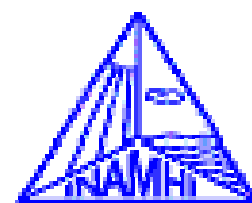


CAPÍTULO 1



INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

- 1.1 Introducción
- 1.2 Generalidades de la Cuenca Amazónica
- 1.3 Antecedentes del Proyecto
- 1.4 Objetivos Generales
 - 1.4.1 Objetivos Específicos
 - 1.4.2 Protocolos
- 1.5 Alcance del trabajo

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

El Proyecto HYBAM (Hidrogeodinámica de la Cuenca Amazónica), tiene por objeto el estudiar y conocer la Cuenca del Amazonas, siendo la Amazonía Ecuatoriana parte importante de la misma ya que su nacimiento proviene de las estribaciones de los Andes ecuatorianos, a más de los peruanos y bolivianos, extendiéndose a la llanura para formar los grandes padres del Amazonas.

En la primera parte del siguiente trabajo se presenta un estudio de características hidrológicas, de los afluentes de los ríos del Oriente Ecuatoriano que conforman las cuencas del Napo como son: datos hidrológicos de limnimetría, limnigrafía, aforos, caudales y las posibles correlaciones existentes entre estas variables.

La metodología utilizada en campo, así como los resultados obtenidos, servirán de base para posteriores estudios que conduzcan a cumplir a cabalidad con los objetivos propuestos para el proyecto de investigación HYBAM.

La segunda parte del proyecto comprende el manejo de un SIG (ArcGis) que requiere de una vasta información para representar espacialmente las características físicas e hidrológicas de una cuenca. Ante la necesidad de recolectar, almacenar y manipular grandes cantidades de datos, un SIG ofrece una verdadera alternativa para que hoy se puedan realizar cálculos distribuidos espacialmente y cada vez más cuantitativos.

La tercera parte de este trabajo presenta los datos obtenidos a partir de medidas DGPS que fueron realizadas entre Puerto Misahualli (Ecuador) e Iquitos (Perú) en Octubre del 2004. De estos datos se obtuvo resultados como el perfil longitudinal del río, sus pendientes y su sinuosidad y se ha hecho una interpretación de estos resultados frente a los otros datos como los datos geomorfológicos (Modelo Numérico de Terreno) e hidrológicos (hidrografía, flujos líquidos, flujos sólidos, granulometría).

1.2 GENERALIDADES DE LA CUENCA AMAZÓNICA

El Amazonas, en relación con su cuenca de captación y la cantidad de afluentes, es el río con el mayor caudal de agua del mundo y el segundo más largo después del Nilo con una longitud de 6.788 km, se extiende desde los Andes hasta la Isla de Marajó, llevando en sus aguas el gran misterio que esconde la amazonía, siendo de este modo, desde la época de la conquista, de interés general el descubrir y conocer esta fascinante cuenca en todos los campos de estudio.

Su cuenca de captación (ver figura 1.1) abarca más de siete millones de km² de los cuales casi la mitad corresponden a Brasil mientras que el resto está repartido entre Perú, Ecuador, Bolivia y Venezuela. El desagüe del Amazonas oscila entre 34 y 121 litros por segundo. (Axel Borsdorf, Carlos Dávila, Hannes Hoffert, Carmen Isabel Tinoco Rancel - Institut für Geographie der Universität Innsbruck)

En la actualidad se realizan trabajos de investigación que conllevan a satisfacer parcialmente las expectativas creadas por la comunidad científica.

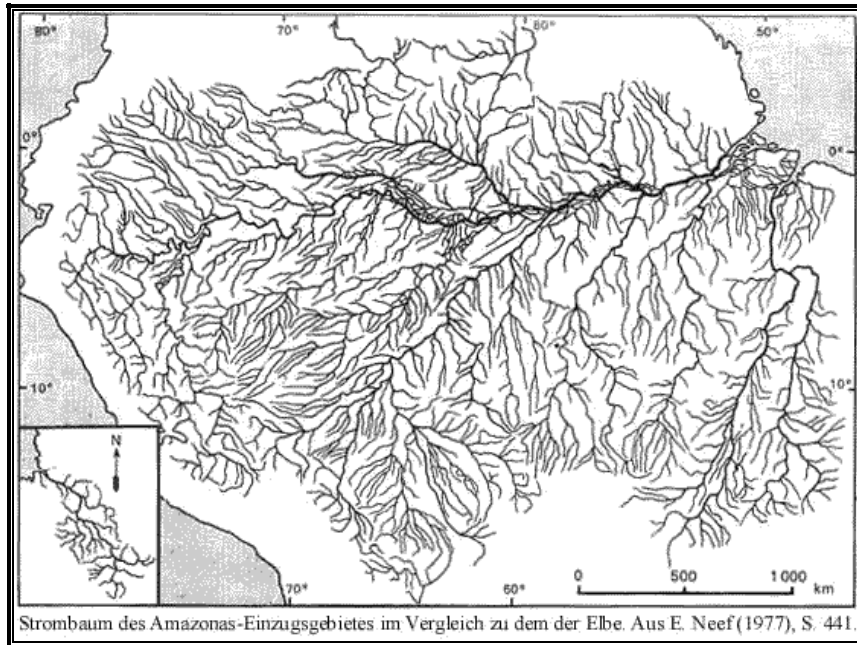


Figura 1.1 Ubicación de la Cuenca de Captación en América del Sur

Tiene un ancho en su estuario de 200 kilómetros (HiBAm), con profundidades de hasta 120 metros y un caudal anual medio en su desembocadura al Atlántico de 200.000 metros cúbicos por segundo. Vale destacar que la primera medición del caudal en el estuario del Amazonas fue realizada el 10 mayo 1998 (Callede & a.l.), dentro del proyecto HiBAm (Hidrología da Bacia Amazónica).

Posee una quinta parte del agua dulce del planeta; además es uno de los ríos que mayor cantidad de sedimentos arrastra, teniéndose cifras de 10.000 millones de toneladas de material por año (estimado J.Richer,1989).

Conociendo todas estas características, el Amazonas ofrece una originalidad que induce a su estudio en todos los aspectos.

El río Ucayali y el Marañón, las dos fuentes fluviales mayores del Amazonas, nacen en los hielos eternos de los Andes y corren paralelamente hacia el norte hasta confluir en

Nauta, Perú. De ahí continúa la corriente principal del Amazonas hacia el oriente para desembocar en el Atlántico; en Brasil llaman al Amazonas río Solimões a la parte que fluye hasta la desembocadura del Río Negro, en Manaus.

La desembocadura del Amazonas forma un gran estuario de unos 250 km de ancho que culmina en el Atlántico. Ahí se depositan sus sedimentos (media diaria, 3 millones de toneladas) formando un laberinto de islotes por donde fluye el río dividido en brazos individuales. Ya la desembocadura de la corriente principal, el río Pará tiene 80 km de ancho. Una onda de pleamar proveniente del Atlántico penetra río arriba unos 650 km a una velocidad de más de 65 km por hora cuando hay luna nueva o llena. A menudo se producen olas que llegan a los cinco metros de altura.

Toda la cuenca de captación amazónica se halla en los trópicos interiores. La media anual de la temperatura corresponde a unos 26 °C con una humedad atmosférica de más de 80 precipitaciones fuertes que caen en el curso central y bajo durante todo el año, sobre todo entre enero y junio en grandes extensiones de la planicie. Los cambios estacionales de los caudales de lluvia se reflejan en la anchura, la velocidad de la corriente y el caudal drenado del río. La media anual de precipitaciones fluctúa entre 2.000 y 3.000 mm. El Amazonas en Brasil tiene una anchura entre 1,6 y 10 km durante la época de aguas bajas y se ensancha porque la región que lo rodea es preponderadamente plana con las crecidas que se repiten cada año a más de 50 km.

La velocidad de la corriente oscila entre 2,4 y 8 km/h y el nivel de agua supera con frecuencia los 15 m de altura normal en la temporada de lluvias. El Amazonas ha

excavado un lecho profundo en la planicie por donde fluye a causa del inmenso caudal de agua.

Por eso el Amazonas es navegable con barcos de alta mar de cualquier tamaño a lo largo de dos tercios de su curso. Manaus, una ciudad ubicada a más de 1.000 km de la costa, tiene un puerto para embarcaciones de altura. Grandes barcos pueden navegar hasta Iquitos, Perú, una ciudad a unos 3.000 km del estuario del Amazonas. Iquitos es el puerto más alejado del mar. Embarcaciones fluviales para transportar escasos tonelajes pueden navegar más de 100 afluentes grandes.

La cuenca amazónica es la mayor selva pluvial de la Tierra. En muy pocas zonas las sabanas gramíneas y arbustivas interrumpen el paisaje de esta selva. La región es casi plana aunque hay terrazas entre Várzea (Aue) y Terra Firme cuyas laderas ascienden hasta 200 m. Apenas hace unos 30 años se construyeron las primeras carreteras para acceder a esa intrincada selva sólo transitable fluvialmente hasta ese entonces.

Si bien se habla desde un punto de vista térmico de un clima de estaciones diarias en los trópicos, en el Amazonas hay estaciones anuales con la diferencia de que éstas son hídricas: la temporada de desbordamientos y viceversa. Las fluctuaciones del nivel de agua del río Amazonas ascienden hasta 15 m. Eso significa que el agua llega hasta las coronas de muchos árboles. Vastas superficies aledañas al río permanecen inundadas durante medio año los árboles, en consecuencia, han de adaptarse necesariamente a esa situación a fin de sobrevivir con las crecidas. Son árboles que crecen con rapidez para no ahogarse tempranamente y reducen su metabolismo durante la avenida de las aguas.

FISIOGRAFÍA

La Cuenca Amazónica, está situada entre 5°N y 10°S. Tiene una superficie de 6.3 millones de kilómetros cuadrados (*Cendotec2001), conformada por la Cordillera de los Andes, dos Escudos el Macizo de las Guyanas y el Macizo de Mato Grosso, y por una gran Llanura Central (Figura 2). Comprende el 75% del total de su territorio para Bolivia y Perú, mientras que para Ecuador y Brasil el 50% total de su territorio (*Cendotec,2001). El área estimada de la Cuenca Amazónica está repartida para cada país de la siguiente manera:

- Brasil 63 %
- Perú 16 %
- Bolivia 12 %
- Colombia 5.6 %
- Ecuador 2.3 %
- Venezuela 0.8 %
- Guyana 0.3 %

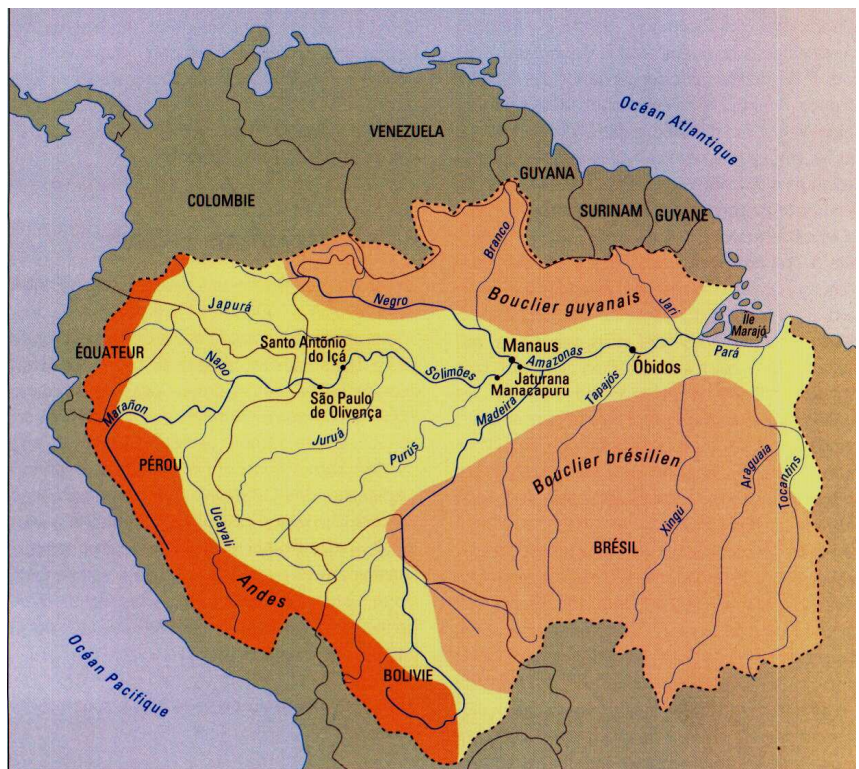


Figura 1.2. Ubicación de la Cuenca Amazónica en América del Sur (Fuente

Proyecto HiBam)

GEOLOGÍA

La cuenca amazónica está limitada al Oeste por la Cadena de los Andes los cuales surgieron en el Terciario, debido a la penetración de la Placa Pacífica bajo la base continental de América.

Al Norte y al Sur por dos enormes Macizos o Escudos de formación basáltica los cuales junto con los altos Llanos de Bolivia emergieron en el Precámbrico, y los Llanos colombiano venezolanos en el Pleistoceno.

La parte baja de la cuenca fue mar que durante milenios ha ido cegándose poco a poco por los aluviones de los ríos. Hasta la época la geología amazónica sigue evolucionando.

SUELOS

Los suelos que conforman la cuenca amazónica son aluviales, coluviales y semilateríticos.

Los *suelos aluviales* de formación más reciente son utilizados para la agricultura.

Los *suelos coluviales* se han formado debido a las lluvias torrenciales calientes que arrastran corteza terrestre con materia viva y se depositan en el fondo de pequeñas planicies.

Los *suelos semilateríticos* constituyen el 90 % de la amazonía, son suelos ácidos conformados de gredosa-arenosa. (ECORAE Río Napo,1999).

CLIMA

El clima es tropical húmedo excepto arriba de los 1 000 msnm. donde si bien la temperatura media disminuye y se hace más confortable, las precipitaciones continúan intensas. Las lluvias varían de los 2 500 mm. en el extremo este de la cuenca hasta 4 000 y 6 000 m en las primeras estribaciones del piedemonte. Desde allí comienza a disminuir hacia el oeste, o sea hacia la divisoria de aguas con la cuenca pacífica, donde alcanza 1 000 mm. Excepto en pequeñas áreas el balance hídrico es positivo todos los meses del año, por lo que los suelos se encuentran permanentemente saturados. (OEA Río Napo 1985).

Estos valores elevados en la cordillera se deben a la ascensión orográfica de la humedad transportada por los vientos del este de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

El período de lluvias fuertes se produce entre los meses de noviembre y marzo, mientras que los meses de menor pluviosidad se presentan en los meses de mayo y septiembre.

Los meses de abril y octubre son meses de transición. (Horel & *al*, 1989).

El valor de la evapotranspiración al año es de 1139 mm, que representa el 53% de las precipitaciones. (Matsuyama, 1992)

La temperatura media mensual máxima en Belém ciudad que se encuentra ubicada en la desembocadura del Amazonas en el Atlántico es de 26.5 °C en noviembre y mínima de 25.4°C en marzo ,mientras que en Manaus parte central de la cuenca los extremos de temperatura se presentan en los meses de septiembre 27.9 °C y en abril 25.8°C (Salati y Marques, 1984).

HIDROGRAFÍA

La red fluvial navegable alcanza los 14.000 Kilómetros de los cuales 2.000 son aptos para buques transatlánticos de hasta 10.000 toneladas. Se encuentran y se mezclan todas las grandes familias de aguas de la planeta como las “black rivers – ejemplo de los ríos selváticos como el río Negro”, las “white waters provenientes de la cordillera de los Andes como el río Solimões”, las “clear waters – provenientes de los Escudos como el río Tapajos”. (HiBAm)

El río Amazonas tiene su nacimiento en las estribaciones peruanas en la Cordillera de Chilca donde recibe el nombre de Apurímac para luego formar el Ucayali, posteriormente toma las aguas del Marañón hasta Iquitos (Perú), el mismo que va recogiendo en su margen izquierda las aguas del Huallaga (peruano), Chinchipe, Santiago, Morona, Pastaza, Tigre y Napo (ecuatorianos). Siguiendo por la vertiente izquierda llegan al Amazonas, el Putumayo, el Japurá (colombiano-brasileño) y el gran río Preto (Negro) formado por los ríos Orinoco y el río Branco (Macizo de las Guayanas) para desembocar en el Amazonas. Por el lado derecho el río Jurua y Purus (brasileños) antes de Manaus, luego el Madeira que viene de los Andes Bolivianos por el río Madre de Dios, continuamos con los ríos Tapajós, Xingu (proviene desde el Mato Grosso).

Para Ecuador la amazonía representa aproximadamente el 40% de su territorio, con una superficie de 115.613 kilómetros cuadrados, conociendo que el área total del país es de 256.370 kilómetros cuadrados. En cambio para Perú representa el 70 % de su territorio.

En el oriente ecuatoriano se puede encontrar una gran variedad tanto de flora como de fauna, además de la producción petrolera que constituye la base económica del Ecuador.

1.3 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

En Ecuador el proyecto de investigación HYBAM (Hidrogeodinámica de la Cuenca Amazónica) se ejecuta mediante convenio entre el Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo (IRD), antiguo ORSTOM (Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación) y el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), con el apoyo del Instituto Francés de Estudios Andinos (IFEA). Este proyecto empieza el estudio de la Cuenca Amazónica en el Brasil en el año de 1982 a 1993 como proyecto GRHRA (Gerenciamiento de Recursos Hídricos de la región amazónica –Brasil) con la colaboración de la ORSTOM y el Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico del Brasil. En Bolivia comienza el estudio en 1984 a 1995 como PHICAB (Programa Hidrológico y Climatológico de la Cuenca Amazónica de Bolivia) con la colaboración de la ORSTOM y la Asociación de Instituciones Bolivianas.

Posteriormente el proyecto continúa en el Ecuador desde el año 1998 como GBFT (Grandes Cuencas Fluviales Tropicales) y a partir del año 2001 como HYBAM. En el futuro se extenderá las investigaciones hacia el Perú y demás países que integran la Gran Cuenca del Amazonas.

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO HYBAM

Siendo un proyecto de tal magnitud como es el estudio Hidrogeodinámico de la Cuenca del Amazonas, se han establecido los siguientes objetivos:

1.4.1 OBJETIVOS GENERALES

- Estudiar el balance hidrológico y sedimentológico.
- Crear un Sistema de Información Geográfica (SIG), acoplado a datos hidrometeorológicos y sedimentarios, para estimar y modelar las características de las cuencas y los recursos hídricos.
- Modelizar el funcionamiento hidrogeodinámico de la Cuenca.
- Estudiar el impacto antrópico y del clima sobre el funcionamiento hidrosedimentológico

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer la variabilidad zonal e interanual de los cambios climáticos y sus impactos sobre los flujos líquidos y sólidos.
- Adaptar los protocolos de muestreo en función de la variabilidad temporal y espacial de cada río.

1.4.3 PROTOCOLOS

Para poder cumplir con los objetivos propuestos a nivel de cuenca amazónica se deben seguir ciertos protocolos tales como:

- Utilizar las redes hidroclimáticas de los países en estudio
- Utilizar y complementar las redes hidrosedimentarias en los países en estudio
- Conceptuar y complementar el banco de datos de cada país.

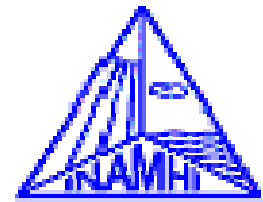
1.5 ALCANCE DEL PRESENTE TRABAJO

La primera parte de este trabajo fue de actualizar y completar la base de los datos hidrológicos de las estaciones de la cuenca del río Napo (Quijos en Baeza, Quijos D.J. Oyacachi, Misahualli en Cotundo, Jatunyacu D.J. Illoculin, Yanahurco D.J. Valle, Cosanga A.J. Quijos, Quijos A.J. Borja, Puerto Fco. Orellana, Puerto Nuevo Rocafuerte).

La segunda parte del proyecto comprende el manejo de un SIG (ArcGis) que requiere de una vasta información para representar espacialmente las características físicas e hidrológicas de una cuenca. Ante la necesidad de recolectar, almacenar y manipular grandes cantidades de datos, un SIG ofrece una verdadera alternativa para que hoy se puedan realizar cálculos distribuidos espacialmente y cada vez más cuantitativos.

La tercera parte de este trabajo presenta los datos obtenidos a partir de medidas DGPS que fueron realizadas entre Puerto Misahualli (Ecuador) e Iquitos (Perú) en Octubre del 2004. De estos datos se obtuvo resultados como el perfil longitudinal del río, sus pendientes y su sinuosidad y se ha hecho una interpretación de estos resultados frente a los otros datos como los datos geomorfológicos (Modelo Numérico de Terreno) e hidrológicos (hidrografía, flujos líquidos, flujos sólidos, granulometría).

CAPÍTULO 2



ESTUDIOS HIDROLOGICOS PRELIMINARES

- 2.1 Generalidades del Ecuador.
 - 2.1.2 Región Amazónica u Oriente Ecuatoriano.
- 2.2 Presentación de las Estaciones del Estudio.
 - 2.2.1 Estación Coca en San Sebastián.
 - 2.2.2 Estación Napo en Francisco de Orellana.
 - 2.2.3 Estación Jatunyacu D.J. Ilocullín.
 - 2.2.4 Estación Quijos en Baeza.
 - 2.2.5 Estación Quijos D.J. Oyacachi.
 - 2.2.6 Estación Misahualli en Cotundo.
 - 2.2.7 Estación Yanahurco D.J. Valle.
 - 2.2.8 Estación Cosanga A.J. Quijos.
 - 2.2.9 Estación Quijos A.J. Borja.
 - 2.2.10 Estación Puerto Nuevo Rocafuerte.

2. ESTUDIOS PRELIMINARES

2.1. GENERALIDADES DEL ECUADOR

Ecuador, nombre que fue adoptado en 1830 después de la Misión Geodésica de 1736, cuando se midieron los arcos de curvatura de la Tierra.

Este país se encuentra ubicado en América del Sur extendiéndose entre:

Latitud	N 1° 30' a S 5° 0'
Longitud	W 75° 20' a W 81° 0'

Con sus límites:

Norte: *Colombia*

Sur : *Perú*

Este : *Perú*

Oeste: *Océano Pacífico*

Con un área de 272.045 km² de superficie territorial (2.235 km de costa, 200 millas náuticas; 266.918 km² de superficie continental y 5.127 km² superficie insular) repartida en cuatro regiones naturales, y una división política en 22 provincias:

- Litoral o Costa (5 provincias)
- Andina o Sierra (10 provincias)
- Amazónica u Oriente (6 provincias)
- Archipiélago de Galápagos. (1 provincia, 22 islas)

A pesar de ser un pequeño país posee una gran red hidrográfica debido a sus características físico-geográficas, ya que los ríos que nacen en la Cordillera de los Andes se dirigen hacia la llanura del Pacífico o hacia la Amazonía, dando lugar a importantes redes fluviales que incluso en ciertos tramos son navegables.

2.1.2 REGIÓN AMAZÓNICA U ORIENTE ECUATORIANO

La Región Amazónica Ecuatoriana se extiende desde los Andes hasta los límites territoriales con el Perú con una extensión de 115.613 km². Las provincias que forman parte de este territorio son:

- *Sucumbios*
- *Napo*
- *Francisco de Orellana*
- *Pastaza*
- *Morona Santiago*
- *Zamora Chinchipe*

FISIOGRAFÍA

Los Andes Ecuatorianos están formados por dos cordilleras: Occidental y Oriental, con elevaciones volcánicas cubiertas por glaciares de más de 5.000 m de altura (Chimborazo 6310 m).

A partir del pie de la vertiente Oriental se localiza una tercera cordillera no continua de 50 km de ancho formada por las cordilleras de Galeras, Cutucú, Córdor; y volcanes como El Reventador (3485 m) y Sumaco (3900).

La llanura amazónica está constituida por una topografía monótona con pequeñas colinas de alrededor de 50 m de altura. Considerando estas características, podría decirse que la región oriental ecuatoriana se divide en “Alto Oriente” y “Bajo Oriente”.

GEOLOGÍA

La geología oriental se puede subdividir en dos:

Una plataforma tectónica más estable, con sedimentos del Terciario que yacen horizontalmente con mesas y terrazas disectadas, que constituye la cuenca baja y otra estratigráficamente similar con sedimentos Mesozoicos expuestos, plegados y cabalgados, que conforma la zona sub-andina.(Dr.J. Wbaldock Geología del Ecuador,1983) .

A continuación Tabla 2.1. se describe los afloramientos presentes en la región oriental ecuatoriana.

Tabla 2.1. Formaciones Geológicas de la Región Oriental Ecuatoriana (Dr. J.W. Baldock, 1983)

FORMACIÓN	ERA	CARACTERÍSTICAS	LOCALIZACIÓN
Pumbuiza	Devónico	Constituyen pizarras grises a negras y areniscas cuarcíticas duras de grano fino	Forma el núcleo de un bloque en el Cutucú
Macuma	Carbonífero Superior	Comprende 1500m de espesor de calizas bio-clásticas con pizarras, margas y finas areniscas	Zona Sub-andina
Santiago	Jurásico Inferior	Formada por calizas marinas intercalaciones de lutitas, areniscas y piroclastos.	Forma parte de la Cordillera del Cutucú en el Sureste
Chapiza	Jurásico Medio	Sedimentos clásticos y piroclásticos (capas rojas)	Zona sub-andina al sur.
Hollín	Cretácico Inferior	Areniscas cuarzosas blancas Y lutitas fracturadas	Afloran en la Zona Sub-andina y al nororiente.
Napo	Cretácico	Más importante, constituye lutitas negras, calizas grises a negras y areniscas calcáreas	Se localiza a lo largo de la cuenca baja.
Tena	Cretácico Superior	Lutitas y areniscas (capas rojas por meteorización), pero los sedimentos frescos son negros, grises o verdosos	Se localiza a lo largo de la cuenca baja.
Grupo Margajitas	Paleozoico-Mesozoico	Pizarras negras, filitas calcáreas y cuarcitas	A lo largo de la margen occidental de la zona sub-andina
Tiyuyacu	Paleoceno Superior-Eoceno	Etapas de transición capas rojas de conglomerados basales gruesos con lutitas rojas, grises y verdes	Se localiza a lo largo de la cuenca baja
Chalcana	Oligoceno - Mioceno	Arcillas rojizas con yeso, lutitas cafés a grises hasta areniscas de grano grueso.	Localizada al nororiente y a lo largo del río Pastaza.

Arajuno	Mioceno Superior	Arenisca inferior con conglomerado y arcilla bentónica	Localiza de norte a sur de la cuenca baja
Curaray	Mioceno Superior	Arcillas rojas, verdosas estratificadas, con areniscas de grano fino carbonáceos	Confinada al extremo este
Chambira	Mio-Plioceno	Sedimentos clásticos gruesos	Se localiza al extremo oeste
Mera	Cuaternario	Consiste en terrazas jóvenes de areniscas tobáceas y arcillas	A lo largo de la cuenca
Volcánicos Cuaternarios	Cuaternario	Basaltos alcalinos (Sumaco), y basaltos andesíticos (Reventador)	Zona Sub-andina

SUELOS

Los suelos tropicales son poco fértiles, casi permanentemente saturados por lo que en general tienen problemas de drenaje. No obstante ello se han identificado amplias áreas con suelos Clase III y IV. Esos suelos admiten el cultivo de especies tropicales como arroz, café, plátano, yuca, cítricos, palma africana, otras frutas, pina, raíces diversas, pastos plantados y naturales. (OEA 1985)

Los suelos que conforman la amazonía ecuatoriana son de tipo *aluvial*, y se caracterizan por ser de origen volcánico y pese a ser una capa de suelo relativamente pequeña constituye la base agrícola de la región. El uso inapropiado de esta capa de suelo puede traer consecuencias de infertilidad al mismo. Así como en el caso del pastoreo del ganado, el pisoteo destruye notablemente la estructura de los suelos haciéndolos improductivos. En general presentan abundante aluminio libre y pH entre ácido a muy ácido (4.5 - 6.8).

Además se puede encontrar suelos *coluviales* debido a la presencia de lluvias torrenciales que producen arrastre hasta depositarlos en pequeñas planicies, y suelos *semilateríticos* que son tierras rojizas o amarillentas pobres en humus.(ECORAE,1999)

El subsuelo del área presenta grandes reservas petrolíferas en explotación . Se encuentra además importantes áreas mineralizadas con presencia de cobre y molibdeno, minerales radioactivos, tungsteno y manganeso, además de yacimientos de asfaltos calizas, yeso y caolín. Se presenta en abundancia el oro en las arenas aluviales de numerosos ríos.

VEGETACIÓN

La vegetación natural exclusiva es el bosque, ya sea de latifoliadas o de palmas en las partes bajas. La intervención humana ha destruido grandes áreas de bosque para la plantación de cultivos comerciales y para la extracción de la madera.

La riqueza en madera es considerable. La zona evaluada en Ecuador (2.49 millones ha) posee un volumen de madera en pie considerando árboles de 0.40 cm o más, de 240 millones de metros cúbicos de los cuales más del 75% sería aprovechable, o sea 184 millones de m, divididos en 100 millones de m³ de uso actual aprovechable; 24 millones de m³, de uso potencial y el resto de especies de valor desconocido.

MEDIO AMBIENTE

Los estudios del medio ambiente de la región están basados en la premisa que todos los impactos ambientales negativos constituyen conflictos entre actividades sectoriales de

desarrollo. Al presente nivel de planeamiento la región fue subdividida en seis unidades ambientales, donde ocurren similares actividades de desarrollo. Esas unidades son páramo, sierra, estribaciones, colinas, tierras aluviales y tierras inundables.

Cuando se hace un análisis de las interrelaciones de las principales actividades de desarrollo como producción de petróleo, agricultura y ganadería, colonización, producción de coca, explotación forestal, transporte, minería, seguridad pública, salud y turismo, además de las actividades científicas, que trata principalmente con la conservación de los recursos biológicos y los intereses de la población indígena, pueden apreciarse fácilmente más de un centenar de relaciones conflictivas.

Por otra parte el análisis de los peligros de catástrofes naturales presentes en la región, como terremotos e inundaciones, deslizamiento de tierra y erupciones volcánicas, indica que la mayor parte de las actividades de desarrollo se encuentran en peligro.

Por lo tanto para el desarrollo armónico de esta región amazónica para satisfacer las necesidades económicas de la población se deberán resolver hasta un cierto grado los conflictos identificados y diseñar las medidas de prevención y mitigación contra las catástrofes naturales a que está sujeta el área. (OEA 1985)

CLIMA

Conocer las condiciones climatológicas e hidrológicas de la región es indispensable para el ordenamiento y manejo de los recursos hídricos, agropecuarios y forestales entre otros. Esta información es fundamental para calcular los rendimientos hídricos, preparar pronóstico de crecidas, conocer las condiciones favorables para el desarrollo de la

navegación, diseñar proyectos hidroeléctricos y de riego y drenaje; estudiar el abastecimiento de agua potable e industrial y preparar control de inundaciones. En la medida que esta información esté disponible y sea confiable, la planificación, ejecución y operación de los proyectos responderán en mayor forma a las necesidades reales de la región.

El clima es variado tomando en cuenta que la región oriental se divide en dos sub-regiones: “Cuenca Alta o sub-andina” y “Cuenca Baja o llanura amazónica”, es así que la primera sub-región posee un clima húmedo templado bajando hasta subtropical, mientras que en segunda sub-región el clima es cálido húmedo.

TEMPERATURA

Las características tropicales de la zona de estudio determinan una constante en las temperaturas, modificadas por la altura, lo cual genera una excelente correlación lineal entre la altura del terreno y la temperatura media anual, representada por la ecuación $T = 26.61 - 0.006.H$. (OEA 1985).

La variación de la temperatura media mensual tiene un amplio rango que oscila entre los 9.0°C en Papallacta, a 3 150 msnm., hasta los 25.3°C en Nuevo Rocafuerte, a 190 msnm.

En las zonas montañosas se pueden producir variaciones que dependen de la posición de los Valles (Quijos) respecto a los vientos dominantes portadores de la humedad

atmosférica los que, a su vez, determinan la duración e intensidad de la lluvia . Por el contrario, la llanura amazónica presenta una variación interanual débil (menor de 2°C) .

PLUVIOMETRÍA

Se cuenta con 32 estaciones pluviométricas en territorio ecuatoriano. Las lluvias se presentan todo el año y en todas las estaciones, siendo el balance hídrico positivo en todos los meses en casi toda el área.

Las lluvias son altas a lo largo del año, aunque la estación más húmeda se extiende de marzo a julio. Otro pico menor se produce en los meses de octubre-noviembre.

ESTACIONES DE LA CUENCA DEL NAPO

Tabla 2.2 Estaciones Pluviométricas en operación

ESTACIÓN	NOMBRE	COORDENADAS	AREA Km ²	PERÍMETRO Km	Lr Km	COTAS	
						SUPERIOR	INFERIOR
H-718	Quijos en Baeza	00°27'16" S 77°53'11" W	840	132	45,9	3800	1770
H-719	Quijos AJ Oyacachi	00°18'10" S 77°46'30" W	2383	221	68,5	3800	1490
H-720	Misahualli en Cotundo	00°52'39" S 77°50'04" W	141	57	21	2400	800
H-721	Jatunyacu DJ Iloculín	01°06'21" S 77°55'58" W	3041	274	102,8	4600	570
H-722	Yanahurco DJ Valle	00°41'30" S 78°16'52" W	41	32	10,3	4200	3590
H-725	Golpe en Aucacocha	01°08'43" S 78°18'55" W	35	31	5,2	4200	3650
H-731	Cosanga AJ Quijos	00°29'30" S 77°51'50" W	495	115	46,9	3900	1740
H-733	Quijos AJ Borja	00°25'03" S 77°49'00" W	1449	177	53,3	3800	1635
H-735	Coca en Codo Sinclair	00°01'00" S 77°20'00" W	4805	365	160,5	3800	180
H-A2Q	Puerto Orellana	00°28'15" S 76°59'25" W	17058	615	252,8	4600	310
H-A2O	Nuevo Rocafuerte	00°55'00" S 75°24'00" W	26861	1149	305	4600	180

Es interesante destacar que, para estaciones situadas más al sur de la llanura amazónica los mínimos se producen en los meses de diciembre, enero y febrero y, a medida que se va hacia el norte y pasa el Ecuador el mínimo se produce en el mes de agosto, manifestándose con más intensidad los dos periodos lluviosos, el de marzo-julio de mayor intensidad, el de octubre-noviembre, de menor duración e intensidad.

HUMEDAD RELATIVA

Este parámetro, al igual que la temperatura es muy constante en toda la llanura amazónica, oscilando la media anual entre 85% y 90%. La máxima de 92% (mayo, Rocafuerte). Un caso interesante se presenta en la estación Papallacta a 3 150 msnm, donde la humedad relativa media se mantiene todos los meses entre 94 y 95%. Esto indica el efecto de la temperatura sobre la humedad relativa pues el contenido de agua de la atmósfera, es bastante similar al de las zonas más bajas.

HELIOFANÍA

Las persistentes precipitaciones registradas en las estribaciones de la Cordillera Oriental (Puyo 4 500 mm), son índices de una fuerte nubosidad lo que disminuye considerablemente las horas de sol. En general, los meses de mayores precipitaciones tienden a tener menos horas de sol y viceversa. En la llanura amazónica la relación es prácticamente la misma por lo que a una menor precipitación (Tiputini 2 646 mm) se registran valores más bajos de nubosidad y en consecuencia mayor número de horas sol.

EVAPORACIÓN

Los altos índices de nubosidad y de humedad relativa determinan bajos valores de evaporación. Existen datos de evaporímetro Piché en las estaciones de Puyo (511.3 mm/año), Tiputini (524.7), Papallacta (441.8) y Tena (578.2). Estos datos parecen anormalmente bajos si se les compara con los valores de evapotranspiración potencial. Sería importante instalar tanques evaporimétricos tipo A, en algunas estaciones climatológicas para medir la evaporación.

Este parámetro climatológico no es muy importante en el área pues las grandes precipitaciones determinan un exceso de agua permanente, o sea que el balance entre la precipitación y evaporación es siempre positivo en la llanura amazónica.

EVAPOTRANSPIRACIÓN - BALANCE HÍDRICO

La evapotranspiración por el método de Thornthwaite, valor que también es fuertemente influenciado por la altura (efecto de la temperatura). Así en Papallacta a 3 150 msnm el cálculo arroja un valor promedio de 589 mm, mientras que en la llanura amazónica (300 msnm) es de alrededor de los 1 400 mm. En Puyo a una altura intermedia alcanza a 952 mm.

Este hecho constituye uno de los más serios problemas que se presentan para el sector agropecuario y para la construcción de caminos, los que deben ser empalizados en todo su recorrido.

FLORA Y FAUNA

Las selvas orientales además de ser una de las formaciones vegetales más antiguas, constituyen el ecosistema mas diverso, extenso y único de especies del mundo. Para poder mantener esta riqueza natural en el Ecuador, se conserva áreas protegidas tales como son los parques nacionales de Sangay, Yasuní y Podocarpus, la reserva ecológica de Cayambe-Coca, la reserva de producción faunística de Cuyabeno, y la reserva biológica de Limoncocha. Los bosques orientales son fuentes de gran atracción debido a que aquí se puede encontrar árboles de alturas mayores a 45 m, algunos de ellos muy útiles para la industria maderera, como son: el guayacán, laurel, tagua, chontaduro, entre otros.

La fauna constituye de igual forma, otro importante atractivo, ya que se pueden encontrar más de 600 especies de peces y 250 especies de reptiles y anfibios sin contar con el colorido de la gran variedad de mariposas y aves que contrastan con la espesura de la vegetación .

HIDROGRAFÍA

La abundante red de drenaje superficial y la presencia de cuerpos de agua permanente y temporario es el resultado de las fuertes precipitaciones. Como consecuencia es posible distinguir en primera aproximación tres regiones hidrológicamente homogéneas: la zona montañosa que se extiende de los 1600 y los 4 400 msnm; la faja de laderas y piedemonte con alturas que van de los 400 a los 1 200 msnm y la llanura amazónica con alturas medias del orden de los 300-400 msnm.

En general los ríos bajan con fuerte pendiente de la divisoria de aguas con la cuenca del Pacífico, la que se encuentra por encima de los 4 000 msnm. Al llegar a la planicie amazónica disminuye la velocidad del escurrimiento y los ríos se transforman en ríos de llanura. Existe sin embargo una faja de transición que en algunos casos llega hasta los 400 msnm donde la topografía se presenta ondulada, con presencia de rocas y rodados, donde es posible apreciar aún un cierto control geológico sobre el drenaje.

Los ríos del norte desembocan en el río Napo, mientras que los del sur forman parte del Marañón, para luego conformar el Amazonas en territorio peruano.

La hidrografía oriental es densa dada la gran cantidad de ríos presentes, siendo los más notables de norte a sur: San Miguel, Putumayo, Aguarico, Coca, Napo, Curaray, Pastaza, Morona, Upano, Paute, Zamora, Santiago y Chinchipe.

Para la presente investigación se ha considerado la cuenca hidrográfica del Río Napo.

CUENCA DEL RIO NAPO.

Río Coca.- Su nacimiento proviene de los deshielos del Antisana (5700 m de altura) y de las vertientes del Pan de Azúcar (2600 m de altura), en donde toma el nombre de río Quijos. Es notable en este río la cascada de San Rafael, localizada al norte de Baeza en la cota 1900, la misma que tiene una caída vertical de 70 metros aproximadamente.

Debido a la topografía inicial, este río es muy torrentoso. Su longitud desde que toma el nombre de Coca hasta la desembocadura en el Napo es de 150 Km, Por ser un río de

montaña en su inicio la anchura varía, pero en su desembocadura la anchura es de 500 metros aproximadamente. Este río es navegado por pequeñas embarcaciones hasta San Sebastián del Coca (Cañón de los Monos), más allá se vuelve peligroso, (ver figura 2.1).

Río Jatunyacu .- Se forma de la unión de los pequeños ríos Antisana , Chalupas , Mulatos, que nacen de los deshielos del nevado Antisana, las vertientes del Cotopaxi (5897m de altura) y desde las vertientes de “Cerro Hermoso”(4570 m de altura) respectivamente. Con este nombre, recorre una longitud aproximada de 20 kilómetros, hasta convertirse en el río Napo al unir sus aguas con las del río Ansu, en la población de Puerto Napo (ver figura 2.1).

Río Napo.- Es el río de mayor envergadura en la parte amazónica dentro del territorio ecuatoriano, nace de las vertientes del Cotopaxi, del Antisana y los Llangantes . Recorre 450 km por territorio ecuatoriano y 700 km en territorio peruano. Su curso se puede dividir en tres partes, de las cuales, las dos primeras se encuentran dentro de la amazonía ecuatoriana, para continuar su última etapa por suelo peruano. La parte superior va desde su nacimiento hasta que recibe el aporte de las aguas del río Coca, caracterizándose por tener un lecho de piedra y un fuerte torrente con remolinos y turbulencias. La parte media continúa hasta la afluencia del río Aguarico en Cabo Pantoja, cerca del límite territorial. Este tramo tiene características diferentes, mostrando orillas bajas y un lecho de arena y barro inestable. La parte baja se caracteriza porque las piedras y fuertes corrientes desaparecen, y la sección del río cambia con frecuencia dando lugar a palizadas, especialmente en los sitios donde la presencia de islas es abundante.(ver figura 2.1)

2.2. PRESENTACIÓN DE LAS ESTACIONES EN ESTUDIO

Se puede ver todas las estaciones de referencia en la figura 2.1

Para el estudio en las cuencas amazónicas ecuatorianas, ha sido necesario la instalación de una red de estaciones hidrológicas y de muestreo diario que cumplan con ciertos requerimientos tales como :

- Una adecuada ubicación geográfica, cubriendo los ríos más importantes de las cuencas en estudio.
- Facilidad de acceso a un observador para un correcto muestreo diario y para la realización de aforos.

Con este criterio se han implementado siete estaciones orientales, en cada una de las cuales un observador toma muestras de agua diaria con su respectiva lectura limnimétrica:

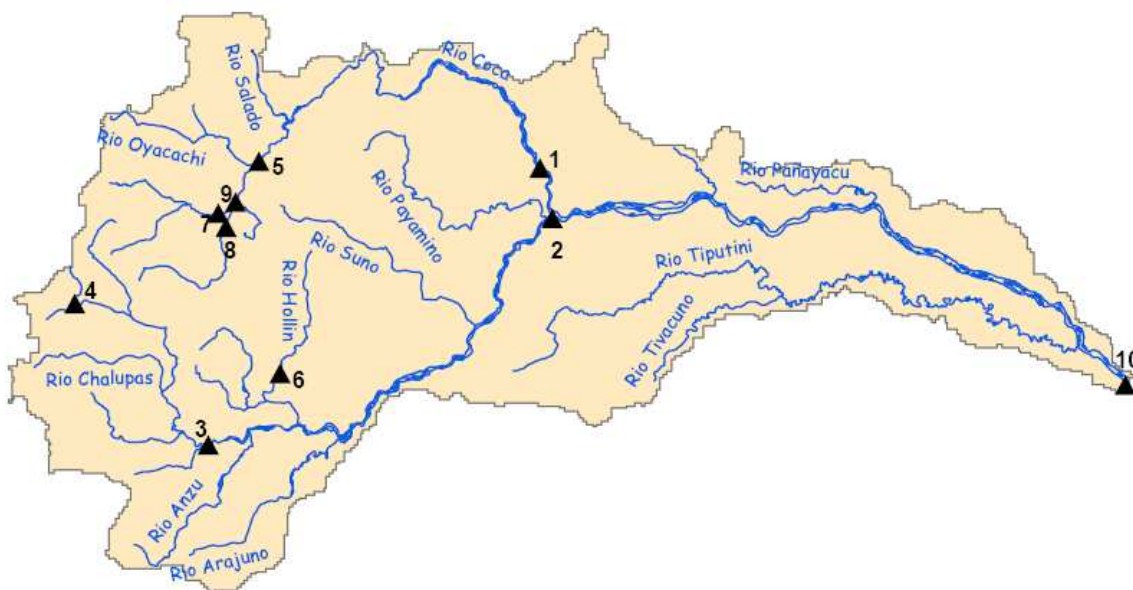


Figura 2.1. Ubicación de Cuencas y Estaciones de referencia proyecto

ESTACIONES

- 1.- San Sebastián del Coca
- 2.- Napo en Puerto Francisco de Orellana
- 3.- Jatunyacu D.J. Ilocullín
- 4.- Quijos en Baeza
- 5.- Quijos D.J. Oyacachi
- 6.- Misahualli en Cotundo
- 7.- Yanahurco D.J. Valle
- 8.- Cosanga A.J. Quijos
- 9.- Quijos A.J. Borja
- 10.- Napo en Nuevo Rocafuerte

CUENCA DEL NAPO :

2.2.1 ESTACIÓN SAN SEBASTIÁN DEL COCA

Código INAMHI	:	HB-24
Río	:	Coca
Cuenca	:	Napo
Ubicación	:	Coca - San Sebastián del Coca
Provincia	:	Sucumbíos
Fecha de apertura	:	08 noviembre del 2000
Nombre del Observador	:	Darwin Sancho
Altura	:	285 msnm.
Coordenadas: Lat.	:	S 00° 20' 23.2"
Long.	:	W 77° 00' 19.7"
Área de drenaje	:	5298 km ²

Longitud: Desde el Reventador hasta la estación San Sebastián 205,56 km Y desde la estación hasta confluencia con Río Napo 15,44 km.

Ancho del Puente : 140 metros

Descripción de la estación:

Medición de cotas y muestreo de MES (Material en Suspensión) desde una marca roja en la plataforma del puente, a 50 metros de la orilla izquierda. El muestreo se realiza con un muestreador, elaborado para el efecto atado a una cuerda suspendida del puente.



Foto 2.1 Estación en el puente de San Sebastián sobre el río

2.2.2 ESTACIÓN NAPO EN FRANCISCO DE ORELLANA (COCA)

Código INAMHI : HB-25

Río : **Napo**

Cuenca : Napo

Ubicación : Puerto Francisco de Orellana (Coca)

Provincia : **Francisco de Orellana**

Fecha de apertura : 01 abril 2000

Nombre del Observad : Capitanía de Puerto

Altura : 258 msnm.

Coordenadas Lat. : S 00° 26' 28.9"

Long . : W 76° 59' 21.2"

Área de drenaje : 12343 km²

Longitud : Desde su nacimiento (parte más alejada hasta la estación en Coca 262 km

Ancho del Puente : 350 metros

Descripción de la estación:

Existe en la estación funcionando un orphymedes.

El muestreo se realiza desde una marca en el puente a 36 metros de la orilla derecha (más cercana) con un muestreador de metal elaborado para el efecto.

En esta estación se cuenta con un CE-metro, obteniendo valores de CE y temperatura in situ.

Observaciones: En estiaje presencia de una isla de arena cerca de la orilla izquierda.



Foto 2.2 Estación Coca (Francisco de Orellana)



Foto 2.3 Orphymedes en estación Coca

2.2.3 ESTACIÓN JATUNYACU D. J. ILOCULLIN

Código INAMHI : H-721
Río : Jatunyacu
Cuenca : Napo
Ubicación : Tena - La Serena
Provincia : Napo
Fecha de apertura : 01 mayo del 2000
Nombre del observador : Casiano Andi
Altura : 570 m. s .n. m.

Coordenadas: Lat. : S 01° 05' 14.1"

Long. : W 77° 55' 09.2"

Área de drenaje : 3047 km²

Longitud : **102,8 km**

Ancho del puente : 200 metros

Descripción de la estación:

Existe una estación limnimétrica con 5 reglas, funcionando desde el 01 de agosto de 1966 ubicadas en la orilla izquierda del río, cerca del puente.

El muestreo se realiza desde una marca en el puente a 80 metros de la orilla izquierda con un muestreador de metal elaborado para el efecto.

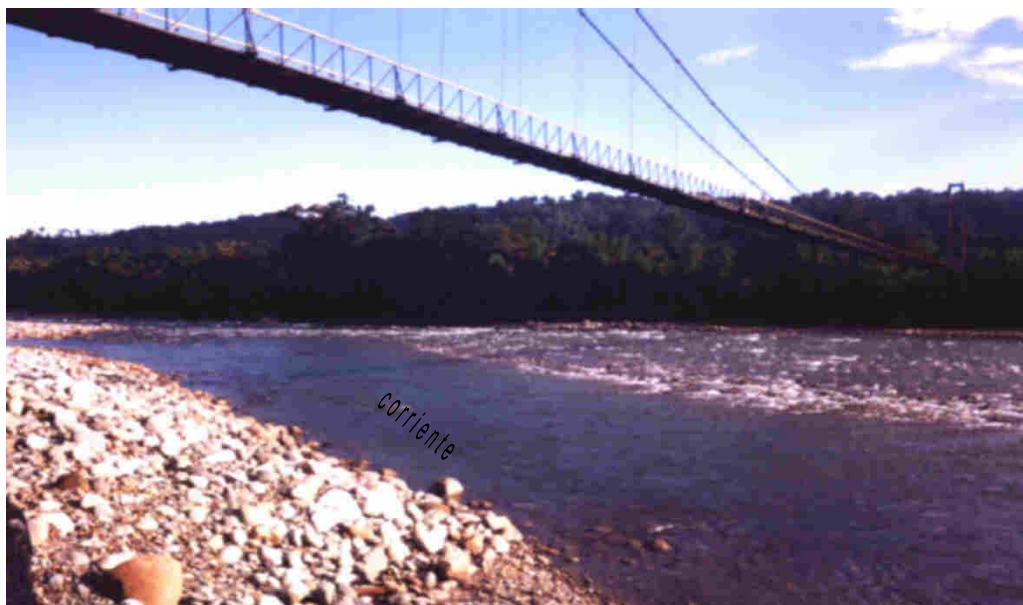


Foto 2.4. Río Jatunyacu, estación D.J.Ilocullín.



**Foto 2.5. Río Jatunyacu, reglas limnimétricas.
Estación D.J.Ilocullín**

2.2.4 ESTACIÓN QUIJOS EN BAEZA

<i>Código de INAMHI</i>	:	<i>H-718</i>
<i>Río</i>	:	<i>Quijos</i>
<i>Cuenca</i>	:	<i>Napo</i>
<i>Fecha de apertura</i>	:	<i>01 de Junio de 1964</i>
<i>Altitud</i>	:	<i>1770 m</i>
<i>Coordenadas Lat.</i>	:	<i>S 00° 27' 16''</i>
<i>Long.</i>	:	<i>E 77° 53' 11''</i>

Observaciones: La estación fue destruida en enero de 1971 por la construcción del puente colgante sobre el río Quijos. Fue restablecida en Junio de 1972. En Septiembre de 1974 una crecida destruyó la primera plancha limnimétrica. En diciembre de 1980 es destruida la sección de aforos y reconstruida en junio de 1982.



