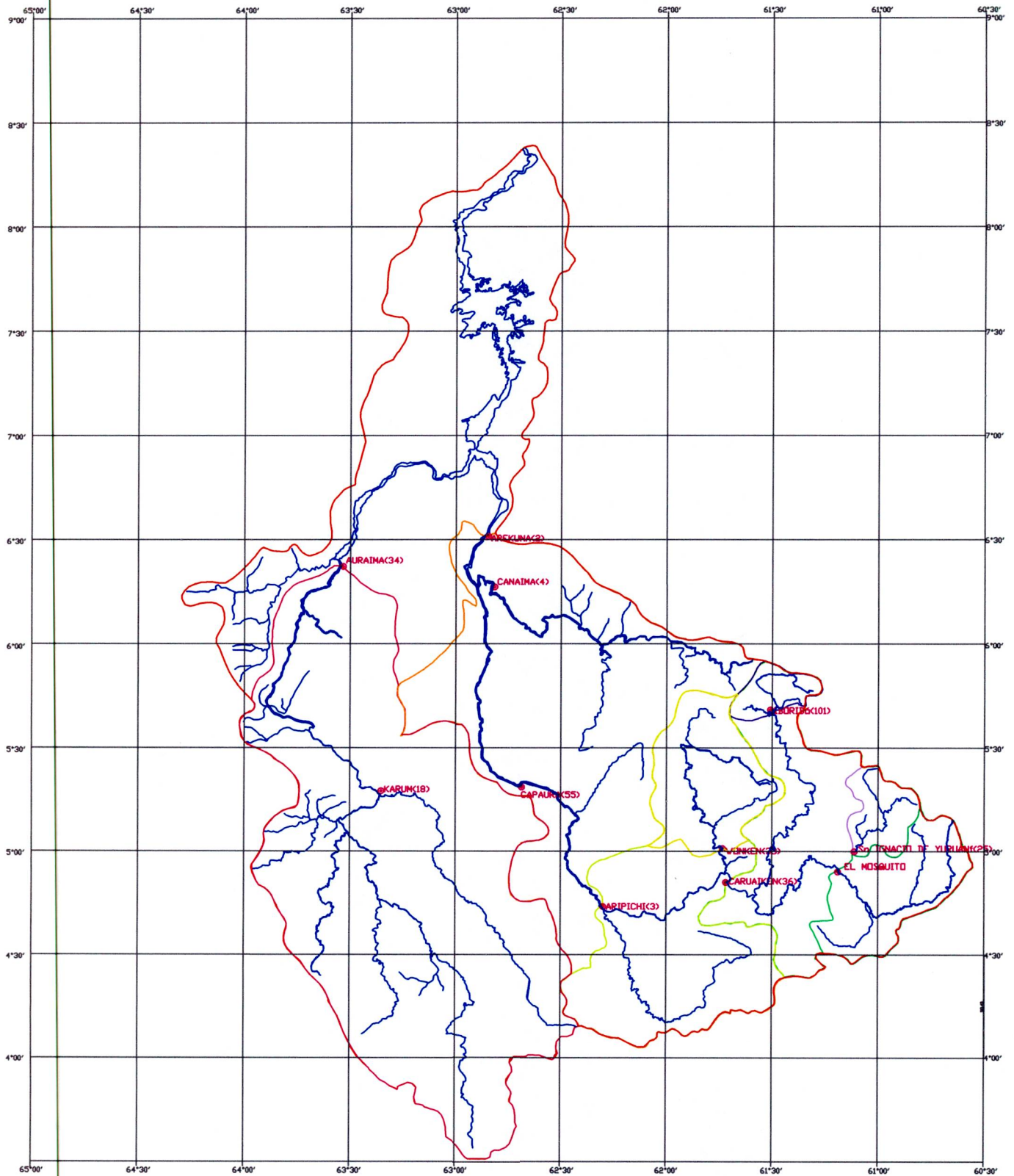


Figura 1.2 Principales subcuencas menores de la cuenca