



MONOGRAFÍA DE LA CUENCA DEL RÍO NAPO EN SU PARTE ECUATORIANA



Pombosa Rodrigo - Bourrel Luc - Armijos Elisa - Magat Philippe

Año 2006

INDICE GENERAL

	Pg
1.INTRODUCCIÓN.....	1
2. GENERALIDADES.....	1
2.1. EL ECUADOR.....	1
2.2. LA REGION AMAZONICA	3
Fisiografía	3
Recursos Hídricos	3
2.3. LA CUENCA DEL RIO NAPO	4
Geología	5
Tectonismo.....	6
Volcanismo	7
Clima	9
3. RED DE LAS ESTACIONES HIDROMETEOROLOGICAS.....	9
3.1. LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS	9
3.2. LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS.....	11
3.2.1. LECTURAS LIMNIMÉTRICAS	13
a) Reglas Limnimétricas	13
b) A partir de un puente (cinta)	14
c) Medidor automático- Orphimedes	15
3.2.2. MEDICIÓN DE CAUDALES O AFORO LIQUIDO.	16
a) Aforo con Molinete y Escandallo	18
- Aforo desde un puente	19
- Aforo desde una embarcación	20
b) Aforo utilizando vertederos	21
c) Aforo con flotadores de superficie	22
d) Aforo químico	22
e) Aforo utilizando ADCP.....	23
4. METODOLOGÍA	24
4.1. PARÁMETROS FÍSICO-MORFOMETRICOS DE UNA CUENCA HIDROGRAFICA	24
a) Longitud del río	25
b) Pendiente del río	25
c) Perímetro de la cuenca	25
d) Area de drenaje	25
e) Pendiente de la cuenca.....	26
f) Forma de la cuenca (Indice de Compacidad).....	26
g) Tiempo de concentración.....	26
h) Curva hipsométrica.....	26
4.2. PARÁMETROS PLUVIOMETRICOS	27

4.2.1. PRECIPITACION	27
a) Pluviogramas	28
b) Isoyetas	30
4.3. PARÁMETROS HIDROLOGICOS	31
a) Linnigramas	31
b) Curvas de Descarga.....	32
c) Hidrogramas	33
d) Curvas de Duración General	33
5. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDROPLUVIOMETRICO	33
5.1. CUENCA ALTA (Los Andes).....	34
5.2. CUENCA MEDIA (El Pie de Monte)	35
5.3. CUENCA BAJA (Llanura Amazónica)	35
6. CONCLUSIONES	36
7. BIBLIOGRAFIA	37
8. ANEXOS	39
8.1. SUBCUENCA DEL RIO YANAHURCO EN LA ESTACION DJ VALLE	39
a) Descripción	39
b) Mapa	40
c) Régimen Hidrológico.....	41
8.2. SUBCUENCA DEL RIO JATUNYACU EN LA ESTACION DJ ILOCULIN ...	42
a) Descripción	42
b) Mapa	43
c) Régimen Hidrológico.....	44
8.3. SUBCUENCA DEL RIO MISAHUALLI EN LA ESTACION DE COTUNDO	45
a) Descripción	45
b) Mapa	46
c) Régimen Hidrológico	47
8.4. SUBCUENCA DEL RIO NAPO EN LA ESTACION FCO. DE ORELLANA	48
a) Descripción	48
b) Mapa	49
c) Régimen Hidrológico	50
8.5. SUBCUENCA DEL RIO QUIJOS EN LA ESTACION DE BAEZA	51
a) Descripción	51
b) Mapa	52
c) Régimen Hidrológico	53
8.6. SUBCUENCA DEL RIO COSANGA EN LA ESTACION AJ QUIJOS	54
a) Descripción	54

b) Mapa	55
c) Régimen Hidrológico	56
8.7. SUBCUENCA DEL RIO QUIJOS EN LA ESTACION AJ BORJA	57
a) Descripción	57
b) Mapa	58
c) Régimen Hidrológico	59
8.8. SUBCUENCA DEL RIO QUIJOS EN LA ESTACION DJ OYACACHI	60
a) Descripción	60
b) Mapa	61
c) Régimen Hidrológico	62
8.9. SUBCUENCA DEL RIO COCA EN LA ESTACION DE SAN SEBASTIAN	63
a) Descripción	63
b) Mapa	64
c) Régimen Hidrológico	65
8.10. SUBCUENCA DEL RIO NAPO EN LA ESTACION NVO. ROCAFUERTE	66
a) Descripción	66
b) Mapa	67
c) Régimen Hidrológico	68