Foto 2.6. Río Quijos en Baeza

2.2.5 ESTACIÓN QUIJOS D.J OYACACHI

<i>Código de INAMHI</i>	:	<i>H-719</i>
<i>Río</i>	:	<i>Quijos</i>
<i>Cuenca</i>	:	<i>Napo</i>
<i>Fecha de apertura</i>	:	<i>01 de Mayo de 1965</i>
<i>Altitud</i>	:	<i>1490 m</i>
Coordenadas Lat.	:	S 00° 18' 10''
<i>Long.</i>	:	<i>E 77° 46' 30''</i>

Observaciones: Se registra acumulación de sedimentos constantemente, debido a la ubicación de la estación, que se encuentra a unos 60 m de la unión de los ríos Quijos y Oyacachi, lo que hace que este río encauce sus aguas hacia la orilla izquierda, depositando el sedimento en la estación y sus alrededores.



Foto 2.7. Río Quijos D.J. Oyacachi

2.2.6 ESTACIÓN MISAHUALLI EN COTUNDO

<i>Código de INAMHI</i>	:	<i>H-720</i>
<i>Río</i>	:	<i>Misahualli</i>
<i>Cuenca</i>	:	<i>Napo</i>
<i>Fecha de apertura</i>	:	<i>01 de Enero de 1971</i>
<i>Altitud</i>	:	<i>800 m</i>
<i>Coordenadas Lat.</i>	:	<i>S 00° 50' 30''</i>
<i>Long.</i>	:	<i>E 77° 47' 04''</i>

Observaciones: La estación proporciona datos de aforos de gasto líquido y sólido.



Foto 2.8. Río Misahualli en Cotundo

2.2.7 ESTACIÓN YANAHURCO D.J. VALLE

<i>Código de INAMHI</i>	:	H-722
<i>Río</i>	:	<i>Yanahurco</i>
<i>Cuenca</i>	:	<i>Napo</i>
<i>Fecha de apertura</i>	:	<i>01 de Septiembre de 1964</i>
<i>Altitud</i>	:	<i>3590 m.</i>
<i>Coordenadas Lat.</i>	:	<i>S 00° 41' 30''</i>
<i>Long.</i>	:	<i>E 78° 16' 52''</i>

Observaciones: No presenta novedades.



Foto 2.9. Río Yanahurco D.J. Valle

2.2.8 ESTACIÓN COSANGA A.J. QUIJOS

Código INAMHI : *H-731*
Río : *Cosanga*
Cuenca : *Napo*
Fecha de apertura : *01 de Noviembre de 1970*
Altitud : *1740 m*
Coordenadas Lat. : *S 00° 29' 30''*
Long. : *E 77° 51' 50''*

Observaciones: No presenta novedades

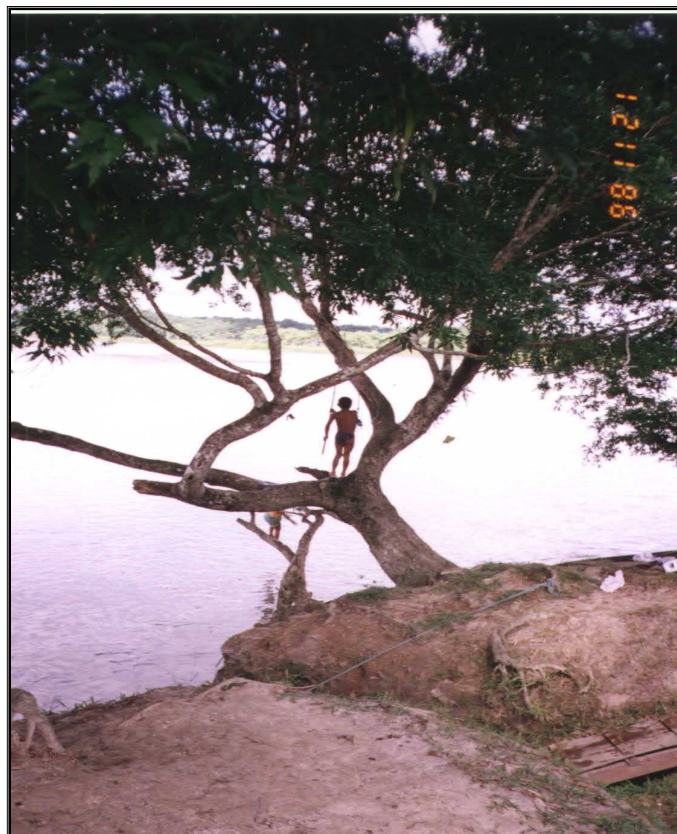


Foto 2.10. Río Cosanga A.J. Quijos

2.2.9 ESATACIÓN QUIJOS A.J. BORJA

Código INAMHI : *H-733*
Río : *Quijos*
Cuenca : *Napo*
Fecha de apertura : *03 de Abril de 1978*
Altitud : *1635 m*
Coordenadas Lat. : *S 00° 25' 03''*
Long. : *E 77° 49' 00''*

Observaciones: No presenta novedades



Foto 2.11. Río Quijos A.J. Borja

2.2.10 ESTACIÓN NAPO EN NUEVO ROCAFUERTE

<i>Código de INAMHI</i>	:	HB-26
<i>Río</i>	:	Napo
	<i>Cuenca</i>	: Napo
<i>Ubicación</i>	:	Puerto Nuevo Rocafuerte
<i>Provincia</i>	:	Francisco de Orellana
<i>Fecha de apertura</i>	:	01 abril del 2000
<i>Nombre del Observador</i>	:	Capitanía de Puerto
<i>Altura</i>	:	180 m. s. n. m.
<i>Coordenadas Lat.</i>	:	S 00° 55' 00.7"
<i>Long.</i>	:	W 75° 23' 46.9"
<i>Área de drenaje</i>	:	26861 km ²
<i>Longitud</i>	:	Desde Coca hasta la estación 305 km.

Descripción de la estación:

Existe una estación limnimétrica funcionando desde el 1 de diciembre de 1997, con cinco reglas ubicadas a la orilla derecha del río, en el puerto.

Se instaló un Orphymedes, para el registro automático de niveles, el 11 de noviembre del 2000.

El orphymedes es una aparato con el cual se pueden medir automáticamente la lectura limnimétrica de acuerdo a la programación en este caso se obtienen datos cada 60 minutos.

Este aparato se caracteriza por tener un dispositivo que funciona en base a la presión del agua, tiene una sonda que se le ubica cerca del fondo se puede disponer de datos inmediatamente ya que se los recupera mediante un captor infrarrojo y son almacenados directamente a través de un software (HYDRAS 3) en una computadora.

En esta estación se cuenta con un CE-metro, obteniendo valores de CE y temperatura in situ.

Observaciones: El muelle donde está instalado el Orphymedes de tipo flotante.

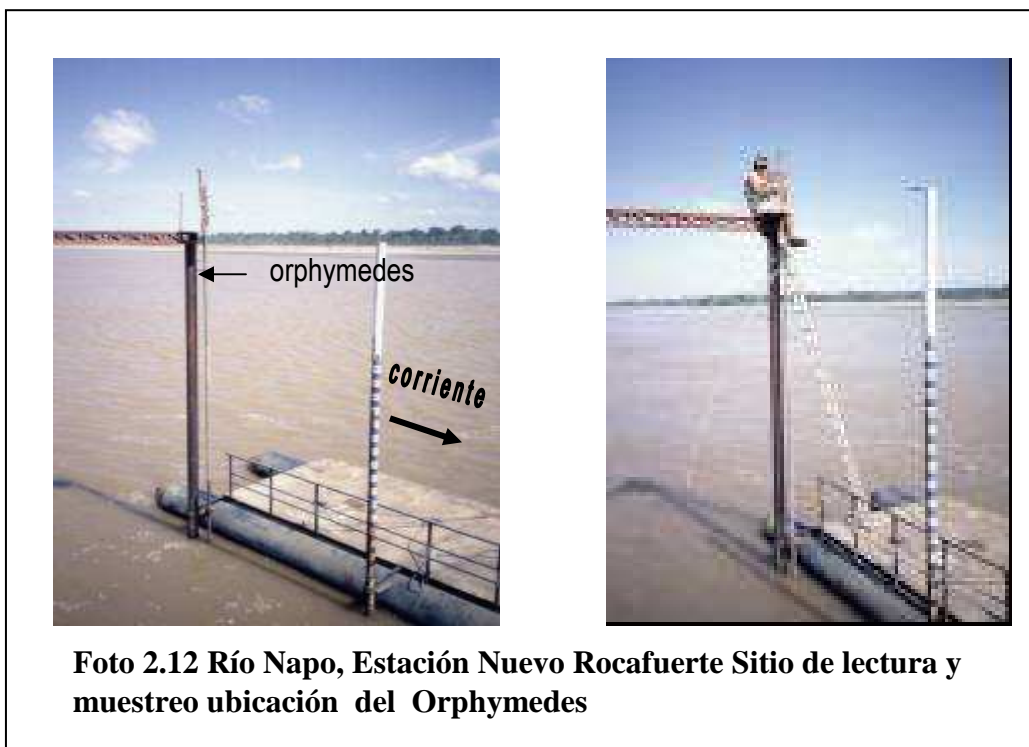
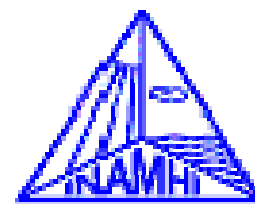


Foto 2.12 Río Napo, Estación Nuevo Rocafuerte Sitio de lectura y muestreo ubicación del Orphymedes

CAPÍTULO 3



ESTUDIOS DE CAMPO

3.1 *Instalación y muestreo de una Estación Hidrológica.*

3.1.1 Metodología.

3.1.1.1 Metodología para lectura limnimétrica.

3.1.1.2 Metodología para medición de caudales.

3.1.1.3 Metodología para muestreo de agua y sedimento.

3.2 Análisis en el sitio.

3. ESTUDIOS DE CAMPO

3.1. INSTALACIÓN Y MUESTREO DE LAS ESTACIONES HIDROLÓGICAS

Para la instalación y muestreo de estaciones hidrológicas es necesario tomar en cuenta factores importantes como:

- Facilidad de acceso tanto para el observador como para el equipo de aforadores.
- Emplazamiento en los ríos a estudiarse.
- Ubicación geográfica adecuada, tratando de cubrir la mayor área de aporte de la cuenca.
- Seguridad para que el observador y para el equipo de aforadores puedan realizar su trabajo diario sin ningún contratiempo.
- Personal preparado para realizar la lectura limnimétrica y el muestreo diario.
- Buscar la mejor sección para realizar un aforo adecuado, tomando en cuenta las consideraciones de selección de sitio de aforo.

3.1.1 METODOLOGÍA

Los estudios de campo son la parte fundamental de cualquier trabajo por lo cual se debe dar la importancia debida para su estudio y seguimiento del mismo, teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente, se debe particularizar las estaciones,

adaptándolas a la situación específica de cada una de ellas, en cuanto a medición de nivel del río y muestreo.

A continuación se da a conocer la metodología utilizada para:

3.1.1.1 Lectura limnimétrica

A partir de reglas limnimétricas.

A partir de un puente.

A Partir de Orphymedes.

3.1.1.2 Medición de caudal

Aforo con Molinete y Escandallo.

Aforo desde un Puente.

Aforo desde una Embarcación.

Aforo utilizando Vertederos.

Aforo con flotadores de superficie.

Aforo Químico.

Aforo utilizando ADCP

3.1.1.3 Muestreo de agua y sedimento

A partir de un puente.

A partir de una embarcación.

3.1.1.1 METODOLOGÍA PARA LA LECTURA LIMNIMÉTRICA

a) A partir de reglas limnimétricas.

Lo ideal es contar con un juego de reglas limnimétricas instaladas a la orilla de río o sobre el pilar de un puente, que permitan tener una lectura directa y regular del nivel del agua.

Este juego de reglas metálicas constituye una estación limnimétrica, y es una metodología tradicional muy empleada en las estaciones hidrométricas en nuestro país, debido a su facilidad de lectura y fácil instalación, previendo la posible pérdida de una o varias de estas reglas, debido a una eventual crecida puntual, vandalismo o a la pérdida parcial o total del puente si este fuera el caso.

Pese a tratarse de material altamente resistente, es siempre necesario un mantenimiento básico continuo de las reglas, y especialmente mantener la numeración claramente legible



Foto 3.1. Río Napo

b) A partir de un puente.

A falta de una estación limnimétrica, y si se cuenta con la presencia de un puente ubicado en el sitio adecuado de acuerdo a los parámetros especificados, se lo puede considerar como sitio de medición de cotas, considerando aspectos tales como:

- ✦ Marcar sobre el puente con pintura de color fuerte un punto fácilmente identificable, para que el observador tome la lectura siempre desde un mismo sitio, lo cual ayuda a homogeneizar los resultados, considerando que este punto esté sobre el cauce principal del río, para que la lectura pueda realizarse aún en época de estiaje.
- ✦ Utilizar una cinta métrica, con la cual el observador medirá desde la plataforma hasta la superficie del río, la altura existente, que constituye una lectura complementaria a la profundidad del agua desde un punto fijo de referencia.

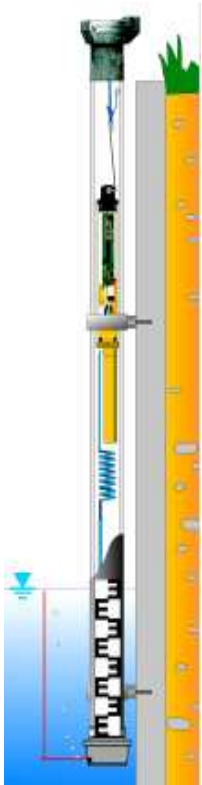


C. A

PARTIR DE ORPHYMEDES



Al momento de mejorar tiempos de ejecución y mayor exactitud en los datos de campo utilizamos Orphymedes el cual es conveniente para supervisar los niveles de la superficie de agua; la facilidad de funcionamiento y el beneficio obtenido son insuperables, tanto en tiempo como en dinero, ya que permite al usuario instalar las redes supervisando grandes secciones y reduciendo los errores potenciales causados por el manipuleo de datos manualmente.



El almacenamiento de información es de una manera continua e ininterrumpida y además es comprensible ya que supervisa de nivel encima de un período largo, haciendo un instrumento versátil y comprensivo, además podemos tener información de lo que pasa las 24 horas por día, 365 días por año.

El principio.- Una bomba del pistón dentro del cercamiento del instrumento genera aire comprimido que fluye a través de una línea especializada en la cámara de la burbuja a intervalos programables dónde burbujea uniformemente.

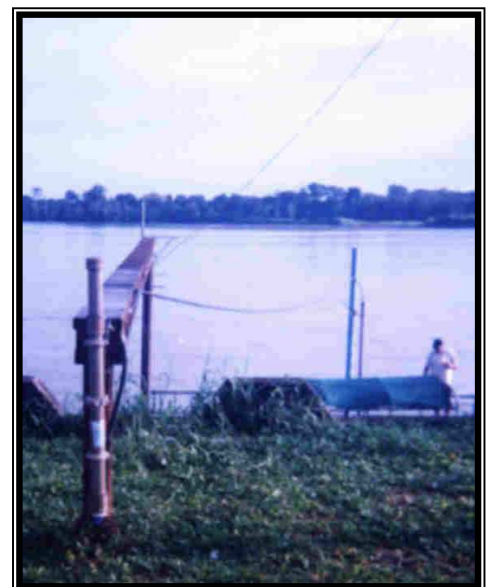


Foto 3.3. Orphymedes en Fco. Orellana y Nuevo Rocafuerte respectivamente

Dependiendo del nivel del suelo (h) sobre el orificio de cámara de burbuja, un igual de la presión atmosférica a la presión hidrostática (p) se establece dentro del tubo de la medición.

$$p=p.g.h$$

p = la gravedad específica de agua

g = el m/sec² de aceleración gravitatorio

Asumiendo una densidad líquida constante, hay una relación lineal entre el nivel a ser medido y la presión atmosférica dentro del tubo de la medición. La presión de línea de burbuja y la presión barométrica son concurrentemente moderadas por una célula de medición de presión absoluta dentro del cercamiento del instrumento. Los niveles de agua son calculados como la diferencia entre los dos signos. Este método de la medición previene un cero potencial - la tendencia del punto de la célula de la medición de influir en la exactitud del instrumento.

El uso de una medición de presión absoluta las hechuras celulares el instrumento completamente sencillo por la humedad y condensación.

3.1.1.2 METODOLOGÍA PARA AFORO O MEDICIÓN DE CAUDALES.

La medición de caudal o aforo de un río consiste en determinar el volumen de agua que pasa por una sección transversal del mismo, en un determinado período de tiempo.



Foto 3.4. Río Napo. Embarcación Estación Coca - San Sebastián

CONSIDERACIONES PARA SELECCIONAR LA SECCIÓN DE AFORO

Para realizar un aforo se debe escoger primero una adecuada sección transversal la cual reúna los siguientes requisitos:

- ✦ Situada sobre un lecho fluvial en lo posible recto.
- ✦ Sección preferentemente uniforme.
- ✦ Pendiente regular a lo largo del tramo.
- ✦ No existan islotes que interfieran en la regularidad de la sección.
- ✦ No sea un sitio desbordante.
- ✦ No coincida con la llegada de caudales afluentes.
- ✦ La sección a medir abarque la totalidad del caudal, verificando que no existan ramificaciones del cauce aguas arriba.
- ✦ No existan sectores de zonas muertas, contracorrientes, remolinos, o que sean lechos fangosos.

TÉCNICAS DE AFORO

Existen diferentes técnicas para realizar aforos, la utilización de estas depende de las características del río a aforar, de la precisión que se requiera, y de la tecnología con la que se cuente.

Las técnicas más utilizadas son:

- a. Escandallo + molinete a partir de una canoa, con el uso de un ancla.
- b. Escandallo + molinete a partir de un puente.
- c. Aforo utilizando vertederos.
- d. Aforo con flotadores.
- e. Aforo químico.
- f. Aforo con la utilización de ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler).

Para el presente trabajo se ha utilizado la metodología de aforar con la utilización de ADCP, sin embargo se dará una breve introducción de las demás técnicas de aforo.

AFORO CON MOLINETE Y ESCANDALLO

El Aforo con molinete y escandallo requiere del equipo y material siguiente, seleccionado considerando las características de los ríos a estudiarse:

EQUIPO

- Molinete AOTT
- Escandallo de 25-50 o 100 kg. (Dependiendo de la velocidad del agua)
- Torno de acuerdo al escandallo seleccionado.
- Ecobatímetro GARMIN Etrex .
- Contador.



GPS (GARMIN)

MATERIAL

- Cuerdas de seguridad.
- Tablones.
- Guantes



Foto 3.5. Equipo y materiales para aforo con molinete

PROCEDIMIENTO

a. Aforo desde un puente

Cuando es necesario realizar el aforo desde un puente, se debe observar que este no tenga pilares ya que estos afectan el comportamiento del flujo a su alrededor. Los puentes desde los cuales se aforado para este trabajo son de tipo colgante y no presentan este problema.

- Instalar el equipo (escandallo, molinete, hélice, torno, seguridades)
- Registrar la lectura del nivel al iniciar el aforo y al término del mismo.
- Tomar con el GPS las coordenadas de las orillas del puente y determinar el ancho del cauce.

- Dividir en verticales el ancho total, tomando las coordenada de cada punto con el GPS.
- Asegurar en cada vertical , el equipo al puente a fin de no tener accidentes durante el aforo.
- Comenzar con la vertical que tenga poco fondo y menor velocidad, o por la orilla izquierda.
- Desde la primera vertical medir la profundidad total descendiendo el molinete, y dividir esta distancia en tramos iguales, dependiendo del número de puntos por vertical que se vaya a realizar.
- Observar en el contador el número de revoluciones que marca la hélice en un tiempo determinado.
- Contar el número de revoluciones a las profundidades preestablecidas de 80,60,40 y 20 por ciento de la profundidad total, anotarlas en el formulario.
- Repetir el mismo procedimiento para cada vertical.
- Se recomienda que la medición se la realice en el extremo aguas abajo del puente, a fin de poder tener mayor visibilidad del equipo.



Foto 3.6. Aforo desde el puente usando molinete y escandallo. (Proyecto HiBam)

b. Aforo desde una embarcación

- Instalar el equipo en la embarcación anclada a una de las orillas a fin de probar el equipo previamente al aforo, para evitar pérdida del equipo y optimizar el tiempo de trabajo.
- Sujetar los tablonces transversalmente a la embarcación, y en uno de sus extremos, colocar fijamente el torno de donde penden el molinete y en escandallo.
- Registrar la lectura de cota al iniciar el aforo y al término del mismo.
- Tomar las coordenadas de la orilla inicial con el GPS, de preferencia se debe realizar el aforo desde la orilla izquierda hacia la derecha.
- Desplazar la embarcación mientras se inspecciona la aptitud de la sección de aforo hasta llegar a la orilla opuesta y tomar sus coordenadas.
- Conocer la distancia total del ancho del río con la ayuda del GPS y de acuerdo a este dato dividir en verticales donde se realizará mediciones tanto para caudal como para muestreo.
- Colocarse con la embarcación sobre la primera vertical con la ayuda del GPS, registrar las coordenadas del punto y con el escandallo la profundidad total, insertar el molinete hasta la profundidad indicada parcial inicial (80%).
- Para evitar que la embarcación se desplace del punto se requiere de un ancla.
- Observar en el contador el número de revoluciones que marca la hélice en el tiempo determinado.
- Contar el número de revoluciones a las siguientes profundidades (60,40 y 20 por ciento de la profundidad total), anotarlas en el formulario.
- Repetir el mismo procedimiento para cada vertical.

- Muestrear simultáneamente con el aforo, en las verticales indicadas que generalmente son tres representativas del cauce.
- Llevar los datos debidamente registrados para el trabajo de gabinete a fin de introducir los datos en la ecuación de la hélice dada por el fabricante del molinete y obtener los datos de caudal, velocidad , ancho de la sección y perímetro mojado.

c. Aforo utilizando vertederos

Vertedero es un dique o pared que intercepta la corriente, causando una elevación del nivel aguas arriba y que se emplea para control de nivel o para medición de caudales.

Los vertederos generalmente se emplean en corrientes pequeñas, o en estructuras de poco caudal como canales, estructuras de control, o para dosificación de soluciones.

Existen varios tipos de vertederos y su clasificación depende de su utilización o disposición geométrica, como por ejemplo.

- Vertederos tipo
 - Parshall
 - Triangulares
 - Trapezoidales
 - Rectangulares
 - Parabólicos

El cálculo del caudal se realiza mediante fórmulas matemáticas, las mismas que dependen de aspectos hidráulicos y geométricos propios del vertedero.

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = K * H^{3/2}.$$

Donde:

K = coeficiente que depende del tipo de vertedero.

H = carga de hidráulica.

d. Aforo con flotadores de superficie

Este método se utiliza cuando existen crecidas o cuando una gran precisión no es requerida, por lo que solamente se determinará la velocidad superficial con la ayuda de un cuerpo flotante, en cada una de las verticales determinadas perpendicularmente desde la orilla.

A más de la velocidad es necesario saber el perfil de la sección la misma que se obtiene con la ayuda de un escandallo sin molinete que actúe como peso o mediante sondeo empleando barras marcadas.

Para realizar este aforo se necesita determinar distancias conocidas, aguas abajo para controlar con la ayuda del cronómetro, el tiempo que tarda en recorrer el cuerpo flotante esta distancia.

Posteriormente determinar la velocidad media a partir de la velocidad superficial conocida, mediante método gráfico o coeficientes de corrección preestablecidos.

e. Aforo químico

El aforo químico se utiliza como complemento de un aforo con escandallo cuando la medición se la realiza en ríos muy turbulentos como aquellos de montaña .

Este método se aplica únicamente cuando se tiene la seguridad que se producirá una mezcla homogénea entre el agua y la solución salina.

La solución utilizada debe ser un trazador, que tiene por objeto ser suficientemente visible para ser cronometrado durante los tramos escogidos en el aforo.

El cálculo del caudal se obtendrá de la siguiente forma:

$$Q = q \frac{C1 - C2}{C1 - C0}$$

Donde:

Q = Caudal en l.s⁻¹

q = Gasto de la solución concentrada

C₀ = Concentración del contenido inicial de sales del río.

C₁ = Concentración de la sal utilizada.

C₂ = Concentración de la mezcla.

f. Aforo utilizando ADCP

El ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) es un equipo de alta tecnología diseñado para obtener la batimetría, el caudal, y la intensidad de la velocidad en la sección aforada en forma instantánea a través del computador.



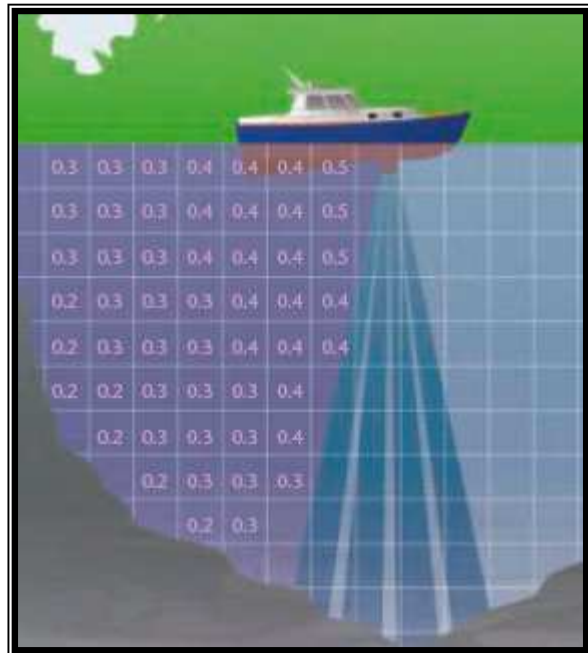
Este sistema se está implementando en nuestro país a través del Proyecto HYBAM, con lo que se conseguirá próximamente un banco de datos hidrológicos completo en las estaciones en estudio.

Este equipo se instala en el costado de una embarcación a fin de poder cruzar la sección desde una orilla hasta la otra, a baja velocidad, obteniendo los datos requeridos medios para cada una de las miles de celdas de información en que se divide la sección.



Foto 3.7. Instalación de ADCP

Estas celdas pueden tener dependiendo a la configuración, aproximadamente 30 cm de lado. Posteriormente y por integración, el *software* propio del instrumento indica las características requeridas en determinadas verticales de interés, así como en la totalidad de la sección.



El equipo consta de 4 transductores, mismos que envían y reciben ondas acústicas que se reflejan en el lecho de la sección de forma continua, a diferencia de las verticales discretas empleadas en los métodos tradicionales.



Foto 3.8. Aforo utilizando el ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler Proyecto HiBam 2002)

3.1.1.3 METODOLOGÍA PARA MUESTREO DE AGUA Y SEDIMENTO

La metodología implementada para el muestreo ha sido escogida considerando investigaciones anteriores en ríos de características similares en países vecinos tales como Brasil y Bolivia, con los cuales se ha obtenido los mejores resultados.

Para el muestreo se requiere del siguiente equipo:

EQUIPO

- Muestreador metálico \emptyset mayor 15 cm, \emptyset menor 5 cm , h= 12 cm o balde dependiendo de las características de la estación. (FOTO16)
- Cuerda (20-30 m)
- Cinta métrica (20-30 m dependiendo de la altura del puente), en el caso de no existir reglas limnimétricas en el sitio.
- Frascos plásticos para muestra de agua. (cap. 500 ml.)
- Frascos plásticos para muestra de agua. (cap. 100 ml.)
- Etiquetas adhesivas para datos de identificación de las muestras.

PROCEDIMIENTO

a. A partir de un puente.

Para la toma de muestras desde un puente, se debe considerar las siguientes regulaciones:

- Seleccionar el punto de muestreo sobre el cauce principal del río, evitando que esté ubicado cerca de las orillas ya que pueden existir estancamientos del flujo o influencia humana sobre la calidad del agua en estos sectores.
- Este punto sobre el puente debe marcarse en el lado correspondiente a aguas abajo para facilitar el muestreo, de preferencia este coincidirá con el punto de lectura limnimétrica.

- Constatar que desde este punto se pueda muestrear tanto en período de estiaje como de crecida.
- Una vez escogido el punto de muestreo en el puente se marca el mismo con pintura de color fuerte para que el observador lo pueda divisar claramente y así la muestra corresponda siempre a un mismo sitio, lo cual ayuda a obtener resultados homogéneos.
- Verificar que la muestra tomada desde este lugar no tenga la influencia de sustancias o materiales extraños al agua provenientes de algún agente externo que puedan influir en la muestra tal como óxido o pintura del puente procedente del rozamiento con la cuerda.

Para el muestreo se utilizará un muestreador metálico elaborado para el efecto que consiste en una malla metálica elaborada con hierro de 5mm de diámetro donde cabe sin holgura un frasco plástico de muestreo de 500 ml, también se puede utilizar un balde plástico, y en cualquier caso, siempre sujetos firmemente al puente mediante una cuerda

- Lanzar al río el muestreador o el balde y esperar unos minutos a fin que la muestra sea representativa y completa.
- Recuperar con mucho cuidado la muestra superficial a fin que no se produzca fricción entre la cuerda y el puente, produciéndose el desprendimiento de residuos de pintura, óxido o algún elemento a la muestra que pueda alterarla.
- Mezclar vigorosamente y depositar en un frasco de muestra tomando en cuenta que los días 01,10 y 20 de cada mes la muestra se recoge en un

frasco de 500 ml, mientras que los días restantes del mes la muestra es de 100 ml.

- Etiquetar la muestra con los datos indispensables: nombre de la estación y río, fecha, cota, número de la muestra, hora.
- Además registrar todos estos datos en formularios que son entregados a cada observador.



Foto 3.9. Muestreo a partir del puente. (Estación del Río Jatunyacu)

b. A partir de una embarcación.

Si no se cuenta con un puente, se puede también muestrear desde una canoa u otra embarcación fluvial, tomando en cuenta las siguientes indicaciones:

- ✦ Verificar que se pueda contar con una canoa permanentemente desde la cual se pueda realizar el muestreo diario.
- ✦ Desplazar la canoa desde la orilla hasta el centro del cauce.
- ✦ El muestreo se lo debe realizar directamente en el envase de plástico perpendicular al flujo y desde el costado aguas arriba de la canoa.

Previo al muestreo, enjuagar el frasco con agua del río, lo que permite homogeneizar la muestra y evitar que esta se altere con alguna sustancia que pudo estar presente en el recipiente.



Foto 3.10. Muestreo desde una embarcación

3.2. ANÁLISIS EN EL SITIO

Se hace imprescindible realizar visitas periódicas a cada una de las estaciones a fin de poder ejecutar ensayos en el sitio con muestras superficiales y a profundidad en tres verticales para realizar ensayos de representatividad espacial, y correlacionar estos datos “*in situ*” con aquellos obtenidos por el observador, lo que permite verificar el correcto funcionamiento de la estación y corregir defectos en la metodología de muestreo si los hubiere.

EQUIPO

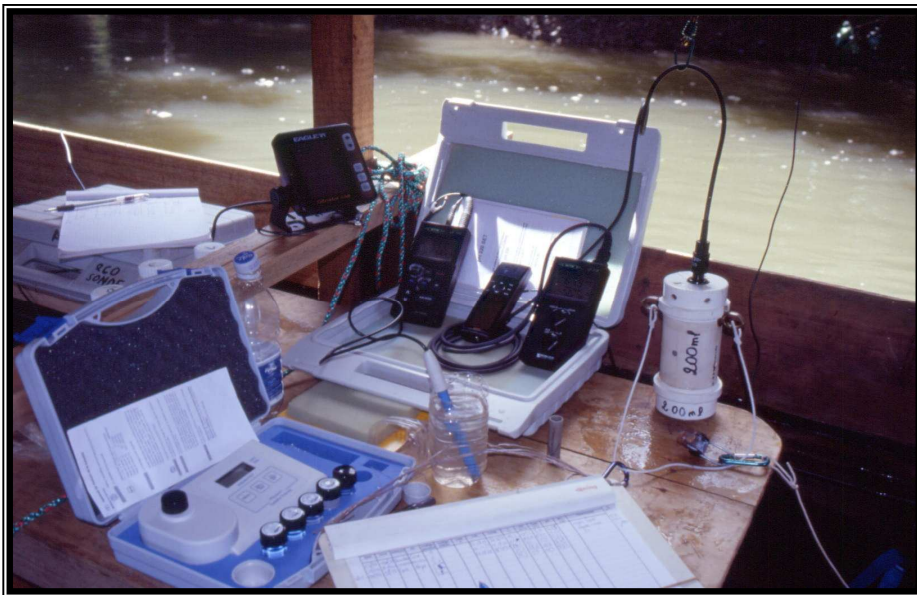
- Conductímetro, incluye termómetro (Apr. $\pm 0.01 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a 25°C)
- pH metro WTW PH320 (Apr ± 0.01)
- Turbidímetro AQUALITYC (Apr. ± 0.01 NTU)
- Bomba manual MITIVAC de 30 psi.
- Agitador magnético
- Micropipeta con jeringuilla de 1.5 ml.

MATERIAL

- Filtros de acetato de celulosa (porosidad $0.45 \mu\text{m}$.)
- Vaso de 100 ml.
- Probeta de 25 ml.

SOLUCIONES

- Ácido Sulfúrico 0.02N
- Soluciones patrón para calibración de turbidímetro. Marca AQUALITYC de 1,10,100,1000 UNT.
- Soluciones patrón para calibración de pH metro. Marca HACH (pH4, pH7)



PROCEDIMIENTO

- Verificar la calibración del equipo.
- Agitar fuertemente el frasco con muestra a fin que poder homogeneizarla, inmediatamente colocar 10 ml en un pequeño frasco el cual es parte del

equipo para medición de turbidez. Introducirlo en el sitio adecuado en el aparato que por comparación otorgará el valor de este parámetro en NTU (Siglas inglesas de “Unidades Nefelométricas de Turbidez”).

- Colocar la sonda del conductivímetro dentro del recipiente con muestra, esperar que el valor en la pantalla se estabilice y anotarlo en las unidades indicadas ($\mu\text{S}/\text{cm}$), así como la temperatura en $^{\circ}\text{C}$.
- Introducir la sonda del pH- metro, y con el mismo procedimiento anterior, registrar su valor adimensional.
- Separar el material en suspensión por medio de filtración de un volumen definido de muestra (500 ml) empleando filtros previamente pesados secos y limpios, y gracias a una bomba de succión manual que agiliza el proceso.
- Guardar los filtros en cajas plásticas, etiquetadas con el nombre de la estación y el río, fecha , volumen filtrado, cota y número de vertical.
- Medir con la probeta 20 ml de agua filtrada, verter en el vaso de precipitación en el cual se insertará el imán, que siendo parte del agitador sobre el cual se ha colocado el vaso, permite mantener homogénea la muestra mientras se determina la alcalinidad. Para esto se determina el pH inicial, y por titulación con ácido sulfúrico dosificado por la micropipeta, se consigue bajar el pH de la solución hasta un valor de 4.7 y posteriormente de 4.3.
- Los volúmenes de ácido requerido para obtener estos valores de pH, son relacionados mediante la fórmula $(2 \cdot V_a - V_b) \cdot 61$, que permite conocer la alcalinidad en mg/lit.

Donde:

V_a = Volumen de ácido necesario para bajar el pH de la muestra a 4.7

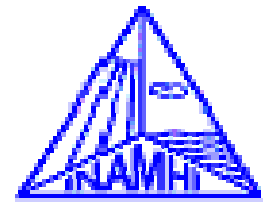
V_b = Volumen de ácido necesario para bajar el pH de la muestra a 4.3

- ✦ Refrigerar las muestras filtradas.
- ✦ En el laboratorio se realizan los procedimientos que requieren de equipo de gran tamaño y peso y por consiguiente de difícil transportación.

En el sitio se utilizan las siguientes planillas, mismas que ayudan a tener mayor control y organización del trabajo de campo, con el fin de evitar errores:

- 1.- Planilla de características generales
- 2.- Planilla de aforo
- 3.- Planilla de alcalinidad

CAPÍTULO 4



TRABAJO DE GABINETE

4.1 Análisis e interpretación de resultados

4.1.1 Análisis de los parámetros Hidrológicos

4.1.1.1 Cotas, Hidrogramas , calibraciones

4.1.1.2 Análisis de caudales en las estaciones de la Cuenca del Napo

4.1.1.3 Caudales Específicos

4. TRABAJO DE GABINETE

4.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente trabajo en su primera fase se analizará los datos obtenidos en los aforos de las estaciones de la cuenca del río Napo, estos datos se los deberá ir corrigiendo mediante dos software, el primero el HIDROM el cual nos permitirá ir depurando los datos en especial los datos faltantes. Con HIDRACCESS logramos corregir los datos en su totalidad, mediante este programa también se realizará el relleno de datos faltantes de las estaciones, esto se logra realizando correlaciones entre estaciones.

Teniendo los datos completos de cada estación se procederá a configurar sus respectivos hidrogramas y curvas de calibración.

Cabe mencionar que este proceso se dio solo en las estaciones de la cuenca del río Napo en el Ecuador.

En la segunda fase se corregirán e interpretarán los datos obtenidos por el DGPS, logrando obtener parámetros tales como índice de sinuosidad, pendientes del río Napo desde Puerto Misahualli hasta Iquitos (en el Perú).

4.1.1 ANÁLISIS DE LOS PARAMETROS HIDROLÓGICOS

Para este análisis hidrológico se consideran los parámetros de:

- Lectura de cotas sea limnimétrica o con orphymedes y

- Caudal.

4.1.1.1 COTAS, CAUDALES, CALIBRACIONES Y CURVAS DE DURACIÓN GENERAL.

Los hidrogramas fueron realizados tomando en cuenta datos existentes en el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) además de los datos obtenidos mediante trabajo de campo realizado por los observadores y aforadores del proyecto, al igual que los perfiles durante campañas.

A continuación se presentan cada una de las estaciones de medición con sus respectivos hidrogramas, cotas, curvas de calibración y curvas de duración general.

Una vez presentadas las graficas se puede tener una idea de la magnitud de cada uno de los ríos que forman parte de la cuenca del río Napo.

A continuación se indicará la correlación temporal que puede existir entre estas estaciones.

Al comparar los limnigramas se puede observar que tanto en la parte alta de la cuenca amazónica ecuatoriana (estación de Jatunyacu D.J. Ilocullin) como en la parte baja (estaciones de San Sebastián, Napo en Coca , Napo en Rocafuerte), los meses que registran menor medición de cotas o lectura limnimétrica coinciden en todas las estaciones con los meses de diciembre, enero , febrero y septiembre.

Estos meses pertenecen a la época de estiaje, señalando la probabilidad de presencia de picos diarios en todos los meses, incluyendo los de estiaje, siendo este un comportamiento típico de la región amazónica.

Mientras que los meses en los que se registran cotas altas son mayo, junio, julio y agosto. Así, precisamente en el mes de junio del año 2001 ocurrieron en nuestro país varios deslaves y grandes crecidas que ocasionaron el colapso de varias viviendas y estructuras civiles, como es el caso del puente de La Unión sobre el río Pastaza, de 200 m de longitud en el que se ubicaba una de las estaciones en estudio.

ESTACIÓN SAN SEBASTIAN DEL COCA COTAS DIARIAS

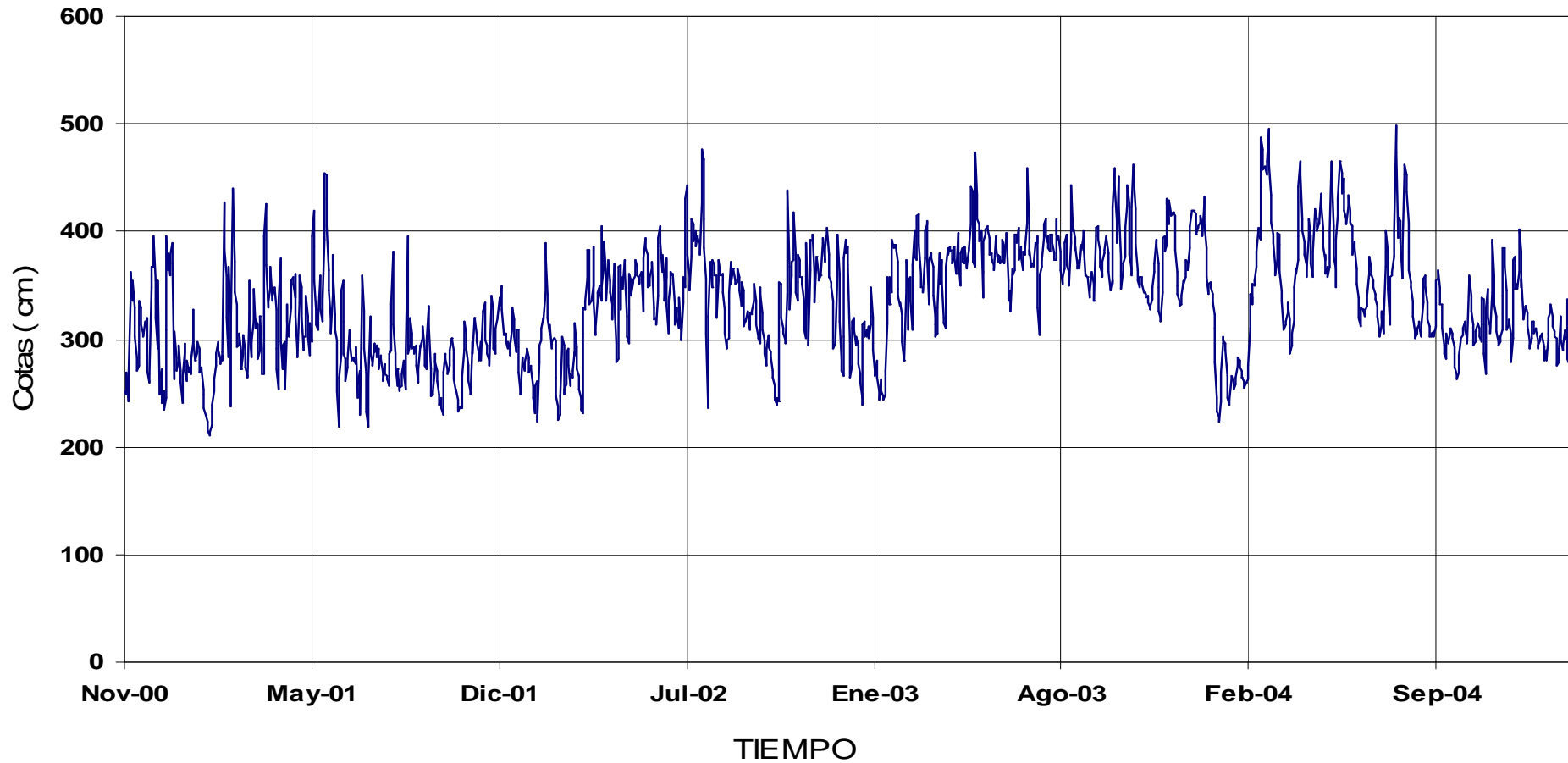
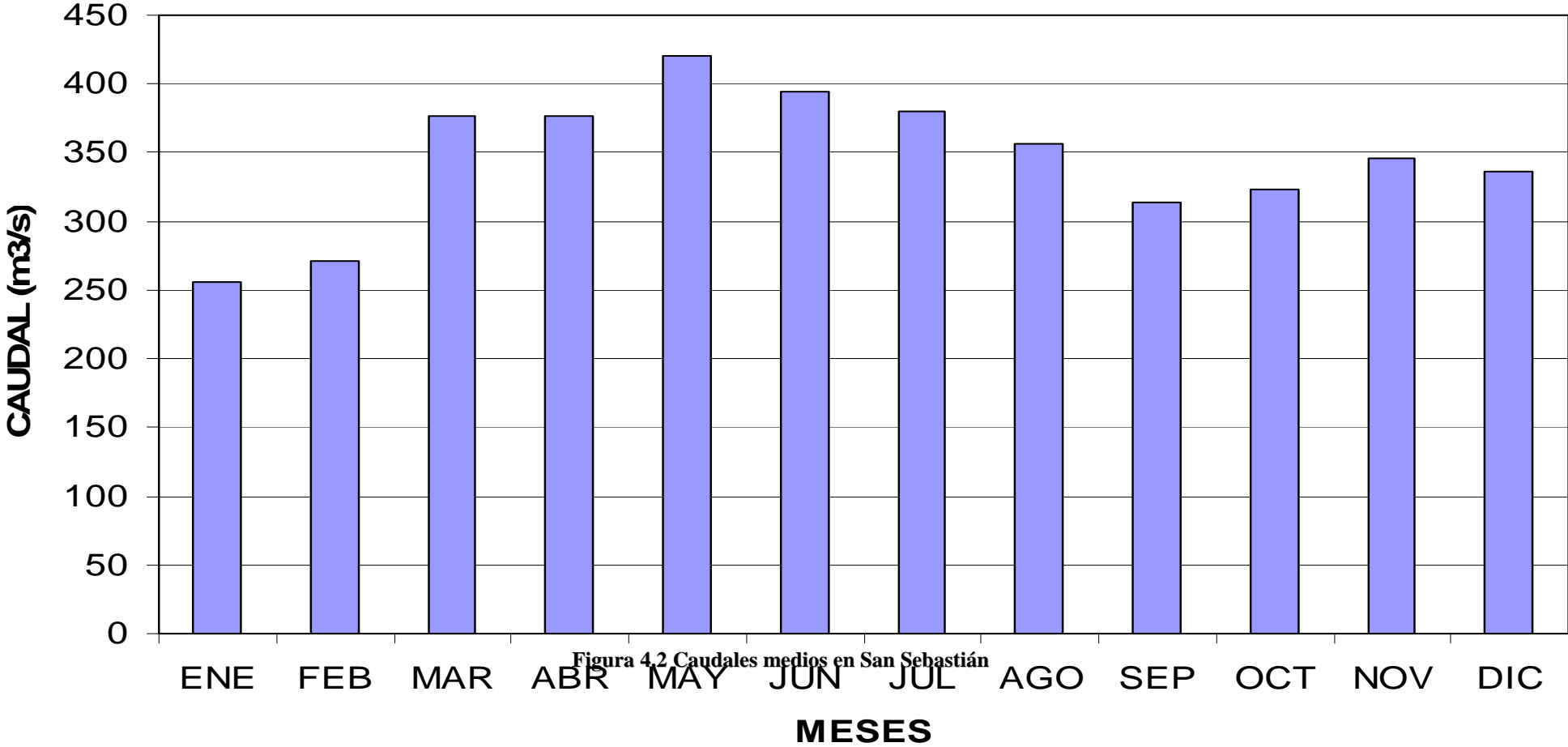
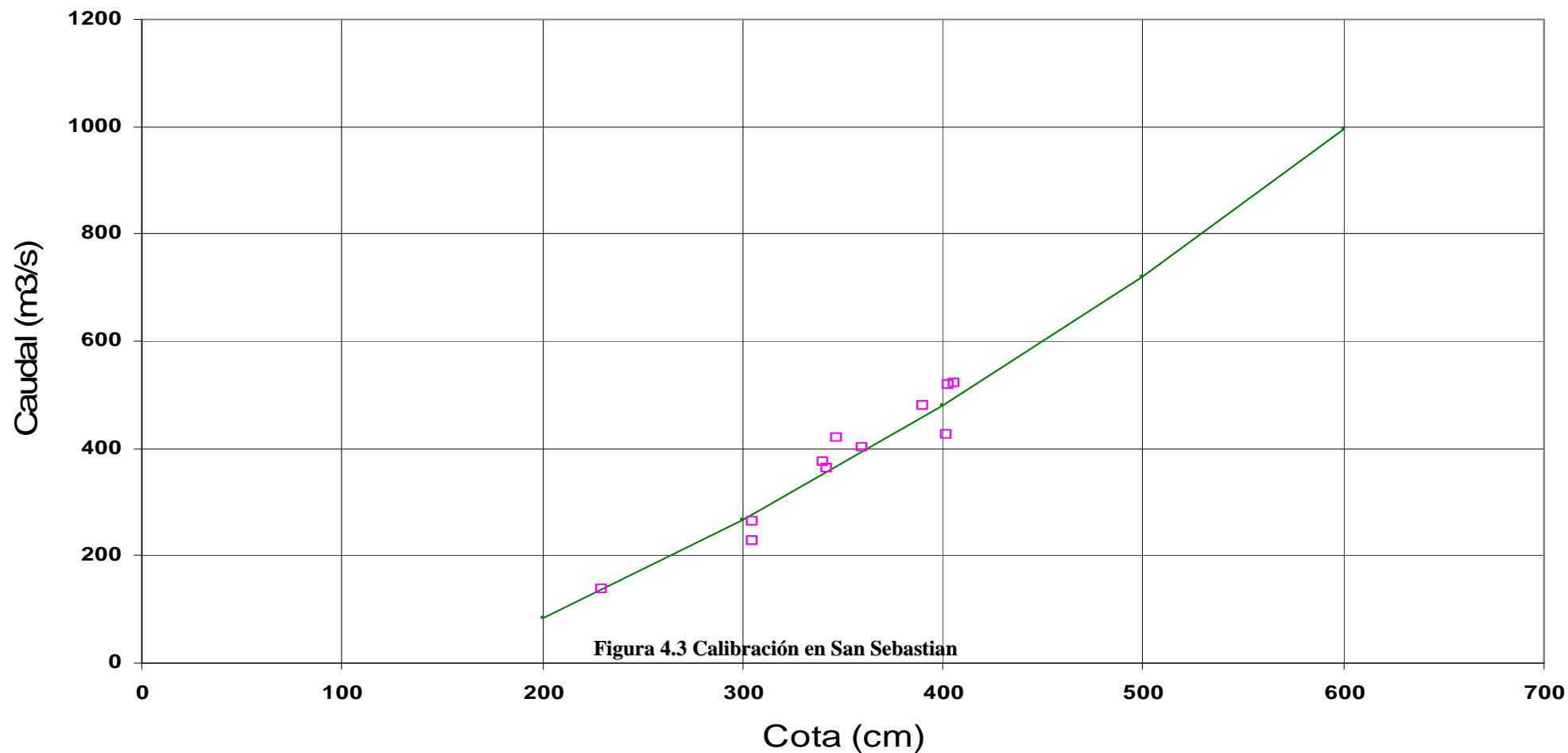