del río Caroní

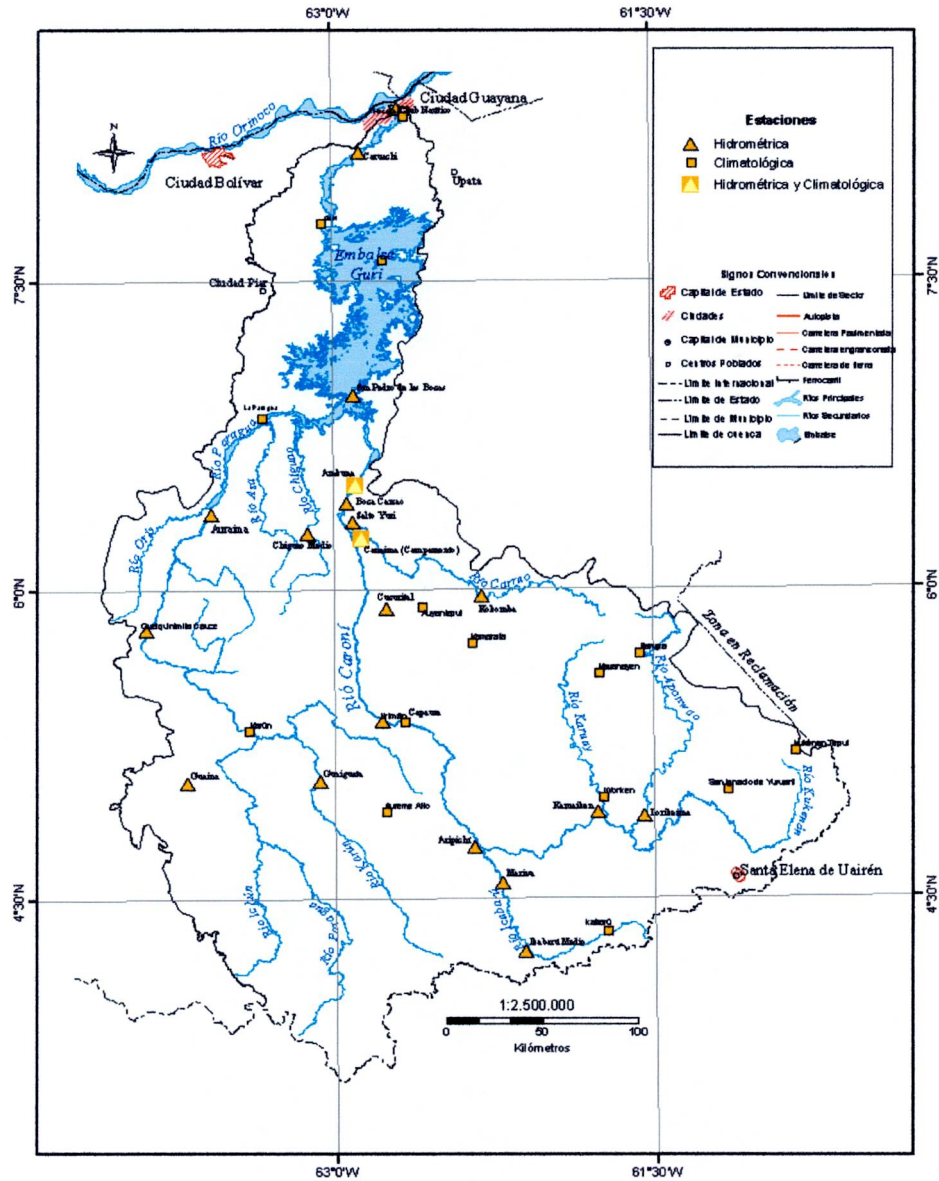
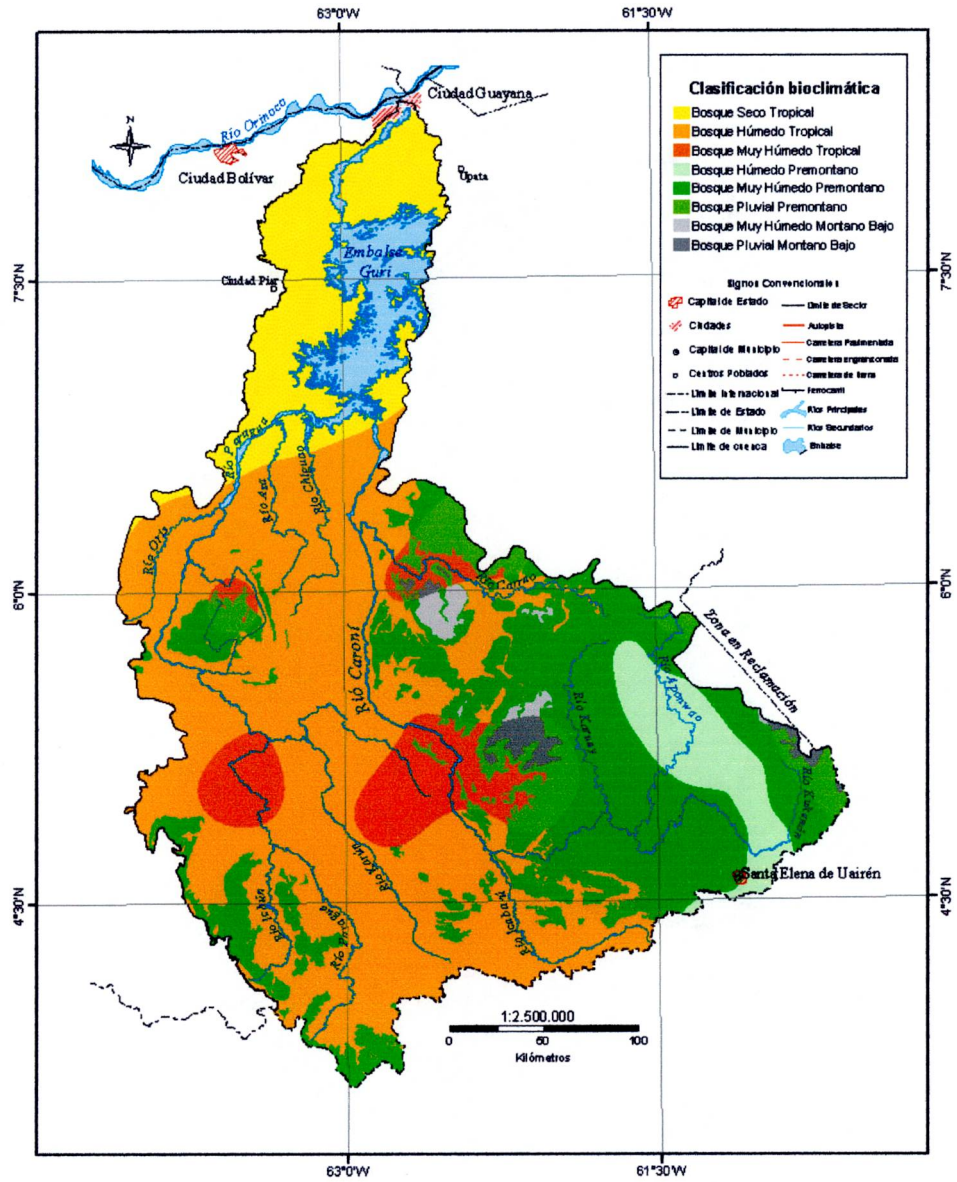