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa General del Ecuador- División Geográfica.- Relieve.....	2
Figura 2: Mapa de la Cuenca del Río Napo (Red Hidrográfica).....	5
Figura 3: Mapa de Ubicación de Estaciones Pluviométricas Cuenca del Río Napo.....	10
Figura 4: Mapa de Ubicación de las Estaciones Hidrométricas Cuenca del Río Napo..	13
Figura 5: Sección Transversal de un río.....	16
Figura 6: Esquema de una sección de aforo.....	17
Figura 7: Pluviograma de estaciones Cuenca del Río Napo.....	28
Figura 8: Mapa de Isoyetas Cuenca del Río Napo.....	31
Figura 9: Régimen Hidropluviométrico Cuenca Alta del Napo (Los Andes).....	34
Figura 9: Régimen Hidropluviométrico Cuenca Media del Napo (Pie de Monte).....	35
Figura 9: Régimen Hidropluviométrico Cuenca Baja del Napo (Llanura Amazónica).....	35

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Lista de los principales volcanes del Ecuador.....	8
Tabla 2: Lista de Estaciones Pluviométricas (utilizadas en el trazado de Isoyetas) Cuenca del Río Napo.....	9
Tabla 3 : Lista de Estaciones Hidrométricas Cuenca del Río Napo.....	16
Tabla 4 : Parámetros físico-morfométricos Cuenca del Río Napo	24
Tabla 5 : Resumen de precipitaciones, cotas, caudales en las subcuencas del Río Napo	34

INDICE DE FOTOS

Foto 1 : Estación Meteorológica M007 Nuevo Rocafuerte.....	11
Foto 2 : Lectura limnimétrica a partir de una regla y desde un puente.....	14
Foto 3 : Lectura limnimétrica a partir de un orphimedes.....	15
Foto 4 : Aforo con molinete estación Quijos DJ Oyacachi.....	18
Foto 5: Aforo con molinete desde un puente	20
Foto 6: Equipo, instalación y funcionamiento del ADCP.....	23

1.- INTRODUCCIÓN

Dentro del Convenio de Cooperación Técnico Científica entre el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) y el IRD (Institut de Recherche pour le Développement) funciona el Proyecto HYBAM (Hidrología de la Cuenca Amazónica, www.mpl.ird.fr/hybam/), donde uno de los productos generados en el presente año 2006 es la presentación de un Atlas Hidrológico correspondiente a la Cuenca del Río Napo, para lo cual ha sido necesario realizar un conjunto de acciones previas que permitan una correcta evaluación de los recursos hídricos. Estas acciones comprenden la recopilación, análisis, crítica y relleno de la información existente, datos que son específicos para un período y espacio dados.

El sintetizar los datos recopilados en forma gráfica y a través de mapas permiten visualizar y comprender de manera rápida la distribución de los Recursos Hídricos dentro de la Cuenca en Estudio.

2.- GENERALIDADES

2.1.- EL ECUADOR

Astronómicamente el Ecuador está atravesado por la Línea Equinoccial o Ecuador, por esta razón nuestro territorio se halla en ambos hemisferios. La Cordillera Andina, de orientación Norte-Sur, divide al Ecuador en dos regiones. Esta división topográfica entre sus vertientes occidental y oriental fue denominada “la avenida de los volcanes” por Humboldt (1825) en el inicio del siglo XIX, debido a la presencia de alrededor de cincuenta edificios volcánicos, varios de los cuales están hoy en actividad. Esta columna vertebral del Ecuador, cubierta de glaciares en sus cumbres, varía en altitud entre 4000 y 6300 metros, y forma el límite natural de división de los escurrimientos.

Las Latitudes y Longitudes geográficas que corresponden a nuestro territorio son: 1°21’ de Latitud Norte, en la desembocadura del río Mataje en el Océano Pacífico, hasta los 5°5’ de Latitud Sur, en la confluencia del río San Francisco con el Chinchipe, y desde los 75°11’ hasta los 81°1’ de Longitud Occidental, que corresponde a la desembocadura del Aguarico en el Napo y la puntilla de Santa Elena, respectivamente.