Figura 4.1 Cotas diarias San Sebastián

ESTACIÓN SAN SEBASTIÁN DEL COCA CAUDALES MEDIOS MULTIANUALES 2000 2005



CALIBRACIÓN DE LA ESTACIÓN SAN SEBASTIAN DEL COCA PERIÓDO 01/01/00 HASTA 01/07/05



ESTACIÓN SAN SEBASTIAN DEL COCA CURVA DE DURACIÓN GENERAL

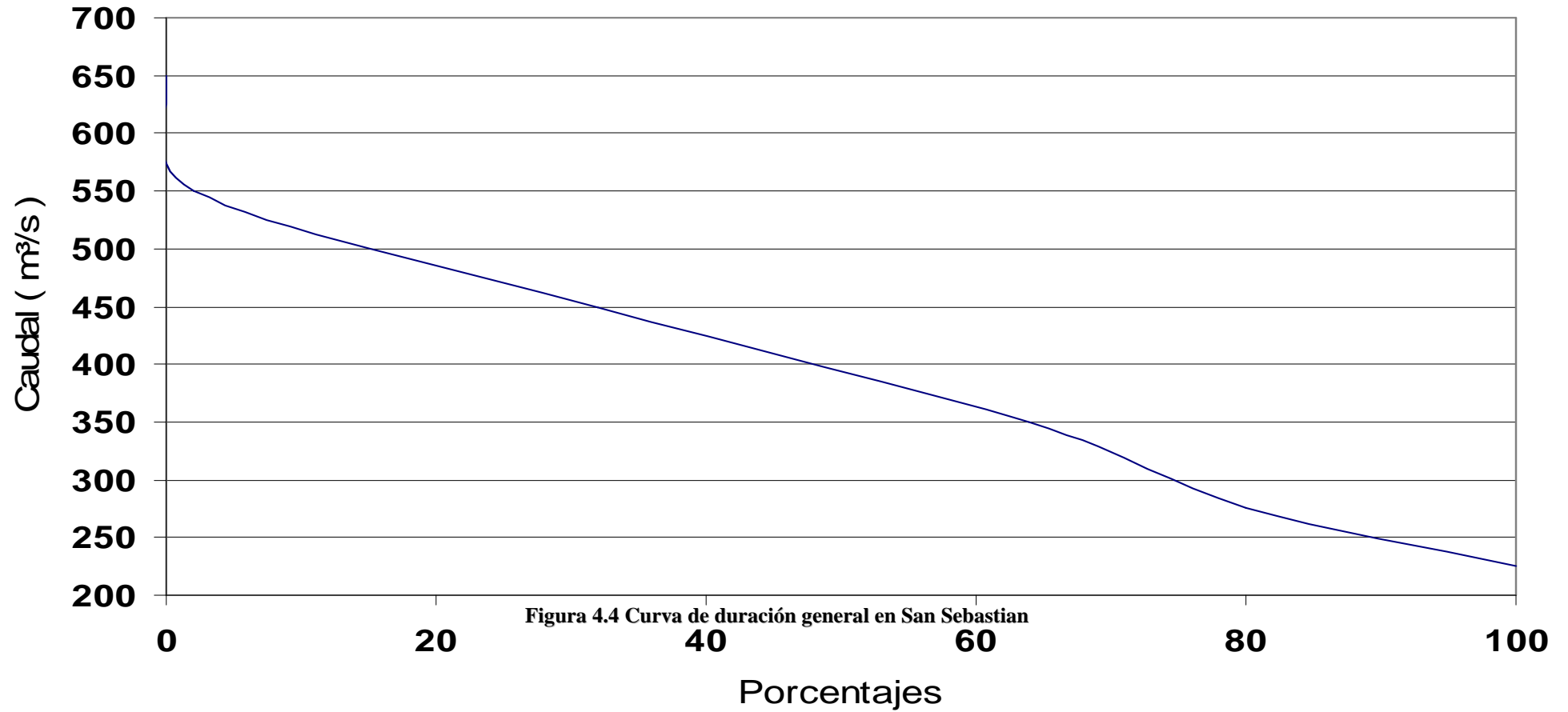


Figura 4.4 Curva de duración general en San Sebastian

ESTACIÓN SAN FRANCISCO EN COCA COTAS DIARIAS

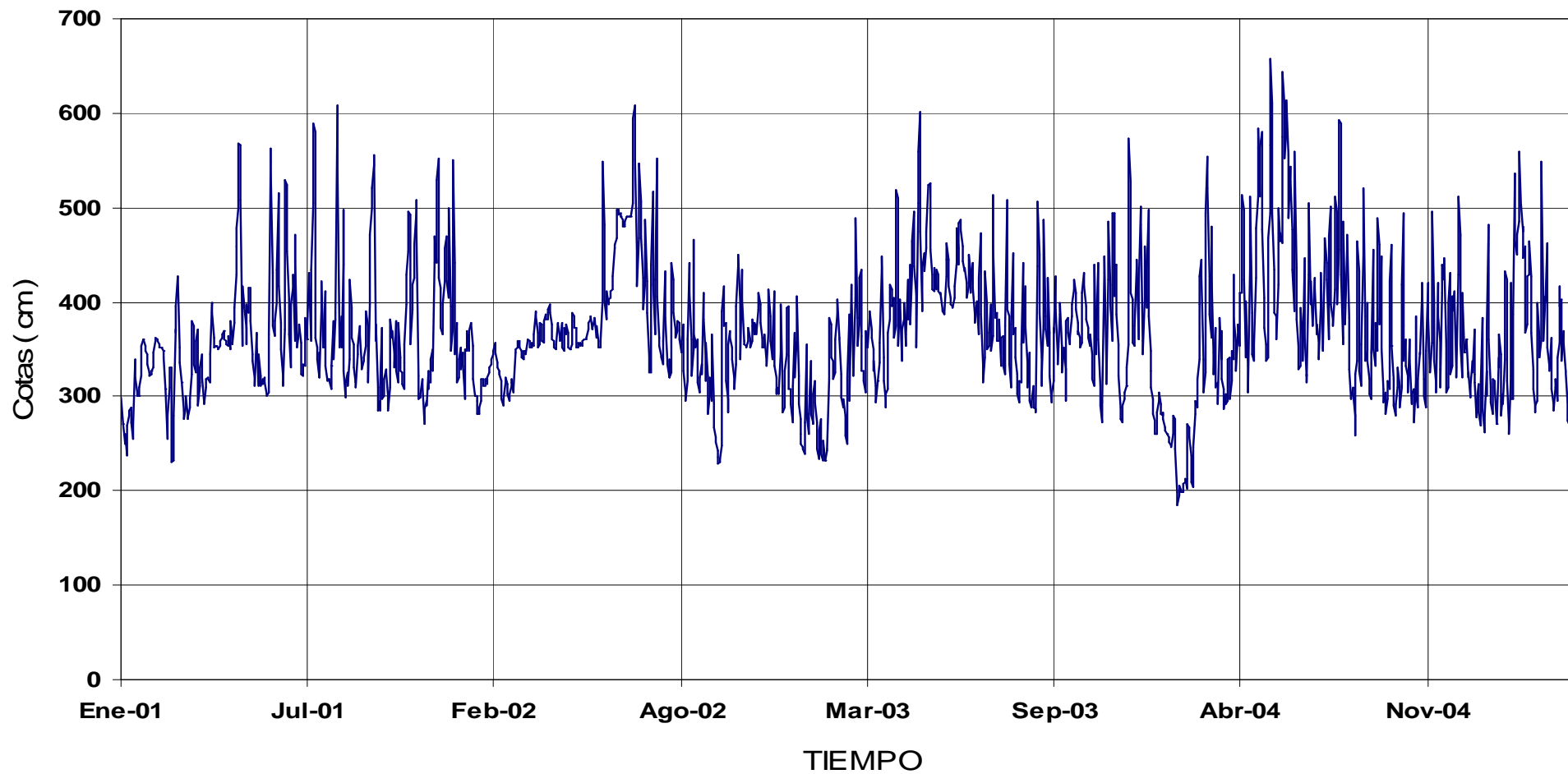


Figura 4.5 Cotas diarias en San Francisco (COCA)

**ESTACIÓN SAN FRANCISCO (COCA)
CAUDALES MEDIOS MULTIANUALES 2001-2005**

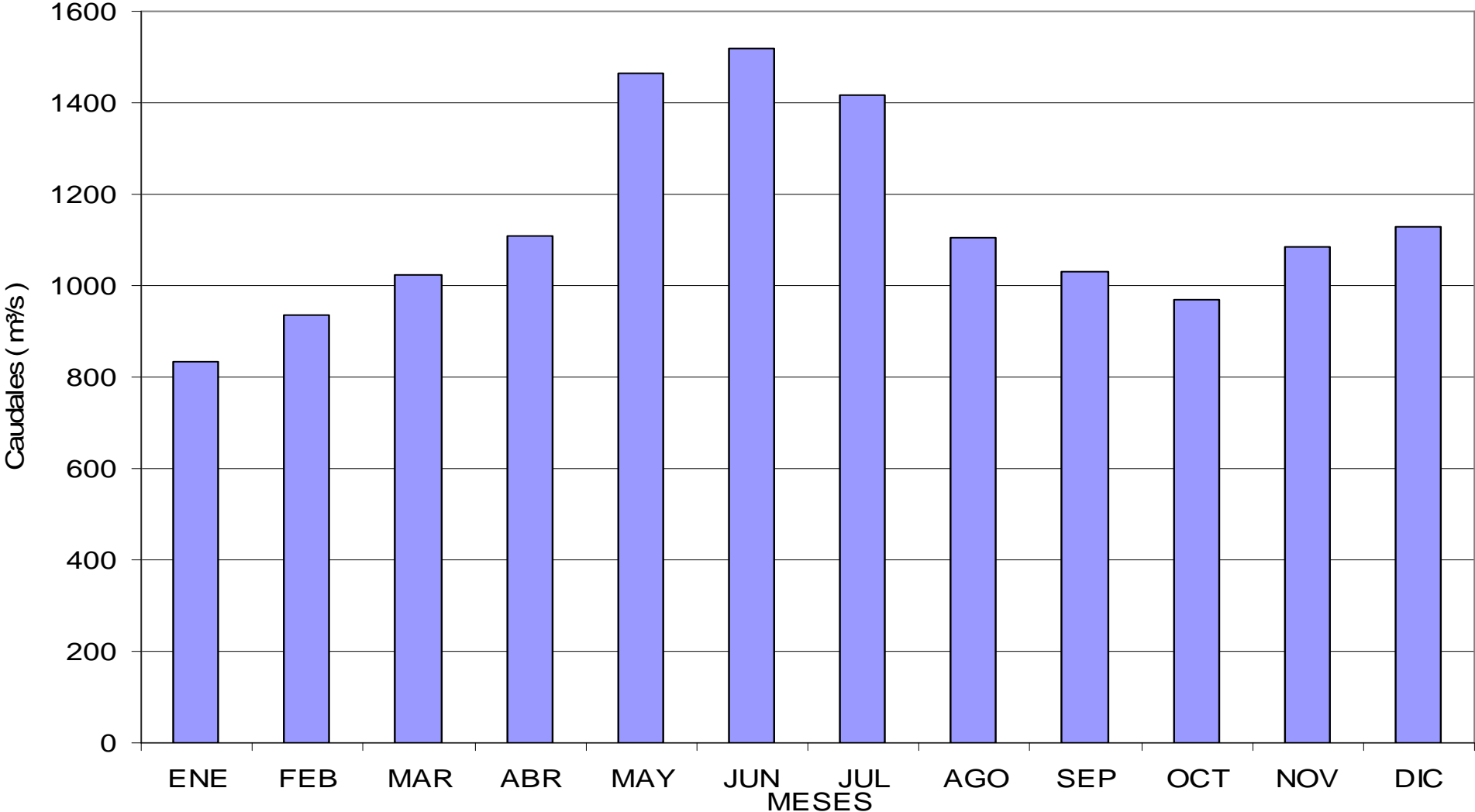


Figura 4.6 Caudales medios en San Francisco (COCA)

**CALIBRACIÓN DE LA ESTACIÓN SAN FRANCISCO (COCA)
PERIODO 01/01/00 HASTA 01/07/05**

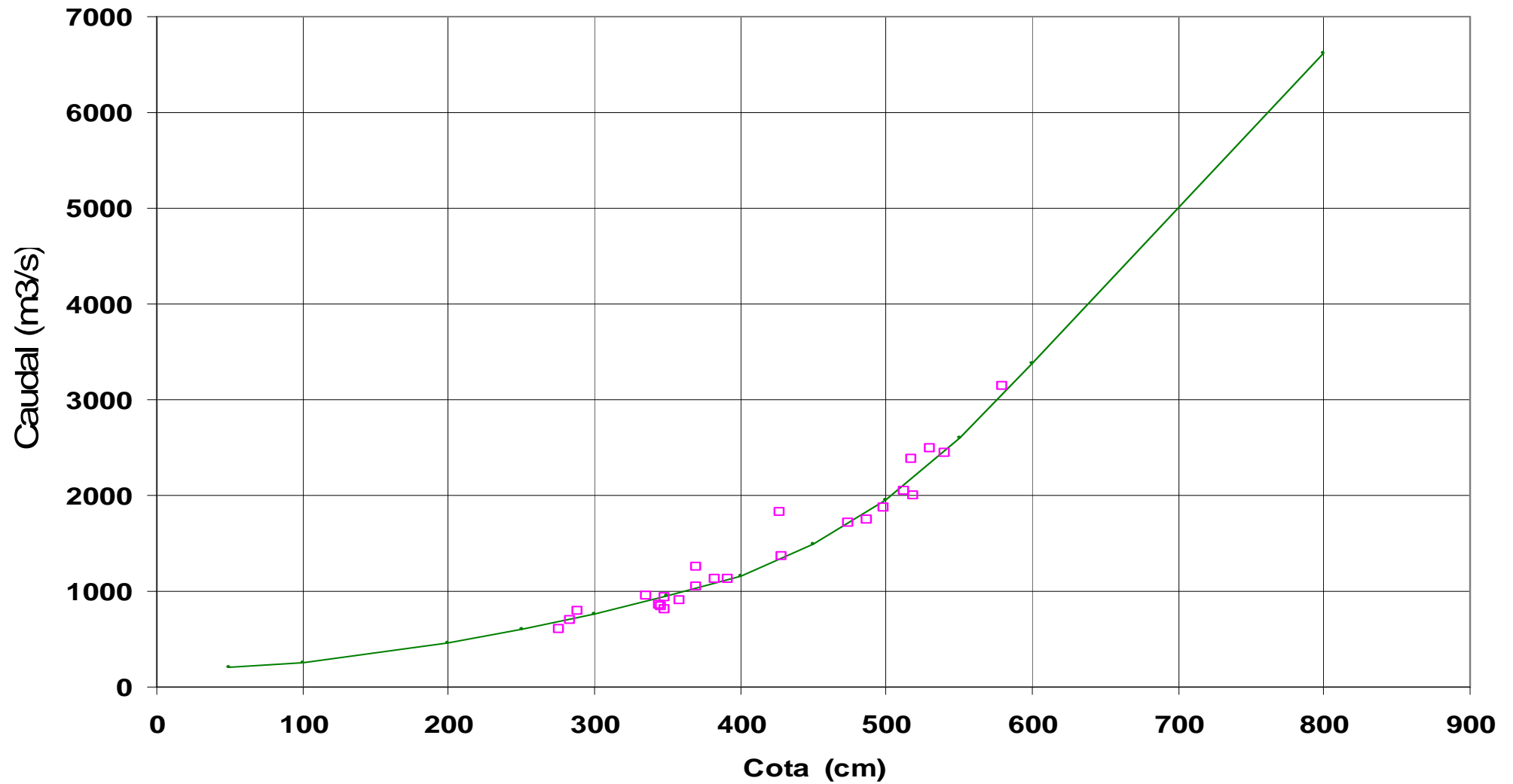


Figura 4.7 Calibración en San Francisco (COCA)

**ESTACIÓN SAN FRANCISCO (COCA)
CURVA DE DURACIÓN GENERAL**

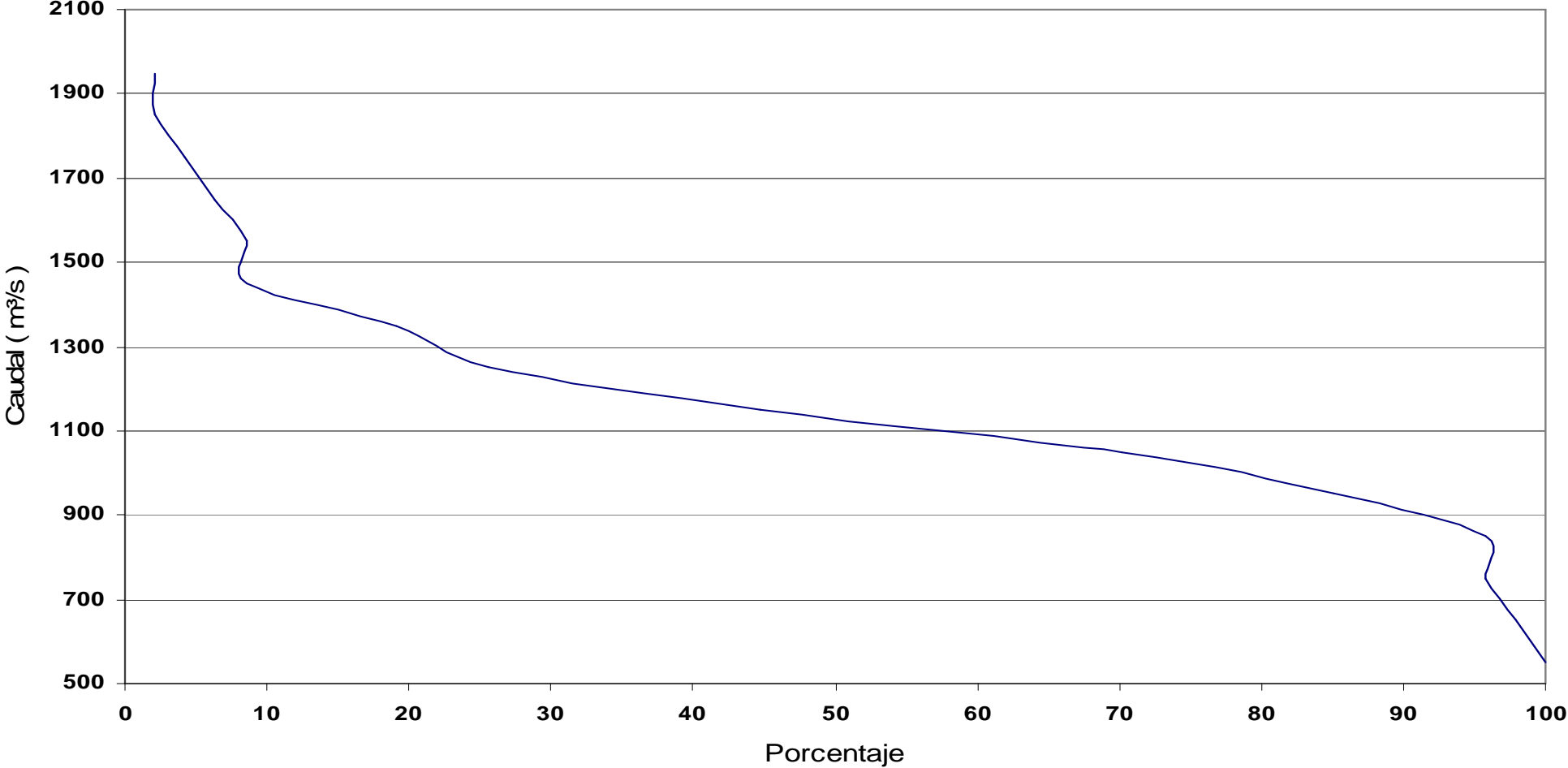


Figura 4.8 Curva de duración de San Francisco (COCA)