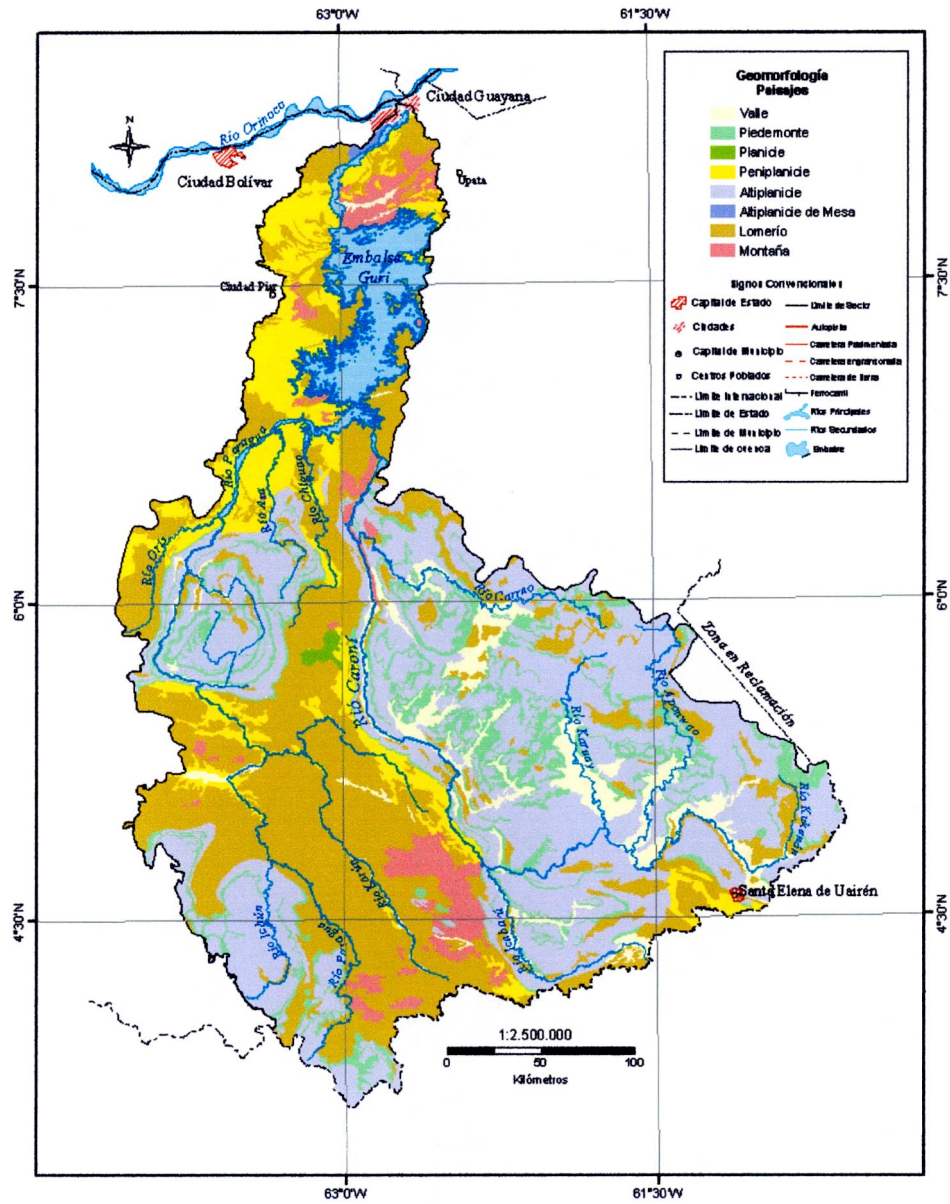


Figura 2. Red de estaciones Hidrométricas y