Geográficamente el Ecuador (Atlas del Ecuador, 1982) está situado en el extremo Noroeste de América del Sur: limita al Norte con Colombia, al Sur y al Este con el Perú, y al Oeste con el Océano Pacífico, con una superficie 256 370 km² , repartida en cuatro regiones naturales y una división política de 22 provincias:

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

El drenaje del territorio ecuatoriano va hacia dos vertientes: la del Océano Pacífico y la del Amazonas que vierte en el Atlántico. La divisoria de aguas hace las altas cumbres de las dos cordilleras andinas, en diferentes lugares.

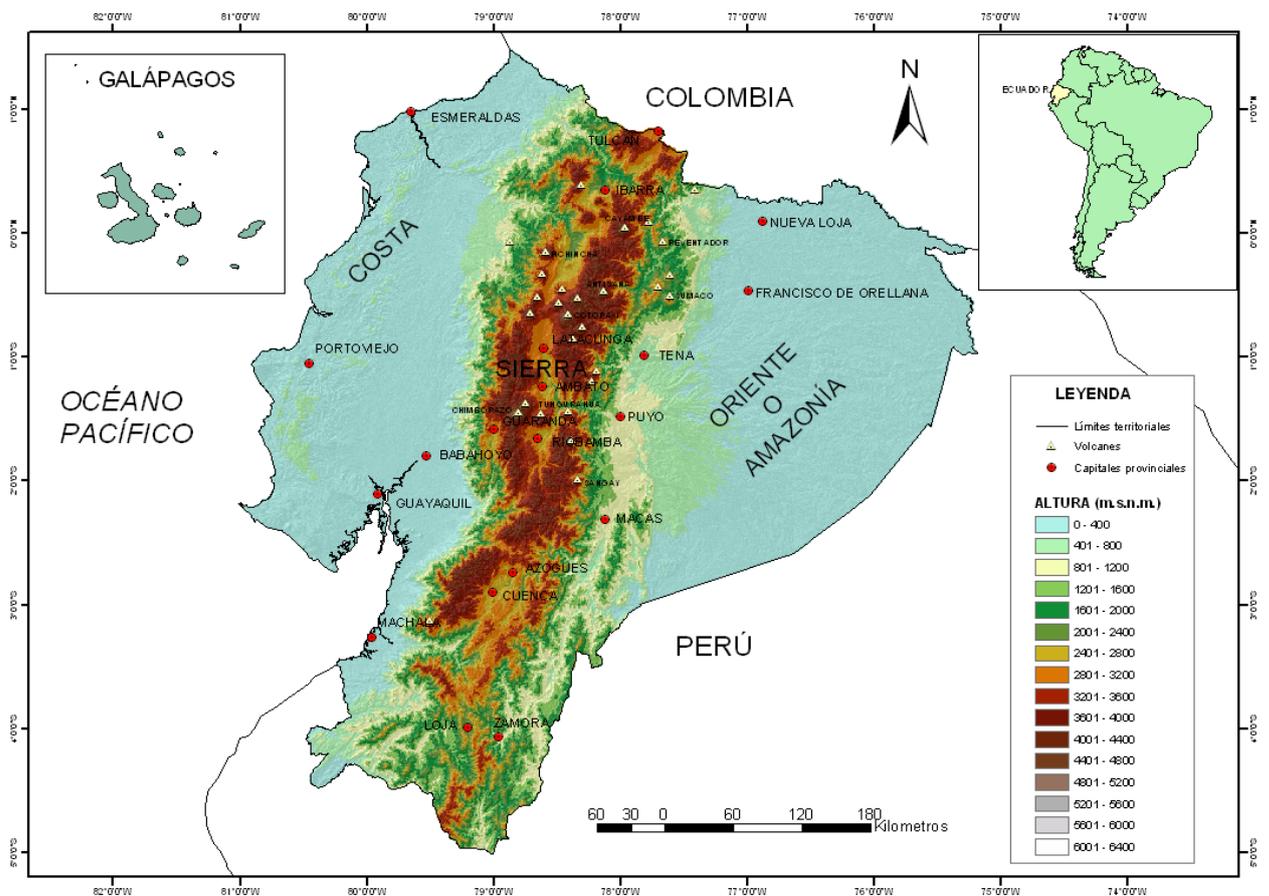


Figura 1: Mapa General del Ecuador (División Geográfica, Relieve)