**ESTACIÓN JATUNYACU D.J. ILOCULLIN
COTAS DIARIAS**

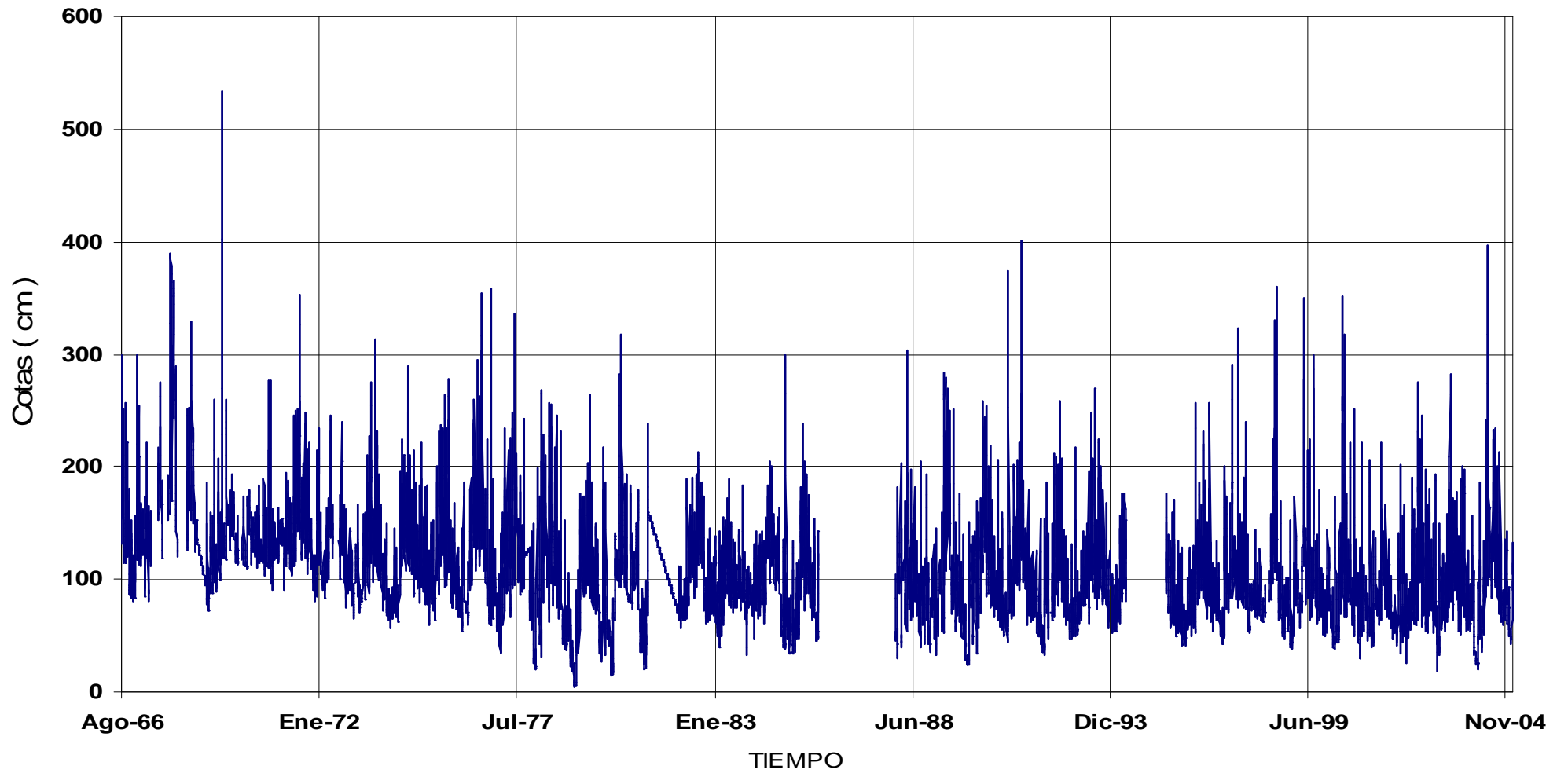


Figura 4.9 Cotas diarias en Jatunyacu

ESTACIÓN JATUNYACU D.J. ILOCULLIN

CAUDALES MEDIOS MULTIANUALES 1966-2004

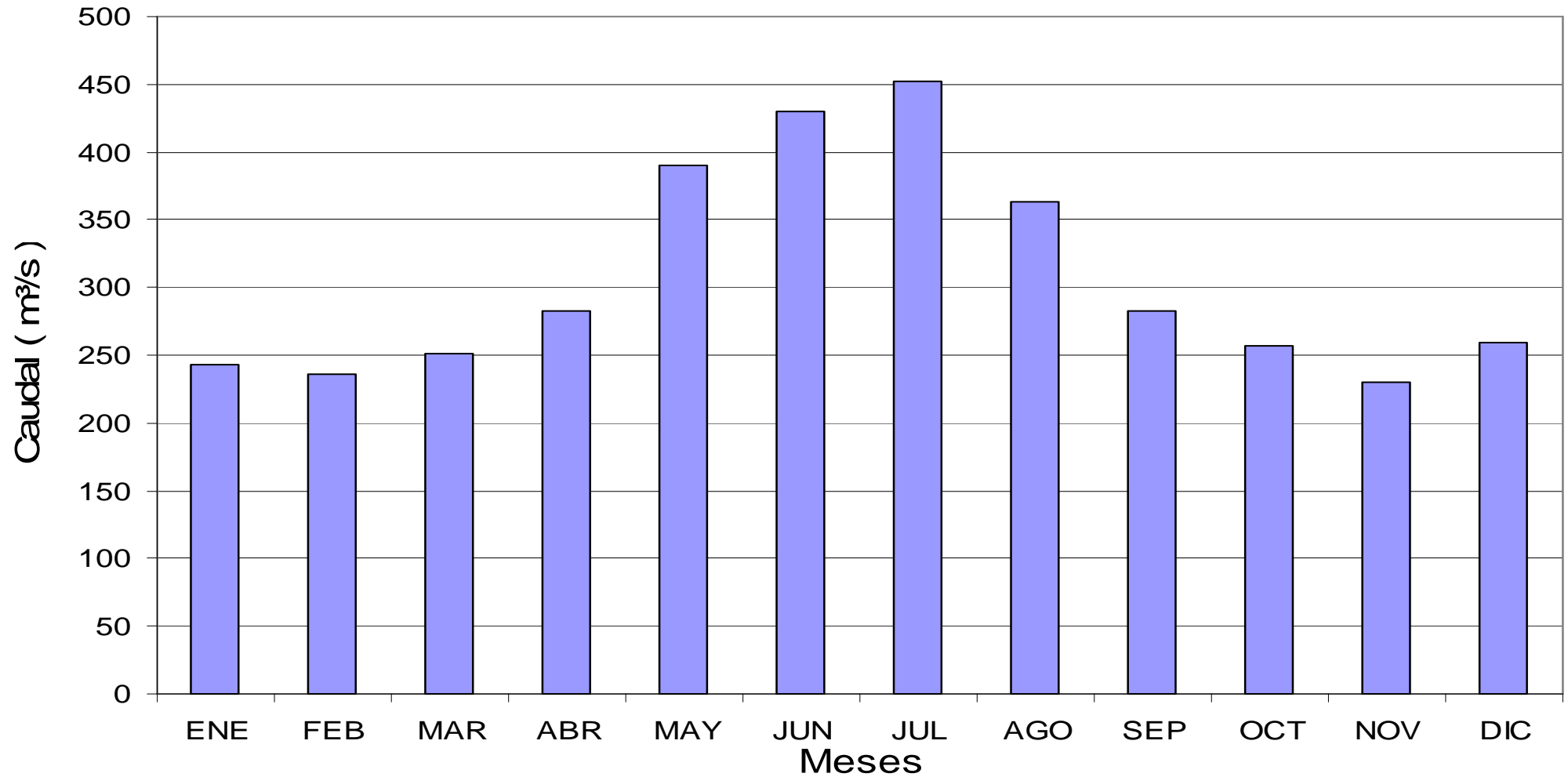


Figura 4.10 Caudales medios en Jatunyacu

CALIBRACIÓN DE LA ESTACIÓN JATUNYACU D.J. ILOCULLIN PERIODO 01/08/66 HASTA 01/11/04

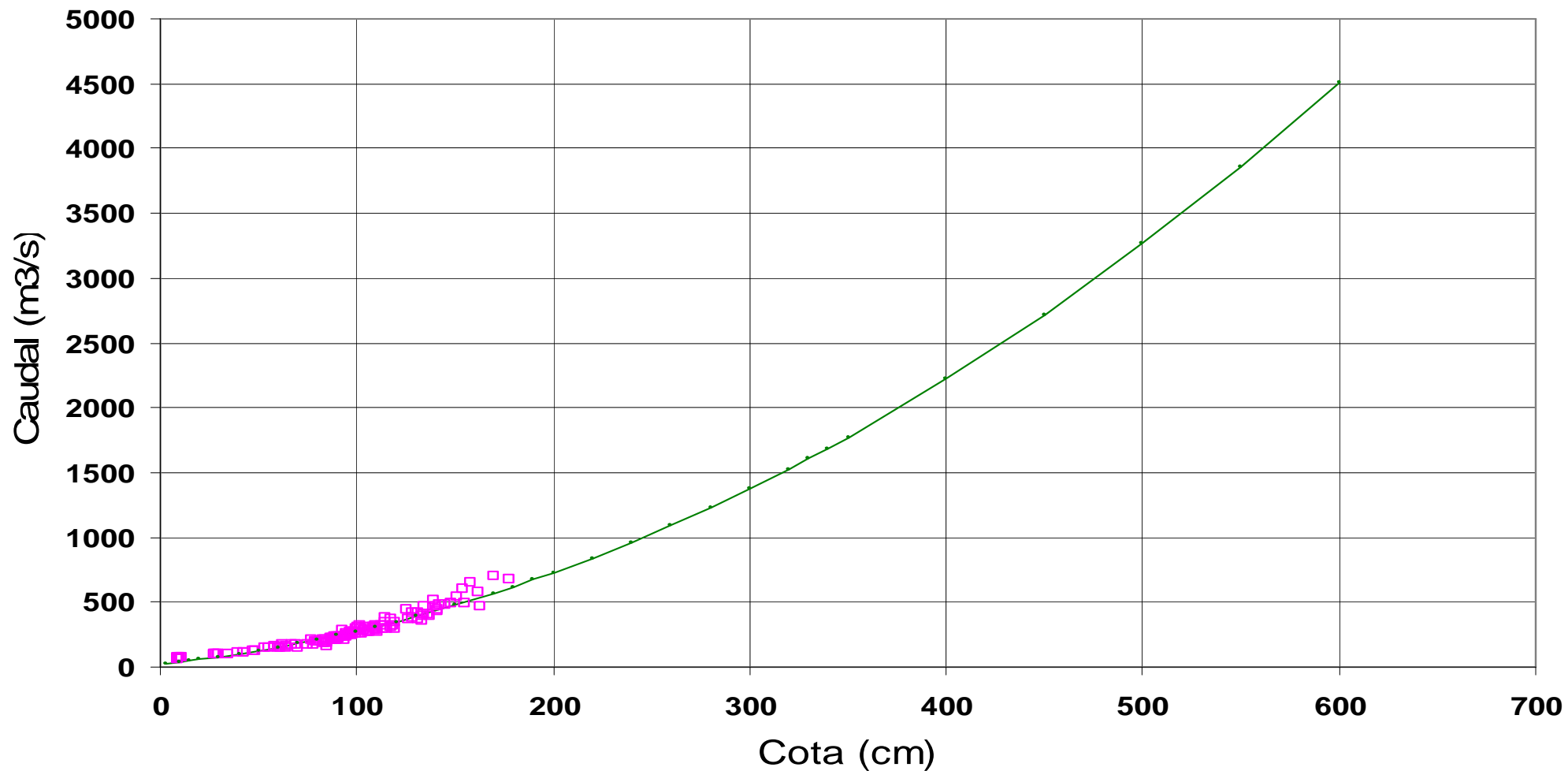


Figura 4.11 Calibración en Jatunyacu

**ESTACIÓN JATUNYACU D.J. ILOCULLIN
CURVA DE DURACIÓN GENERAL**

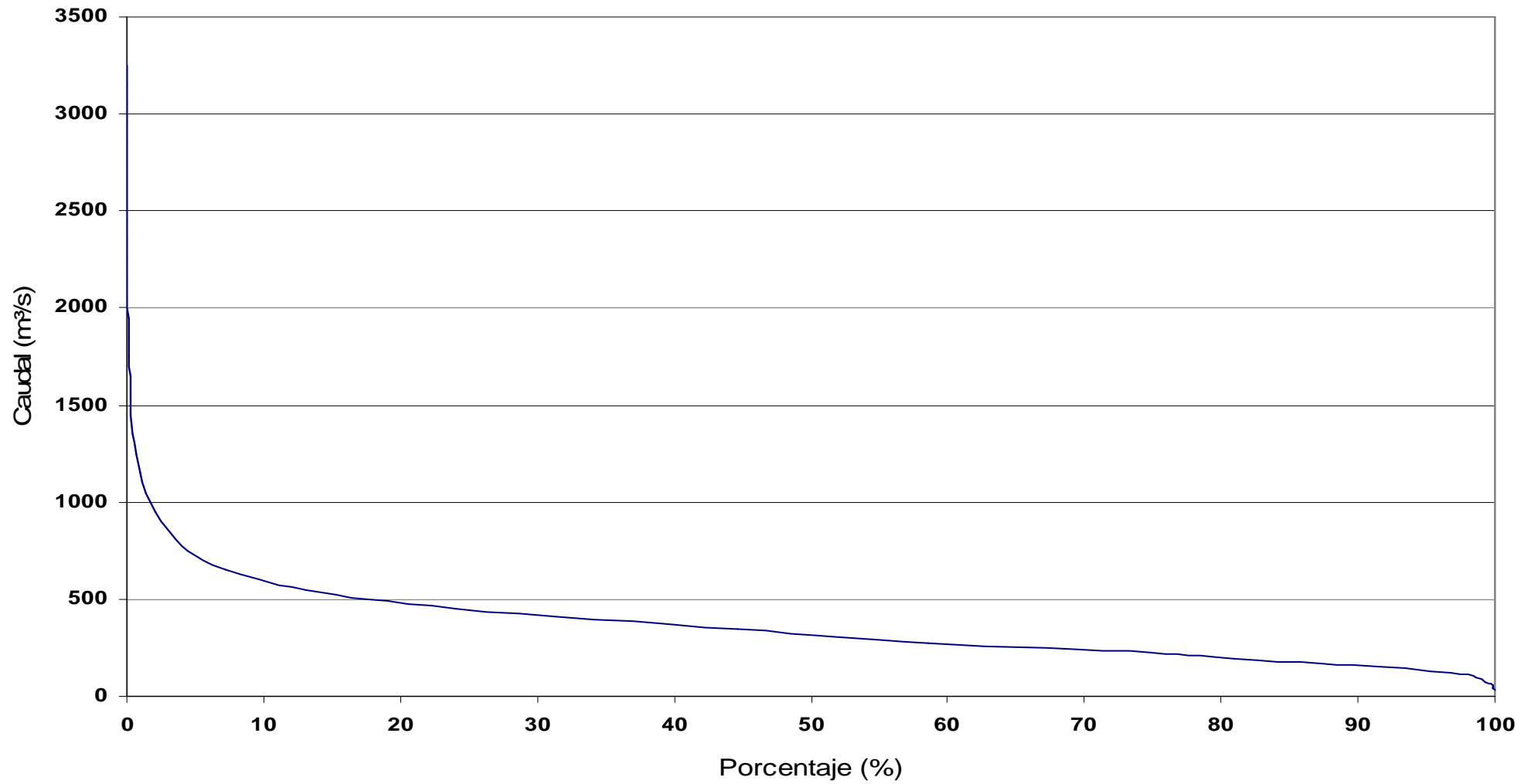


Figura 4.12 Curva de duración general en Jatunyacu

ESTACIÓN QUIJOS EN BAEZA COTAS DIARIAS

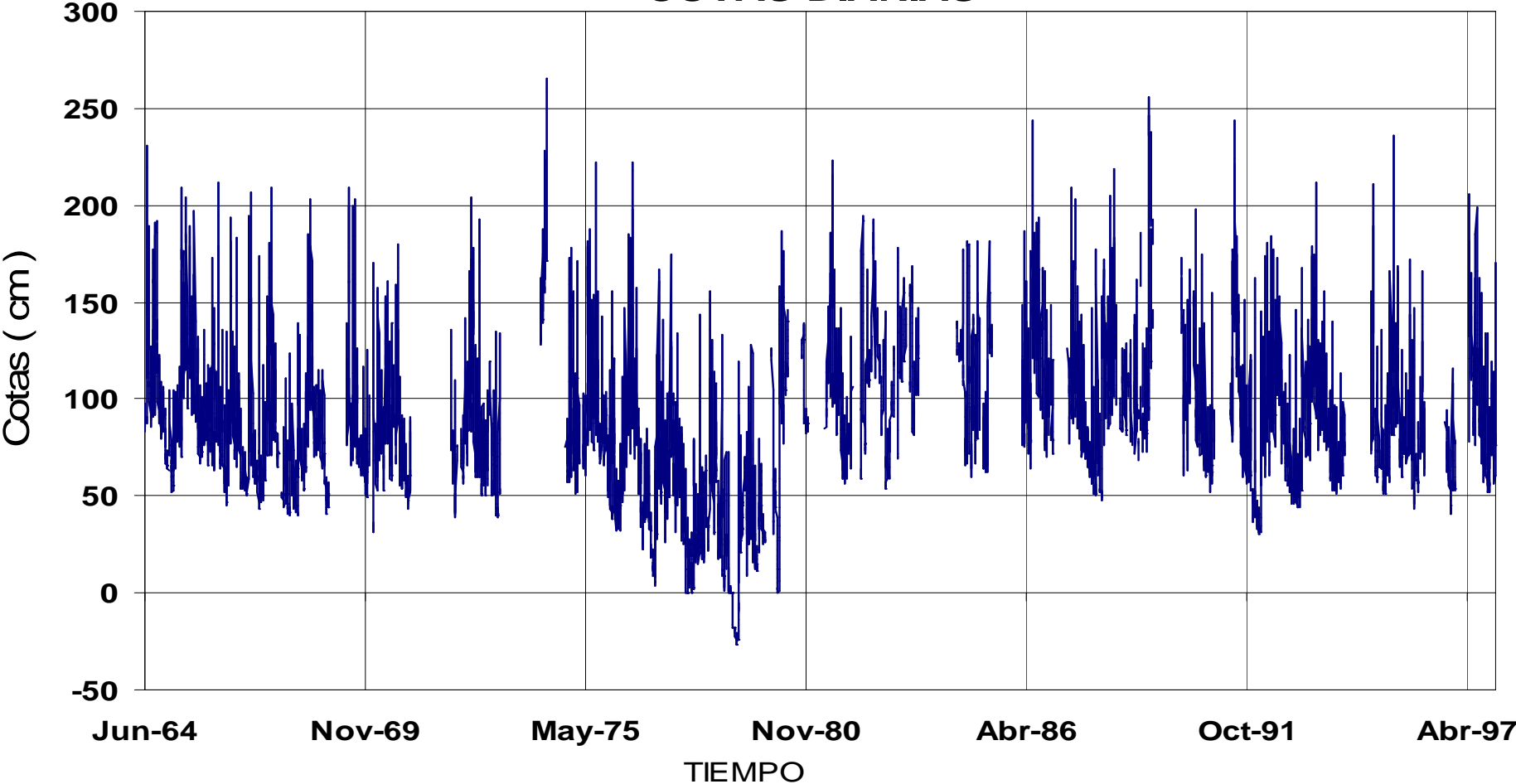


Figura 4.13 Cotas diarias Baeza

**ESTACIÓN QUIJOS EN BAEZA
CAUDALES MEDIOS MULTIANUALES (1964-1997)**

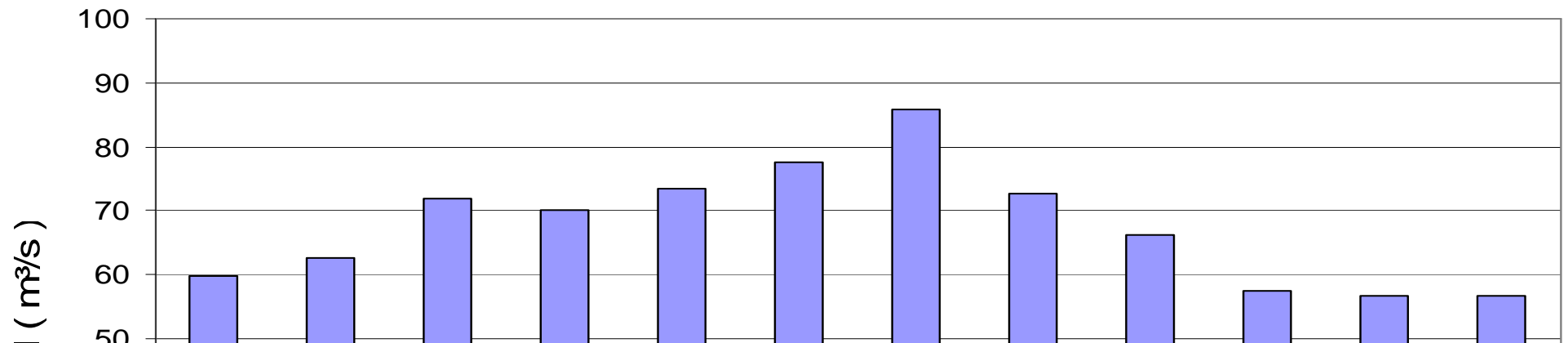


Figura 4.14 Caudales medios en Baeza

**CALIBRACIÓN DE LA ESTACIÓN QUIJOS EN BAEZA
PERIODO 20/11/79 HASTA 01/05/97**

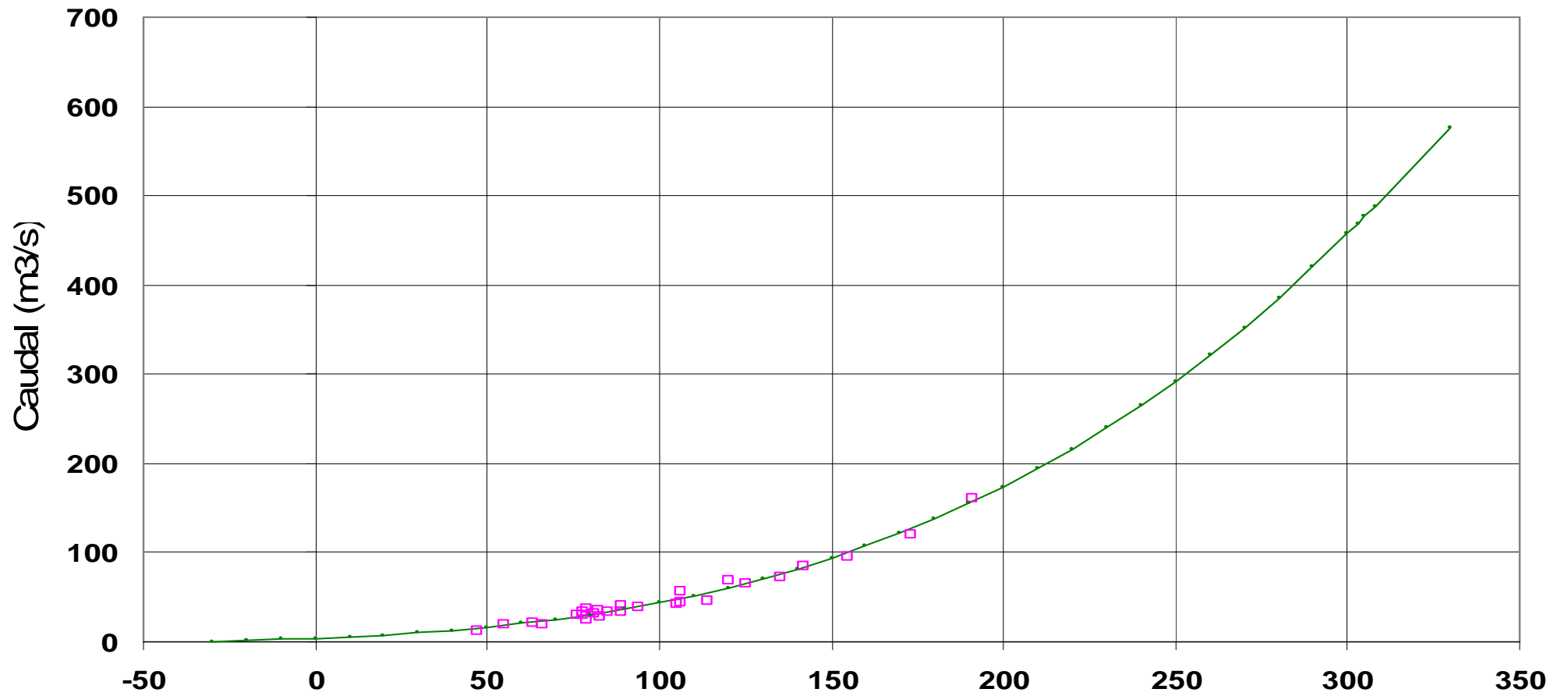


Figura 4.15 Calibración en Baeza

ESTACIÓN QUIJOS EN BAEZA CURVA DE DURACIÓN GENERAL

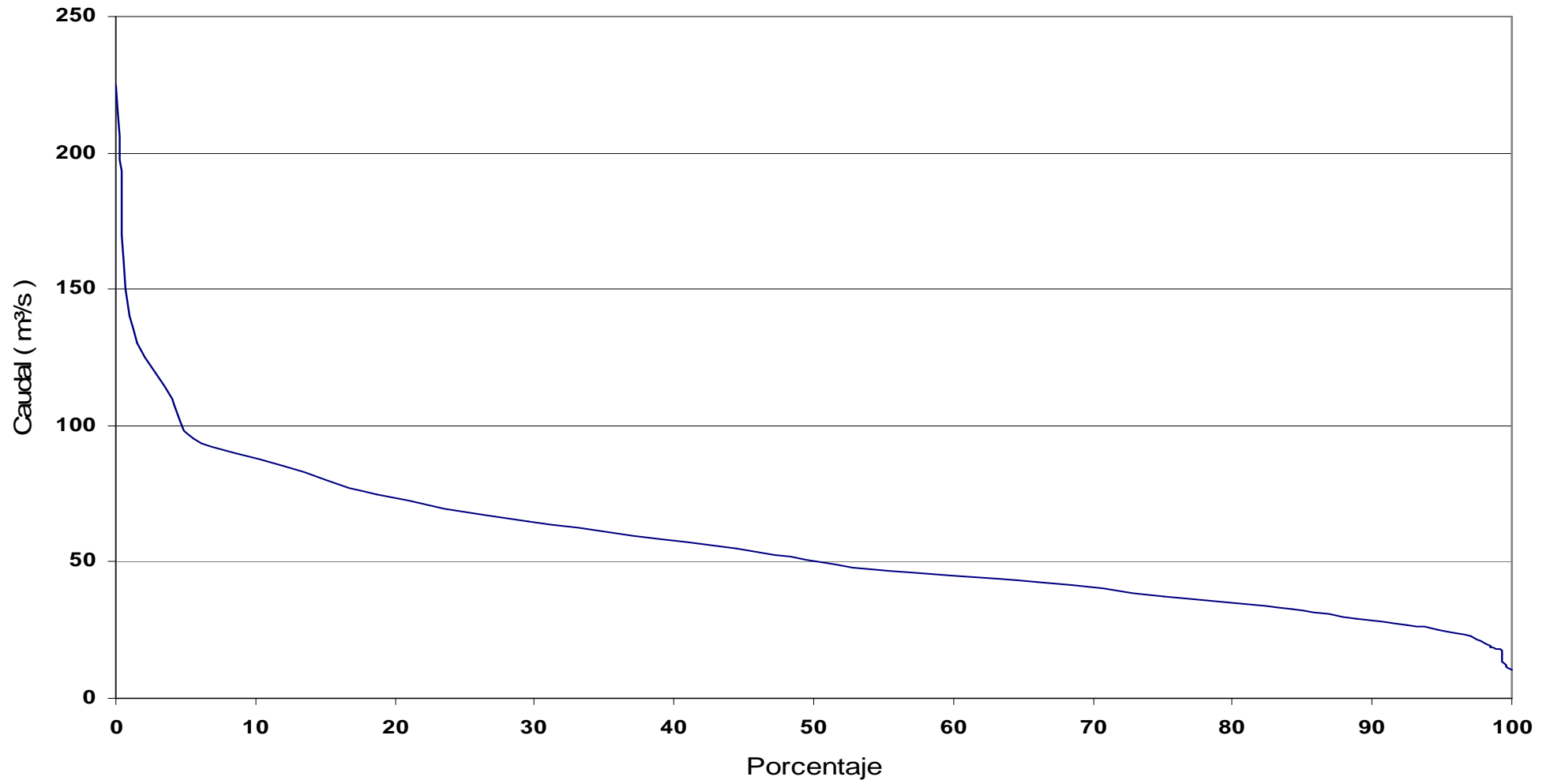


Figura 4.16 Curva de duración general en Baeza

ESTACIÓN QUIJOS D.J. OYACACHI

COTAS DIARIAS

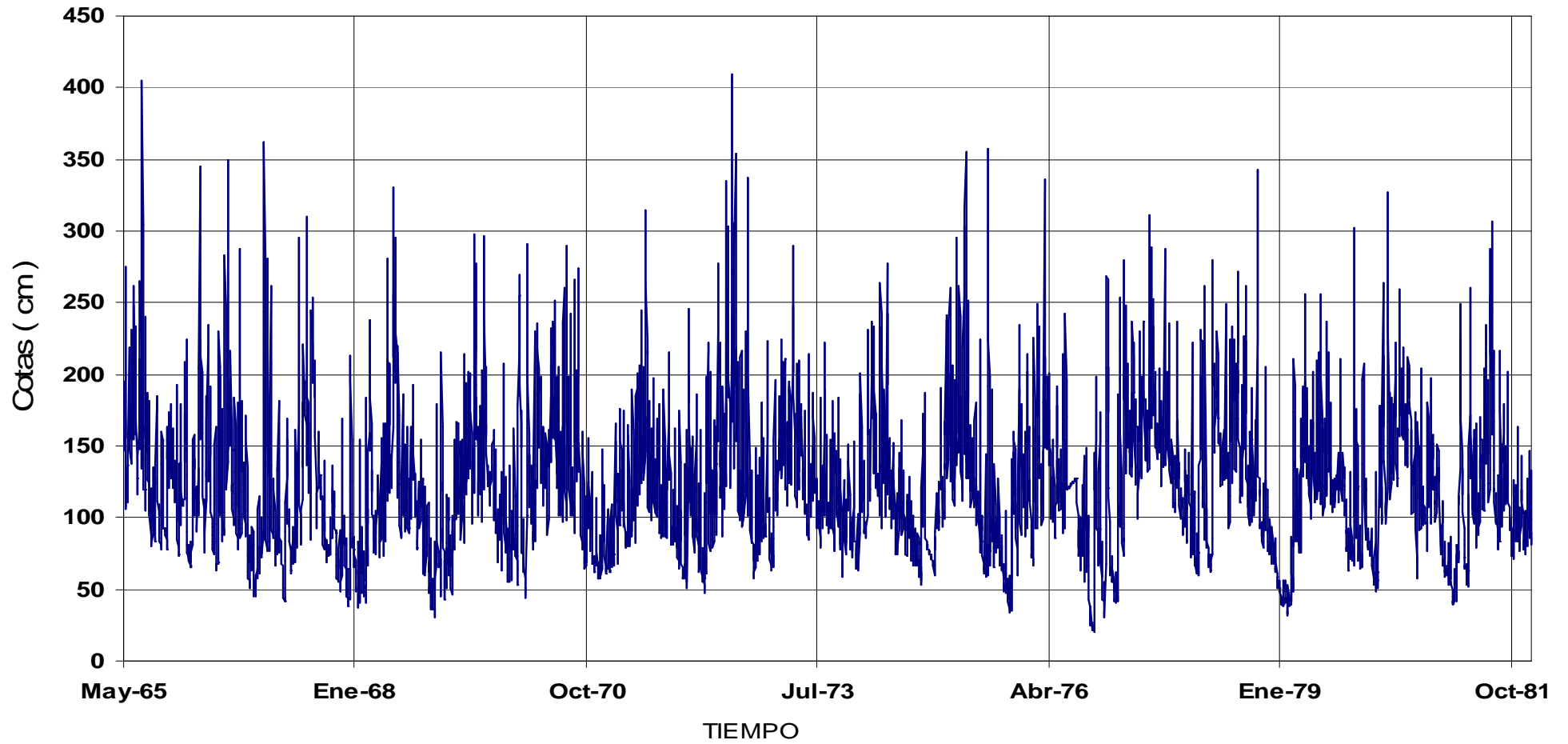


Figura 4.17 Cotas diarias en Oyacachi

ESTACIÓN QUIJOS D.J. OYACACHI
CAUDALES MEDIOS MENSUALES MULTIANUALES

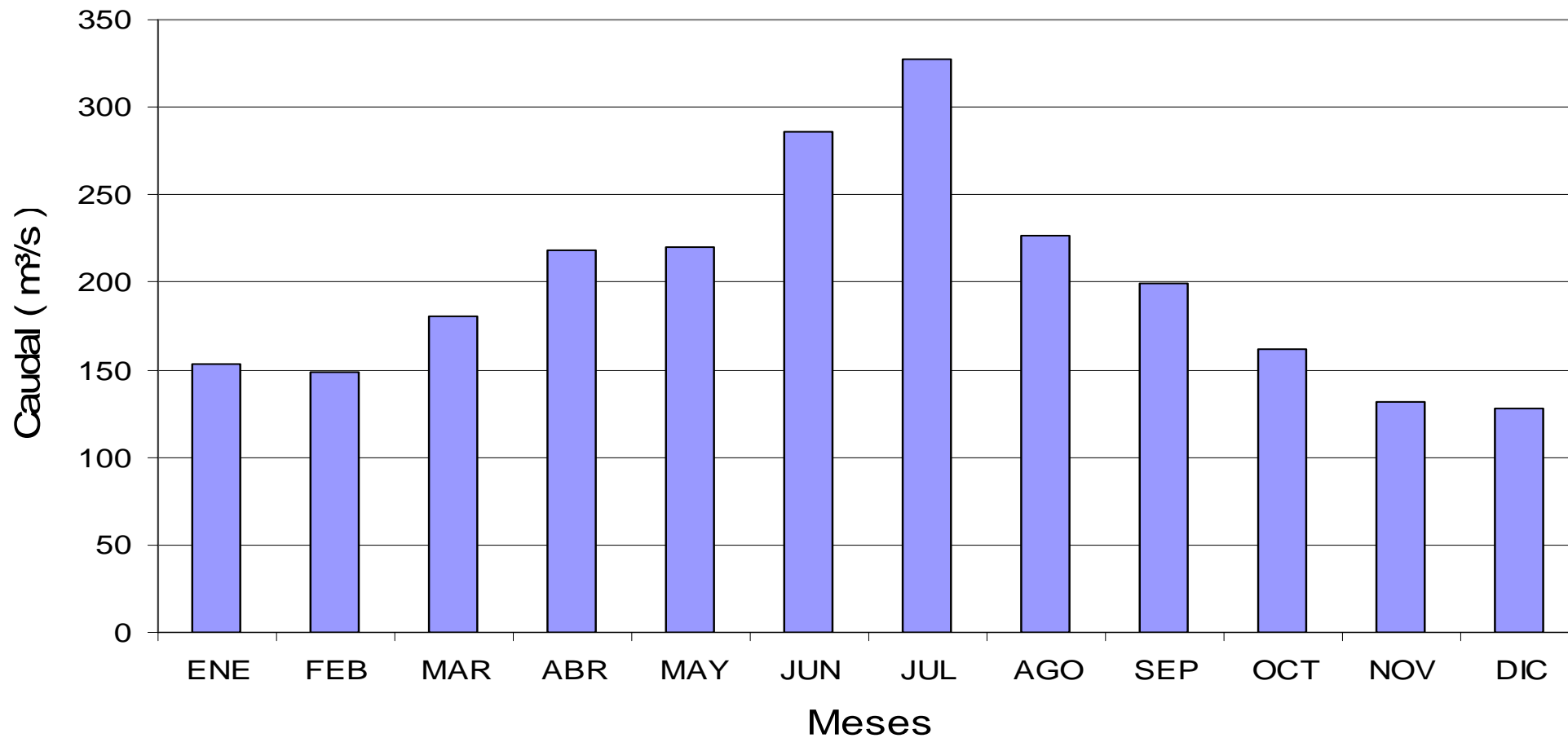


Figura 4.18 Caudales medios en Oyacachi

**CALIBRACIÓN DE LA ESTACIÓN QUIJOS D.J. OYACACHI
PERIODO 06/03/78 HASTA 01/11/81**

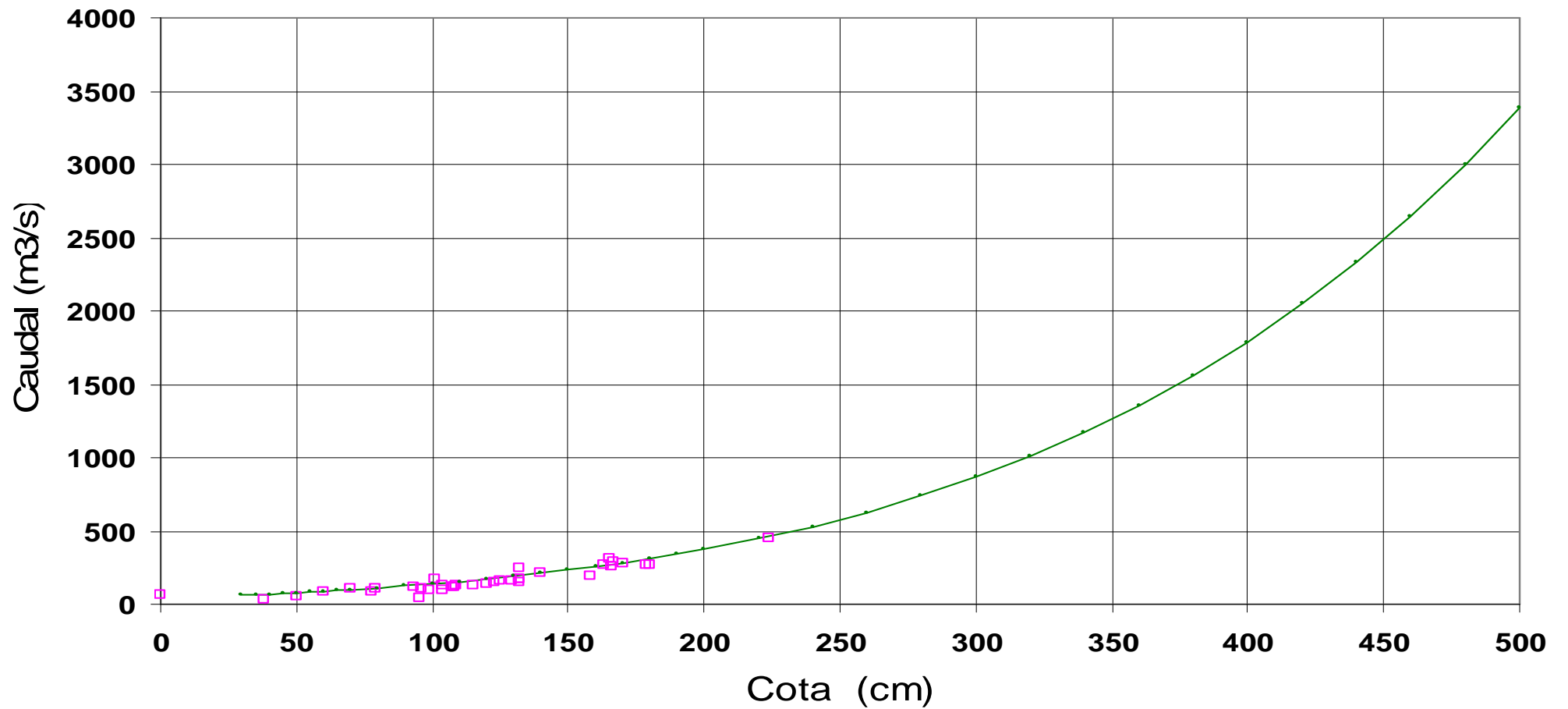


Figura 4.19 Calibración en Oyacachi

**ESTACIÓN QUIJOS D.J. OYACACHI
CURVA DE DURACIÓN GENERAL**

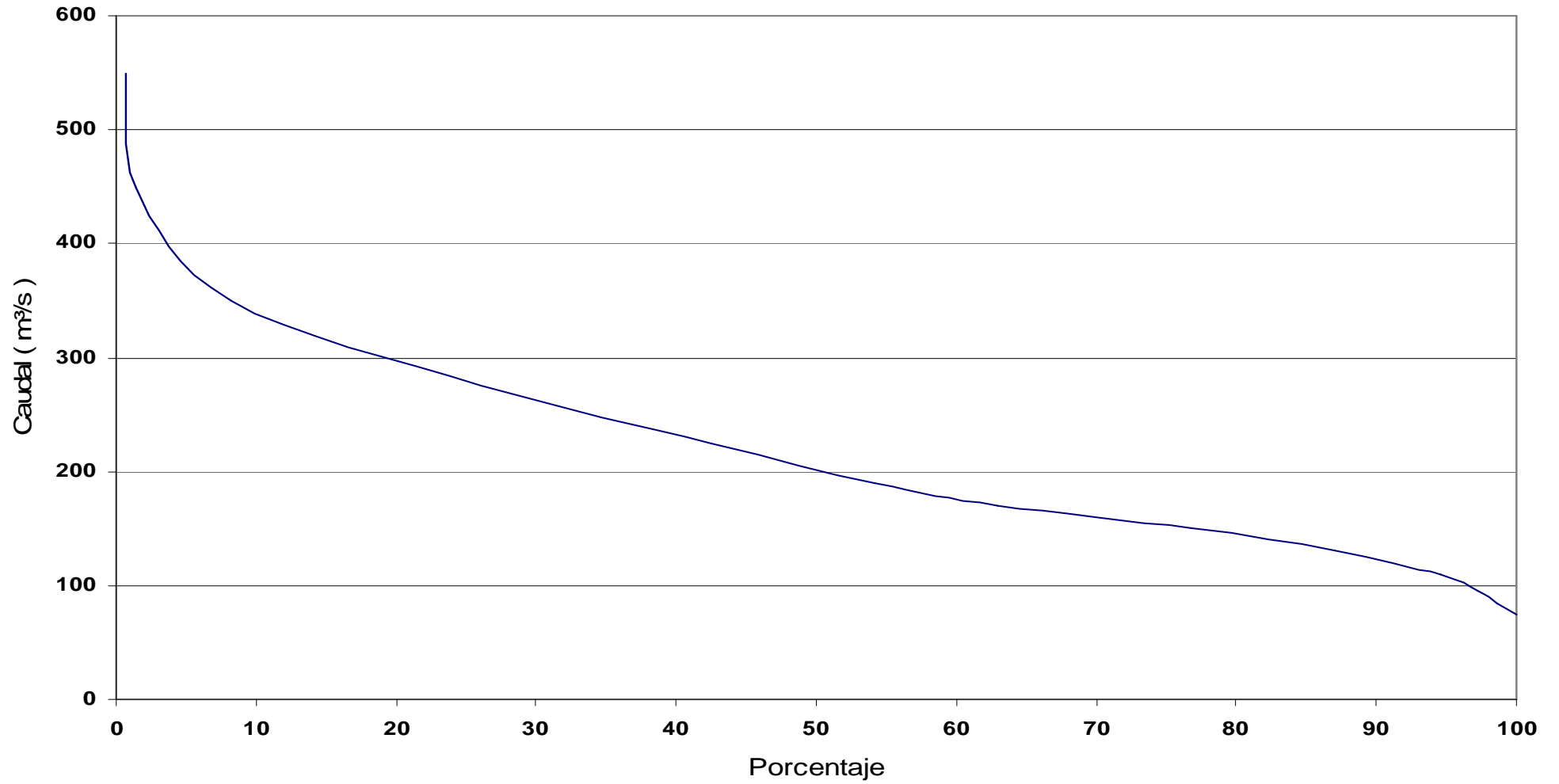


Figura 4.20 Curva de duración general en Oyacachi

ESTACIÓN MISAHUALLI EN COTUNDO COTAS DIARIAS

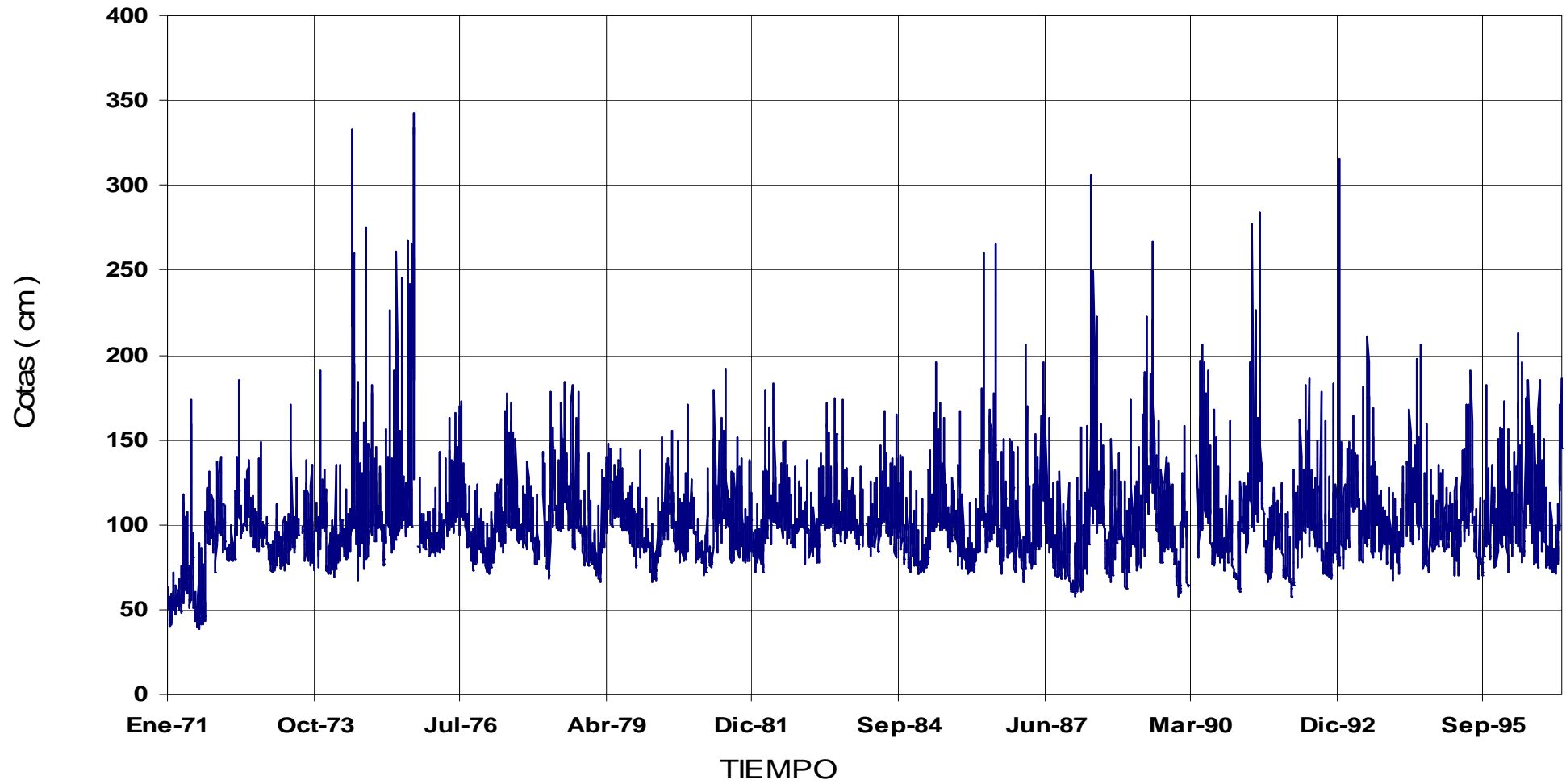


Figura 4.21 Cotas diarias en Misahualli

**ESTACIÓN MISAHUALLI EN COTUNDO
CAUDALES MEDIOS MENSUALES MULTIANUALES (1971-2002)**

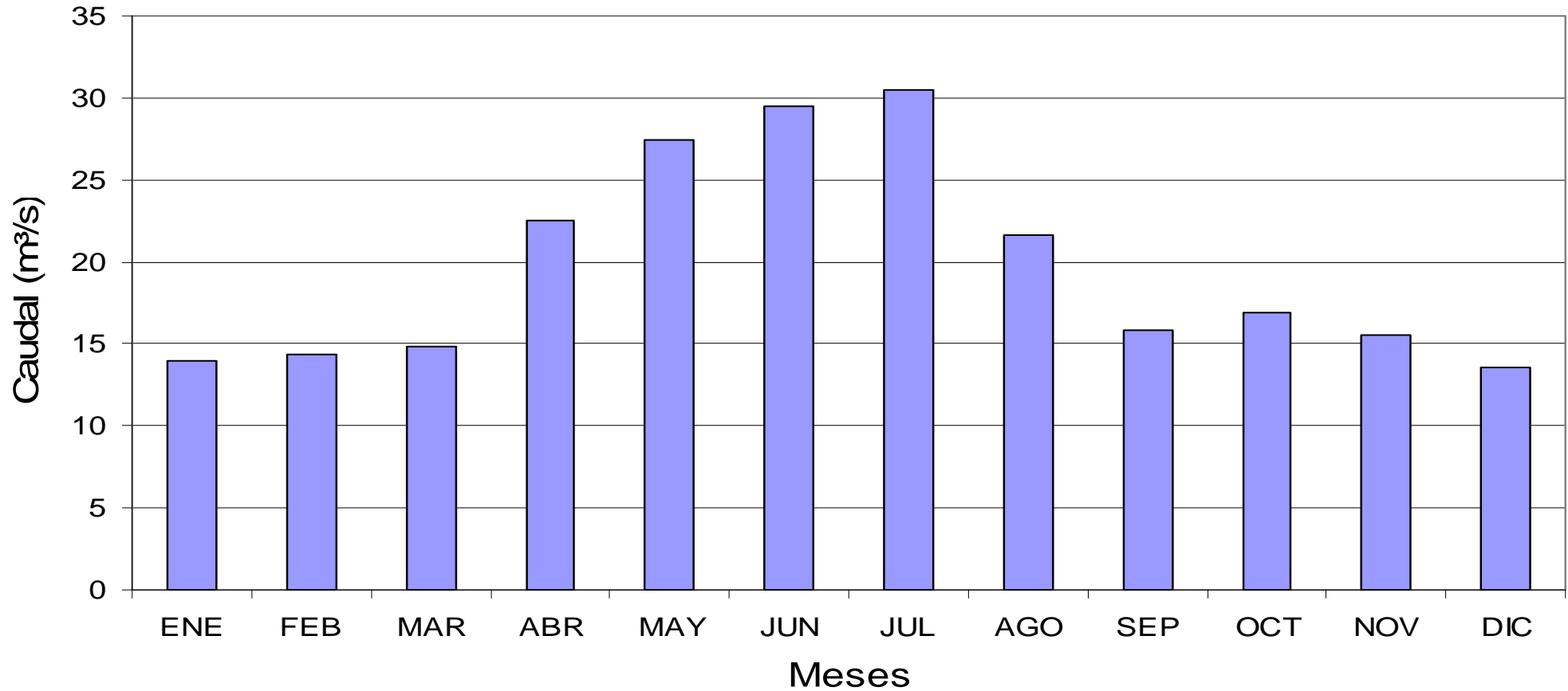


Figura 4.22 Caudales medios en Misahualli

CALIBRACIÓN DE LA ESTACIÓN MISAHUALLI EN COTUNDO PERIODO 05/11/71 HASTA 01/09/95

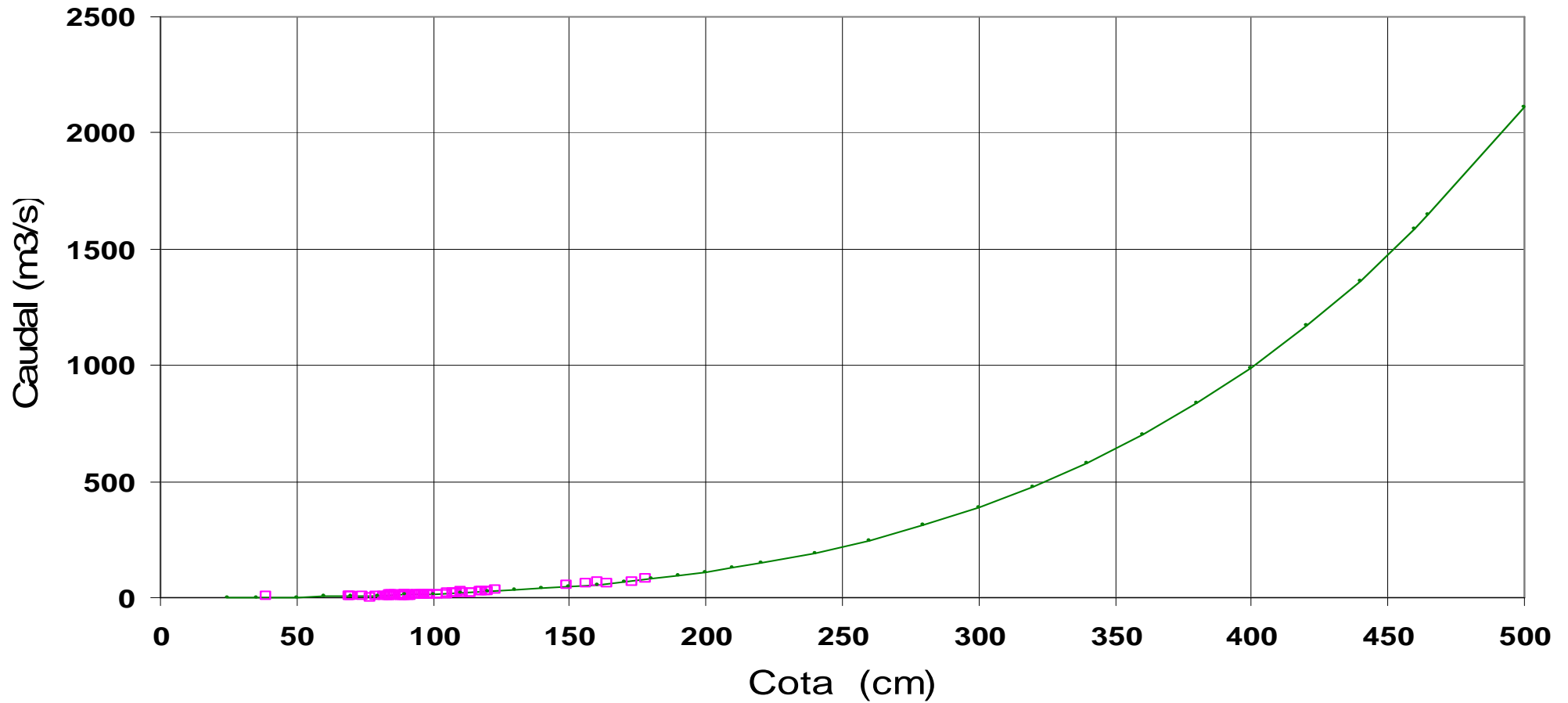


Figura 4.23 Calibración en Misahualli

ESTACIÓN MISAHUALLI EN COTUNDO CURVA DE DURACIÓN GENERAL

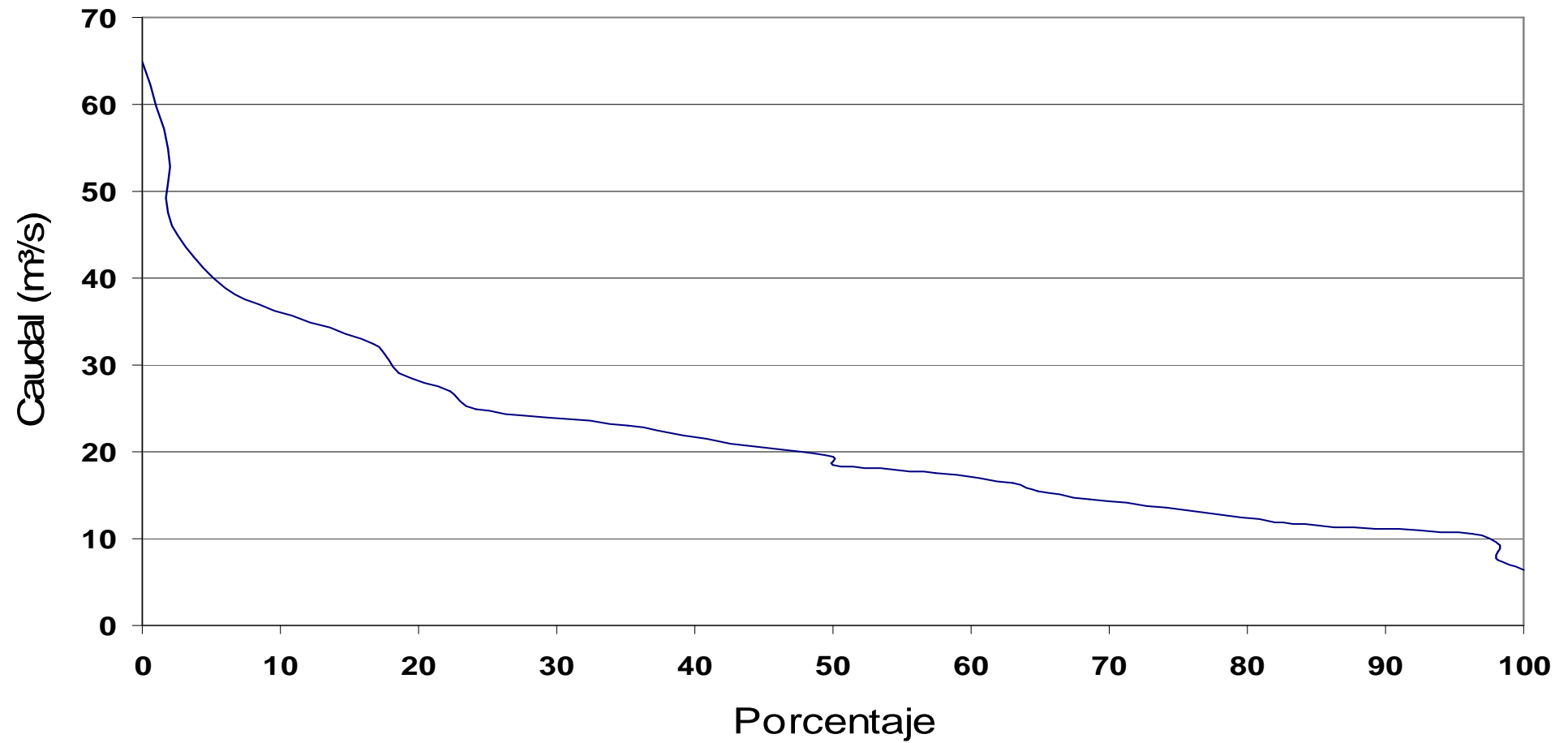


Figura 4.24 Curvas de duración general en Misahualli

ESTACIÓN COSANGA A. J. QUIJOS

COTAS DIARIAS

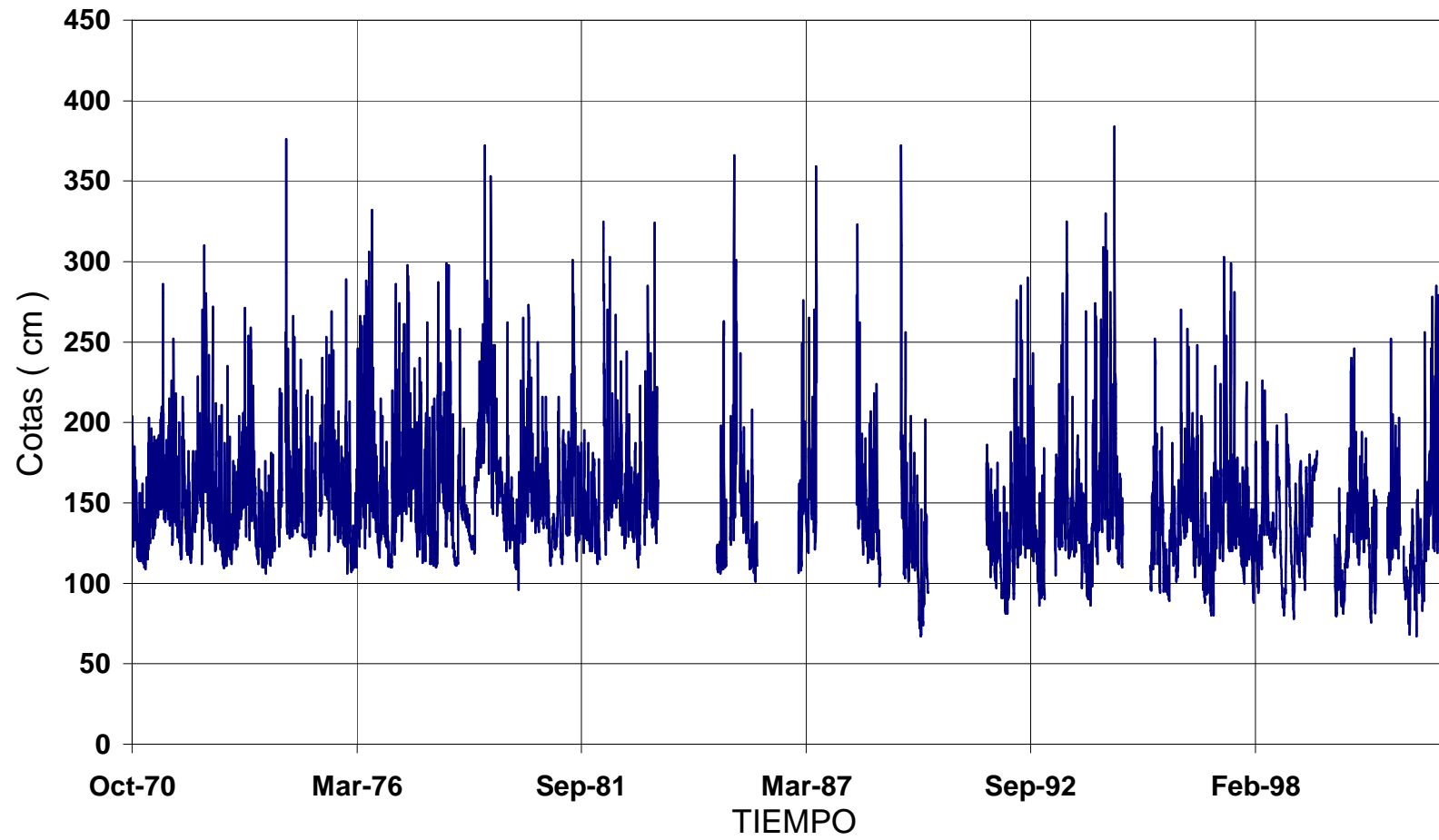


Figura 4.25 Cotas diarias en Cosanga

ESTACIÓN COSANGA A.J. QUIJOS CAUDALES MEDIOS MENSUALES MULTIANUALES

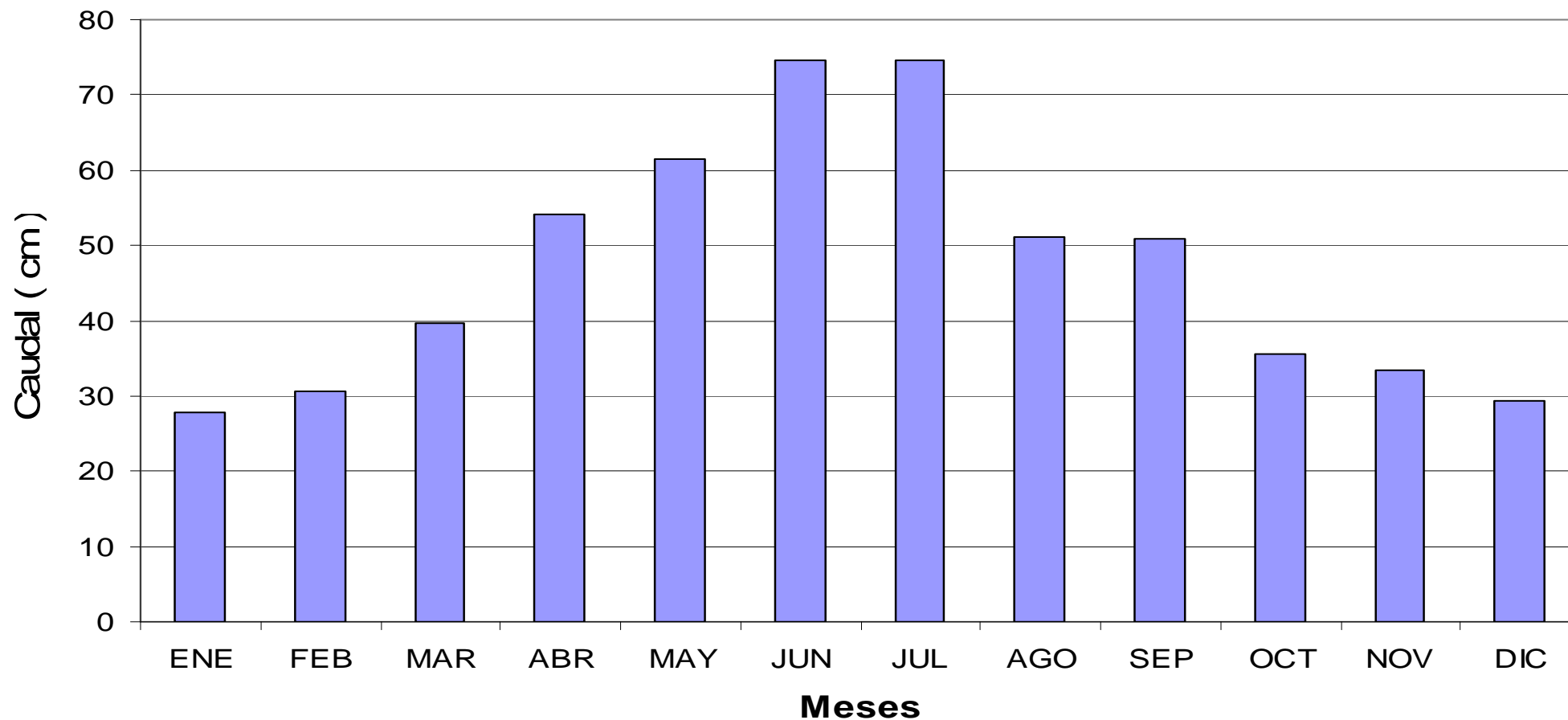


Figura 4.26 Caudales medios en Cosanga

CALIBRACIÓN EN LA ESTACIÓN COSANGA A.J. QUIJOS PERIODO 30/06/89 HASTA 07/02/97

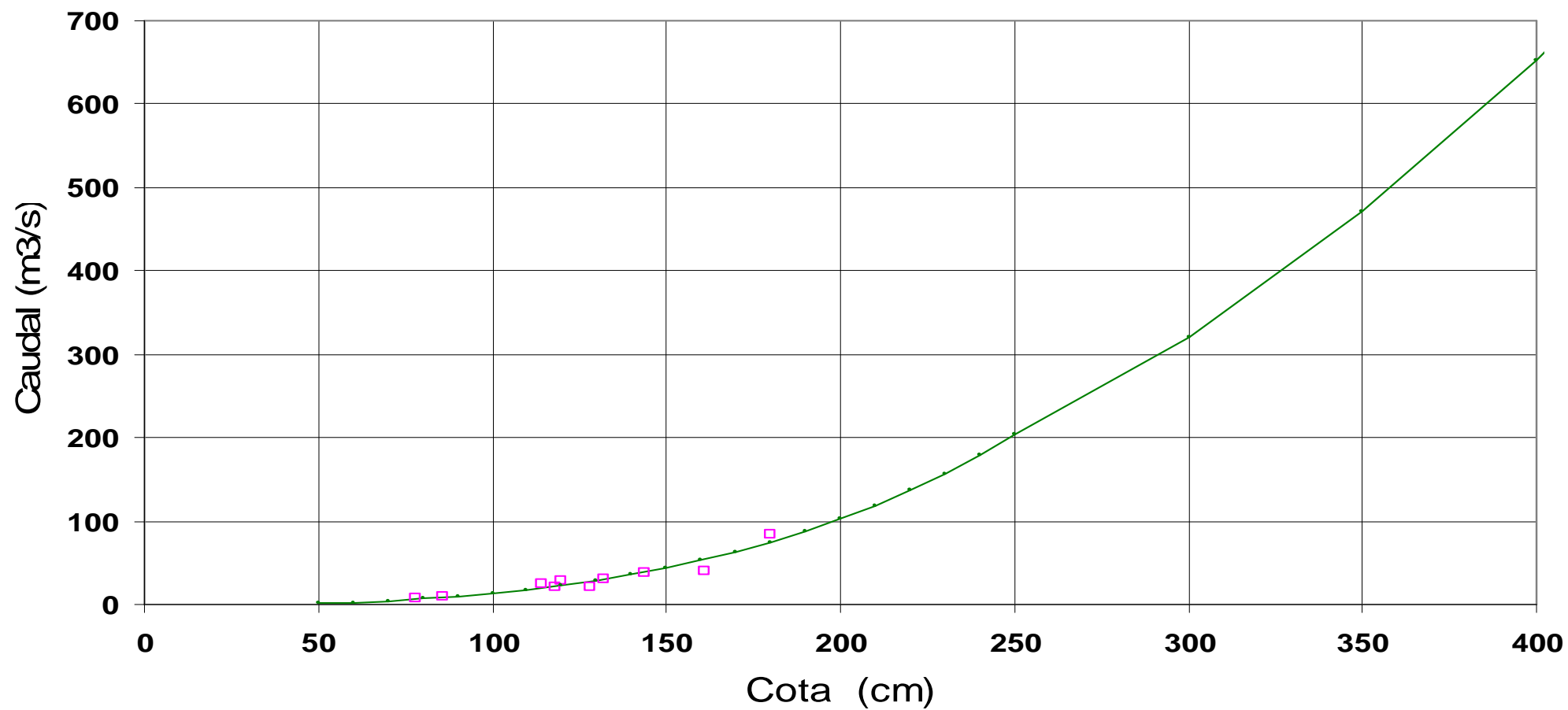


Figura 4.27 Calibración en Cosanga

ESTACIÓN COSANGA A.J. QUIJOS CURVA DE DURACIÓN GENERAL

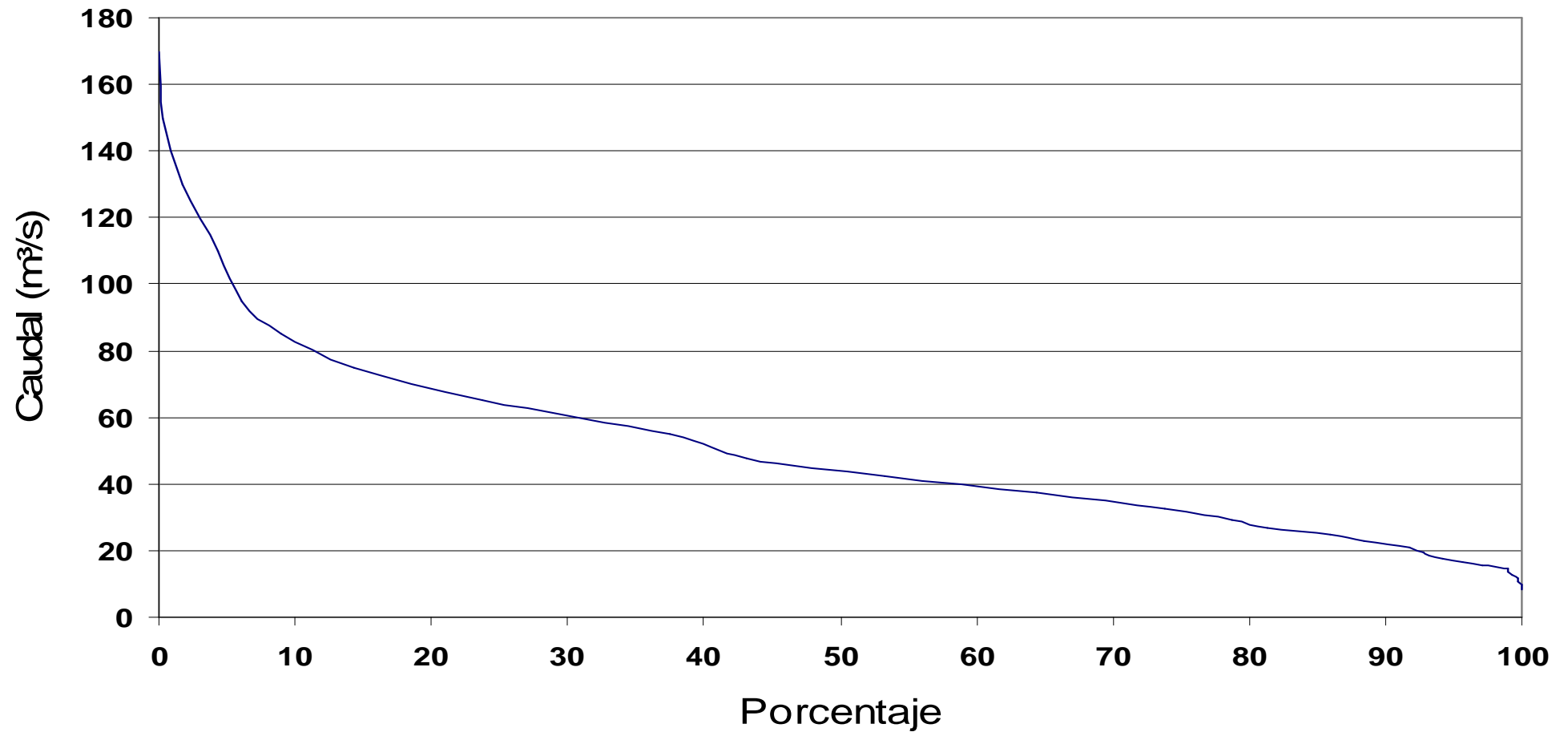


Figura 4.28 Curva de duración general en Cosanga

ESTACIÓN QUIJOS A.J. BORJA COTAS DIARIAS

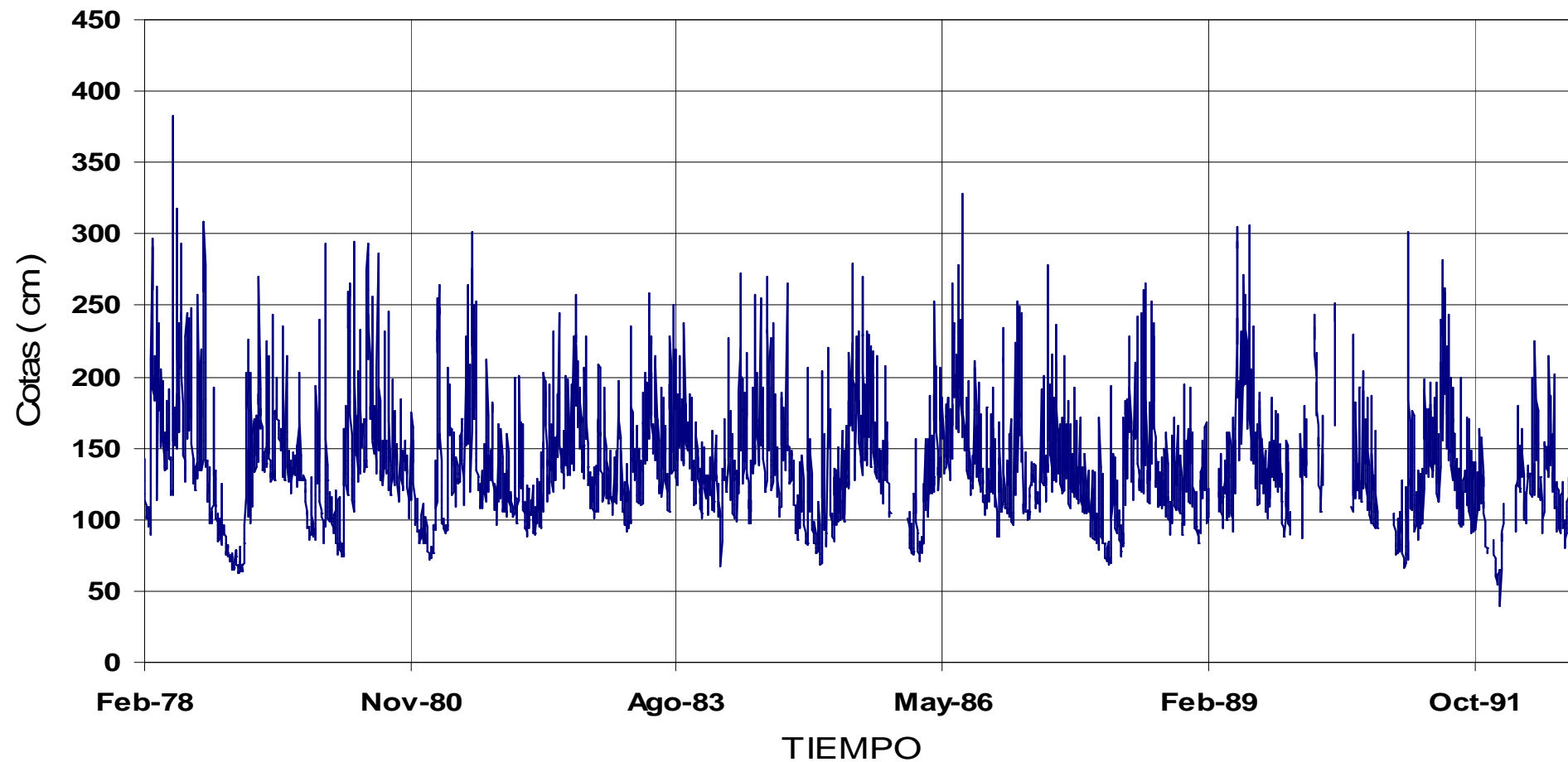


Figura 4.29 Cotas diarias en Quijos

ESTACIÓN QUIJOS A.J. BORJA
CAUDALES MEDIOS MENSUALES MULTIANUALES

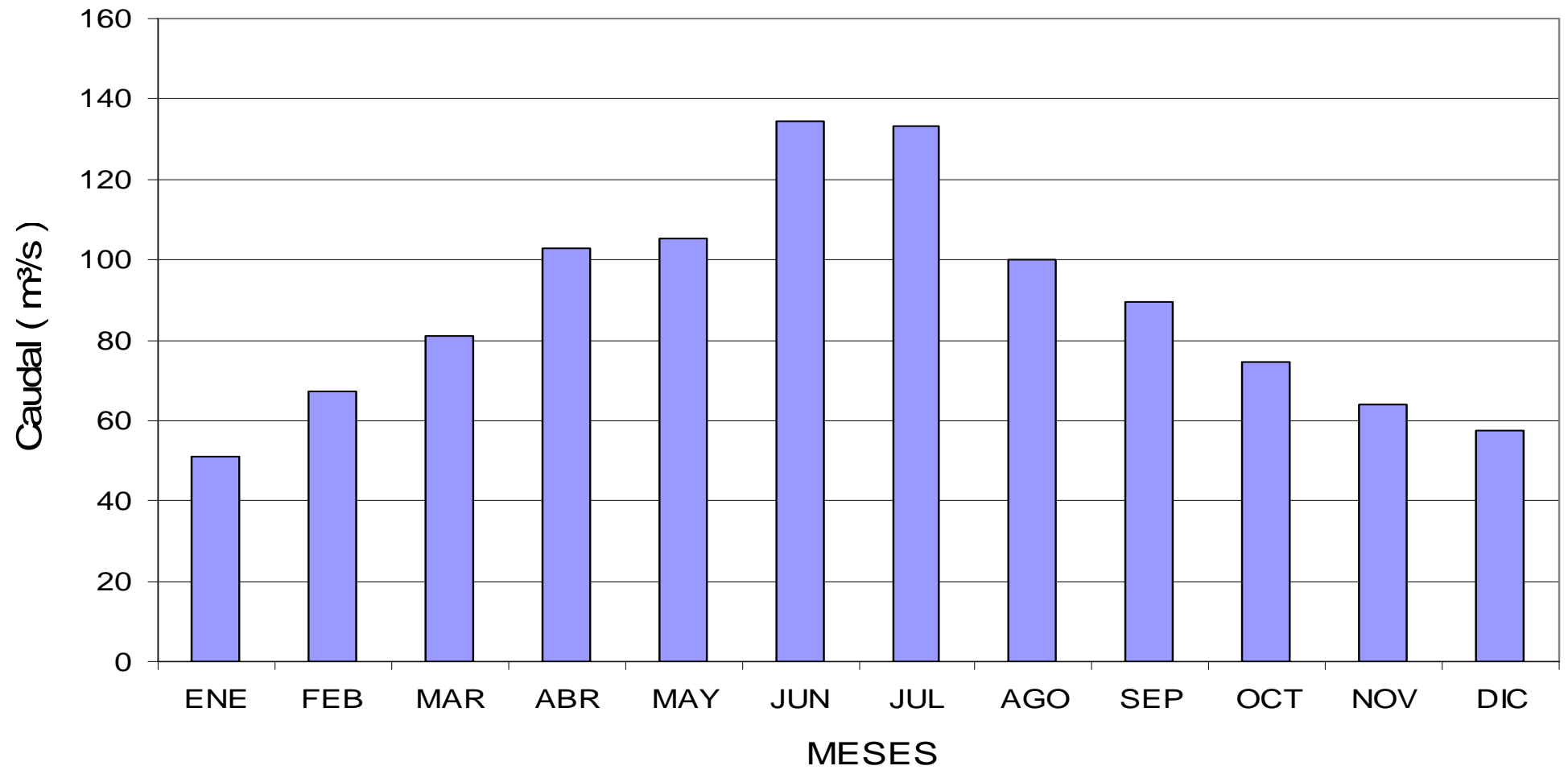


Figura 4.30 Caudales medios en Quijos

CALIBRACIÓN DE LA ESTACIÓN QUIJOS A.J. BORJA

PERIODO 01/02/78 HASTA 01/08/91

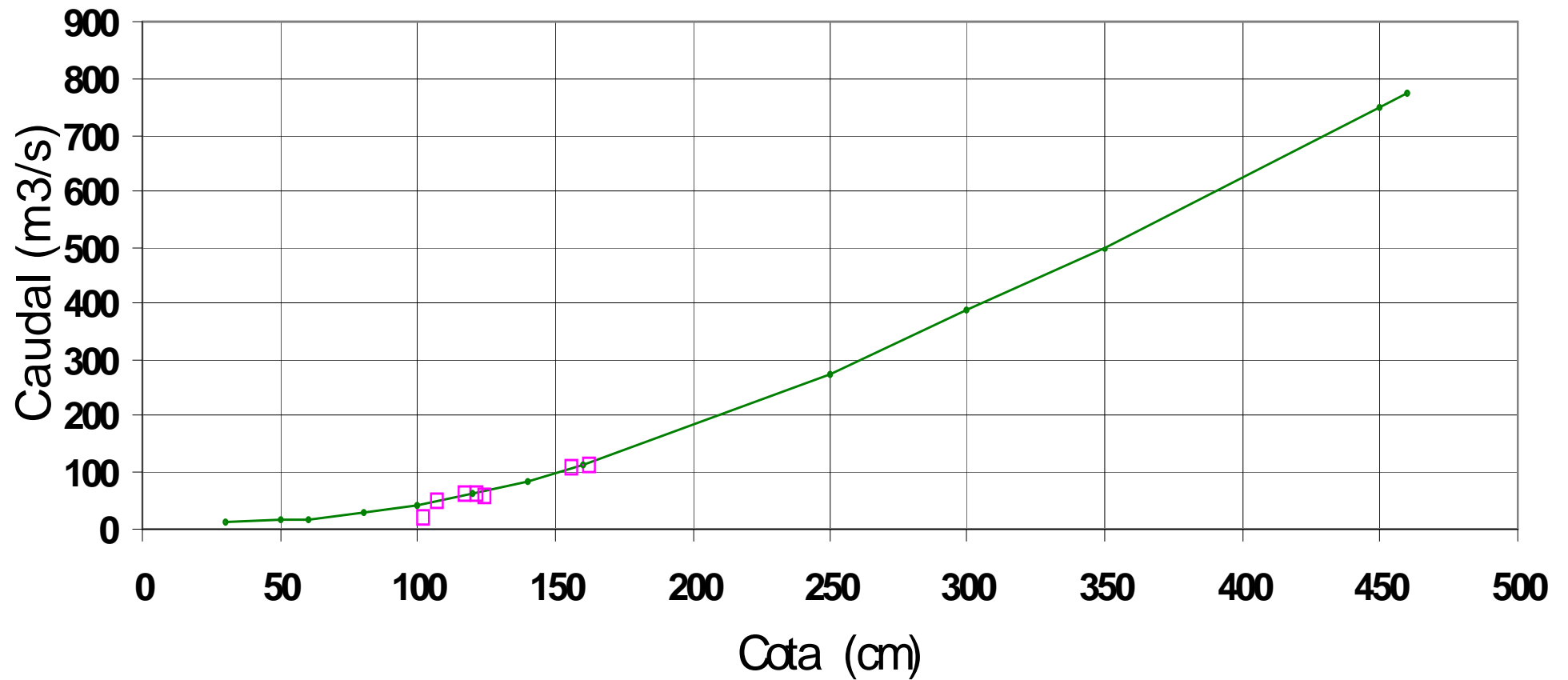


Figura 4.31 Calibración en Quijos

**ESTACIÓN QUIJOS A.J. BORJA
CURVA DE DURACIÓN GENERAL**

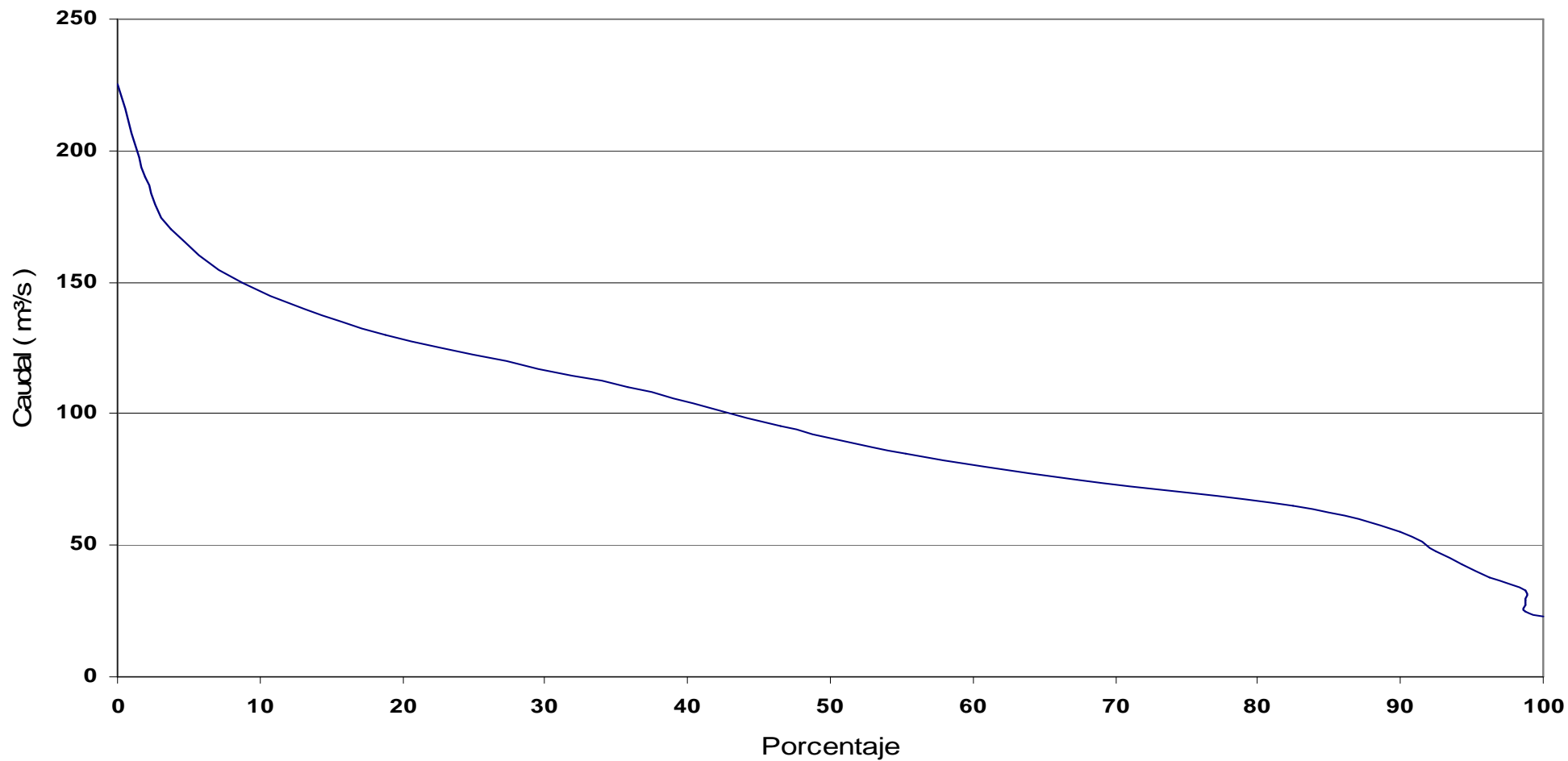


Figura 4.32 Curva de duración general en Quijos

ESTACIÓN NUEVO ROCAFUERTE COTAS DIARIAS

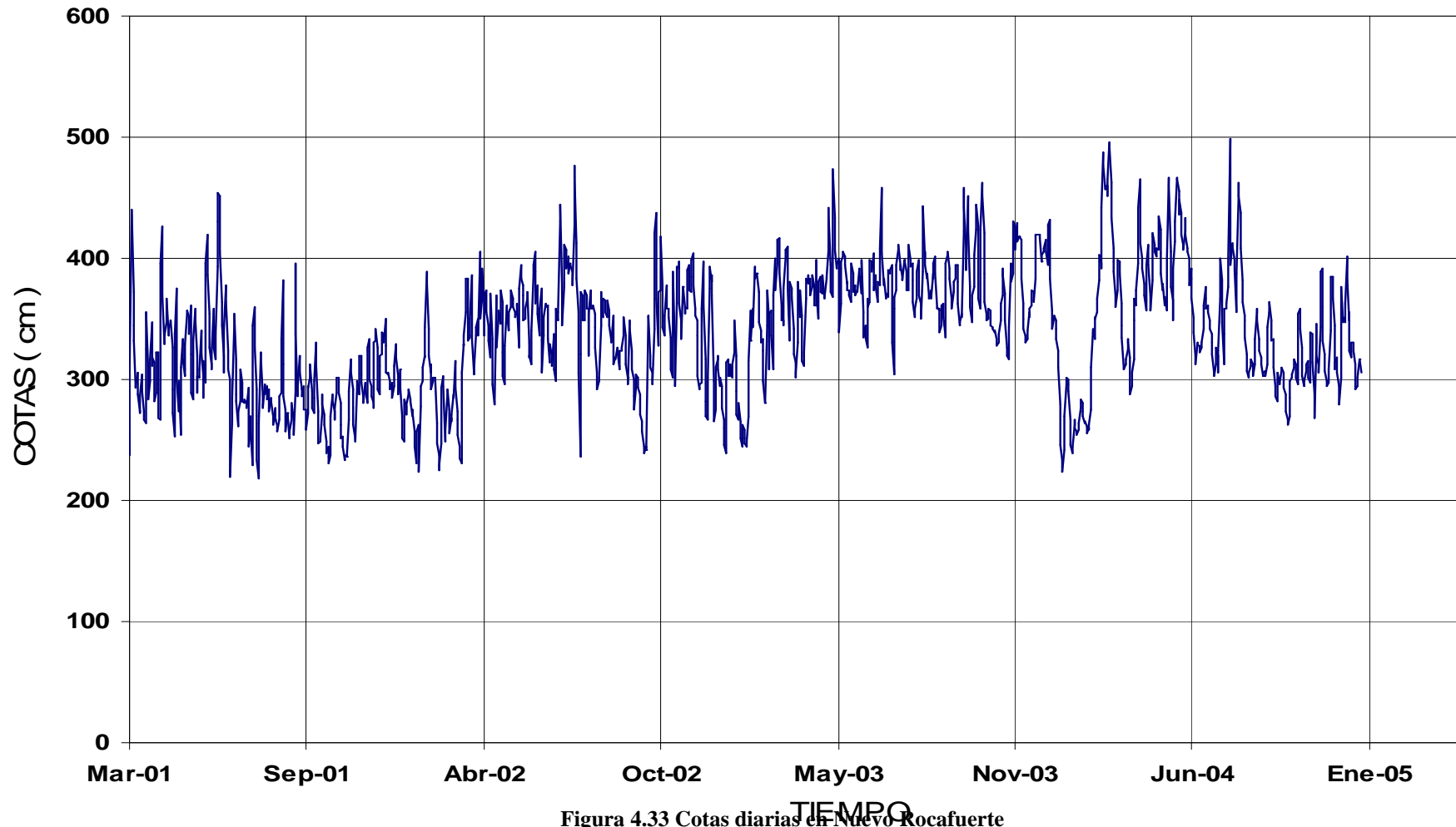


Figura 4.33 Cotas diarias en Nuevo Rocafuerte

ESTACIÓN DE NUEVO ROCAFUERTE CAUDALES MEDIOS MENSUALES MULTIANUALES

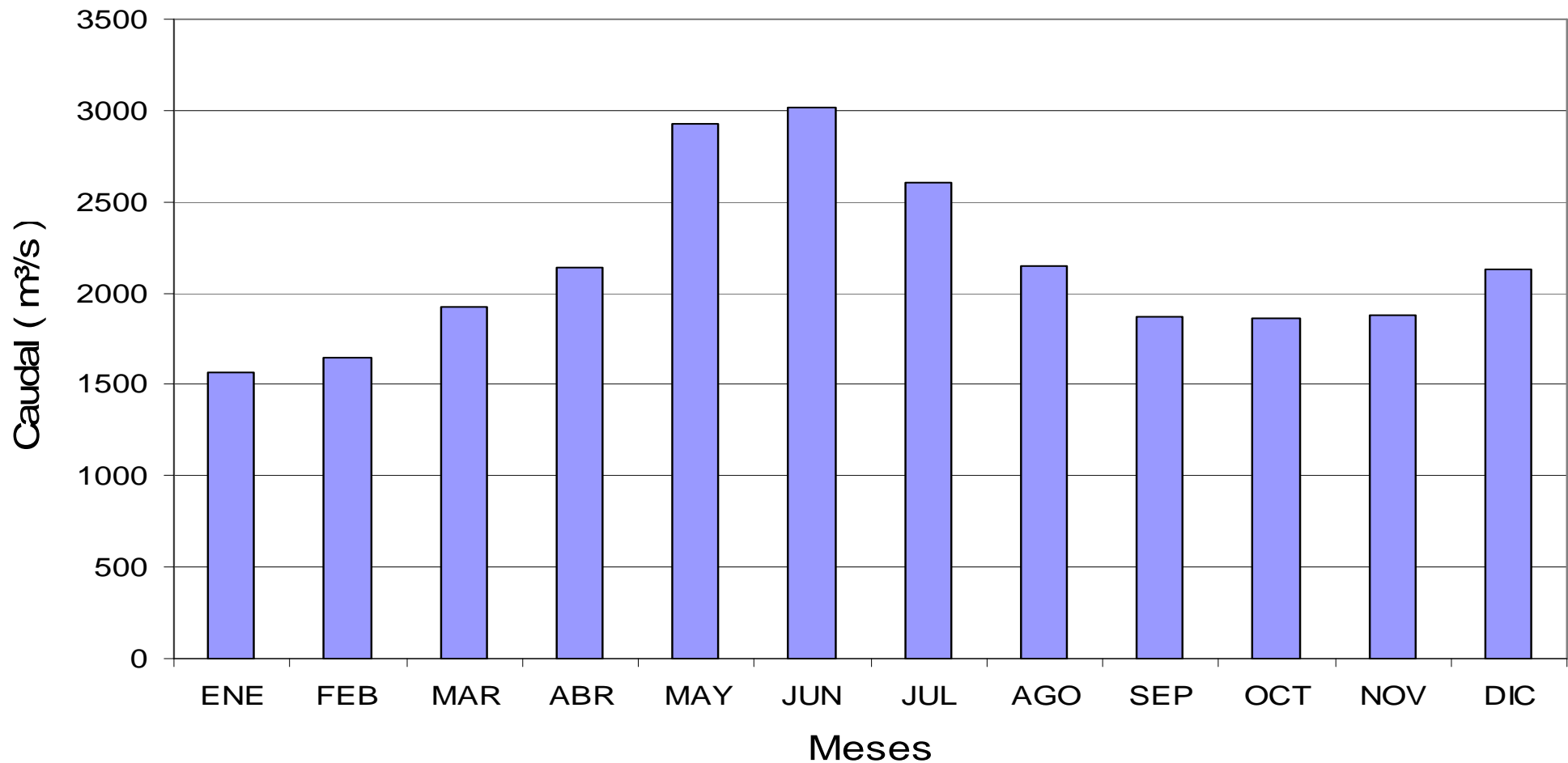


Figura 4.34 Caudales medios en Nuevo Rocafuerte

**CALIBRACIÓN DE LA ESTACIÓN DE NUEVO ROCAFUERTE
PERIODO 01/01/98 HASTA 08/05/05**

Figura 4.35 Calibración en Nuevo Rocafuerte

**ESTACIÓN DE NUEVO ROCAFUERTE
CURVA DE DURACIÓN GENERAL**

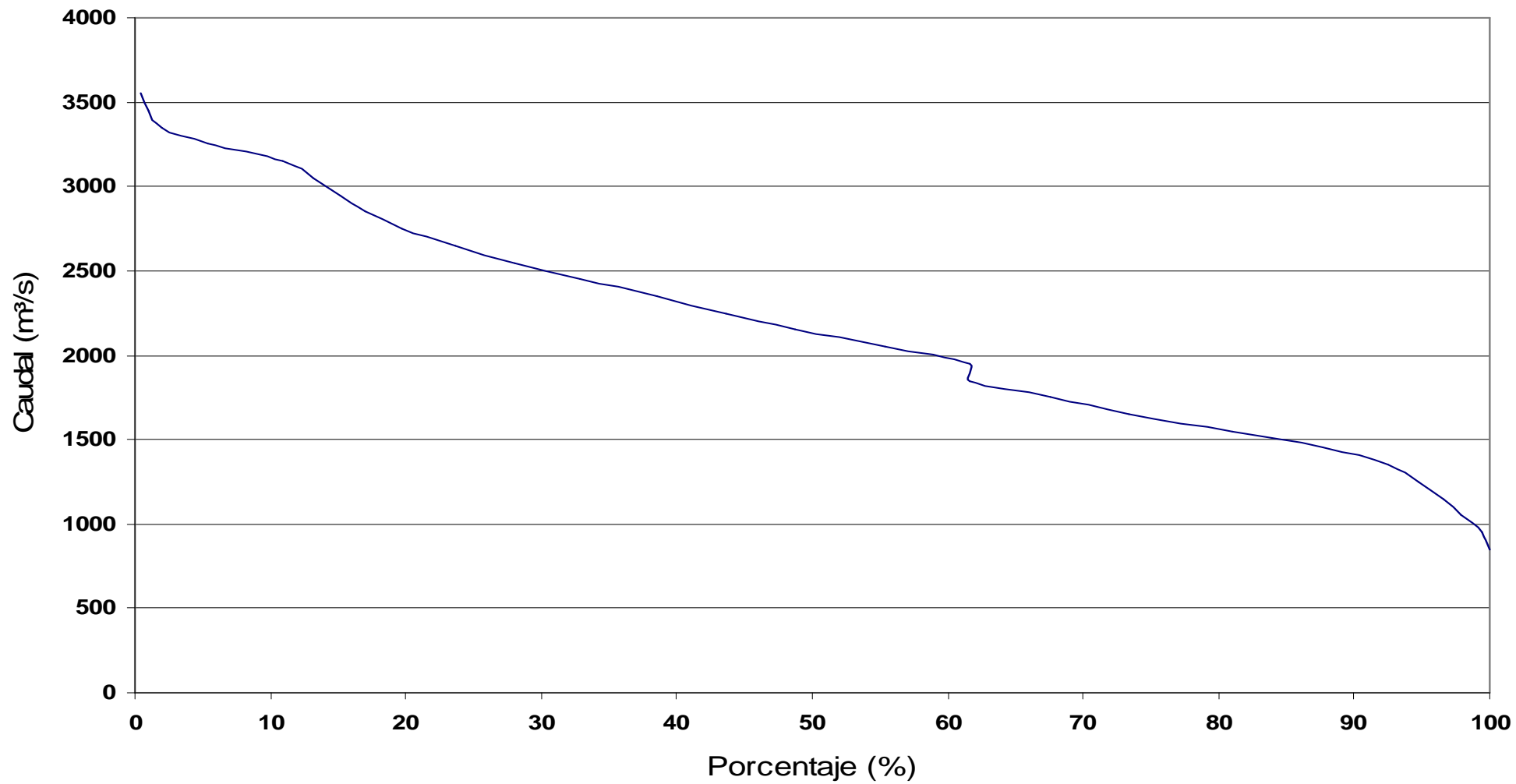


Figura 4.36 Curva de duración general en Nuevo Rocafuerte

4.1.1.2 ANÁLISIS DE CAUDALES EN LAS ESTACIONES DE LA CUENCA DEL RÍO NAPO

A continuación se analizará los caudales desde aguas arriba en la cuenca del Napo. Para lo cual se tomarán tres estaciones representativas.

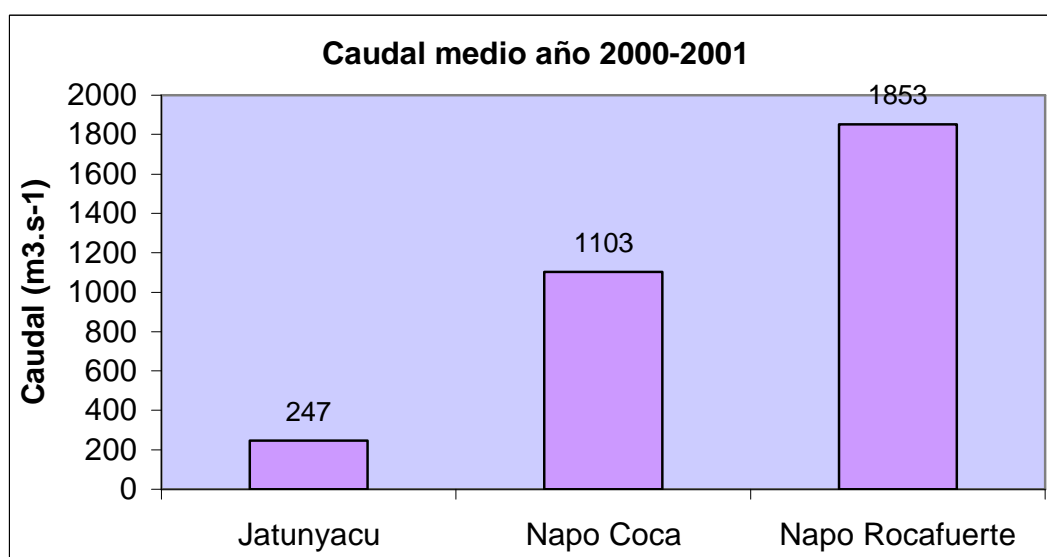


Figura 4.37 Caudales medios anuales de las estaciones

En esta figura se observa los caudales medios anuales de las estaciones de la cuenca del río Napo durante el año hidrológico 2000-2001, empezando por uno de sus afluentes iniciales hasta el la cercanía con el Perú.

El río Jatunyacu que se encuentra cerca de la cabecera de la cuenca, tiene un caudal más bajo, de 247 m³/s, la siguiente estación se encuentra en la parte media de la cuenca en la ciudad de Francisco de Orellana (Coca) y presenta un caudal de 1134 m³/s, para concluir cerca del cierre de la cuenca ecuatoriana del Napo, en la estación de Nuevo Rocafuerte

donde el caudal tiene un valor anual medio de $2227 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que nos indicia sin duda que este es uno de los ríos con mayor caudal del Ecuador.

Se evidencia claramente que los menores caudales se presentan en la pequeña cuenca del Jatunyacu con valores de 200 a $3000 \text{ m}^3/\text{s}$, con variaciones de 15 , aumentando en la ciudad del Coca o Francisco de Orellana con mediciones de 600 a $2500 \text{ m}^3/\text{s}$, con una variación de 4 , y los mayores caudales como es lógico cerca del cierre de la cuenca con valores de 800 a $4500 \text{ m}^3/\text{s}$, con una variación de 5 .

Notándose que el río Jatunyacu, ubicado en la parte alta presenta variaciones más fuertes al compararlo con los otros ríos de la llanura debiéndose este fenómeno a las grandes precipitaciones que se producen en esta parte.

5.1.1.2 Caudales Específicos

El caudal específico se refiere al caudal expresado en unidades de volumen por tiempo y por unidad de superficie. Tomamos de referencia las mismas tres estaciones representativas.

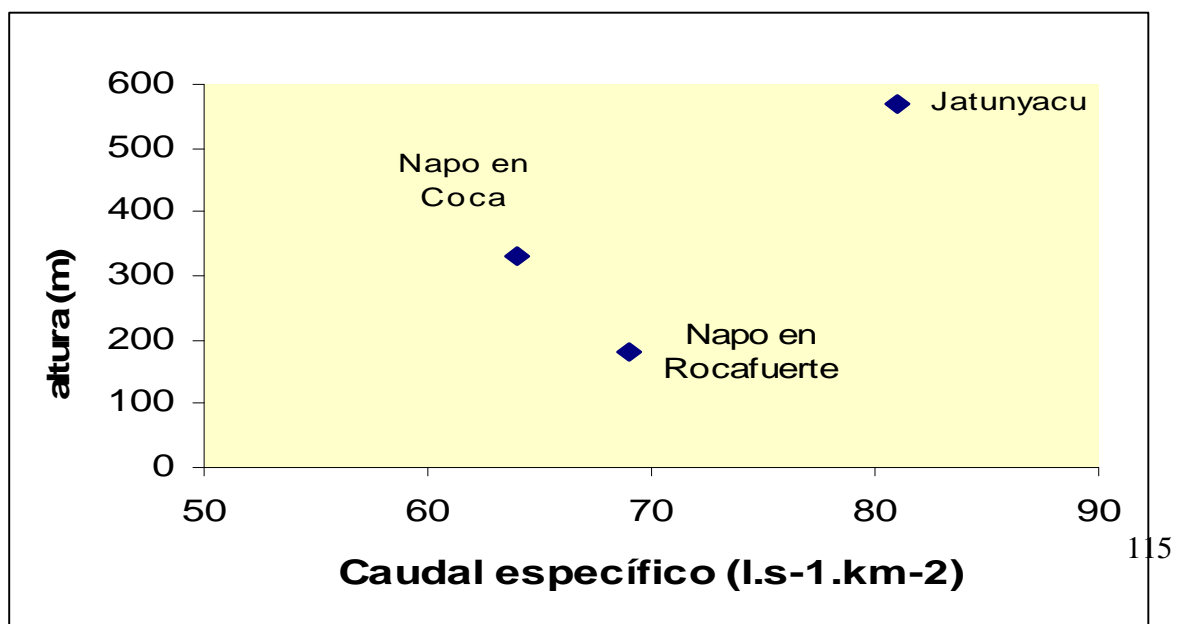


Figura 4.38 Caudal específico vs altura, cuenca del Napo

En la parte alta de la cuenca del río Napo, subcuenca del Jatunyacu, como caudal específico de septiembre del 2000 a agosto del 2001 (tabla 4.37), se obtiene un valor de $81 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ debido a la gran presencia de lluvias sobre la cuenca (Figura 4.40).

Mientras que los valores en la cuenca baja varían entre 64 y $69 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ como es el caso de las subcuencas del Napo en Coca y Napo en Nuevo Rocafuerte.

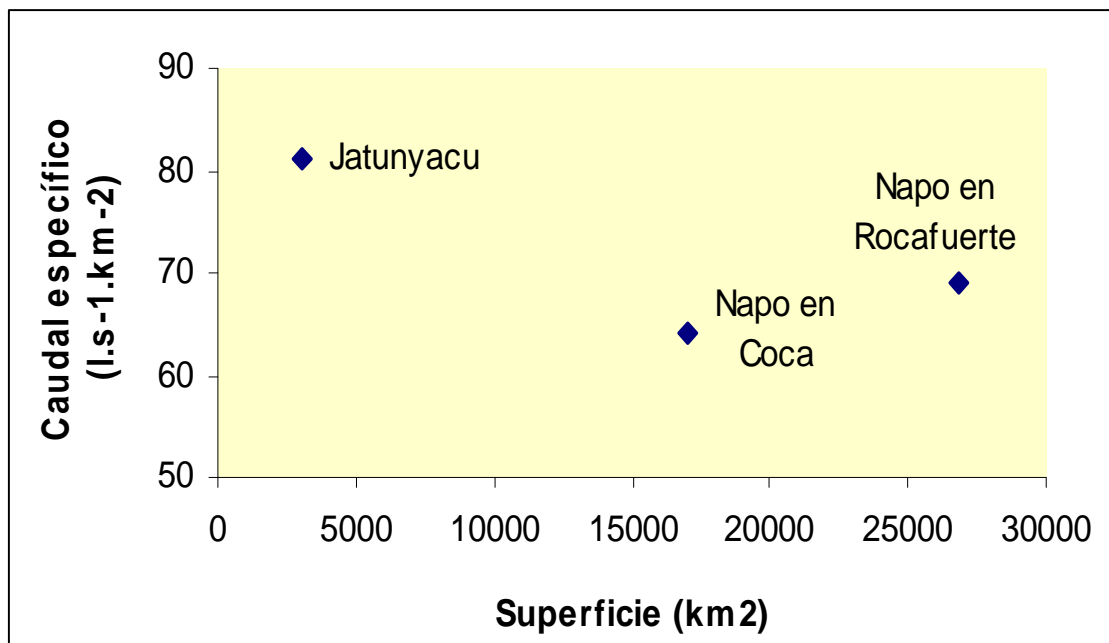


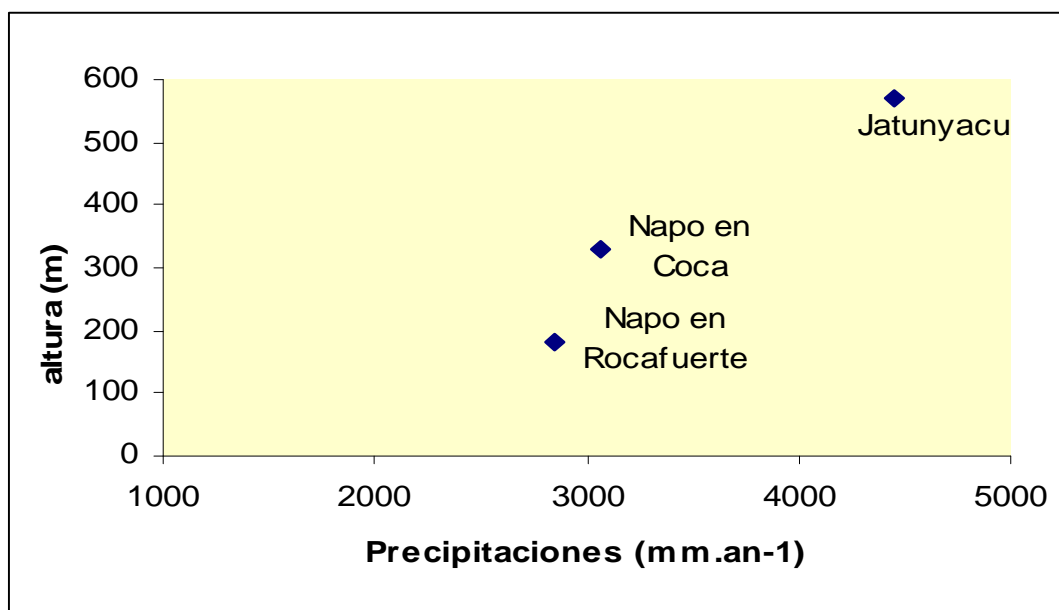
Figura 4.39 Caudal específico vs superficie cuenca del Napo

La distribución de los caudales específicos en función de la altitud de la estación (Figura 4.38) muestran dispersiones de valores que tienen que ver con la precipitaciones medias.

El valor del caudal específico en la pequeña cuenca del Jatunyacu ($81 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$) es mayor que en las cuencas más extensas tales como la de Napo en Coca o en Nuevo Rocafuerte que presentan valores semejantes entre si de alrededor de $66 \text{ l.s}^{-1} \text{ km}^{-2}$.

Esto aclara el concepto de caudal específico, donde las características propias de la cuenca por unidad de superficie son las que determinan su valor, sin importar la magnitud de la misma, lo cual resulta de mucha utilidad porque permite establecer análisis comparativos entre cuencas o subcuencas de diferentes áreas.

A continuación se presenta el cuadro de precipitaciones medias anuales en las estaciones de Jatunyacu (1981-1989), El Coca INAMHI (estación meteorológica cercana a la estación hidrológica desde 1966-1985) y Nuevo Rocafuerte (1976-1999),(Hoorelbeke, R., Pérez, V 1999.).



**Figura 4.40 Distribución de precipitaciones en función altitud en la cuenca del
Río Napo.**

Se puede observar que las precipitaciones son mayores en la cuenca alta del Napo (estación Jatunyacu D.J. Ilocullín) con valores de 4500 mm.a⁻¹ y en la parte baja del Napo (estación del Coca y Nuevo Rocafuerte) donde los valores varían entre 2800 y 3200 mm.a⁻¹.(Tabla 4.1)

Tabla 4.1 Características de las estaciones utilizadas

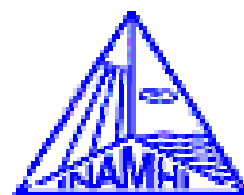
Río	Estación	Sup. (Km ²)	Altitud (m)	Precip.med. mm.a ⁻¹	Período	Q (m ³ .s ⁻¹)	Qs l. s ⁻¹ .km ²
Jatunyacu	D.J.Ilocullin	3047	570	(1891-1989) 4445	1966-2001	247	81
Napo	Coca	17058	330	(1966-1985) 3066	1995-2001	1103	64
Napo	Nuevo Rocafuerte	26861	180	(1976-1999) 2848	1997-2001	1853	69

Período = período de observación de la estación

Q = Caudal medio anual período (2000-2001) expresada en metros cúbicos por segundo

qs = Caudal específico (caudal medio anual en litros por segundo / superficie de la Cuenca en Km²).

CAPÍTULO 5



MAPAS TEMÁTICOS ELABORADOS BAJO UN SIG

5.1 Introducción

5.2 Antecedentes de los SIG

5.3 Sistemas de Información Geográfica

5.4 Los SIG's y la Hidrología

5.5 Mapas temáticos

LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y SU UTILIZACIÓN EN LA HIDROLOGÍA