climatológicas.





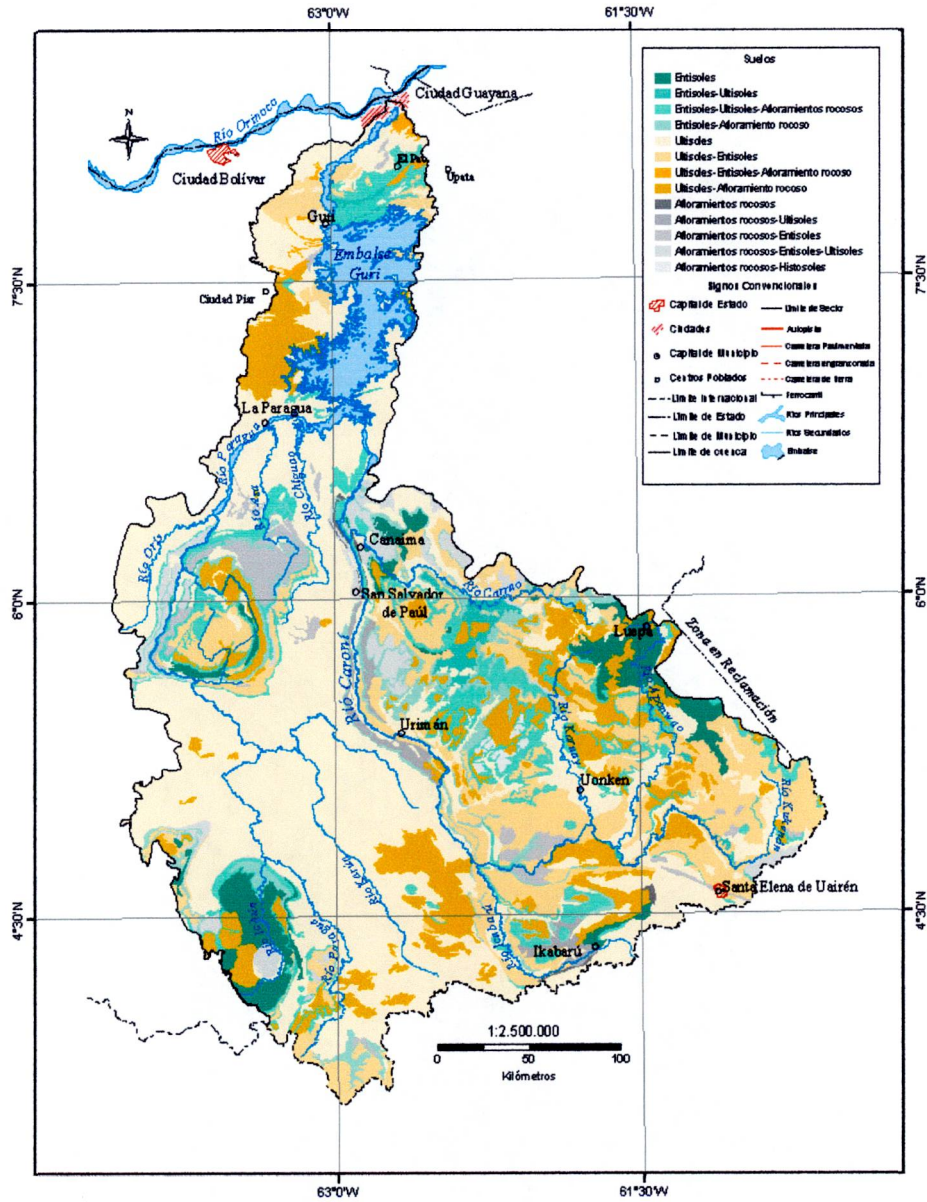


Figura 5. Clasificación de los suelos.