RESUMEN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ocupan hoy en día un lugar prominente entre las herramientas computacionales modernas y constituyen un apoyo invaluable en la toma de decisiones de problemas con una dimensión espacial. En el manejo de cuencas, esta herramienta resulta sumamente ventajosa para llevar a cabo estudios de erosión y sedimentación, para conocer la respuesta hidrológica de la cuenca ante un cambio en el uso del suelo, o bien para muchos otros estudios de tipo hidrológico.

En este trabajo se expone someramente las características esenciales de un SIG, se examina su potencial de aplicación en el ámbito de cuencas y se presenta un caso simple de aplicación en la cuenca hidrográfica del Río Napo.

5.1.- INTRODUCCIÓN

Pueden clasificarse en función de la escala (espacial o temporal) que utilicen, del método de solución (numérica, analógica o analítica) y del tipo de proceso que utilicen para representar los diferentes componentes del ciclo hidrológico (concentrados o distribuidos).

En cualquier caso, se requiere de una vasta información para representar las características físicas e hidrológicas de una cuenca; sin embargo, si se toma en cuenta la variabilidad espacial de procesos como la infiltración, la evaporación, las características fisiográficas de la cuenca, etc., la cantidad de información requerida se incrementa notablemente, ya que cada unidad hidrológica estará caracterizada por su topografía, su geología, su tipo y uso del suelo, su climatología, etc. Si consideramos además que debe satisfacer a un objetivo bien definido, por ejemplo conocer la respuesta hidrológica de una cuenca ante diferentes escenarios de cambio en el uso del suelo, los volúmenes de información que habrá de manipularse crecerán con el número de alternativas a estudiar.

Es probable que la escasez de fuentes de información, cubriendo las características anteriores, limite (en algunos países) el desarrollo. Por otra parte, en la última década, el desarrollo de los llamados Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha tenido un verdadero auge que no solo permite la generación de bases de datos del medio físico, biológico, socioeconómico, etc., sino que también constituye una herramienta muy útil en los procesos de diversa índole.

Concretamente en el ámbito hidrológico, que se acoplan a un SIG o viceversa, crece cada vez más y es predecible que en un futuro la ingeniería hidrológica aproveche la enorme funcionalidad y potencialidad de los SIG's en beneficio de una simulación más apegada a las características físicas de los problemas.

Esta comunicación tiene entonces el objetivo de explorar el potencial de aplicación de los SIG's en los procesos, presentando un caso simple de aplicación en la cuenca del Río Napo.

5.2. ANTECEDENTES DE LOS SIG

En los años 1960 y 1970 emergieron nuevas tendencias en la forma de utilizar los mapas para la valoración de recursos y planificación. Dándose cuenta de que las diferentes coberturas sobre la superficie de la tierra no eran independientes entre sí, sino que guardaban algún tipo de relación, se hizo latente la necesidad de evaluarlos de una forma integrada y multidisciplinaria. Una manera sencilla de hacerlo era superponiendo copias transparentes de mapas de coberturas sobre mesas iluminadas y encontrar puntos de coincidencia en los distintos mapas de los diferentes datos descriptivos.

Luego, esta técnica se aplicó a la emergente tecnología de la informática con el procedimiento de trazar mapas sencillos sobre una cuadrícula de papel ordinario, superponiendo los valores de esa cuadrícula y utilizando la sobreimpresión de los caracteres de la impresora por renglones para producir tonalidades de grises adecuadas a la representación de valores estadísticos, en lo que se conocía como sistema reticular; sin

embargo, estos métodos no se encontraban desarrollados lo suficiente y no eran aceptados por profesionales que manejaban, producían o usaban información cartográfica.

A finales de los años 70's el uso de computadoras progreso rápidamente en el manejo de información cartográfica, y se afinaron muchos de los sistemas informáticos para distintas aplicaciones cartográficas. De la misma manera, se estaba avanzando en una serie de sectores ligados, entre ellos la topografía, la fotogrametría y la percepción remota. En un principio, este rápido ritmo de desarrollo provoco una gran duplicación de esfuerzos en las distintas disciplinas relacionadas con la cartografía, pero a medida que se aumentaban los sistemas y se adquiría experiencia, surgió la posibilidad de articular los distintos tipos de elaboración automatizada de información espacial, reuniéndolos en verdaderos sistemas de información geográfica para fines generales.

A principios de los años 80's, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se habían convertido en un modelo plenamente operativo, a medida que la tecnología de cómputo se perfeccionaba, se hacía menos costosa y gozaba de una mayor aceptación. Actualmente se están instalando rápidamente estos sistemas en los organismos públicos, los laboratorios de investigación, las instituciones académicas, la industria privada y las instalaciones militares y públicas.

5.3.- LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Hay muchas definiciones de un SIG, pero a pesar de todas las variantes hay un consenso general acerca de los componentes y operaciones que debería tener un SIG. Estos incluyen: la habilidad para leer, guardar, manejar, analizar y desplegar la información espacial

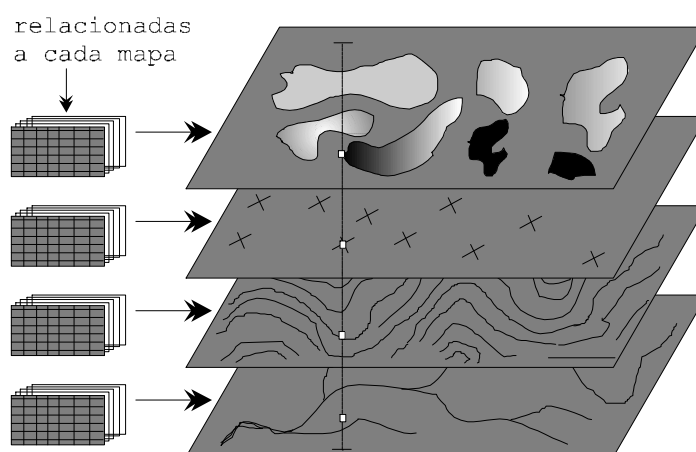


Figura 5.1: Elementos constitutivos de una base de datos SIG

El campo de aplicación de un SIG es sumamente variado, de hecho toda información que contenga una referencia geográfica es sujeta de ser analizada a través de un SIG. En el manejo de los recursos naturales, esto incluye todos los componentes relevantes de la biofísica terrestre, como vegetación, suelo, topografía, hidrografía, zonas climáticas, etc. En un SIG, cada componente del paisaje terrestre está caracterizado por una capa a la que se le asocia una tabla de datos conteniendo la información más relevante de dicho componente. La suma de todas las capas y de sus tablas asociadas constituye una base de datos de un SIG, misma que puede ser manipulada, representada y analizada de diferentes maneras para cumplir con un objetivo preciso. La figura 5.1 es un ejemplo esquemático de los componentes de una base de datos de este tipo.

Las herramientas de análisis, contenidas en un SIG pueden ser utilizadas, entre otras muchas aplicaciones, para:

- ✦ Evaluación de los patrones de cambio de una variable en el transcurso del tiempo (uso del suelo)
- ✦ Re-clasificación de datos (histogramas)
- ✦ Evaluación de los efectos potenciales de un factor ambiental (riesgos de erosión hídrica)
- ✦ Determinación de atributos topográficos (pendientes y orientación del terreno)
- ✦ Predicción de la respuesta de una cuenca ante un evento hidrológico (cálculo de hidrogramas).

Una de las funcionalidades más importantes de un SIG, concretamente en el ámbito de las aplicaciones hidrológicas, es la descripción de la topografía de una cuenca. El insumo básico para este análisis es el llamado Modelo Numérico del Terreno (MNT). Un MNT puede definirse como una representación simplificada de la topografía de un territorio, en formato digital, adecuada a su tratamiento con una computadora.

Existen varias formas distintas de realizar esta representación de los datos:

- 1.- Modo vector
- 2.- Modo raster

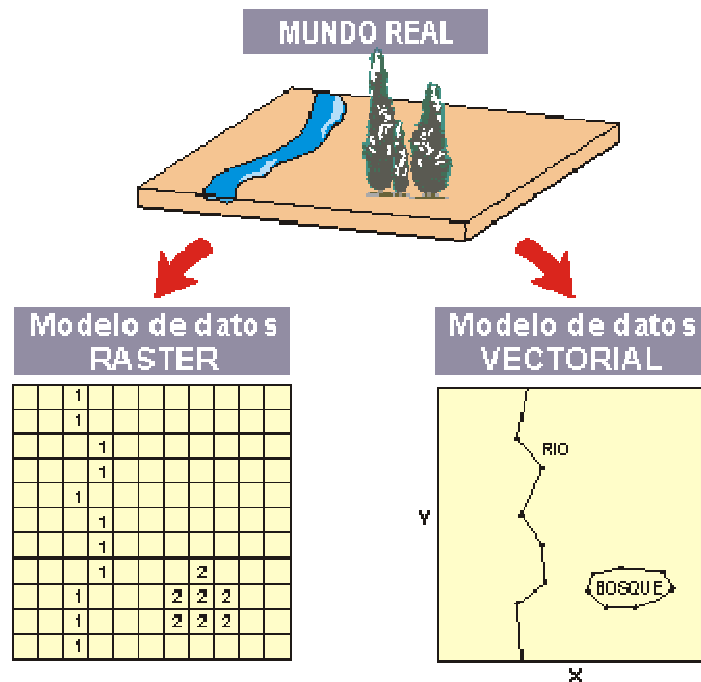
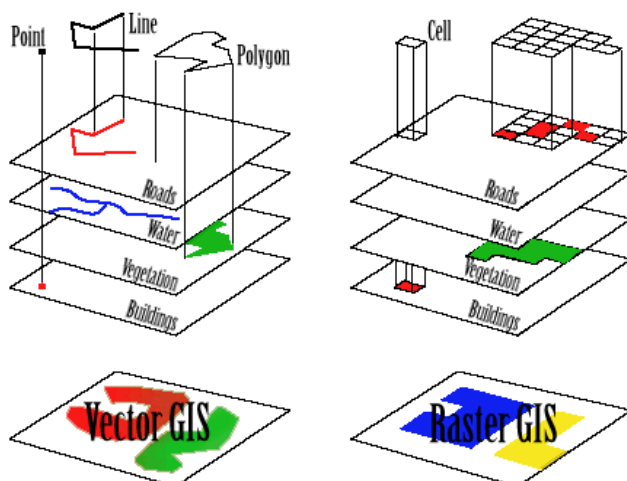


Figura 5.2: Representación del tipo de modelo

Modo vector.- Se considera que todas las características de la superficie de la Tierra se pueden interpretar como un punto, línea o polígono. Cada característica almacenada en la base de datos de SIG debe estar especificada por su localización en la superficie de la tierra, y mantener relación espacial con el resto de características que le rodean. Este modo se prefiere en aplicaciones urbanas.

Modo raster.- Es el preferido a la hora de trabajar con imágenes digitalizadas, datos remotos y análisis estadístico, generalizando así la

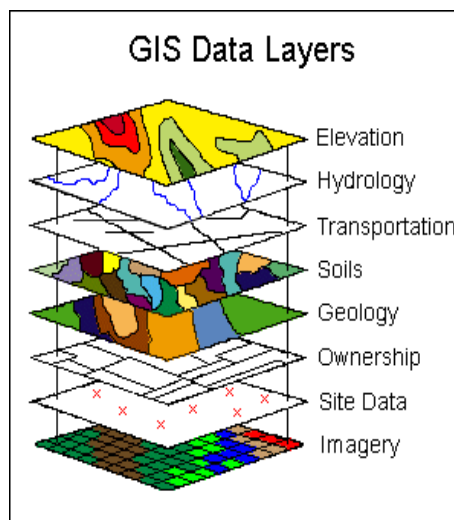
localización de características a una matriz regular de celdas. En este caso, el terreno se representa en una malla de rectángulos regulares y de igual



tamaño; en cada uno de ellos, un número codifica el valor que alcanza en ese punto (píxel) del espacio la elevación del terreno.

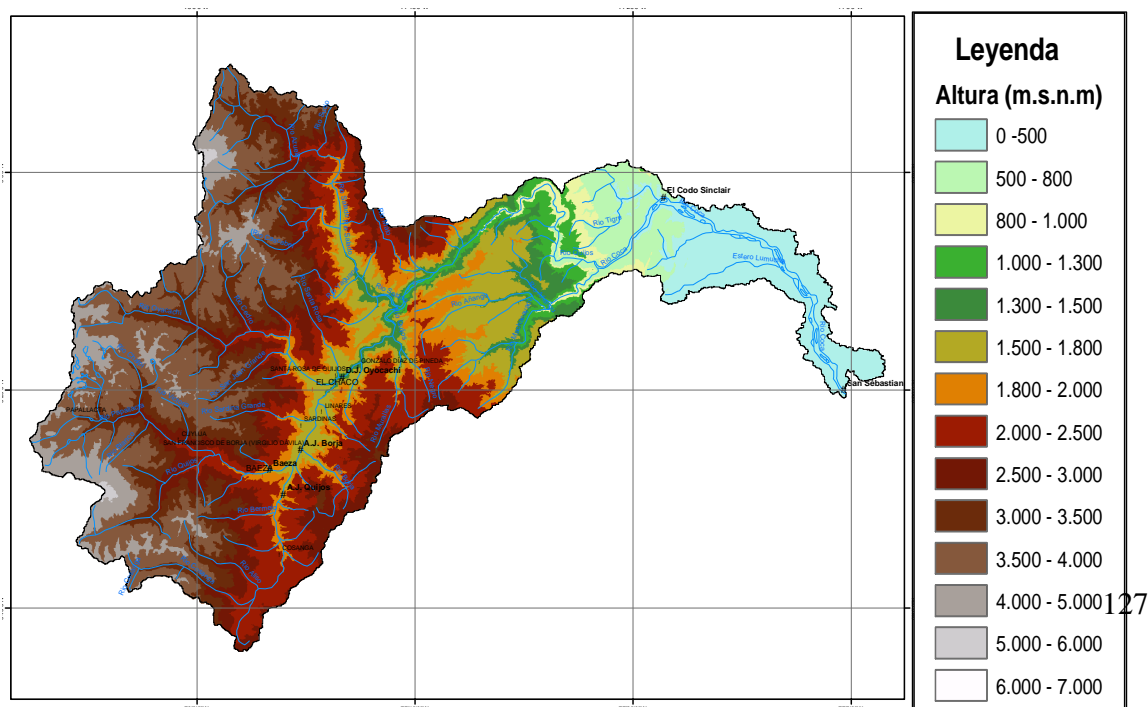
Figura 5.3: Capas a utilizar en modo vector y raster

La generación de un MNT es una operación tediosa que requiere de abundante información de base, generalmente ésta procede de la digitalización de curvas de nivel de una cartografía impresa en papel. A partir de ella, es necesario proceder a una interpolación espacial



para determinar las elevaciones en los puntos intermedios de las curvas de nivel.

La región corresponde a la cuenca del Río Napo, ubicada en el Coca "San Sebastián"; en esta figura, las elevaciones han sido reclasificadas en rangos para su representación. Entre las muchas ventajas que puede tener un SIG, la figura 5.4 muestra el modelo numérico del terreno (MNT) del



río, así como algunos valores estadísticos. Este cálculo se llevó a cabo con los datos obtenidos de Hidraccess.

**Figura. 5.4 Modelo numérico del terreno (MNT), cuenca del Río Napo en el Coca
“San Sebastián” (elevaciones del terreno, en msnm)**

La pendiente del terreno y las áreas tributarias son otras de las variables que pueden obtenerse de un MNT y que tienen una aplicación directa en la modelación hidrológica.

Empleando la misma idea de un MNT, se pueden obtener diferentes coberturas conteniendo la variabilidad espacial de las características físicas de una cuenca como el tipo de suelo, la vegetación, la rugosidad de la superficie, etc.; esto daría una estructura tipo raster en la cual cada píxel tendría asociado un número indicando el valor cuantitativo de la variable que se quiera representar

5.4.- LOS SIG'S Y LA HIDROLOGÍA

Como ya se ha visto, se requiere de una vasta información para representar las características físicas e hidrológicas de una cuenca, la cantidad de información que se requiere es mayor. Ante la necesidad de recolectar, almacenar y manipular grandes cantidades de datos, un SIG ofrece una verdadera alternativa para que hoy se puedan realizar cálculos cada vez más cuantitativos. El empleo de un SIG no es sin embargo trivial; se requiere de al menos tres grandes pasos:

- a.- construcción de la base de datos espacial
- b.- generación de las coberturas temáticas

c.- desarrollo de una interfase de comunicación

El primer paso es obviamente el más largo y tedioso, ya que por lo general es necesario digitalizar la información impresa en papel (topografía, geología, tipo de suelo, etc.) para convertirla al formato digital. El alto desarrollo que tienen hoy en día los SIG's y la percepción remota hace, sin embargo, que esta etapa y parte de la segunda sean menos consumidoras de tiempo y obviamente menos aburrida.

En la actualidad, sistemas como ARC/INFO, SPANS, Ilwis, disponen de módulos de cálculo que permiten, entre otros aspectos, la adquisición de datos (cubierta vegetal por ejemplo) vía sensores remotos, la extracción de redes de drenaje, cuencas y subcuencas, acumulación de flujos, etc.

El paso c, por su parte, requiere primeramente responder a la pregunta ¿Que SIG y para que proyecto?. Obviamente, depende de la problemática “hidrológica” a estudiar. El SIG, por su parte, debe poder ofrecer funcionalidades para la captura, edición y análisis de la información que requiere el modelo.

Cabe hacernos algunas preguntas a las que responde un SIG.

- Localización ¿*Qué hay en...*?
- Condición ¿*Dónde sucede que...*?
- Tendencias ¿*Qué ha cambiado...*?
- Rutas ¿*Cuál es el camino óptimo...*?
- Pautas ¿*Qué pautas existen...*?

El aspecto económico es otro factor a considerar, el sistema ARC/INFO tiene un enorme potencial de aplicación, pero su costo es de los más elevados (aproximadamente 12000 dólares por una licencia académica para estación de trabajo); en el extremo opuesto, el sistema Idrisi es quizás de los más económicos, pero tiene la desventaja de no disponer de algunos módulos hidrológicos necesarios, por ejemplo para el cálculo de redes de drenaje.

La respuesta a la pregunta planteada es entonces un compromiso entre los alcances que se persiguen, las funcionalidades del SIG y de la relación beneficio/costo de su adquisición.

En cualquier caso, la utilización de un SIG tiene como propósito facilitar la adquisición y preparación de datos espaciales y posteriormente la presentación y despliegue de resultados.

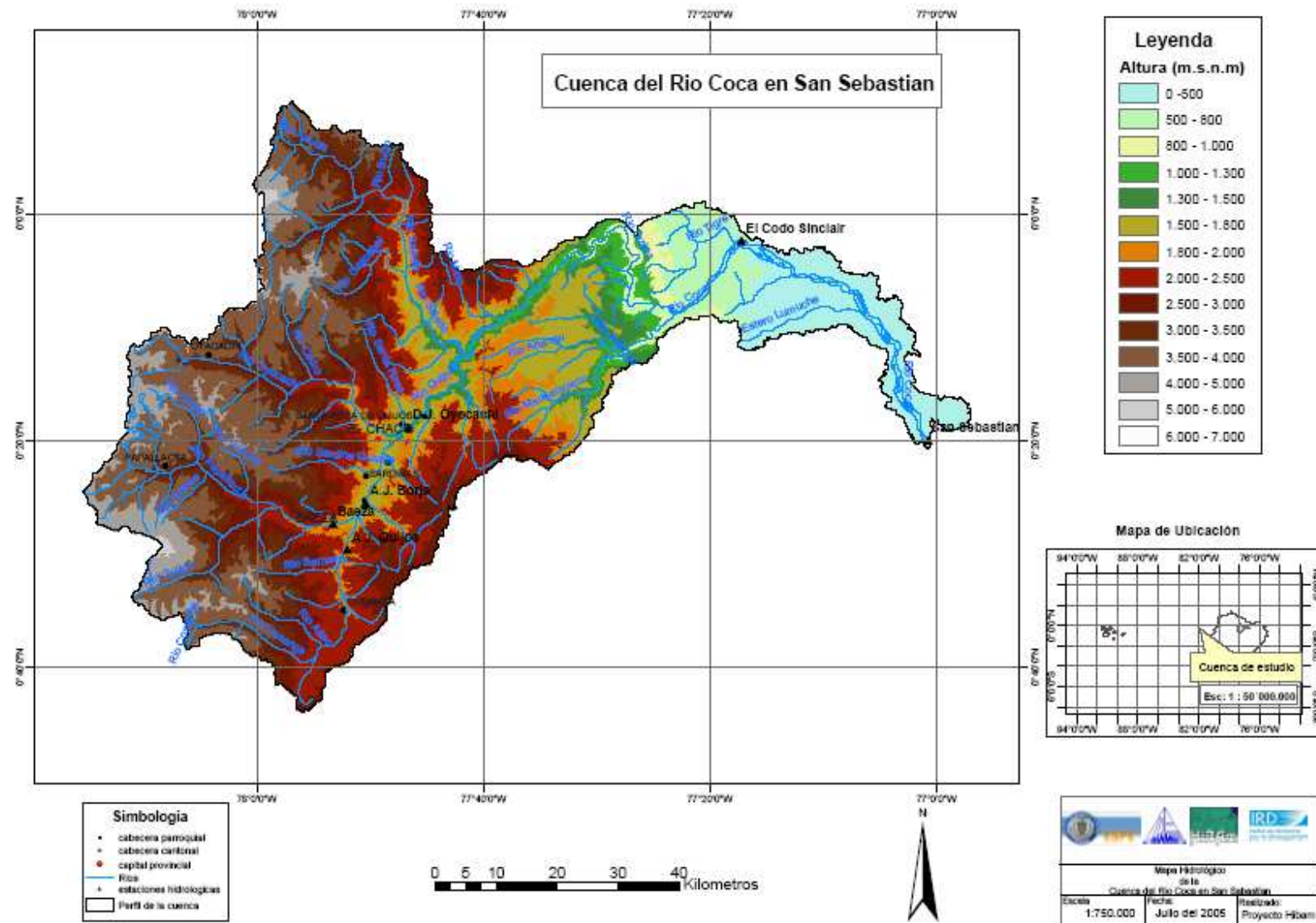
Los sistemas robustos (ARC/INFO, SPANS) disponen de un lenguaje de programación que facilita el desarrollo de una interfase de comunicación entre el SIG; sin embargo, aún en los sistemas menos potentes como Idrisi, se disponen de utilerías que permiten programar las necesidades de comunicación.

En cuanto al potencial de aplicación en el ámbito de la hidrología de cuencas, hay numerosos ejemplos en la literatura; la utilización puede ir desde simples aplicaciones para cálculos hidrológicos específicos, hasta el desarrollo de sistemas expertos que permiten la planeación y operación óptima de los recursos hidráulicos a nivel regional.

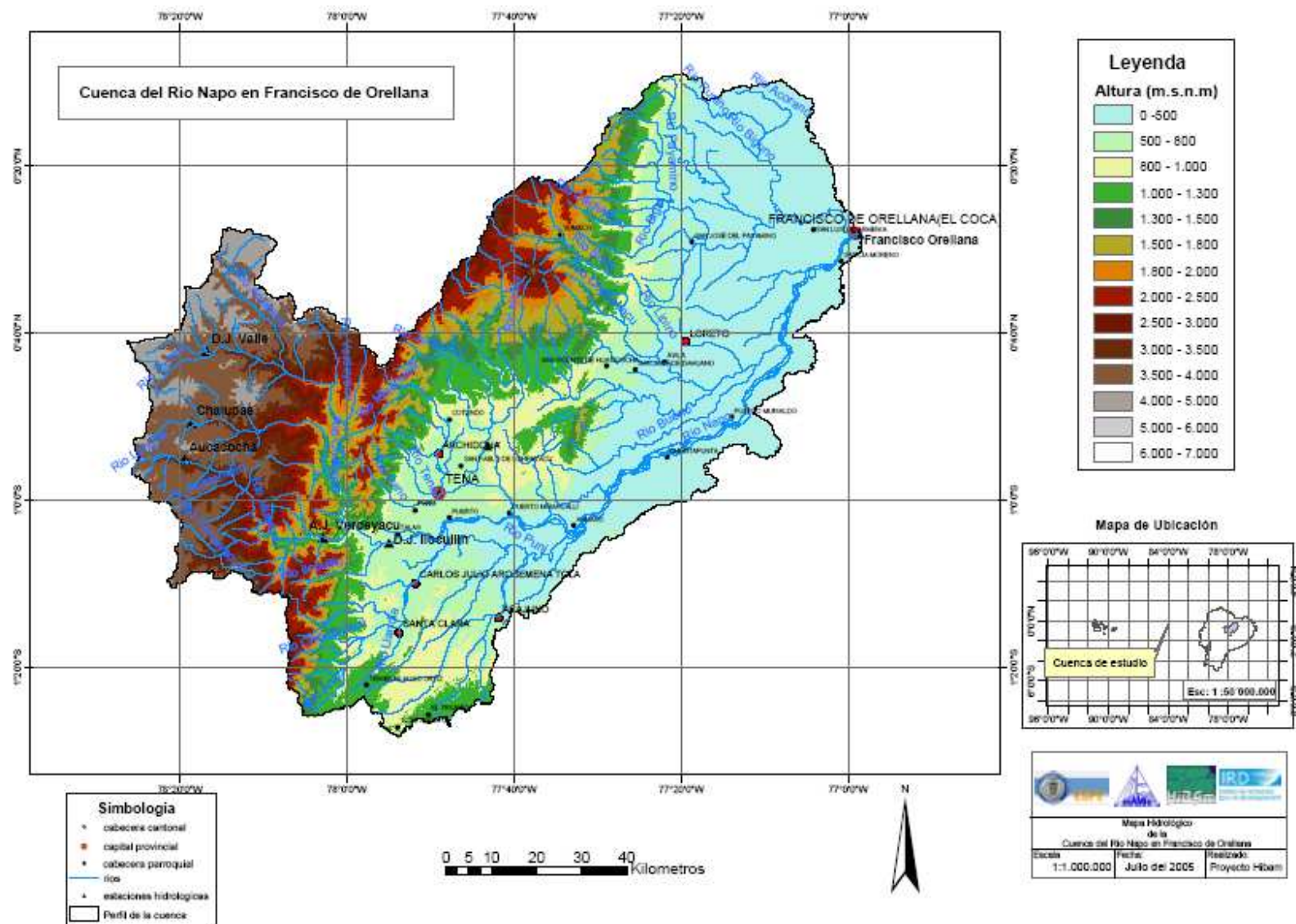
5.5.- MAPAS TEMÁTICOS ELABORADOS BAJO UN SIG

Los mapas elaborados son los siguientes.

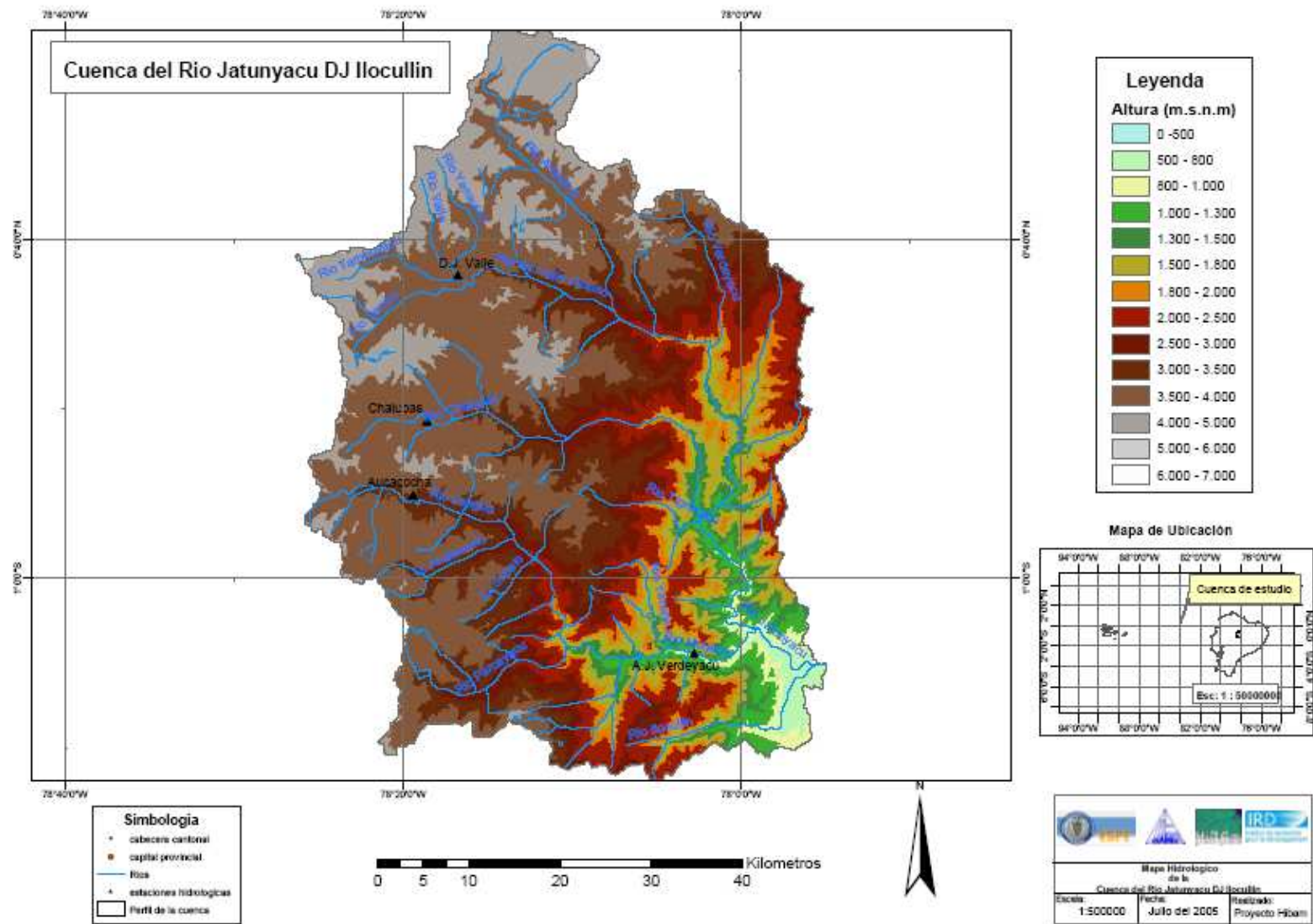
- 5.5.1 Cuenca del Río Coca en San Sebastián
- 5.5.2 Cuenca del Río Napo en Francisco de Orellana
- 5.5.3 Cuenca del Río Jatunyacu D.J. Ilocullín
- 5.5.4 Cuenca “ Nuevo Rocafuerte”
- 5.5.5 Cuenca del Río Papallacta en Baeza
- 5.5.6 Cuenca del Río Quijos D.J. Oyacachi
- 5.5.7 Cuenca del Río Misahualli en Cotundo.
- 5.5.8 Cuenca del Río Yanahurco D.J. Valle
- 5.5.9 Cuenca del Río Cosanga A.J. Quijos.
- 5.5.10 Cuenca del Río Quijos A.J. Borja



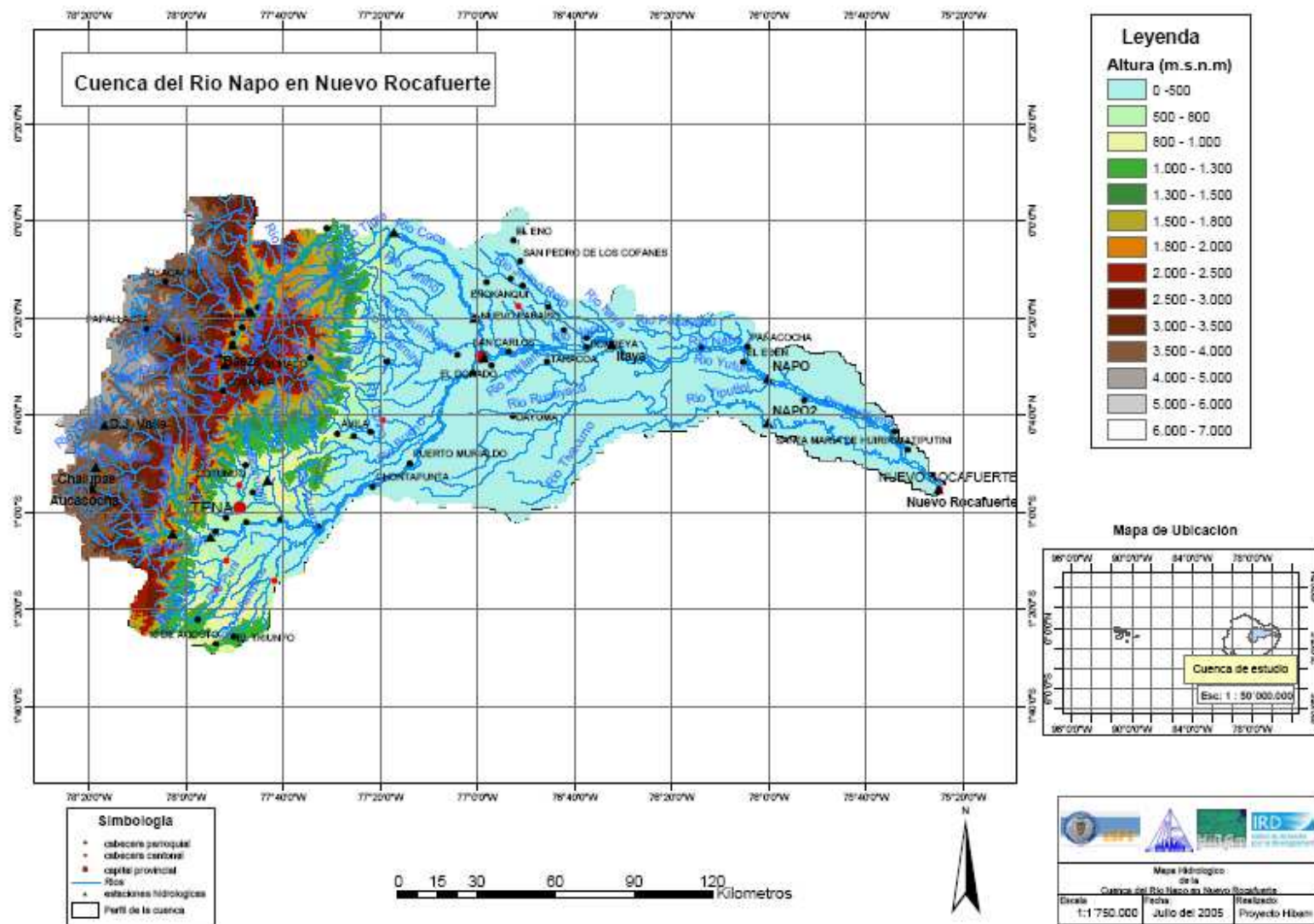
Mapa 5.1 Cuenca del Río Coca en San Sebastián



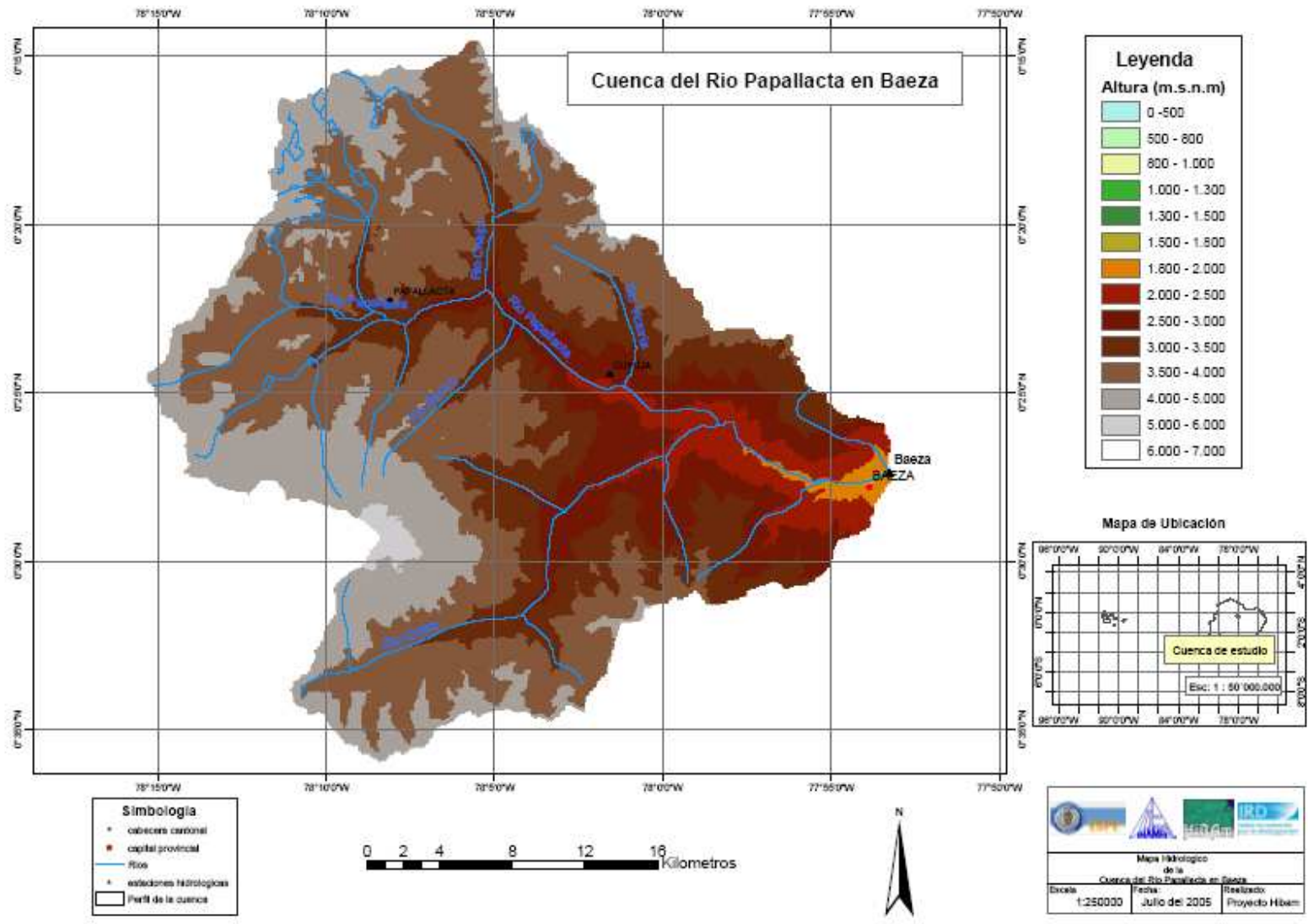
Mapa 5.2 Cuenca del Río Napo en Francisco de Orellana



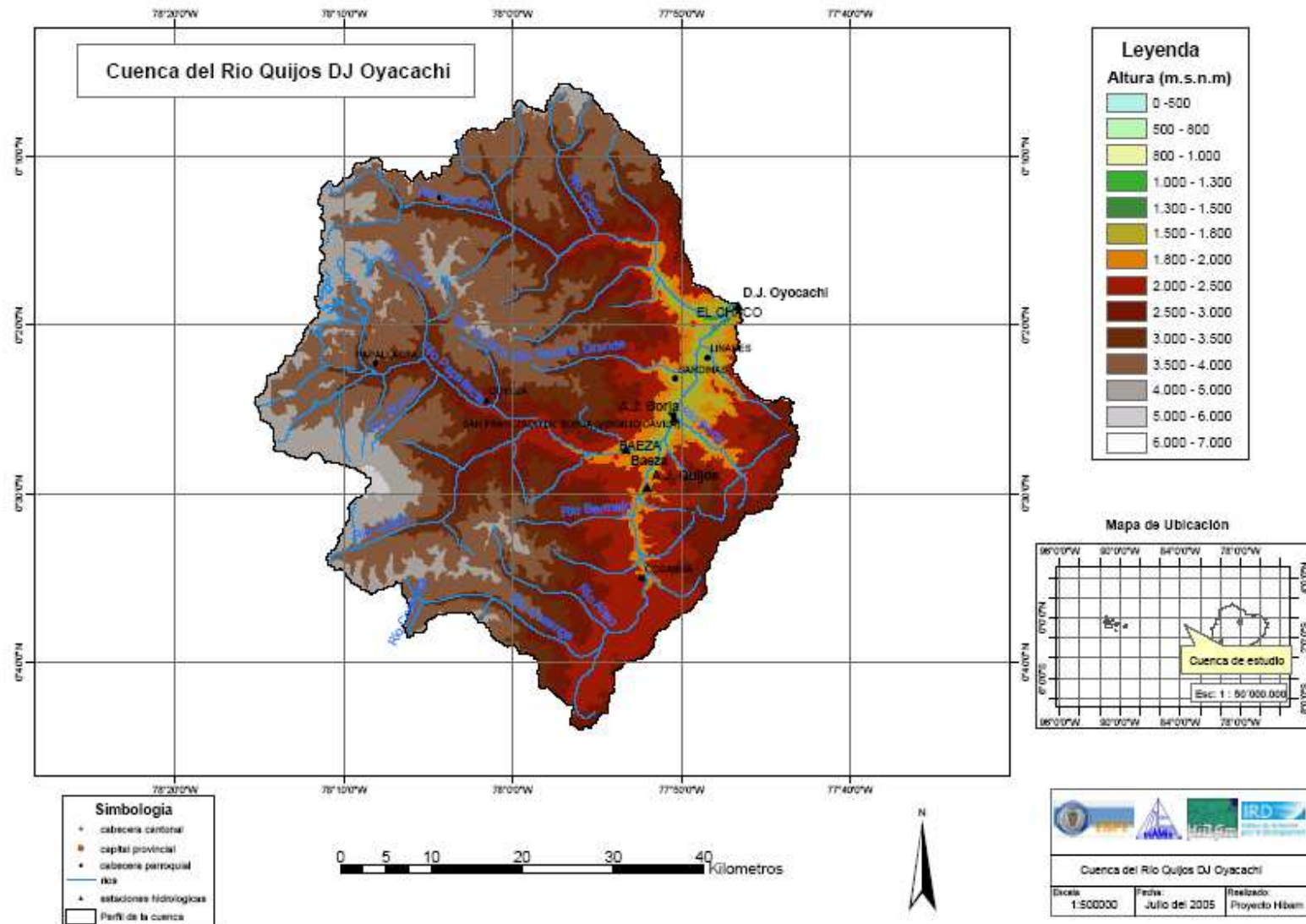
Mapa 5.3 Cuenca del Río Jatunyacu después de juntarse con el Río Ilocullín



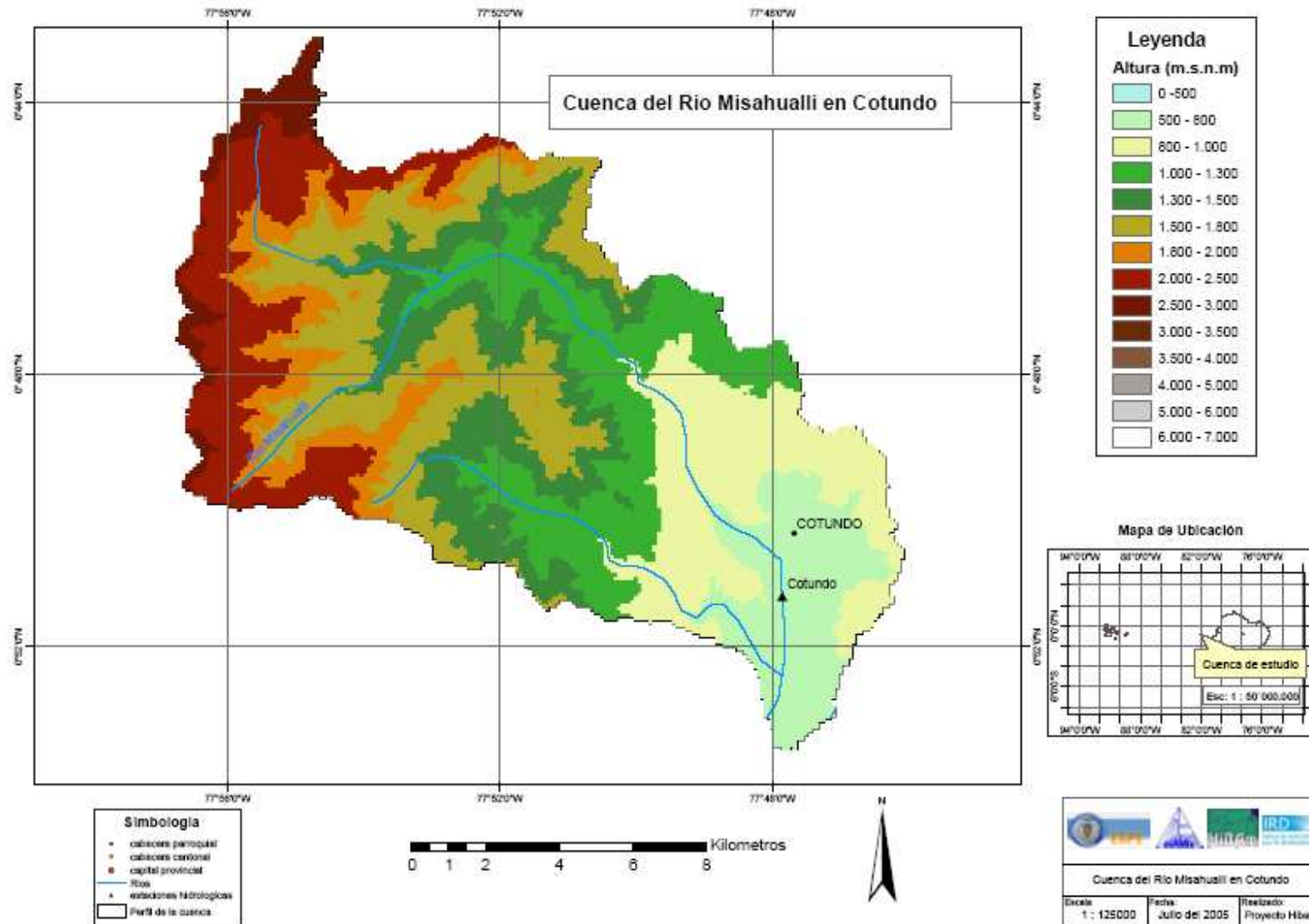
Mapa 5.4 Cuenca del Río Napo en Nueva Rocafuerte



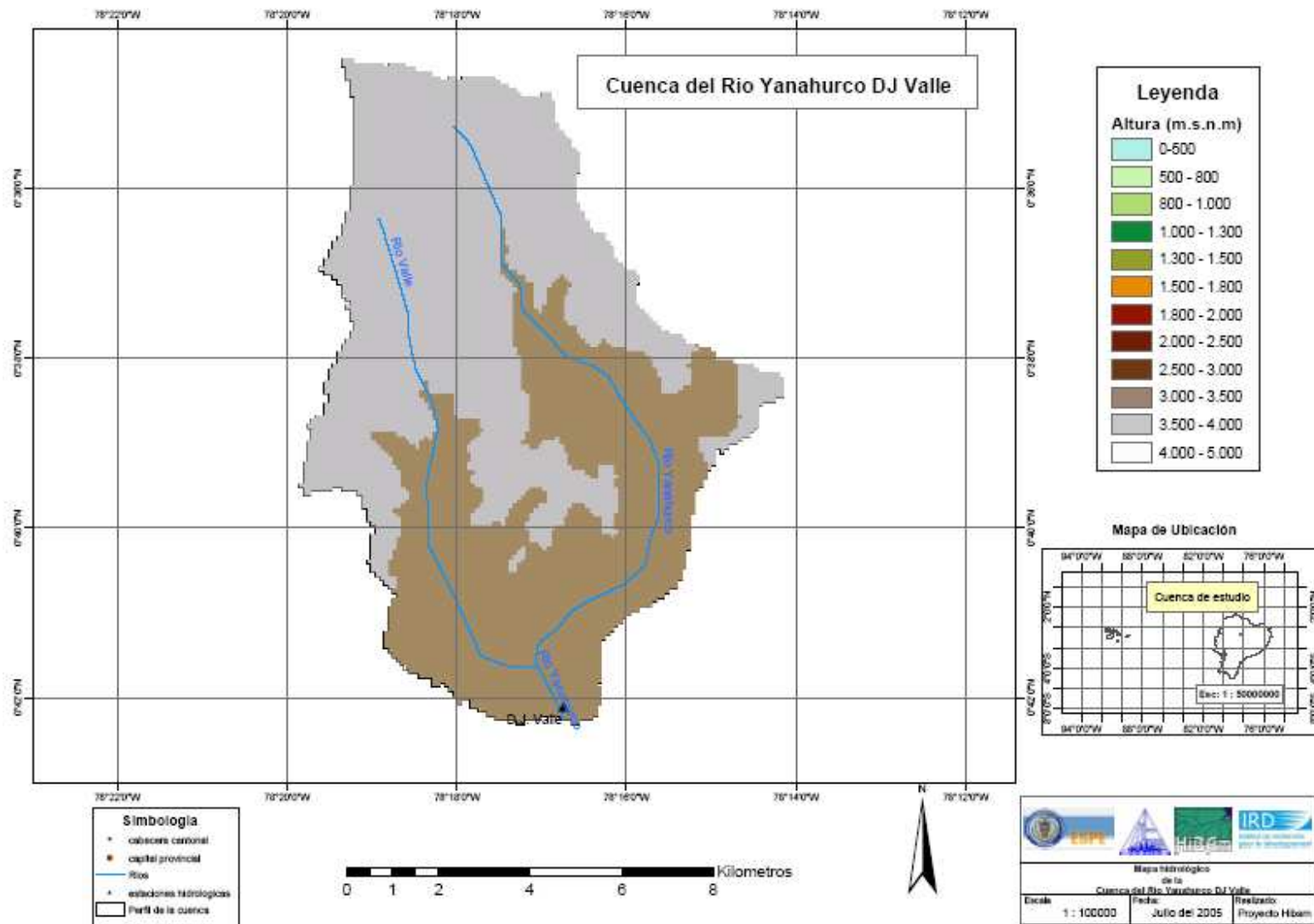
Mapa 5.5 Cuenca del Río Papallacta en Baeza



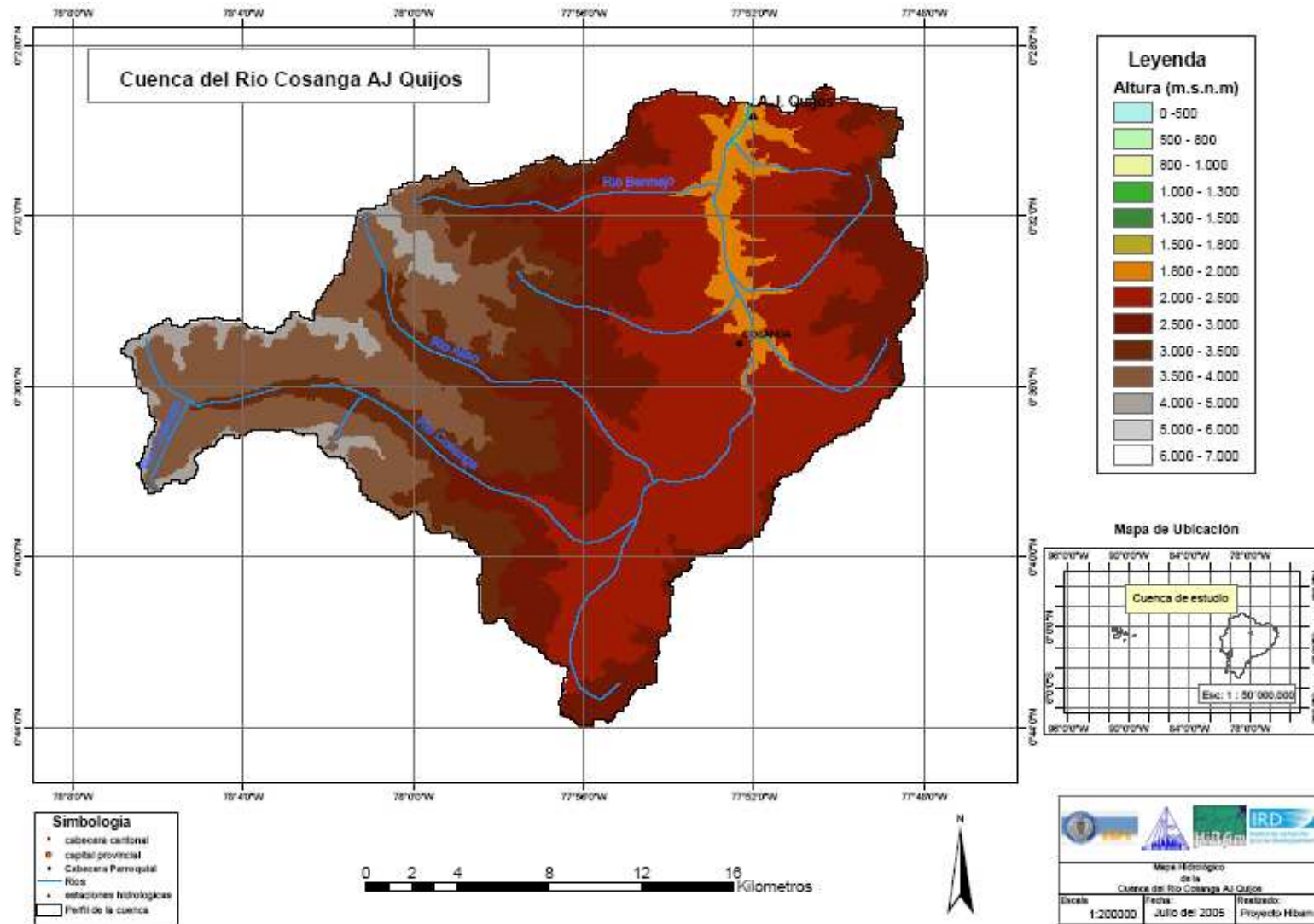
Mapa 5.6 Cuenca del Río Quijos después de juntarse con el Río Oyacachi



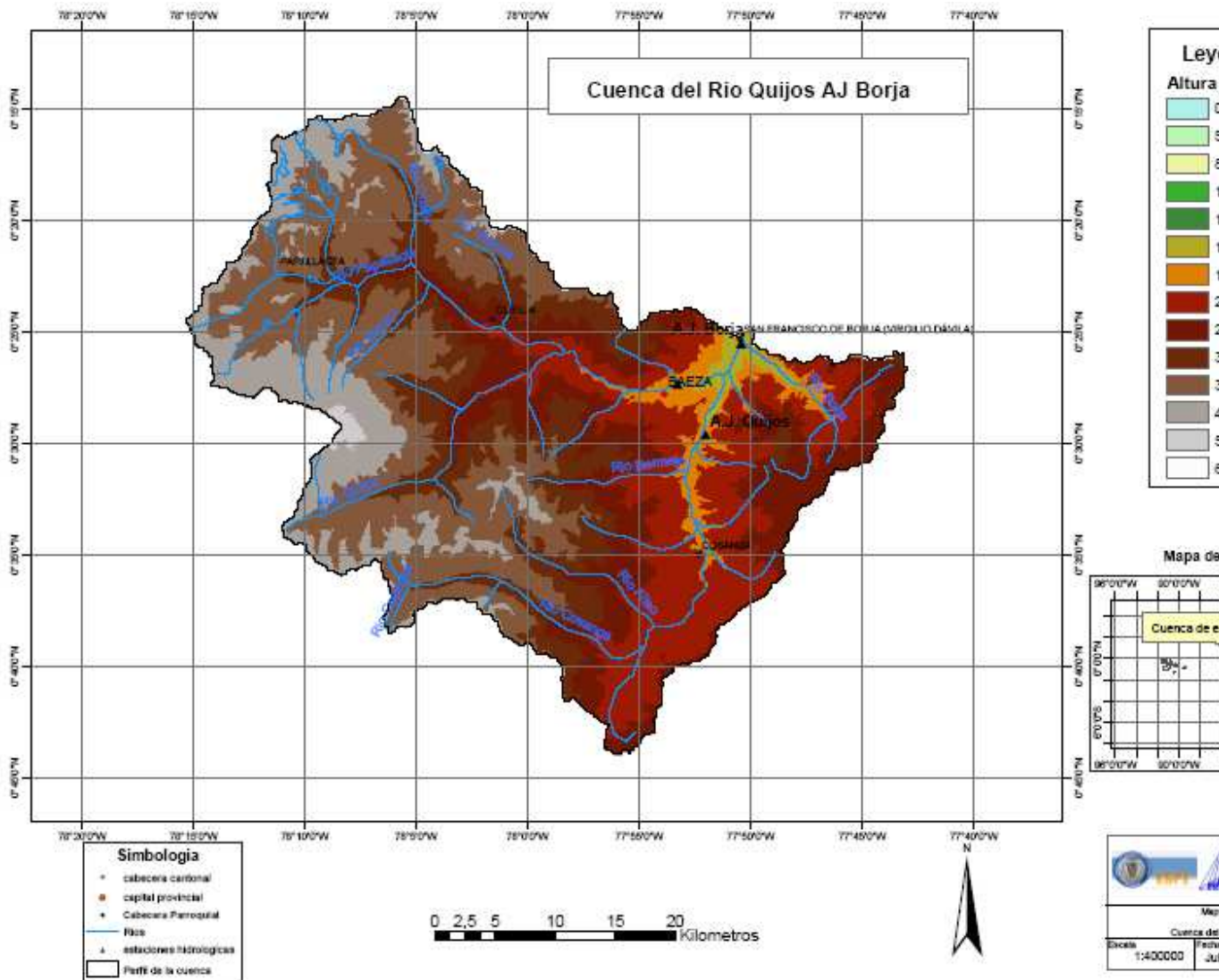
Mapa 5.7 Cuenca del Río Misahualli en Cotundo



Mapa 5.8 Cuenca del Río Yanahurco, después de juntarse con el Río Valle.

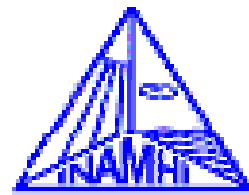


Mapa 5.9 Cuenca del Río Cosanga, antes de juntarse con el Río Quijos



Mapa 5.10 Cuenca del Río Quijos, antes de juntarse con el Río Borja

CAPÍTULO 6



PERFIL LONGITUDINAL DEL RIO NAPO OBTENIDO CON MEDIDAS DGPS

- 6.1 Información DGPS.
- 6.2 Presentación del método DGPS.
- 6.3 Adquisición de los datos DGPS.
 - 6.3.1 Tratamiento de datos.
- 6.4 Resultados Obtenidos.
 - 6.4.1 Interpretación de los resultados.

6.1 INFORMACIÓN DGPS

RAZONES PARA EL USO DE DGPS FRENTE A GPS

El GPS (Global Positioning System) fue desarrollado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos. Su propósito era guiar proyectiles desde plataformas móviles hasta objetivos de países enemigos. Sin embargo, hoy en día se aplica a multitud de actividades civiles.

Veinticuatro satélites orbitan a 11.000 millas (unos 18.000 Km.) sobre la Tierra y transmiten información de su posición orbital y de tiempo. Los receptores GPS situados en Tierra interpretan las señales de al menos 3 satélites para calcular la posición actual mediante triangulación.

La triangulación requiere del uso de lecturas de tiempo, localización y órbita de cada satélite para matemáticamente determinar la posición relativa. Se usa un cuarto satélite para correcciones de tiempo entre el receptor GPS y el reloj del satélite.

El principio de posicionamiento GPS es muy similar del método de triangulación, se mide la distancia entre el utilizador y un cierto número de satélites del sistema GPS, por las cuales las posiciones son conocidas. (Figura.6.1).

Se define así a las esferas de isodistancias centradas sobre los satélites y la intersección de ellas da la posición del receptor. (Figura. 6.2).

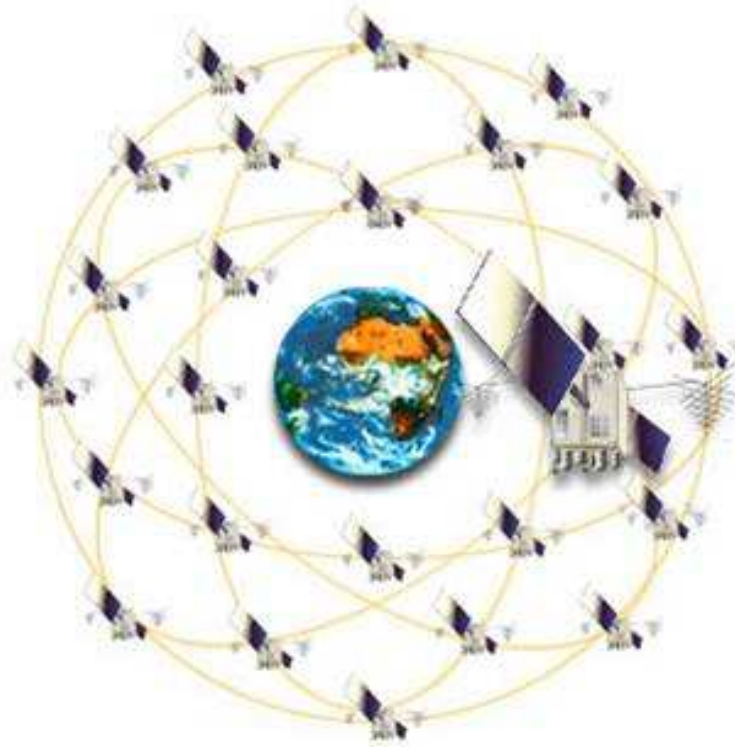


Figura. 6.1 : Constelación de 24 satélites GPS definidos sobre 6 planos orbitales.

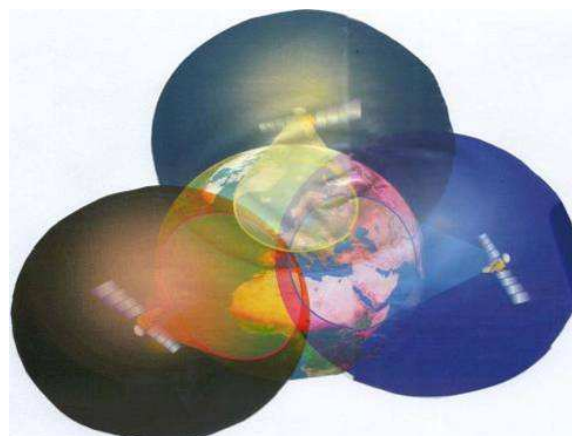


Figura. 6.2: Recorte de esferas de izo distancias en un punto

Sin embargo, aunque la información transmitida por los satélites sea extremadamente precisa, la posición calculada por el receptor no representa la posición real. De hecho, el error puede alcanzar más de 100 metros y la medida de velocidades se puede ver afectada por una desviación de 3 MPH.

En Topografía, una desviación de 100 metros respecto a la posición real hace que la Topografía de precisión sea totalmente carente de utilidad. Si se utilizan datos de GPS no diferencial para realizar mapas, éstos no podrían ser reproducibles de forma consecutiva por la aleatoriedad de los errores de posición. La localización de plagas y malas hierbas, los mapas de infraestructuras y de fincas obtenidos con GPS no diferencial son por completo inútiles.

Para conseguir los órdenes de magnitud anteriormente expresados es necesario añadir complejidad al sistema y elevar los costos económicos respecto a un sistema sencillo como GPS.

El receptor GPS es capaz de identificar el satélite que utiliza con la ayuda de una señal pseudo-aleatorio emitido por cada satélite. El carga, con la ayuda de esta señal, las informaciones sobre la órbita y la posición del satélite.

Para medir la distancia que separa el satélite del receptor GPS, se mide el tiempo (t) medido por la señal por ir del uno hacia el otro. Hay que notar que la señal no esta directa, y está perturbada por la ionosfera, la tropósfera, así como por la configuración del suelo a los alrededores del receptor (Figura. 6.3).

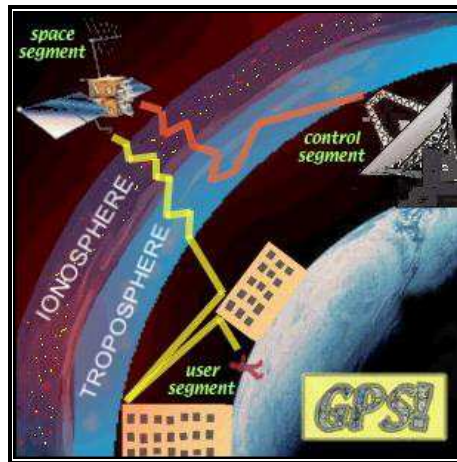


Figura. 6. 3: Desviación de la señal al atravesar la ionósfera y la tropósfera, y también debida a los problemas de configuración del suelo

El sistema GPS permite igualmente medir la velocidad a la que se desplaza el utilizador. Esta evaluación se hace midiendo el efecto DOPPLER sobre la señal proveniente de un satélite GPS. En efecto, la señal recibida por el receptor GPS no tiene exactamente la misma frecuencia que la que es generada por el satélite. Siguiendo el principio DOPPLER, la razón de las frecuencias es función de posiciones y velocidades relativas del satélite y del utilizador.

RECEPTORES GPS

➤ Receptores de 8 ó 12 canales

El número de canales del receptor es el número de transmisiones de satélite que es capaz de interpretar a la vez. Si se dispone de estación base propia con un receptor de 8 canales, podría suceder que 7 satélites

coincidieran para la estación base y el equipo móvil y que el octavo fuese distinto para ambos. En este caso la estación base transmite correcciones diferenciales para 8 satélites y el receptor sólo emplea 7, con lo cual se pierde precisión.