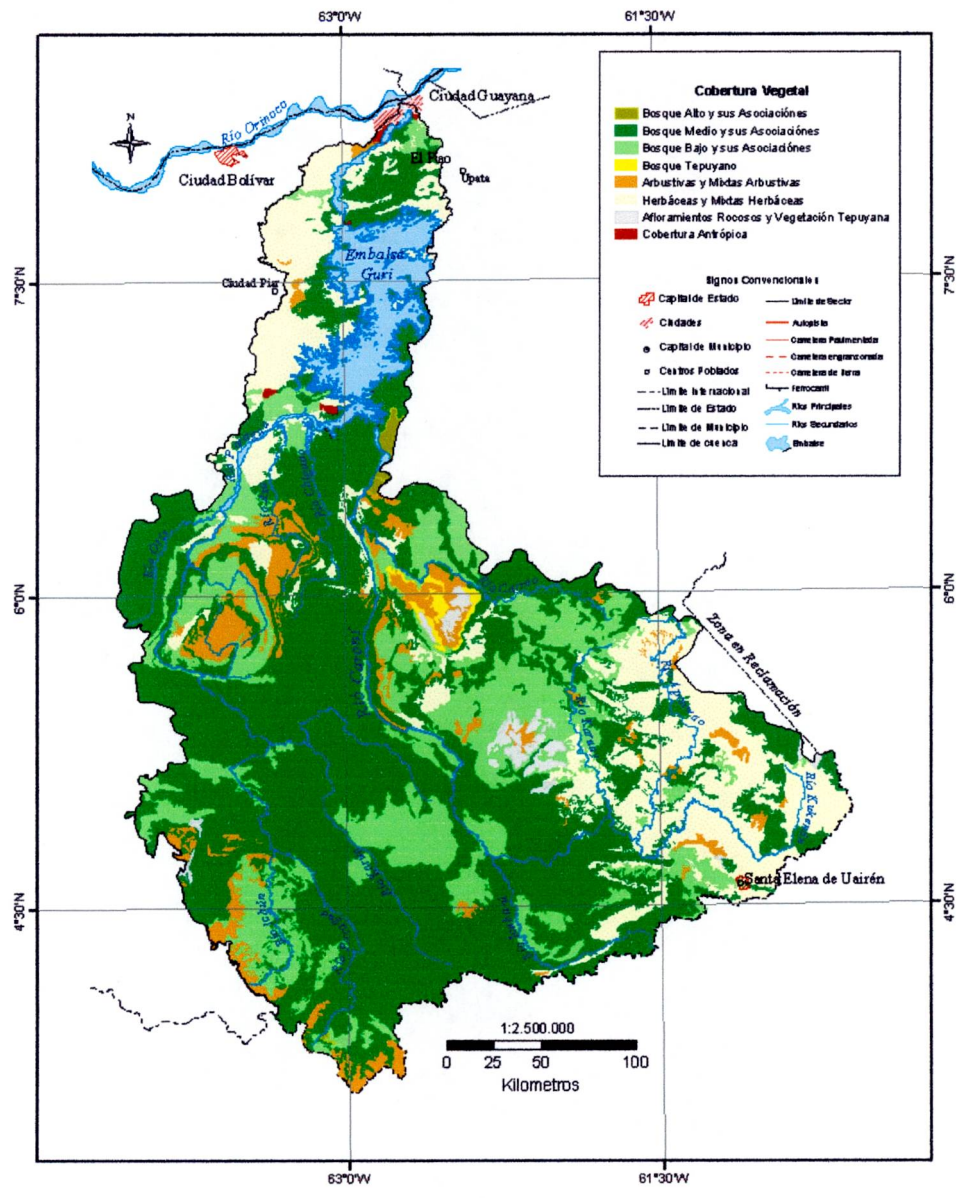


Figura 6. Cobertura vegetal.