Para que esto no suceda se elige un equipo GPS de 12 canales para la estación base propia y uno de 8 canales (más barato) para el equipo en campo.

LOS SIGNOS EMITIDOS POR LOS SATÉLITES GPS

Cada satélite emite simultáneamente sobre dos frecuencias portadoras; la una a 1575.42 Mhz, la otra a 1227.6 Mhz. La señal se presenta en modulación de fases. (Figura 6.4)

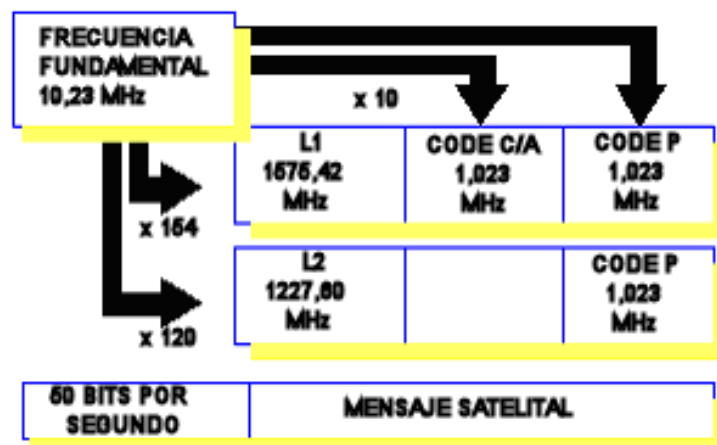


Figura. 6.4 Estructura de la señal GPS

Cada satélite GPS emite un mensaje de navegación, que contiene todos los datos necesarios al receptor para efectuar todos los cálculos de navegación.

Estos datos comprenden:

- Una información del estado de salud del satélite.
- Las informaciones necesarias para la adquisición del código de mensaje.
- Las informaciones de precisión del satélite.
- Una información correspondiente al retraso de propagación debido a la ionósfera
- Las efemérides del satélite.

Estas informaciones son corregidas enseguida por cinco estaciones de control que envían a los satélites los datos verificados y que corrigen la posición de los satélites a partir de sus trayectorias calculadas. (Figura. 6.5)

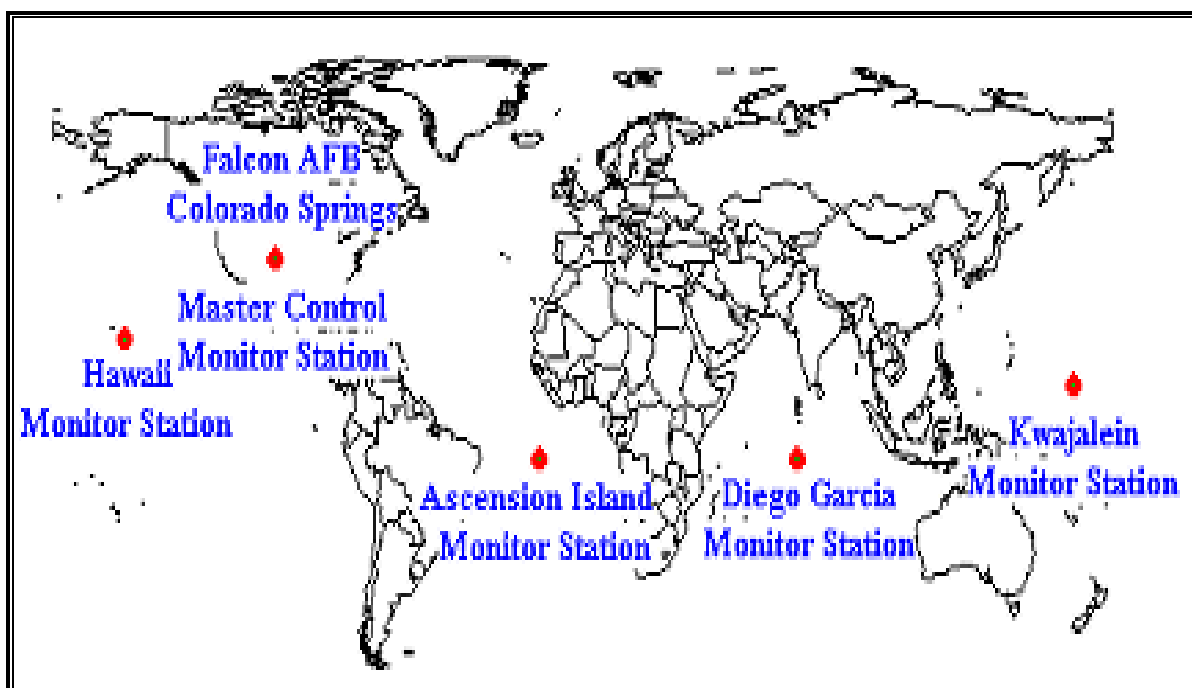


Figura. 6.5: Estaciones de control del sistema GPS

ADQUISICIÓN DE LA SEÑAL

La señal recibida por el receptor GPS difiere de la señal emitida, por varias razones:

- ➔ El ruido del canal de transmisión.
- ➔ El desfase temporal debido al tiempo de propagación y al desfase de los relojes del emisor y del receptor.
- ➔ El desfase frecuencial debido al efecto Doppler y a las inestabilidades de los relojes de emisión y de recepción.

LOS ERRORES DE MEDIDAS

- ➔ Las efemérides, se deben notablemente a los problemas de estabilidad de los satélites que no siguen la órbita calculada (prevista). En efecto los satélites cambian continuamente de trayectoria (Figura. 6.6).

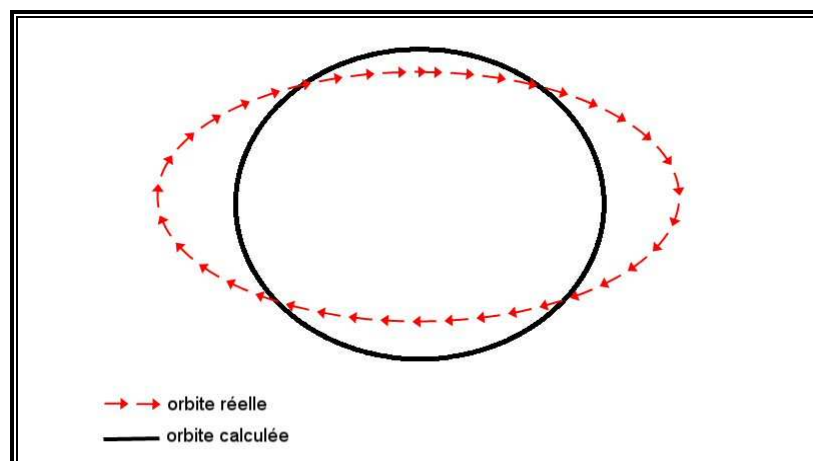


Figura. 6.6 : Trayectoria real de un satélite en función de su órbita de origen.

- El desfase del reloj.
- El PDOP debido a la geometría de los satélites, los desfases de relojes y las efemérides (Figura. 6.7).

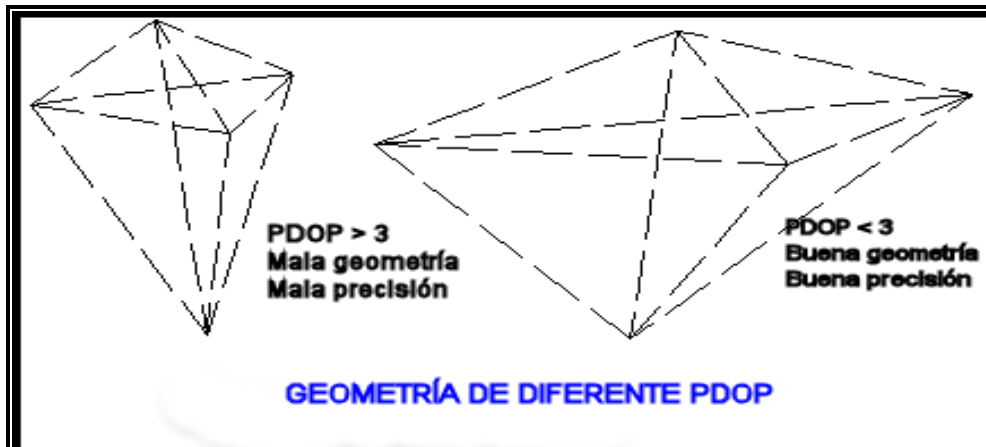


Figura 6.7 : Geometría de diferentes PDOP

- Los errores debido a la ionósfera y a la tropósfera (Fig. 8).

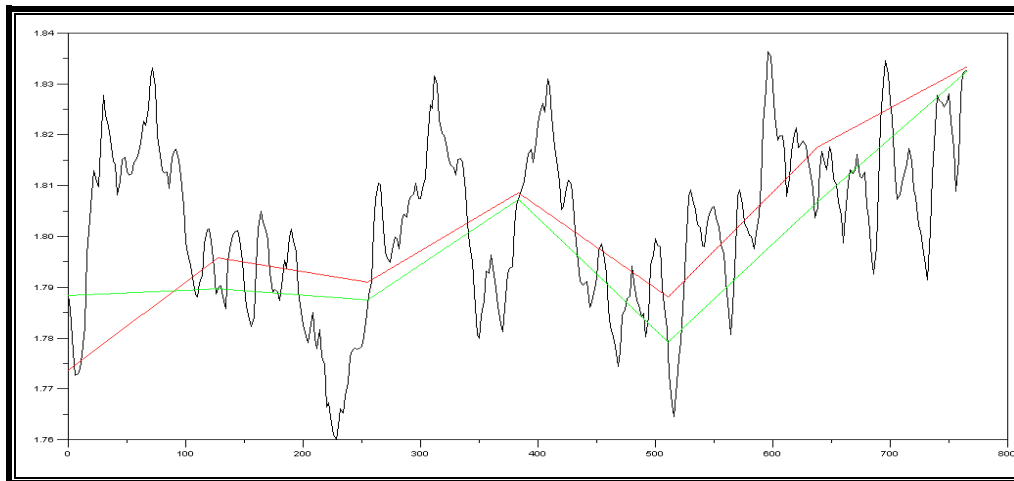


Figura. 6.8 : Retraso de la señal al zenith en mm debido a la tropósfera al nivel de la estación internacional de Arequipa, tendencia sobre un mes.

LA DEGRADACIÓN VOLUNTARIA DE LA PRECISIÓN

Siguiendo las recomendaciones del Departamento de defensa Americano (DoD) la precisión es así degradada por el Sistema Estandarizado de posición (SPS) es decir por los civiles los valores siguientes:

- 100 metros de incertidumbre horizontal.
- 156 metros de incertidumbre vertical.
- 340 metros de incertidumbre sobre el tiempo.
- 0.3 metros por segundo de incertidumbre sobre la velocidad.

Hasta antes del 1 de Mayo del 2000 las fuentes de error eran las siguientes: *Selective Availability (SA)*. Donde el Departamento de Defensa degrada intencionadamente la señal GPS alterando la marca de tiempos o la información de la órbita de los satélites, de forma que la triangulación era totalmente imprecisa, ahora el gobierno americano ha puesto fin a la degradación voluntaria de la señal GPS.

Lo que conduce a llegar a una incertidumbre horizontal de 3 a 5 metros y a una incertidumbre vertical de 5 a 10 m.

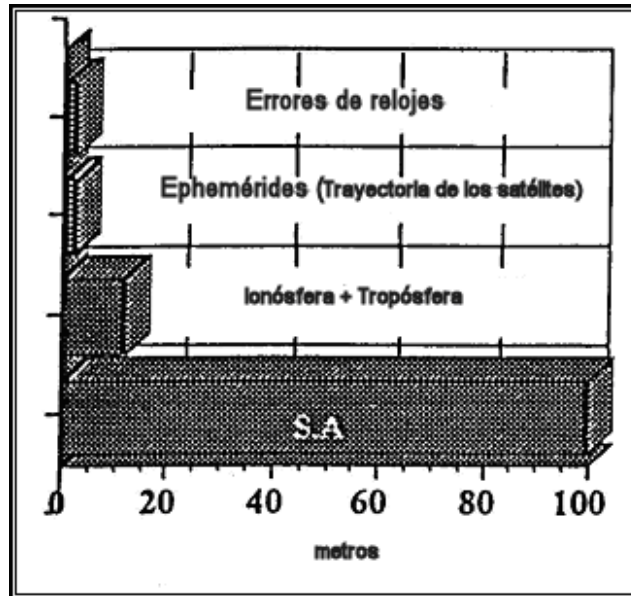


Figura.6.9 Errores de medidas en funciones de diferentes parámetros.

6.2 PRESENTACIÓN DEL MÉTODO DGPS

El sistema de GPS diferencial o DGPS, es un sistema relativamente nuevo que permite corregir mejor los errores del sistema GPS, mediante las bases del suelo sirviendo de referencia a un móvil.

Los errores del sistema GPS se deben a las incertidumbres intrínsecas del sistema GPS, debidas principalmente a las demoras de transmisión, a las precisiones de los relojes embarcados, a la posición del satélite así como a su mensaje de codificación.

Mientras tanto estos errores son altamente corregidos espacialmente. Quiere decir que 2 receptores próximos geográficamente el uno del otro sufrirán los mismos errores.

Entonces todo pasaría como si la posición real de cada receptor estuviera manchado de un offset cualquiera, aleatorio pero casi idéntico por los dos.

Se imaginó el método siguiente para tratar este problema:

- Se coloca un receptor GPS en un punto conocido con gran precisión por los modos geodésicos convencionales.
- El móvil a colocar posee, el mismo un receptor GPS.
- Se recupera entonces los datos proporcionados por los 2 GPS, conociendo la posición real del GPS de referencia y se deduce el vector Base-Móvil (Figura. 6.10a) y asociado a este vector un error según los 3 componentes.
- Este error sirve después para corregir la posición dada por el receptor GPS del móvil.

Para anular los errores del sistema GPS es necesario que los 2 receptores GPS trabajen sobre un máximo de satélites comunes (Figura. 6.10 b). Lo ideal es que los receptores GPS sean especialmente previstos para funcionar en modo diferencial para dar otras informaciones que la posición, como los satélites recibidos....etc.

Así, los dos receptores podrían trabajar juntos sobre los mismos datos , mejorando así la corrección.



Figura. 6.10 a satélite en común encima de una estación receptadora GPS y de un receptor móvil.

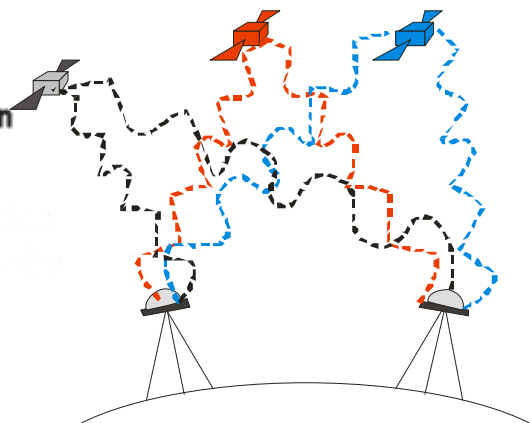


Figura 6.10b satélites comunes encima de dos estaciones receptoras GPS .

Las ventajas del DGPS sobre el GPS son la posibilidad de trabajar sobre las trayectorias, en cinemática (Figura. 6.11), y esto con una gran precisión, de orden de metro en función de la calidad de la señal y de la distancia Base-Móvil.

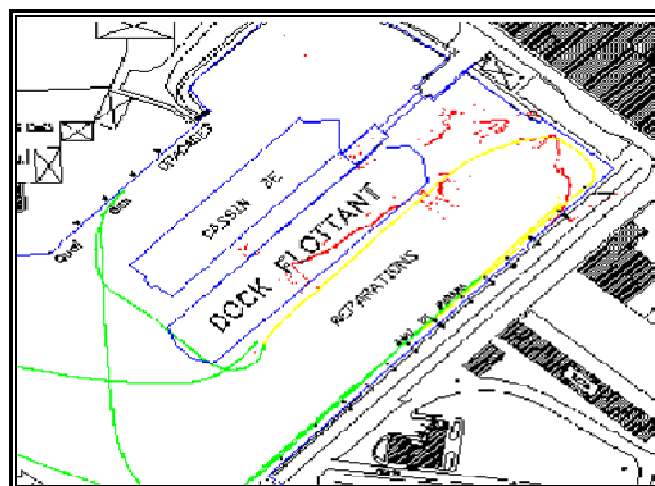


Figura. 6.11 trayecto cinemático obtenido con los métodos GPS y DGPS (en amarillo y verde, la trayectoria obtenida por DGPS en rojo, la trayectoria obtenida por GPS)

Existen dos formas básicas de aplicar las correcciones diferenciales:

1. Post-processed DGPS
2. Real-time DGPS

POST-PROCESSED DGPS (DGPS A POSTERIORIO DE POST- PROCESAMIENTO)

Con el post-procesamiento los datos en bruto son recogidos en un archivo de datos. Cuando el usuario regresa, el archivo de datos GPS en bruto se vuelca a un software junto con los datos obtenidos por la estación base. El resultado reduce los errores de la SA y otros errores corregibles y suministra datos listos para exportar al GIS.

El post-procesamiento permite mejores precisiones que el DGPS de tiempo real. El incremento de precisión se debe a la reducción de la latencia, inherente al DGPS de tiempo real, y a la potencia de los algoritmos de post-procesamiento.

REAL-TIME DGPS (DGPS DE TIEMPO REAL)

Es la solución más extendida dentro de la Topografía de precisión. Consiste en el uso de un radio enlace entre la estación base y la embarcación. La corrección es aplicada a los datos que recibe en tiempo real (las diversas opciones para las correcciones de tiempo real se explicarán más adelante). Para el DGPS de tiempo real se necesita un equipo que reciba las correcciones enviadas desde una fuente DGPS.

El receptor GPS emplea esta información para calcular la posición correcta de los datos que se están recogiendo. Los datos GPS corregidos se transfieren al

software de un PC, de manera que están listos para ser exportados a un GIS. Esta técnica ahorra tiempo de procesamiento de forma notable.

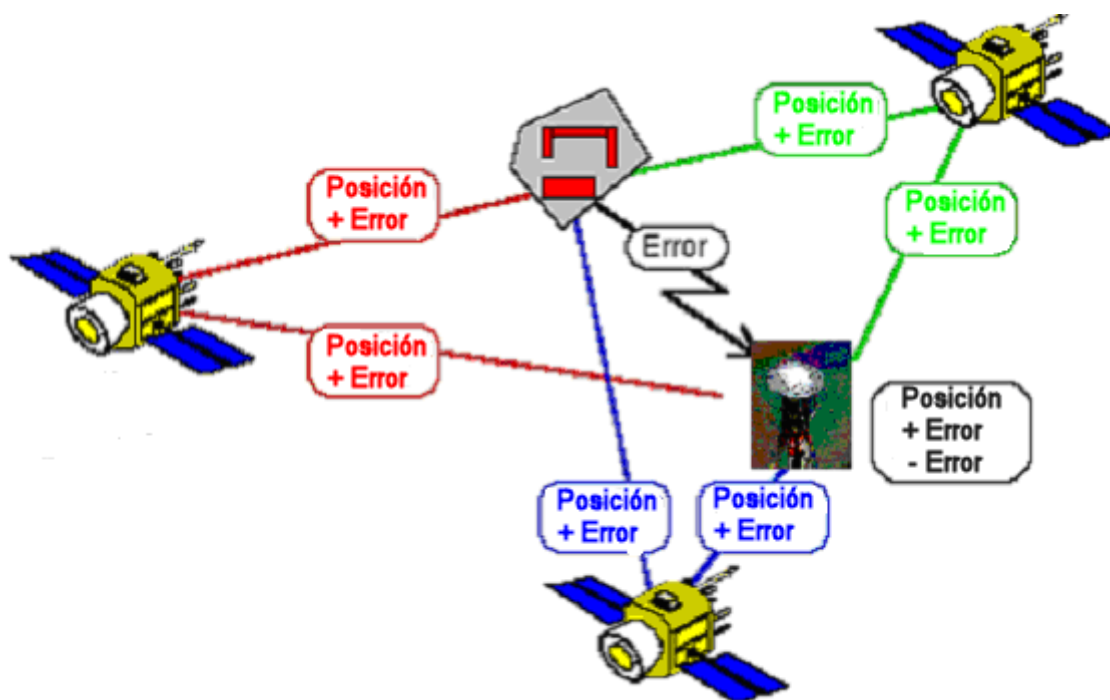


Figura. 6.12: Posición de errores frente a los satélites

LA APLICACIÓN DE DGPS A LA MEDIDA DE PERFILES A LO LARGO DE LOS RÍOS.

Para hacerlo, es necesario al comienzo colocar las estaciones de referencias, (las bases), que funcionarán durante toda la bajada del río con un bote sobre el cual está instalado un GPS (el móvil) que va a registrar la trayectoria del bote.

Hay que hacer toda la bajada lo mas lentamente posible, para permitir al receptor hacer una adquisición de entregas dentro de las condiciones más estables, sabiendo que los fenómenos de balanceos y de vaivenes de la embarcación, no podrán ser corregidos, y por

consecuencia, además la lancha ira rápido y estos fenómenos se ampliarán, y entonces el error vertical será grande, lo que no es bueno para el establecimiento de un perfil, altura sobre distancia.

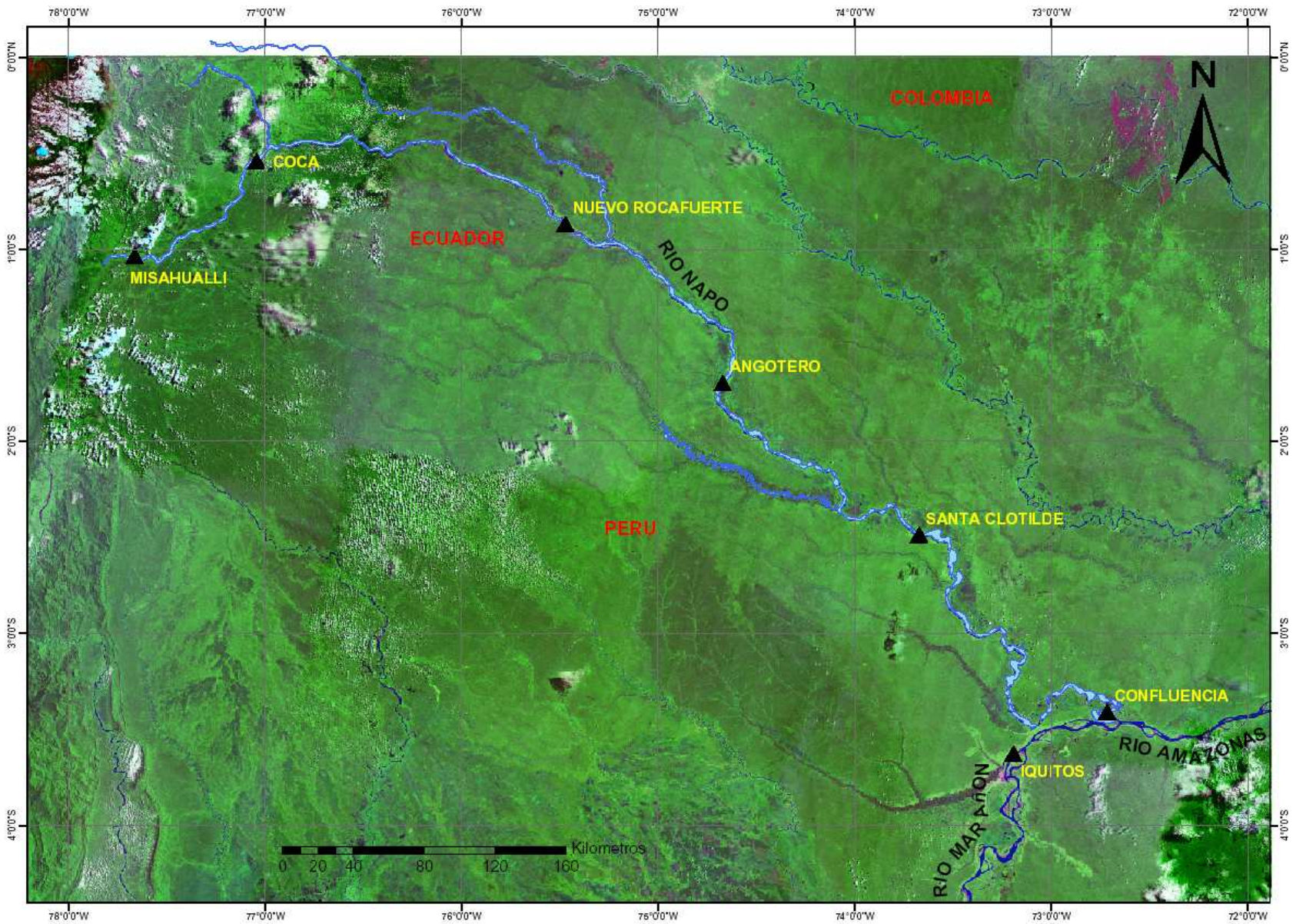
También hay que evitar de acercarse a las riberas si ellas tienen vegetación alta, lo que puede hacer subir el PDOP o cortar la adquisición de la señal GPS si es bosque - galería

6.3 ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS DGPS

LA ADQUISICIÓN DE DATOS : LA MISIÓN NAPO 2004

La misión Napo 2004 ha tenido lugar durante el mes de octubre del 2004, entre el Ecuador y el Perú. Se negoció la bajada del río Napo durante dos semanas mas o menos y adquirir diversos datos hidrológicos, geoquímicas y geofísicos. Este trabajo trata los datos DGPS, obtenidos a partir de dos lanchas, una canoa en el Ecuador y un bote (el Tucunaré) en el Perú.

Antes de la salida de la misión, seis estaciones de referencia fueron instaladas a lo largo del río, 3 en Ecuador (Misahualli, Coca, Nuevo Rocafuerte) y 3 en Perú (Angotero, Santa Clotilde, Iquitos) . (Mapa 6.1).



Mapa 6.1 Curso del río Napo entre Misahualli (Ecuador) e Iquitos (Perú) y ubicación de las seis estaciones GPS bases. El fondo es una imagen satelital Landsat (MrSiD).

Fue interesante disponer de estaciones de base suplementarias, pero las condiciones del suelo, la disponibilidad de GPS, así como el aspecto geopolítico de la región no han permitido posicionar más que seis estaciones, lo que tendrá una fuerte incidencia sobre la precisión de las medidas (más que todo sobre la vertical Z) es decir del nivel del agua del río.

Todas las estaciones han estado anotadas y fijadas de manera que si otra misión venía a reiterar este tipo de medida, la adquisición de datos se haría a partir de los mismos puntos. (Figura. 6.13). Además de las bases, había un GPS instado sobre la lancha (se llama el GPS móvil) que ha permitido adquirir los datos necesarios para obtener un perfil a lo largo del río Napo.



Figura. 6.13 Pedestal de precisión de una estación, el clavo materializa el punto geodésico de las coordenadas conocidas.

La estación mayor es la estación de Iquitos. Sobre esta base, tenemos dispuesta la antena mas precisa, con un receptor TRIMBLE bifrecuencia de 24 canales. Las estaciones ecuatorianas poseen el mismo tipo de receptor con las antenas un poco menos precisas. En el Perú las otras bases están constituidas de receptores bifrecuenciales ASHTECH ZXTREME de calidad comparable a los TRIMBLE.

6.3.1 TRATAMIENTO DE LOS DATOS.

a) Los Pretratamientos:

Estos tratamientos se han desarrollado sobre el programa TTC (Total Trimble Control). Para poder fijar las coordenadas de las estaciones a lo largo del río, se necesitó efectuar una trilateración con las estaciones GPS internacionales por esto se utilizo las estaciones de Bogotá (Colombia), Arequipa (Perú), Kourou (Guyana) y Fortaleza (Brasil).

Hubiera sido preferible tener estaciones mas cercanas del lugar de adquisición, pero todas las estaciones no son disponibles sobre el sitio Internet de IGS (Servicio Internacional GPS).

Con el fin de verificar si las trilateraciones eran buenas, se procedió a verificar los cálculos utilizando el sitio del IGS sobre Internet que ha efectuado estos mismos

cálculos sobre los períodos más cortos, pero con las estaciones internacionales todas cercanas.

Se ha averiguado entonces que las diferencias sobre los vectores entre las estaciones y sobre la posición misma de las estaciones es inferior en milímetros entre nuestros cálculos y aquellos de SOPAC, con un error casi idéntico en X, Y, Z.

Una vez con los datos verificados, se puede ingresar los datos brutos cinemáticos (resultados del GPS móvil colocado sobre los botes), y de este modo calarlos verticalmente y horizontalmente entre las estaciones de referencias anteriormente calculadas.

Los resultados obtenidos con el programa TTC fueron después exportados a través de un programa hecho por José Darrozes, que permite exportar las fichas cinemáticas recalculadas sobre forma de mesas que comprenden entre otras los errores horizontales y verticales, estas fichas son enseguida exportadas en fichas texto, lo que nos ha permitido exportarlas en Excel y después en el Sistema de Información Geográfica (arcview).

b) Las correcciones:

Estas correcciones se han hecho en Excel. Las correcciones a aportar a las fichas son notablemente debidas a los problemas de número de satélites utilizados durante las

medidas (debe de ser más de 4 satélites) y del PDOP (ver Figura.6.7) , cuando el PDOP está superior a 3, los errores son más importantes), como del error sobre la vertical, que son ligados.

Un PDOP elevado puede darse porque el equipo DGPS se encuentra cerca de árboles (bosque galería) , asiendo que los datos obtenidos no sean los más exactos.

Cuando el río Napo se encuentra antes del pie de montaña este debe atravesar fuertes pendientes, estrechos valles lo que hace que en estos tramos se produzcan las mayores imprecisiones de sus datos o hasta perder la señal totalmente.

Los resultados son graficados en Excel a fin de visualizar los errores y poder ubicarlos muy fácilmente y corregirlos.

c) Los resultados y márgenes de errores:

Los resultados corregidos son enseguida graficados en Excel a fin de visualizar el perfil del Río Napo (es decir el nivel del agua frente a la distancia del río) y los gráficos de las sinuosidades y de pendientes según la distancia del río.

Los márgenes de errores obtenidos son inferiores a 1 metro a lo largo del río, persiste todavía algunas zonas oscuras debidas esencialmente a los problemas de adquisiciones sobre aquellas es imposible reconstruir: (ejemplo: algunos datos de una decena de kilómetros entre Angotero y Santa Clotilde).

6.4 RESULTADOS OBTENIDOS.

En esta sección presentamos los resultados obtenidos a partir de los datos de DGPS corregidos obtenidos usando Excel.

La figura 6.14 (14a graficada en excel y 14b elaborada en el SIG ArcGis 8.2) presenta el curso del río Napo entre Misahualli (Ecuador) e Iquitos (Perú) es decir una distancia de 1075 Km , en esta figura están ubicadas las seis estaciones bases GPS. Las coordenadas están en el sistema UTM (zona 18 Sur) y fueron calculadas a partir de los datos DGPS en grados con el programa ENVI.

El río Napo baja hasta la confluencia (ver figura 6.14b) con el río Marañon (donde se ubica el final del perfil en Iquitos) formando el río Amazonas. Los errores sobre el calculo de la latitud y de la longitud presentan un promedio de unos 20cm y un error máximo de un metro (ver tabla 6.1) .

La figura 6.15 presenta el perfil longitudinal del río Napo es decir el nivel del agua vs la distancia del río. La altura del nivel del agua es de 404 msnm en Puerto Misahualli y de 104 msnm en Iquitos. Los errores sobre el calculo del nivel del agua presentan un promedio de unos 50cm y un error máximo de un metro (ver tabla 6.1).

ERRORES	ΔX	ΔY	ΔZ
PROMEDIO	0,18	0,22	0,49
MAX	0,99	0,91	1,00
MIN	0,00	0,00	0,001
σ	0,01	0,01	0,05

Tabla 6.1. Estadísticas de los errores obtenidos sobre el cálculo del nivel del agua sobre el tramo total del río (entre Misahualli e Iquitos)

La figura 6.16 presenta la evolución de la pendiente (calculada a un paso de 10 km) del río Napo. La pendiente evoluciona aproximadamente entre 250cm/km en la parte alta de la cuenca hasta 30 cm/km en la parte baja de la misma.

La figura 6.17 presenta la evolución de la sinuosidad (es decir la razón entre la distancia del río sobre la distancia recta calculada a un paso de 10 km) del río Napo. La sinuosidad presenta un índice con un valor promedio de 1.3 (ver tabla 6.2).

SINUOSIDAD	
PROMEDIO	1,28
MAX	1,99
MIN	1,01
σ	0,05

Tabla 6.2. Estadísticas de los resultados obtenidos sobre el cálculo de la sinuosidad sobre el tramo total del río (entre Misahualli e Iquitos)

El tener un índice de sinuosidad bajo quiere decir que el río no hace parte de los ríos que se hacen llamar meandriformos (es decir que presenta pocos meandros). En algunos lugares encontramos meandros (el índice máximo es de 2) y en otros lugares el río lleva una trayectoria recta (el índice mínimo es de 1).

Los resultados presentados en las tres últimas figuras (perfil longitudinal, pendiente y sinuosidad) nos permiten poner en evidencia algunas características del río Napo:

- este río tiene una sinuosidad media de 1.3 al contrario de la mayor parte de los ríos de la cuenca amazónica que presentan una sinuosidad superior a 2 (cerca de 3).
- este río tiene una pendiente media de 30 cm/km (en la cuenca baja) al contrario de la mayor parte de los ríos de la cuenca amazónica que presentan una pendiente media inferior a 15 cm/km (cerca de 5 cm/km).
- Esos valores de pendiente y de sinuosidad nos permiten poner en evidencia que el río Napo presenta una fuerte capacidad de erosión.

Gráfico de Latitud vs Longitud (UTM)

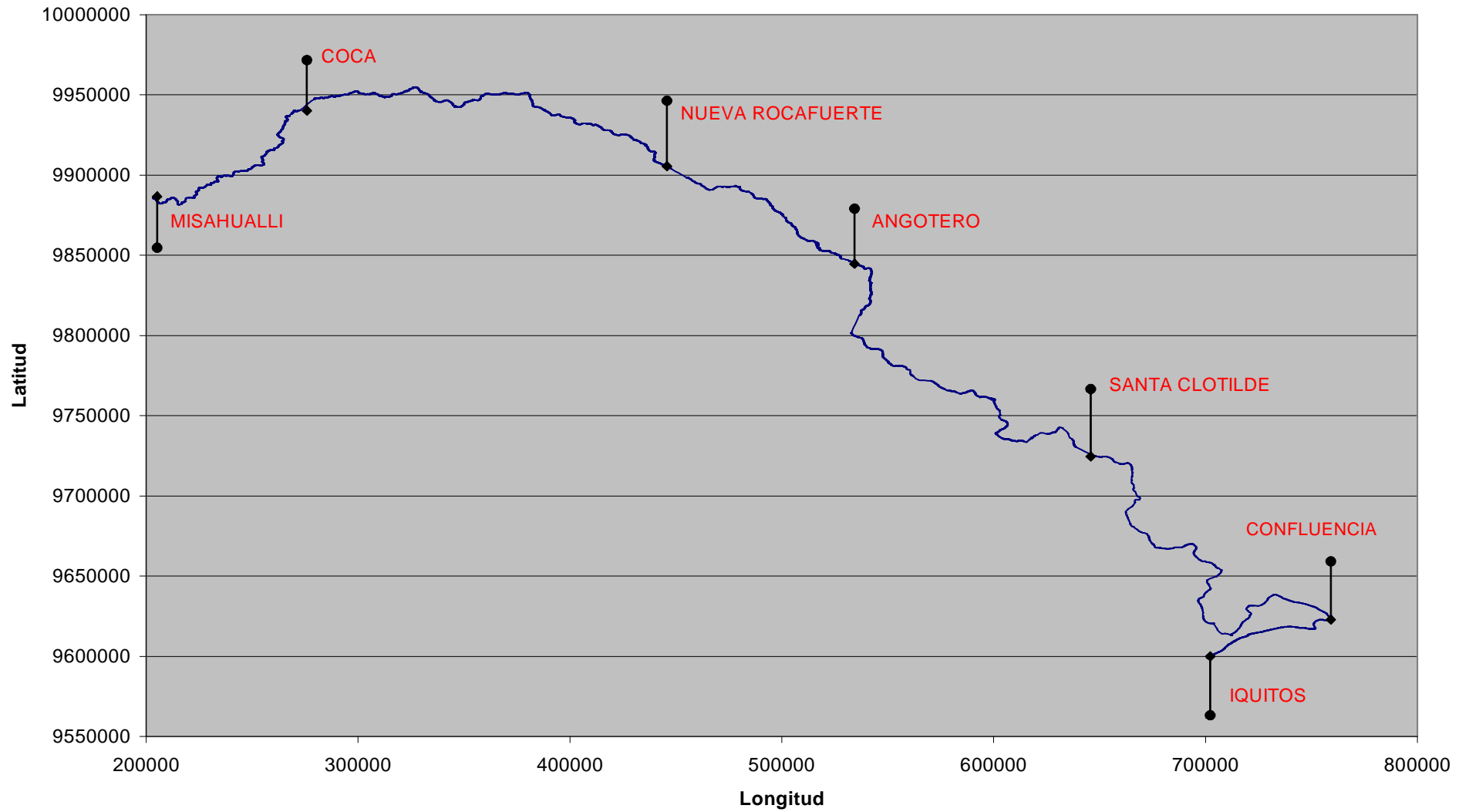


Figura 6.14a Curso del río Napo entre Misahualli (Ecuador) e Iquitos (Perú) obtenido con DGPS (Coordenadas de latitud y longitud en UTM) y ubicación de las seis estaciones GPS bases.

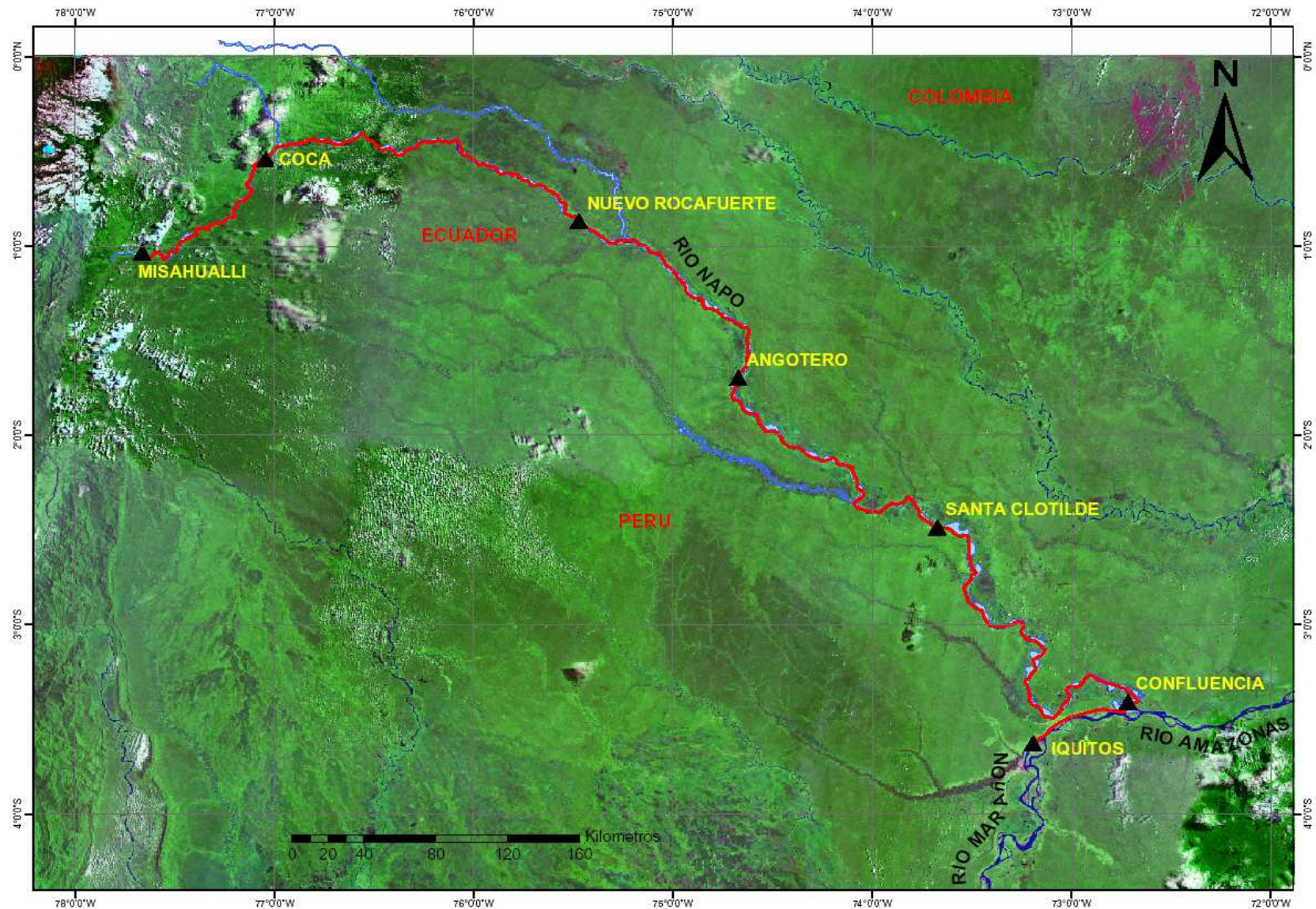


Figura 6.14b: Curso (en rojo) del río Napo entre Misahualli (Ecuador) e Iquitos (Perú) obtenido con DGPS (Coordenadas de latitud y longitud en grados) y ubicación de las seis estaciones GPS bases. El fondo es una imagen satelital Landsat (MrSid).

HI vs Distancia del Rio

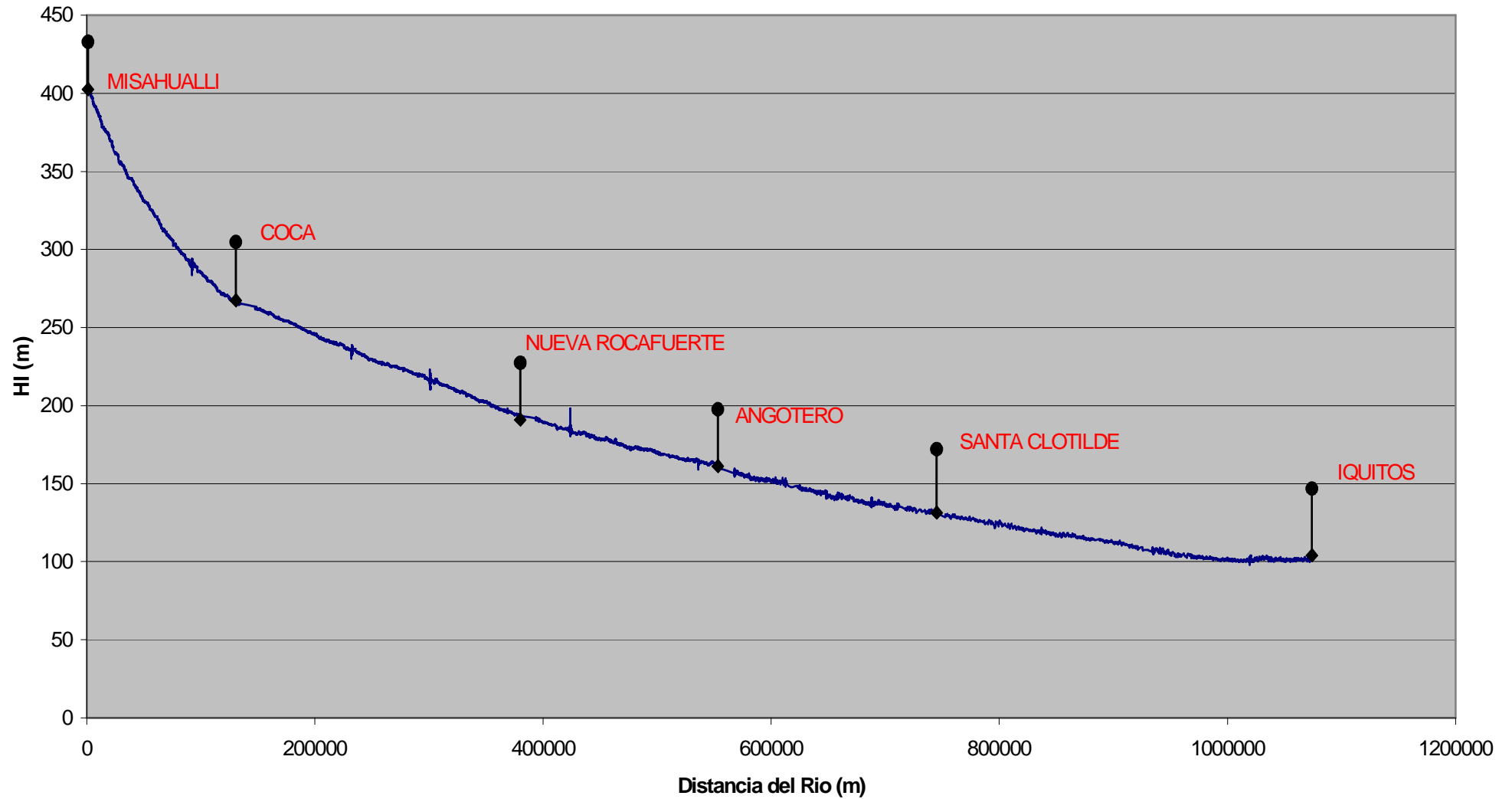


Figura 6.15: Perfil Longitudinal del río Napo entre Misahualli (Ecuador) e Iquitos (Perú) obtenido a partir de datos de DGPS (Nivel del agua vs distancia del río) y ubicación de las seis estaciones GPS bases.

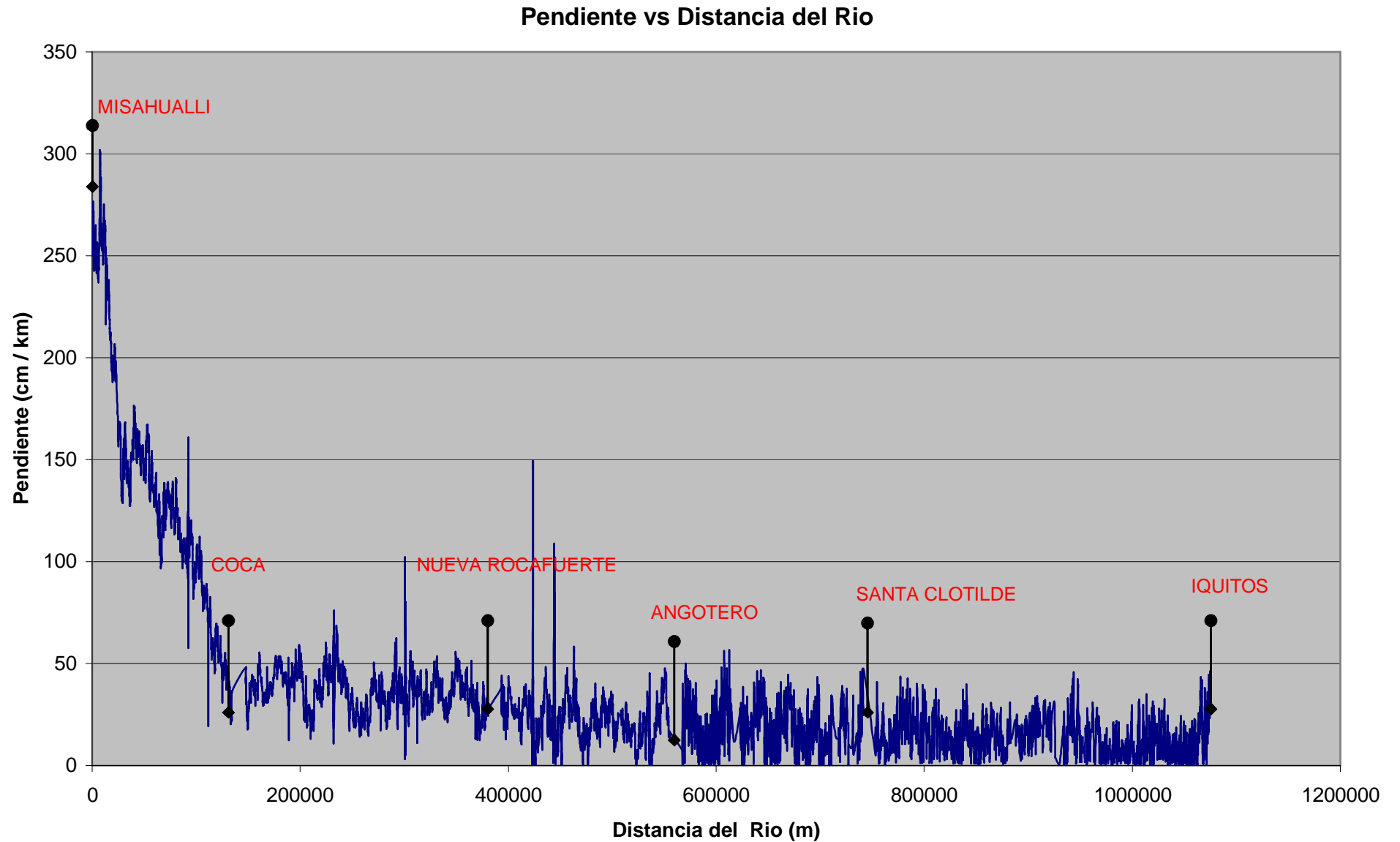


Figura 6.16 Evolución de la pendiente (paso de 10 km) del río Napo entre Misahualli (Ecuador) e Iquitos (Perú) obtenido a partir de los datos de DGPS y ubicación de las seis estaciones GPS bases.

Sinuosidad vs Distancia del Río

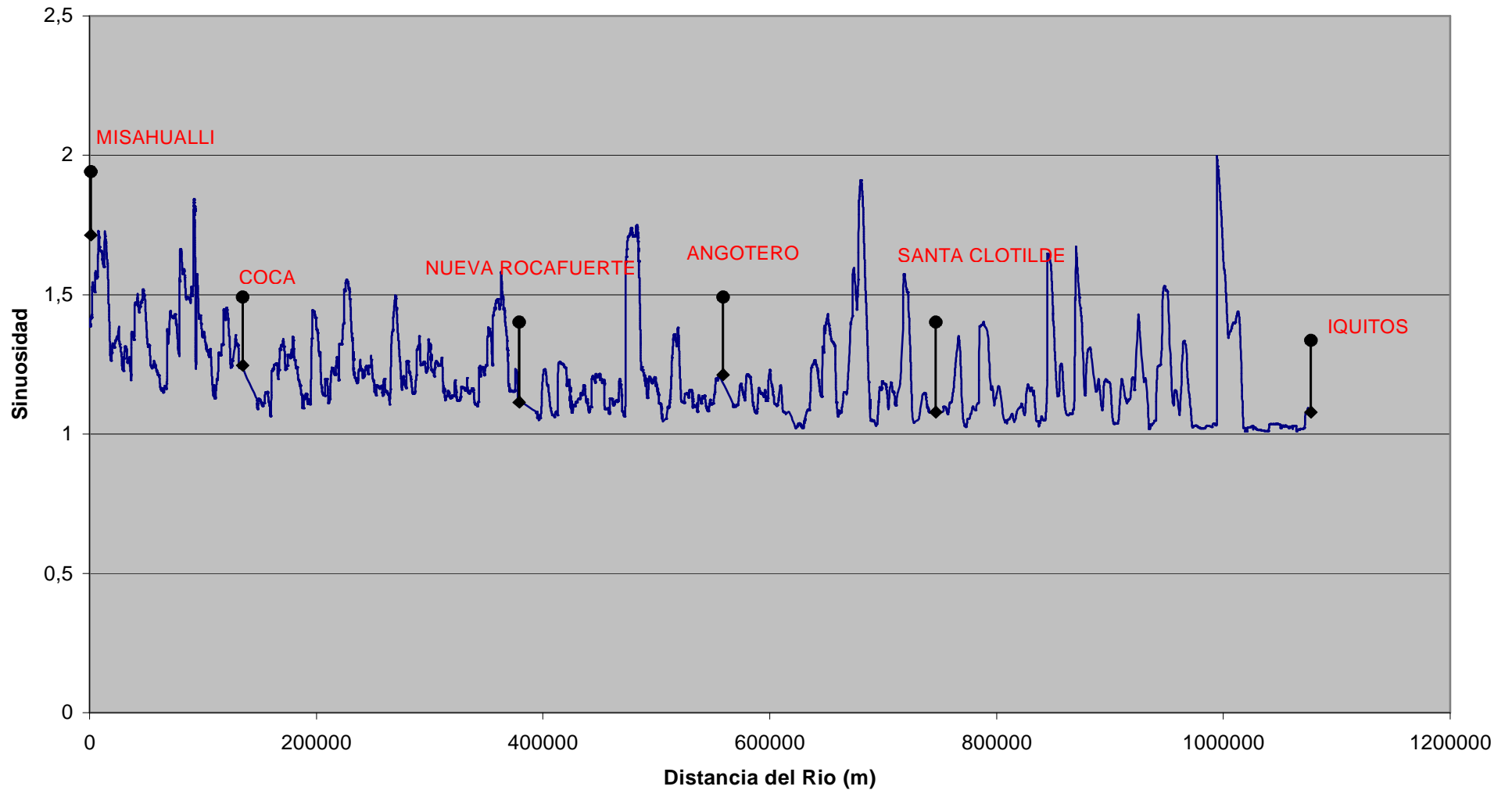


Figura 6.17 Evolución de la sinuosidad (paso de 10 km) del río Napo entre Misahualli (Ecuador) e Iquitos (Perú) obtenido a partir de los datos de DGPS y ubicación de las seis estaciones GPS bases.

6.4.1 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

La Figura 6.18 presenta conjuntamente la evolución de los tres parámetros obtenidos (nivel del agua, sinuosidad y pendiente - paso de 10 km) de todo el tramo del río Napo. La pendiente está mayorizada con un factor de 100 para que entre en el rango de los valores obtenidos por los dos otros parámetros.

En esta figura se puede identificar visualmente 3 tramos del río:

- el primero entre Puerto Misahualli y Coca
- el segundo entre Coca y la confluencia del río Napo con el río Marañón
- el tercero entre la confluencia e Iquitos.

Tomando en cuenta estos tres tramos, se ha hecho algunas estadísticas por cada tramo (ver tablas 6.3 a 6.8).

Podemos notar que:

- los errores obtenidos sobre los valores del nivel del agua tienen un promedio equivalente en cada tramo, es decir alrededor de 20 cm sobre la ubicación de latitud y longitud y de 50 cm sobre el nivel del agua.

- se puede ver claramente en la gráfica de pendientes que los valores bajan en un factor de 10 entre el primer tramo y los siguientes. Este cambio empieza a partir del Coca, es decir, cuando el río Napo entra en la llanura de inundación. Esta zona de transición entre la parte alta de la cuenca (Cordillera y pie de monte) y la parte baja (llanura) se ve muy bien en la foto 6.1 (imagen del satélite radar JERS de 1995): los relieves se acaban entre Puerto Misahualli y Coca.
- el promedio de la sinuosidad es de 1.60 en el primer tramo y que esta sinuosidad baja a 1.21 en el segundo tramo y a 1.05 en el tercer tramo. En la foto 6.1 (imagen del satélite radar JERS de 1995) se puede ver el curso del río entre el primer tramo (Misahualli – Coca) y una parte del segundo (Coca – en adelante) y se puede ver que el primer tramo es más sinuoso que el segundo. Se puede anotar también que el cambio de sinuosidad entre los dos tramos se ubica en Coca donde se encuentra una confluencia con el río Coca.

ERRORES	ΔX	ΔY	ΔZ
PROMEDIO	0,18	0,21	0,48
MAX	0,77	0,91	1,00
MIN	0,00	0,00	0,00
σ	0,01	0,01	0,05

Tabla 6.3. Estadísticas de los errores obtenidos sobre el cálculo del nivel del agua sobre el primer tramo identificado (entre Misahualli y Coca)

H(m), Sinuosidad, Pendiente (cm/km) vs Distancia del Río

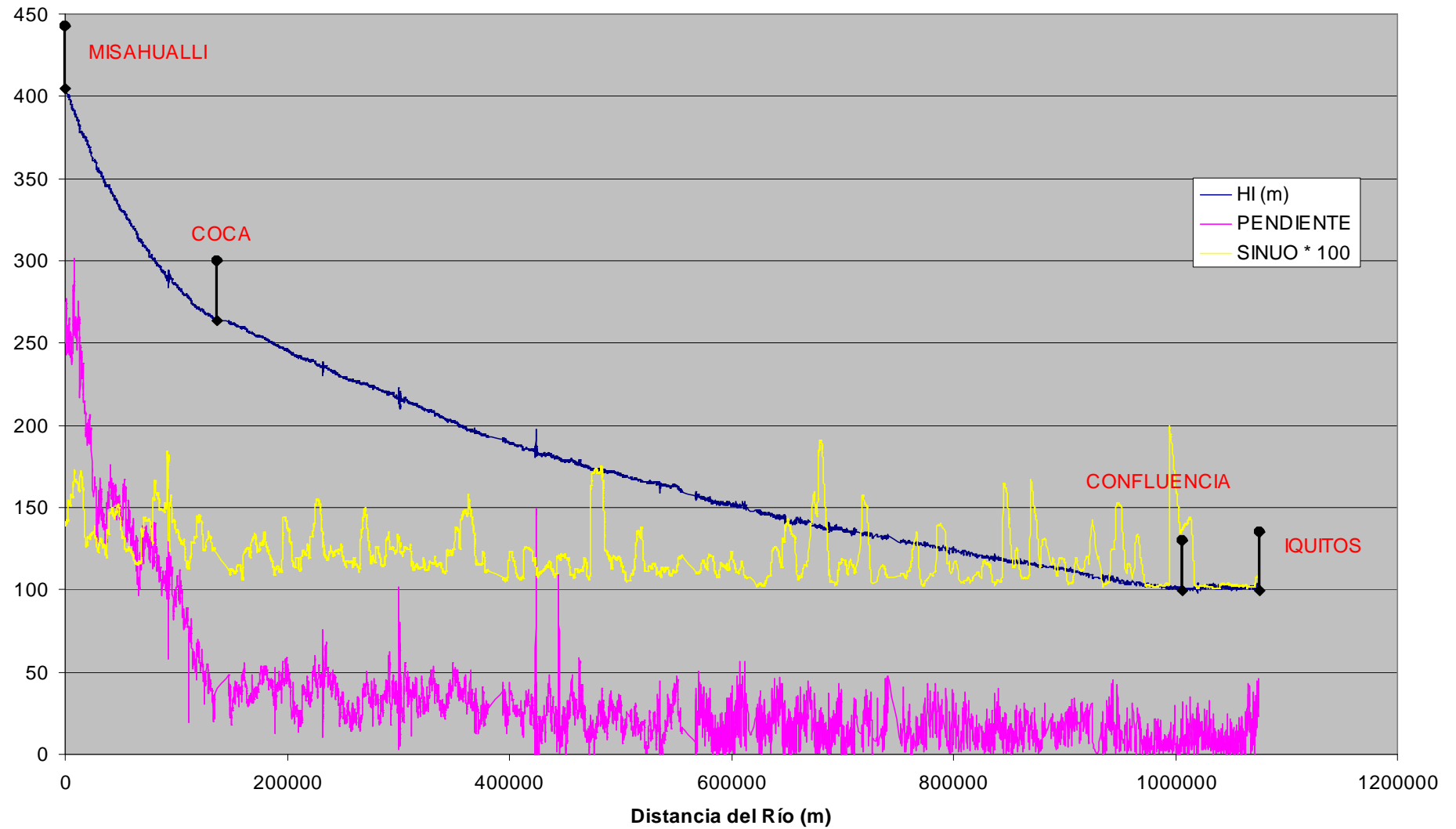


Figura 6.18 Evolución del nivel del agua, de la sinuosidad y de la pendiente (paso de 10 km) del río Napo.

SINUOSIDAD	
PROMEDIO	1,61
MAX	1,84
MIN	1,13
σ	0,05

Tabla 6.4. Estadísticas de los resultados obtenidos sobre el cálculo de la sinuosidad el primer tramo identificado (entre Misahualli y Coca)

ERRORES	ΔX	ΔY	ΔZ
PROMEDIO	0,18	0,22	0,49
MAX	0,68	0,69	1,00
MIN	0,00	0,00	0,00
σ	0,01	0,01	0,05

Tabla 6.5. Estadísticas de los errores obtenidos sobre el cálculo del nivel del agua sobre el segundo tramo identificado (entre Coca y la confluencia)

SINUOSIDAD	
PROMEDIO	1,21
MAX	1,99
MIN	1,02
σ	0,02

Tabla 6.6. Estadísticas de los resultados obtenidos sobre el cálculo de la sinuosidad el segundo tramo identificado (entre Coca y la confluencia)

ERRORES	ΔX	ΔY	ΔZ
PROMEDIO	0,21	0,27	0,56
MAX	0,99	0,69	1,00
MIN	0,00	0,00	0,00
σ	0,02	0,01	0,06

Tabla 6.7. Estadísticas de los errores obtenidos sobre el cálculo del nivel del agua sobre del tercer tramo identificado (entre la confluencia e Iquitos)

SINUOSIDAD	
PROMEDIO	1,05
MAX	1,44
MIN	1,01
σ	0,01

Tabla 6.8. Estadísticas de los resultados obtenidos sobre el cálculo de la sinuosidad del tercer tramo identificado (entre la confluencia e Iquitos)

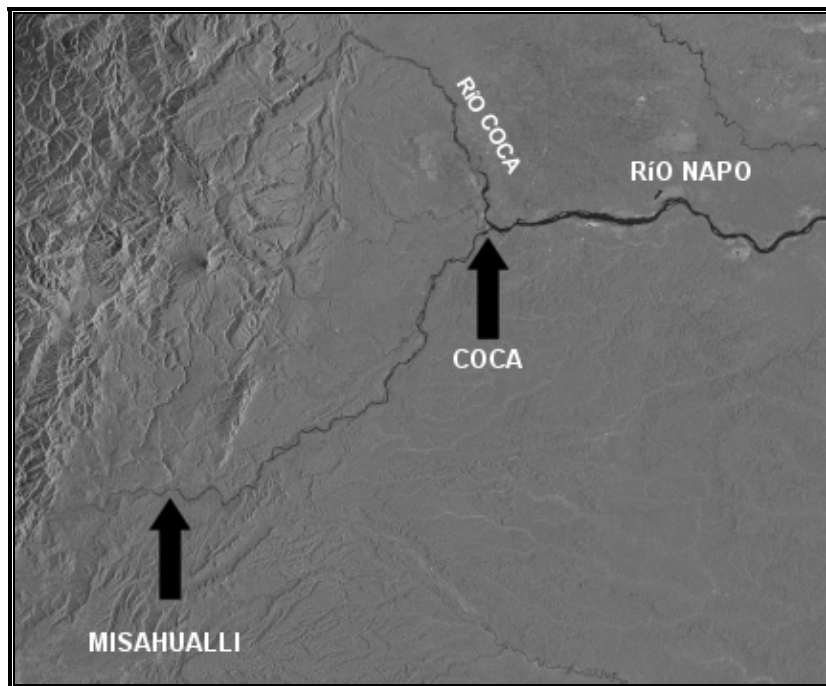


Foto 6.1. Imagen satelital radar (JERS) del tramo Misahualli - Coca

INFLUENCIA DE LA GEOMORFOLOGÍA.

Tomando en cuenta el MNT (modelo numérico de terreno SRTM a una precisión de 100m/100m) podemos averiguar con mas detalles lo que hemos constatado también a partir de los gráficos en Excel.

SOBRE EL PERFIL LONGITUDINAL :

Por ejemplo el primer tramo empieza desde los 400 msnm en Misahualli y baja rápidamente y se termina en Coca (alrededor de 270 msnm) en la clase de alturas entre 250 y 300 msnm, es decir, cuando empieza la llanura. Después de Coca el perfil se encuentra en las clases de alturas entre 250 y 100 msnm hasta Iquitos, es decir, que el río esta ubicado en la llanura y por eso tiene poca pendiente. Se nota también que Nuevo Rocafuerte (alrededor de 190 msnm) se encuentra en el limite superior de la clase de alturas entre 150 y 200 msnm.

SOBRE LAS PENDIENTES :

Estos tramos se diferencian también con las clases de pendiente que corresponden a las clases de alturas. Por ejemplo el primer tramo entre Misahualli y Coca (clases de alturas

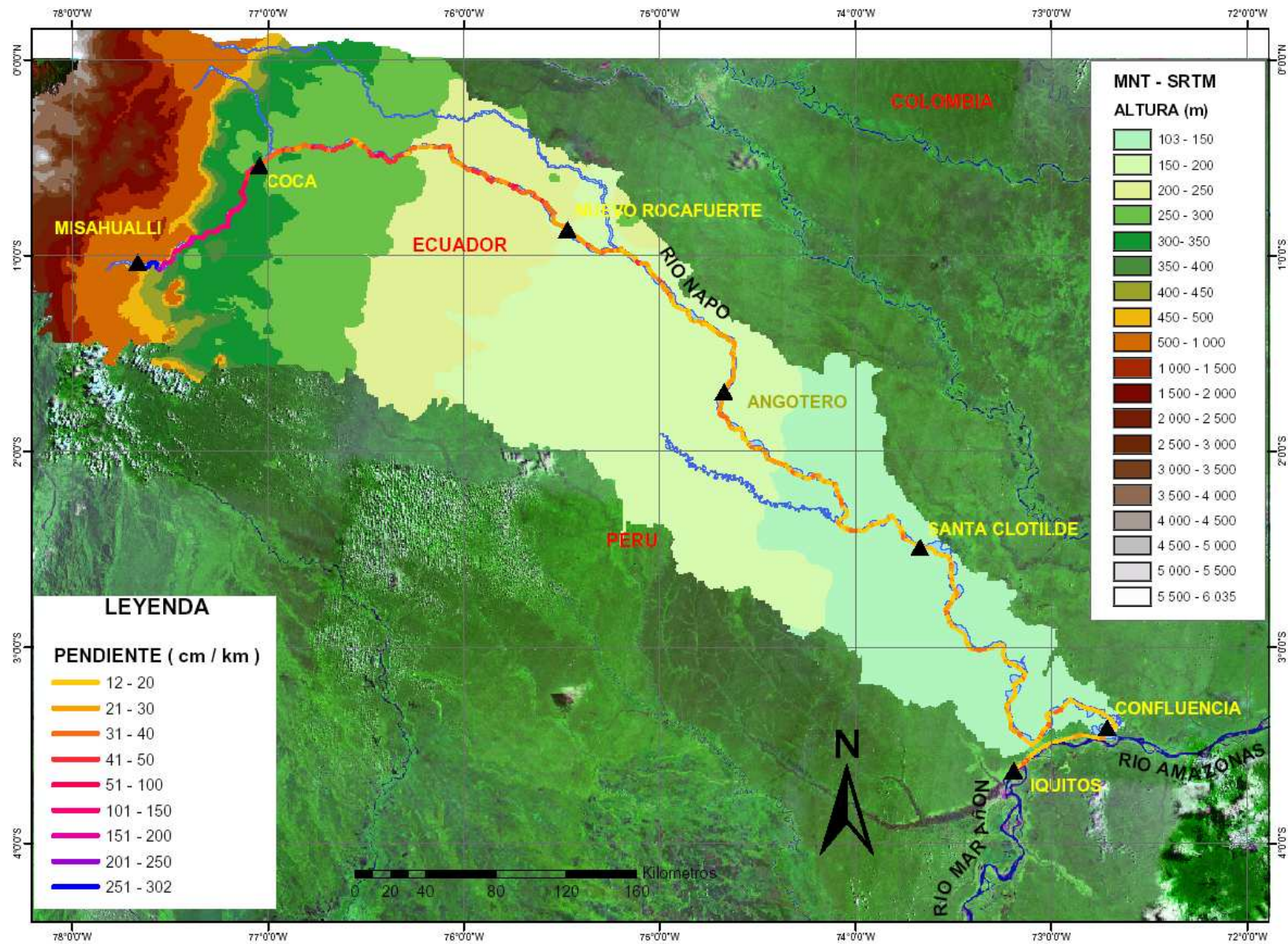
entre 400 y 250 msnm) presenta pendientes ubicadas en las clases de valores de pendientes entre 300 y 50 cm/km.

Después de Coca (entrada en la llanura) el perfil se encuentra en las clases de alturas entre 250 y 100 msnm hasta Iquitos, es decir, que el río sigue su curso en la llanura y por eso tiene poca pendiente.

Se nota que entre Coca (alrededor de 270 msnm) y Nuevo Rocafuerte (alrededor de 190 msnm) el río se ubica en dos clases de alturas: la primera entre 300 y 250 msnm que corresponde a la clase de pendientes de 50 a 40 cm/km y la segunda entre 250 y 200 msnm que corresponde a la clase de pendientes de 40 a 30 cm/km.

Se nota también que entre Nuevo Rocafuerte (alrededor de 190 msnm) y la confluencia del río Napo con el río Marañón (alrededor de 100 msnm) el río se ubica en dos clases de alturas entre 200 y 100 msnm que corresponden a las dos clases de pendientes de 30 a 12 cm/km.

Por fin entre la confluencia (alrededor de 100 msnm) e Iquitos (alrededor de 104 msnm) el río sube tal como las pendientes de la clase de 12 a 20 cm/km a la clase de los 30 a 40 cm/km.



Mapa 6.2 Evolución de las pendientes del río Napo entre Misahualli (Ecuador) e Iquitos (Perú) obtenidas a partir de los datos DGPS . El fondo es una imagen satelital Landsat (MrSiD) y el MNT – SRTM (100 x 100 m).

SOBRE LA SINUOSIDAD:

Solo dos tramos se diferencian con las clases de sinuosidad.

El primer tramo entre Misahualli y Coca (clases de alturas entre 400 y 250 msnm) presenta un índice de sinuosidad ubicado en las dos clases de valores de sinuosidad entre 1.9 y 1.3. (ver Mapa 6.3)

El segundo tramo, entre Coca (entrada en la llanura) e Iquitos presenta un índice de sinuosidad ubicado en la clase de valores de sinuosidad entre 1.3 y 1.0. (Mapa 6.3)

SOBRE LA HIDROLOGÍA “FLUJOS LIQUIDOS”

En la estación hidrológica de Coca, sobre el río Napo antes de la confluencia con el río Coca, el promedio anual del caudal es de $1187 \text{ m}^3/\text{s}$ y en la estación hidrológica de San Sebastián sobre el río Coca, el promedio anual del caudal es de $366 \text{ m}^3/\text{s}$, y a la frontera ecuatoriana-peruana, en la estación hidrológica de Rocafuerte, el promedio anual del caudal es de $2279 \text{ m}^3/\text{s}$.

Es decir que el caudal en Rocafuerte es el doble (1,9) de el caudal en Coca y se distribuye de la siguiente manera (ver figura 6.22) : el río Napo en Coca aporta un 52 %

de este caudal, después el río Coca aporta un 16 % de este caudal (es decir 68 % al nivel de la confluencia entre el río Coca y el río Napo) y después de esta confluencia el 32 % del caudal hasta Rocafuerte podrían corresponder en la mayor parte al río Napo mismo y al aporte del río Tiputini y otros pequeños afluentes.

Podemos así mostrar que a partir de Coca el río Napo es más caudaloso gracias al aporte de su afluente (río Coca) y notar que este aumento esta también asociado al cambio de pendiente que hemos constatado mas adelante.

SOBRE LA HIDROLOGÍA “FLUJOS SÓLIDOS”

En la estación hidrológica de Coca, sobre el río Napo, el promedio anual del caudal sólido es de $8,08 \cdot 10^6$ t/año y en la estación hidrológica de San Sebastián sobre el río Coca, el promedio anual del caudal sólido es de $3,93 \cdot 10^6$ t/año : es decir que el río Coca aporta al río Napo un caudal sólido adicional que corresponde a la mitad del caudal sólido que trae el río Napo en Coca. En la estación hidrológica de Rocafuerte, el promedio anual del caudal es de $18,56 \cdot 10^6$ t/año.

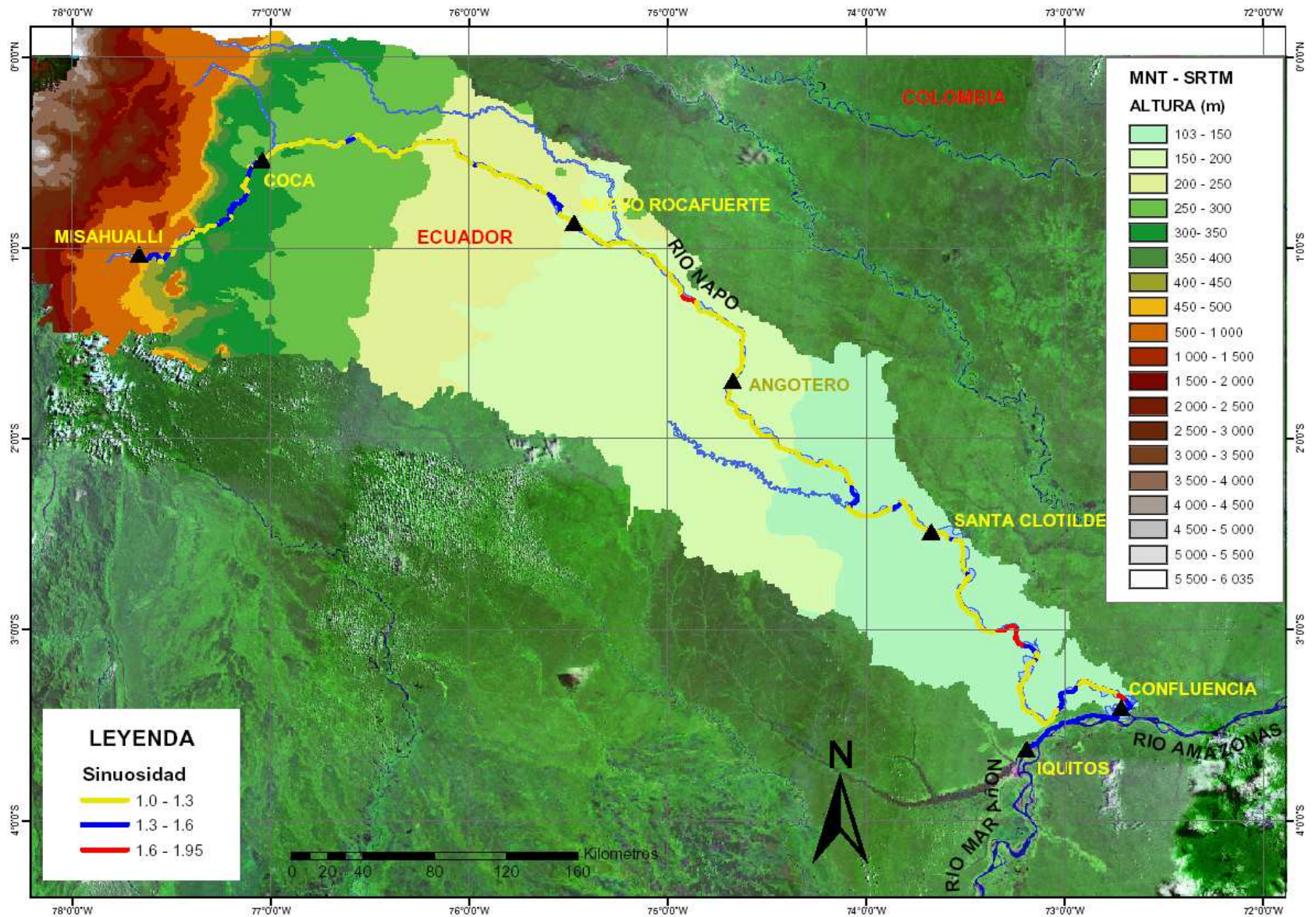
Por lo tanto el caudal sólido en Rocafuerte es mas del doble (2,3 veces mas) del caudal en Coca y se distribuye de la siguiente manera (ver Mapa 6.4) : el río Napo en Coca

aporta un 44% de este caudal, el río Coca aporta el 21 % de este caudal (es decir 65 % al nivel de la confluencia entre el río Coca y el río Napo) y después el 35 % del caudal hasta Rocafuerte podrían corresponder a la erosión del río Napo mismo (mayor parte) y a los aportes del río Tiputini –pero no tenemos datos de este río- y otros pequeños afluentes.

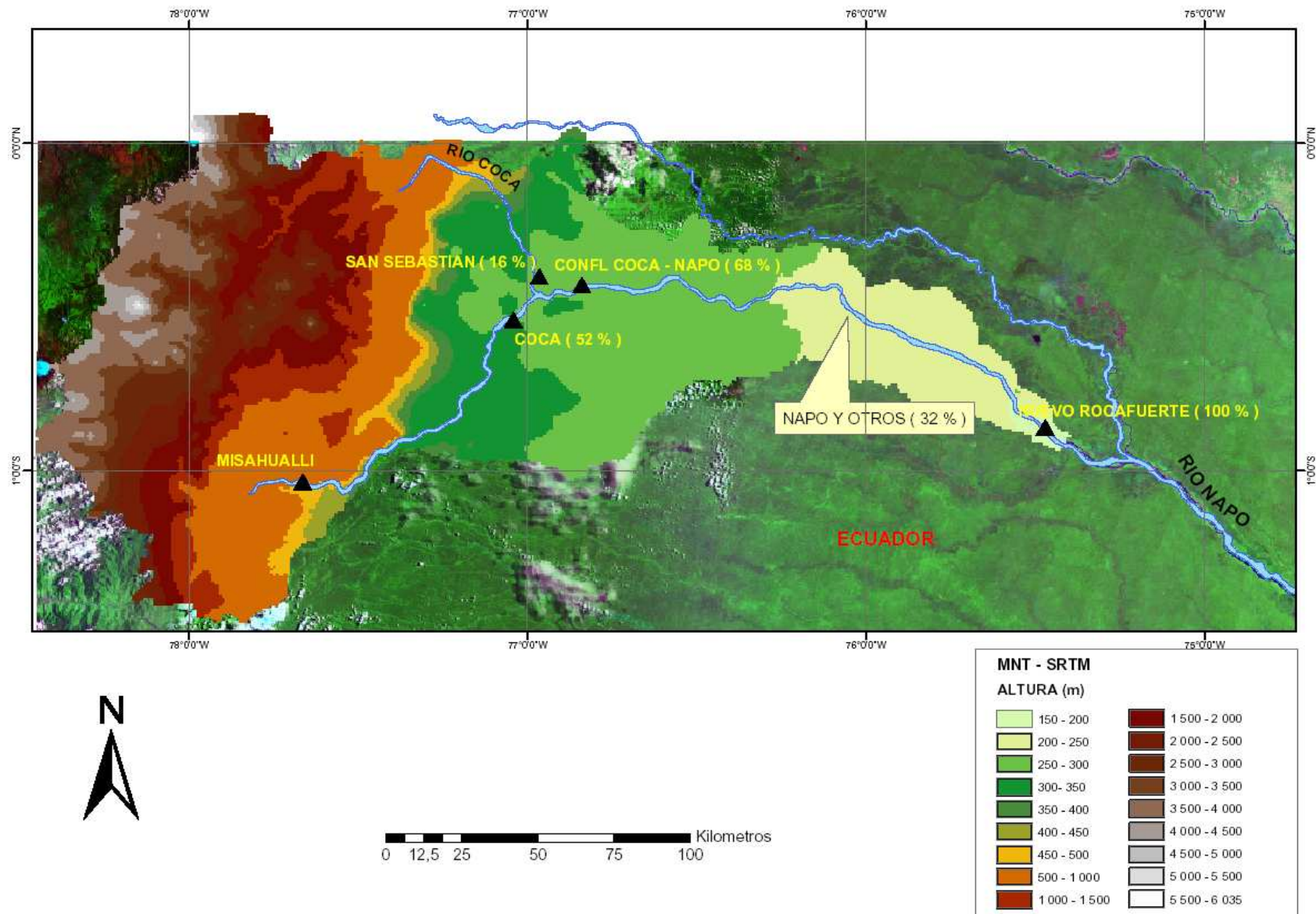
Como conclusión, podemos decir que estos valores de flujos sólidos nos permiten poner en evidencia que el río Napo en su parte ecuatoriana (hasta la frontera con el Perú, en la estación de Nuevo Rocafuerte) presenta una fuerte capacidad de erosión y que casi no deposita sedimentos, de otra manera se puede denotar que el río Napo esta en fase de erosión y no de sedimentación:

- la mayor parte (65 %) se encuentra entre Misahualli y la confluencia entre el río Coca y el río Napo después de Coca
- la otra parte (35 %) se encuentra entre esta misma confluencia y Rocafuerte.

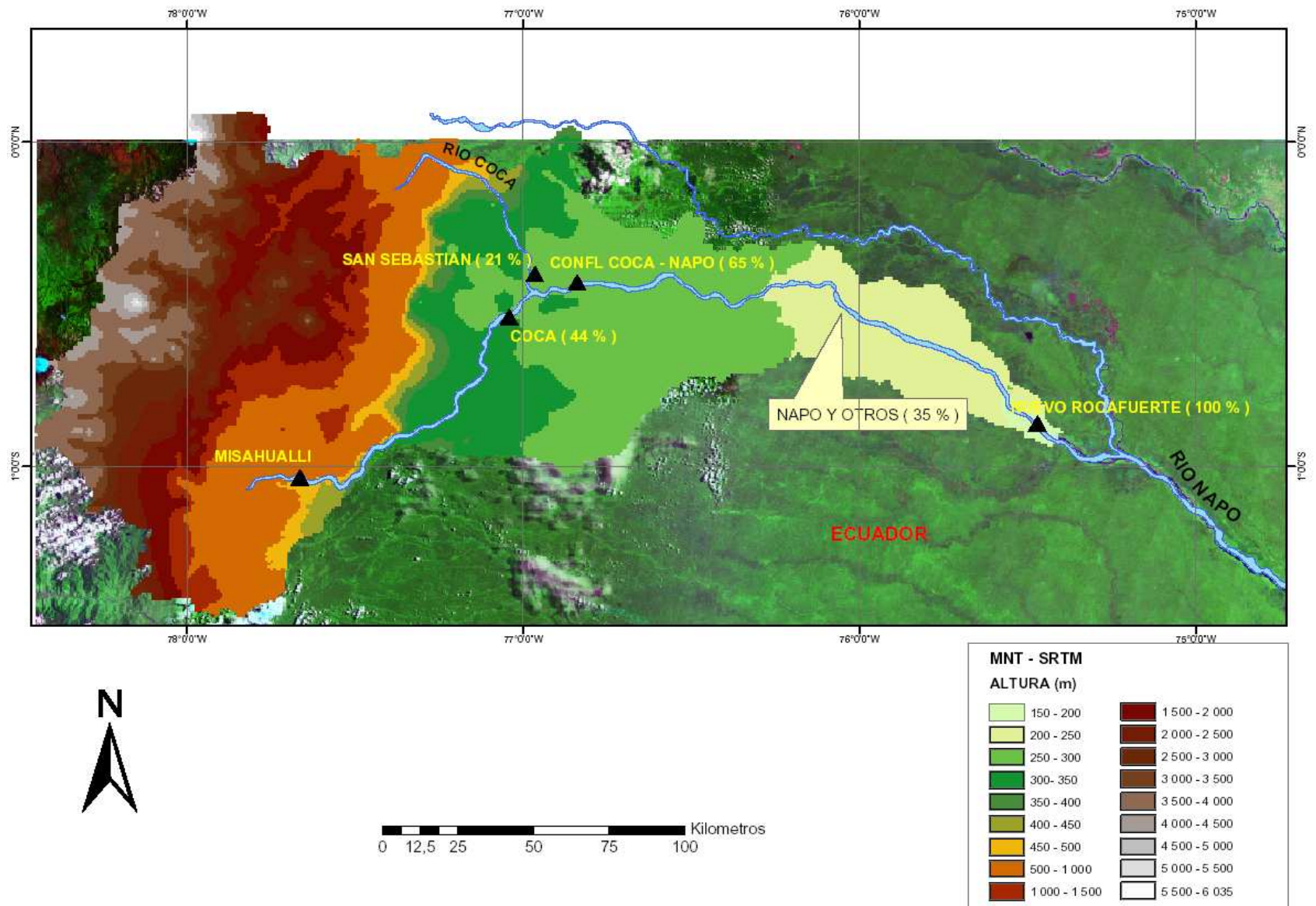
Podemos notar que esta fuerte capacidad de erosión esta también asociada al cambio de pendiente (que hemos constatado mas adelante) y que el limite entre los dos tramos identificados por sus valores de pendientes es la misma que separa los dos tramos identificados por su capacidad de erosión.



Mapa 6.3 Evolución de la sinuosidad del río Napo entre Misahualli (Ecuador) e Iquitos (Perú) obtenida a partir de los datos DGPS . El fondo es una imagen satelital Landsat (MrSiD) y el MNT – SRTM (100 x 100 m).



Mapa 6.4 Evolución de los flujos líquidos del río Napo entre Misahualli y Rocafuerte (Ecuador). El fondo es una imagen satelital Landsat (MrSiD) y el MNT – SRTM (100 x 100 m).

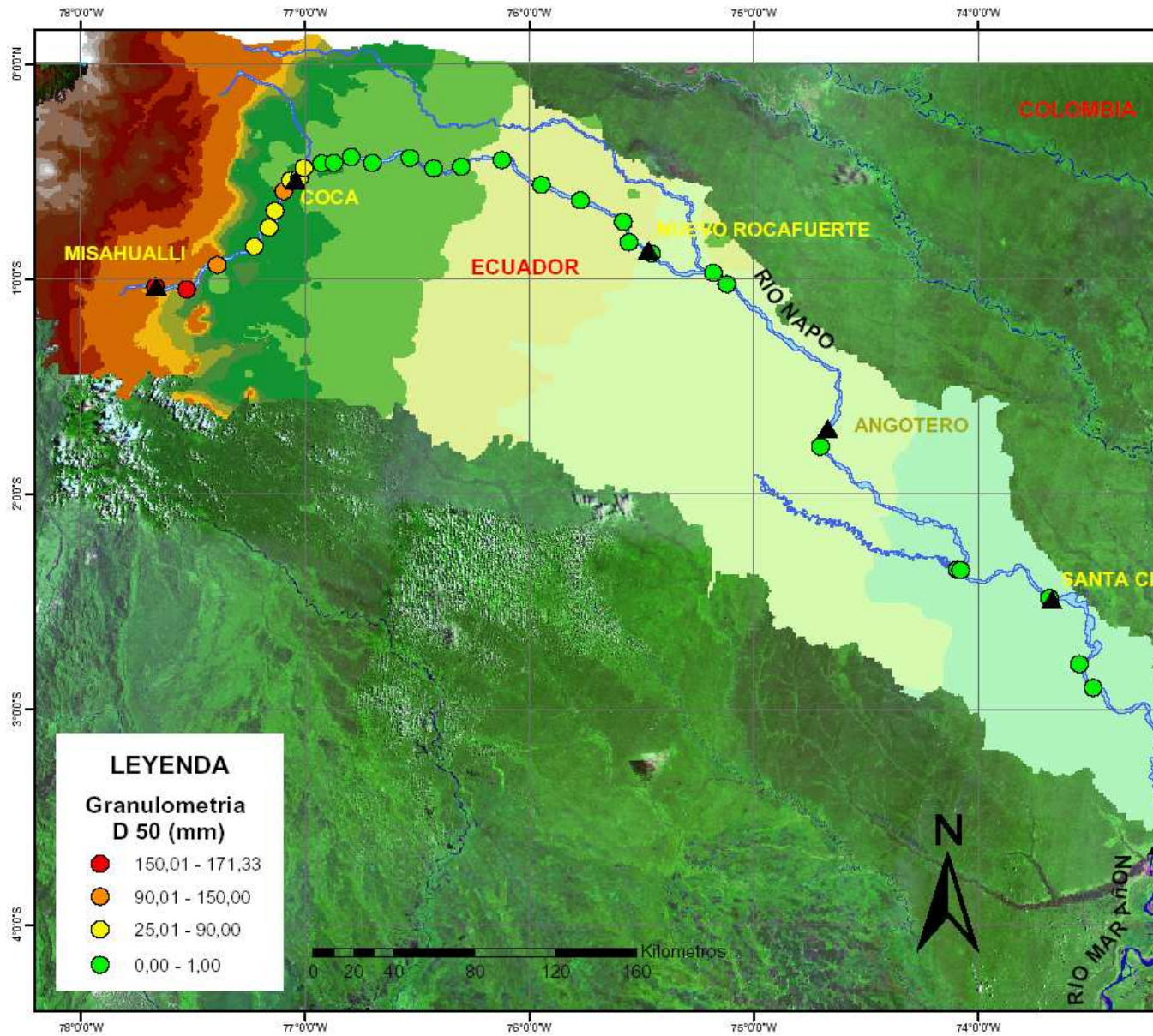


Mapa 6.5 Evolución de los flujos sólidos del río Napo entre Misahualli y Rocafuerte (Ecuador). El fondo es una imagen satelital Landsat (MrSiD) y el MNT – SRTM (100 x 100 m).

SOBRE LA GRANULOMETRÍA

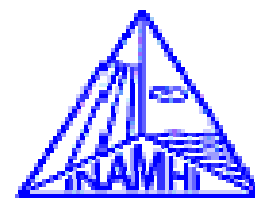
En la Mapa 6.6, hemos colocado 23 puntos que corresponden al parámetro d_{50} (mm) que representa el promedio del tamaño de las partículas encontrado en 23 perfiles de granulometría sobre las playas del río Napo entre Misahualli e Iquitos, durante la misma campaña de octubre 2004.

así, se puede ver que los valores mayores de d_{50} se encuentran entre 171,33 y 29,55 mm y se ubican entre Misahualli y la confluencia entre el río Coca y el río Napo (después de Coca), que además corresponde al tramo que hemos identificado con los valores de pendiente, de capacidad de erosión (flujos sólidos), etc... y los valores menores de d_{50} (con una disminución muy fuerte, factor de 10) se encuentran en la llanura, es decir después de esta misma confluencia hasta Iquitos, con un rango entre 0,6 y 0,1mm.



Mapa 6.6 Evolución de la granulometría (d50 en mm) del río Napo entre Misahualli (Ecuador) e Iquitos (Perú). El fondo es una imagen satelital Landsat (MrSiD) y el MNT – SRTM (100 x 100 m)

CAPÍTULO 7



CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

7.1 Conclusiones y Perspectivas

7.1 CONCLUSIONES

DE LA HIDROLOGÍA

- Gracias a la coordinación del INAMHI (instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) y el IRD (Instituto Francés de Investigación para el desarrollo), el Proyecto HYBAM (Hidrogeodinámica de las Cuencas Amazónicas) ha podido incrementar en nuestro país una red de monitoreo hidrológico, mismo que servirá de apoyo en el desarrollo del Ecuador.
- La metodología expuesta en este trabajo, tanto en campo como en trabajo de gabinete servirá de base para posteriores estudios e investigaciones. Al igual que el banco de datos creado, el cual estará al servicio del país.
- El tipo y cantidad de sedimentos transportados por cada uno de los ríos en estudio, permite clasificarlos y determinar las características de sus aguas. La mayor parte de ríos en nuestro país se pueden considerar “blancos” y con un alto contenido de sedimentos.
- Se puede observar que la parte alta de cada cuenca hidrográfica es una productora de material en suspensión debido a la fuerte erosión que ocasionan sus características de relieve junto con la gran cantidad de lluvias que se presentan. Mientras que en la parte baja de la cuenca existen menores precipitaciones, un relieve menos irregular y

mayor cobertura vegetal que protege el suelo, estas características de cada cuenca influyen en la transportación de material de los ríos.

- Los valores de los parámetros registrados nos pueden dar una idea de la calidad del agua de la cuenca, así puede decirse que estos ríos no presentan índices de contaminación, debido probablemente a la existencia de una adecuada reposición de aguas por los continuos aportes, así como a la oxigenación natural permitida por la turbulencia generada por las pendientes de los ríos, además de la poca existencia de asentamientos poblacionales en las partes altas.
- Sin embargo a pesar de las características actuales de baja contaminación de estos ríos, se debe procurar su conservación para el turismo y la salud de las poblaciones, especialmente considerando la cercanía de varias empresas petroleras que cada día aumentan en número y que sin un control adecuado pueden ocasionar que estos recursos se destruyan en poco tiempo, y con ello la gran biodiversidad que sostienen los ríos, y la calidad de vida de los habitantes de sus alrededores.
- Los ríos orientales de nuestro país se caracterizan por las grandes variaciones limnimétricas diarias, es decir, los cambios de nivel que se producen a lo largo de las veinte y cuatro horas del día. Este comportamiento hídrico irregular resulta de gran interés para la investigación, aunque en ciertas ocasiones constituye un limitante para determinar mejores correlaciones entre los parámetros limnimétricos y de calidad de agua de los ríos.

- Los cambios limnimétricos se deben en especial a las variaciones de precipitaciones producidas en la región y como caso puntual en la parte alta de las cuencas, considerando que son características de los ríos de montaña.
- Se ha conseguido establecer buenas correlaciones entre los parámetros obtenidos de este estudio hidrológico. Estas correlaciones son útiles porque permiten tener una idea muy acertada y sobre todo rápida de ciertas características propias del agua, en base a correlaciones preestablecidas con ciertos parámetros conocidos.
- El planteamiento de correlaciones es de gran importancia ya que consigue reducir el tiempo y el dinero, que se requeriría para determinar en primera instancia ciertos parámetros necesarios para el diseño de obras civiles

DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

- Los Sistemas de Información Geográfica constituyen una tecnología relativamente reciente y representan una herramienta muy poderosa para el análisis y modelación de una multitud de problemas cuya componente común es la variabilidad espacial. Sin embargo, el costo de implementar un SIG puede ser particularmente significativo cuando se considera la inversión que representa la adquisición de datos, especialmente en casos donde la disponibilidad de información en formato digital es escasa y se hace necesario disponer de una tableta digitalizadora cuyo costo no es despreciable.

- La etapa de elaboración de las bases de datos es además, poco atractiva y casi igualmente tediosa que la metodología tradicional de medir parámetros hidrológicos a partir de los mapas impresos, justo es decir también que la tecnología avanza y hoy en día existe la posibilidad de ahorrarse el tedio al acudir a los sensores remotos para la adquisición de datos, pero queda la pregunta de que tanto puede hacerse y con que precisión.
- Sin embargo, en la medida en que la disponibilidad de información, en formato digital, sea mayor y crezca también la difusión y divulgación de este tipo de tecnología (y con ello la cantidad de personal capacitado sea mayor), mayor será el número de aplicaciones hidrológicas vía SIG.
- Para un estudiante de hidrología que acude por primera vez a las herramientas de captura y análisis de datos, siempre será estimulante saber que existen los SIG's que permiten obtener el área de una cuenca, las pendientes del terreno, las longitudes de los ríos, etc., de una manera más eficiente y rápida y, sin tener que acudir a los métodos tradicionales. Resulta claro que en el futuro de las aplicaciones hidrológicas vía SIG, las Universidades jugarán sin duda un papel relevante.
- Aunque este trabajo es modesto en sus alcances y objetivos, persigue la idea de mostrar la enorme potencialidad de los SIG's en el ámbito hidrológico, así lo atestiguan igualmente los abundantes casos reportados en la literatura. Finalmente, es de esperarse que en países como México esta vía sea cada vez más explorada y que la disponibilidad de información digital permita que los costos de generación de las bases de datos se reduzcan.

- Como se ha visto a lo largo de este documento, resultan evidentes las ventajas que sugiere el uso de Sistemas de Información que puedan ser referenciados a entidades espaciales, particularmente por la gran utilidad que significa combinar la potencialidad de la parte gráfica del sistema con un banco de datos interactivo y de actualización automática.
- Es claro que la práctica cotidiana en el uso de los SIG en las organizaciones generarán ventajas competitivas sin importar si el sector de la empresa en cuestión venda servicios de internet, se encargue de la distribución de líneas de procuración de gas natural o se dedique a realizar estudios de mercado para la introducción de nuevos productos.
- Sin embargo, es necesario destacar la amplia gama de aplicaciones de índole social que pueden tener los sistemas de información geográfica y más importante aún resulta el promover su utilización tanto en el sector gubernamental como en la iniciativa privada.
- Por ejemplo, sería muy conveniente el uso de un SIG que permitiera identificar de manera que se pueda publicar para el común de la población las rutas de evacuación, ubicación de albergues, centros de atención médica, etc. en caso de emergencias.
- También se podría diseñar un SIG que estableciera la prioridad en el suministro de servicios básicos como suministro de agua potable, alcantarillado y energía eléctrica por mencionar algunos. Resulta importante establecer que los SIG no solo se implementan en aquellos proyectos donde se espera un alto porcentaje de dividendos para la

organización, sino que se deben colocar en su justa medida aquellos en los que su único fin es el elevar la calidad de vida de los habitantes de una población.

- Para concluir, es importante destacar que el uso de los SIG no debe ser manejado como un problema de tecnología, como ha sido durante años. En cambio, su uso debe reflejar la necesidad de una herramienta para el manejo de datos espaciales, con la finalidad de resolver un problema.

DE LOS DATOS DGPS

- Sobre el perfil longitudinal del río Napo, obtenido entre Puerto Misahualli e Iquitos, a partir de las medidas DGPS, podemos notar que los errores obtenidos sobre los valores del nivel del agua tienen un promedio de 20 cm sobre la ubicación de latitud y longitud y de 50 cm sobre el nivel del agua. De estos datos se obtuvo los perfiles de pendientes y de sinuosidad que nos han permitido poner en evidencia algunas características del río Napo.
- A partir de estos tres perfiles y tomando en cuenta las clases de alturas (con el MNT -modelo numérico de terreno- SRTM a una precisión de 100m/100m), se pudo identificar 3 tramos del río Napo :
 - el primero entre Puerto Misahualli y Coca
 - el segundo entre Coca y la confluencia del río Napo con el río Marañón
 - el tercero entre la confluencia e Iquitos.

- Por la sinuosidad, este río tiene una sinuosidad media de 1.3 al contrario de la mayor parte de los ríos de la cuenca amazónica que presentan una sinuosidad superior a 2 (cerca de 3).

- Por las pendientes, este río tiene una pendiente media de 30 cm/km (en la cuenca baja) al contrario de la mayor parte de los ríos de la cuenca amazónica que presentan una pendiente media inferior a 15 cm/km (cerca de 5 cm/km). Se puede ver que los valores bajan en un factor de 10 entre el primer tramo y los siguientes. Este cambio empieza a partir del Coca, es decir, cuando el río Napo entra en la llanura de inundación.

- Esos valores de pendiente y de sinuosidad nos permiten poner en evidencia que el río Napo presenta una fuerte capacidad de erosión. Para averiguar este punto, hemos tomado en cuenta los flujos líquidos y los flujos sólidos y también los datos de granulometría.

- Los valores de flujos sólidos nos han permitido poner en evidencia que el río Napo en su parte ecuatoriana (hasta la frontera con el Perú, en la estación de Nuevo Rocafuerte) presenta una fuerte capacidad de erosión y que casi no deposita sedimentos, de otra manera se puede denotar que el río Napo está en fase de erosión y no de sedimentación:
 - la mayor parte (65 %) se encuentra entre Misahualli y la confluencia entre el río Coca y el río Napo después de Coca
 - la otra parte (35 %) se encuentra entre esta misma confluencia y Rocafuerte.

- Con los valores de granulometría, se puede ver que los valores mayores de d_{50} se encuentran entre 171,33 y 29,55 mm y se ubican entre Misahualli y la confluencia entre el río Coca y el río Napo (después de Coca), que además corresponde al tramo que hemos identificado con los valores de pendiente, de capacidad de erosión (flujos sólidos), etc... y los valores menores de d_{50} (con una disminución muy fuerte, factor de 10) se encuentran en la llanura, es decir después de esta misma confluencia hasta Iquitos, con un rango entre 0,6 y 0,1mm.
- Podemos así concluir que todos los resultados obtenidos (perfil longitudinal, pendientes, sinuosidad obtenidos a partir de los datos DGPS, clases de alturas del MNT-SRTM, flujos líquidos, flujos sólidos y granulometría) tienen una buena coherencia entre ellos y participan a demostrar que el río Napo tiene una fuerte capacidad de erosión y que se puede identificar claramente dos tramos, el primero entre Misahualli y la confluencia entre el río Coca y el río Napo después de Coca y el segundo entre esta misma confluencia y Rocafuerte (frontera con el Perú).