2.2.- LA REGION AMAZONICA

La Región Amazónica Ecuatoriana (Aspiazu P. y Luna M., 1993) se extiende desde los Andes hasta los límites territoriales con Colombia y Perú, tiene una superficie aproximada de 115 600 km². Las Provincias que forman parte de este territorio son:

- Sucumbíos (capital Nueva Loja)
- Napo (capital Tena)
- Orellana (capital Francisco de Orellana)
- Pastaza (capital Puyo)
- Morona Santiago (capital Macas)
- Zamora Chinchipe (capital Zamora)

Fisiografía.- Los Andes Ecuatorianos están formados por dos cordilleras: Occidental y Oriental (Baby P. et al, 2004), con elevaciones volcánicas (Hall,M.L.,1977) cubiertas por glaciares de más de 5000 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, Cóndor; y volcanes como El Reventador (3485 m) y Sumaco (3900 m).

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”.

Recursos Hídricos.- La Región Oriental es la de mayor riqueza hidrográfica del país; hay un sinnúmero de ríos caudalosos que bajan de las mesetas andinas y de las estribaciones de las cordilleras. La enorme cantidad de lluvias que cae en los flancos andinos orientales es la fuente inagotable de tan numerosos ríos. Al pasar por la subregión del Alto Oriente los ríos son caudalosos y torrentosos y sólo en pequeños tramos pueden ser navegado por pequeñas embarcaciones, pero al llegar a la llanura puede ser navegados por embarcaciones mayores; la línea límite actual pasa justamente por donde los ríos aumentan su caudal y facilitan la navegación.

Los principales ríos amazónicos son de Norte a Sur (Moreno F. & Tapia A., 2001), el Putumayo, el San Miguel, el Aguarico, el Coca, el Napo, el Pastaza, el Morona y el Santiago. Los ríos tributarios de la cuenca alta amazónica tienen su origen en los Andes

por lo cual, mientras descienden sobre los suelos inclinados de las montañas, con altas pendientes longitudinales, van arrastrando sedimentos de cenizas volcánicas superficiales que cubren la región; también llevan en sus aguas los materiales arrancados al suelo por la erosión y por la formación de torrentes. Los ríos Amazónicos del Ecuador se dirigen hacia el Sur en donde encuentran al Amazonas que recorre hacia el Este. Cuando se hallan en plena llanura los ríos se vuelven divagantes y meándricos, dejando meandros abandonados en forma de lagunas, sitios en los que se depositan los sedimentos finos y son rodeados por la vegetación.

Sus aguas tienen numerosas especies de vida y en algunos lugares los sistemas hidrográficos forman pequeños lagos, como los de Cuyabeno o Lagartococha. Son también frecuentes los esteros o pantanos alimentados por el agua de lluvia.

2.3.- LA CUENCA DEL RIO NAPO

El Napo es el río más grande del Ecuador (ver mapa 2), recoge las aguas de los deshielos del Antisana, Sincholagua, Cotopaxi y Llaganates que al unirse forman el Jatunyacu, éste se junta con el Anzu, desde donde toma el nombre de Napo (Atlas del Ecuador, 1982; Armijos E., 2002). En su curso superior es torrencioso y lleno de remolinos, debido a sus fuertes pendientes. En su tramo medio se junta al Coca y se convierte en un río de fácil navegación. Entre sus innumerables afluentes se destacan: el Aguarico, que en parte sirve de límite con el Perú, según el Protocolo de Río; lo mismo que su afluente el Lagartococha o Zancudo; el Coca, célebre por haber sido la vía de penetración de la famosa expedición de Gonzalo Pizarro, que culminó con el descubrimiento del Amazonas, hecho por Francisco de Orellana en 1542. El Payamino, importante por las arenas auríferas que lleva en su lecho; el Curaray, que en parte sirve de límite con el Perú.

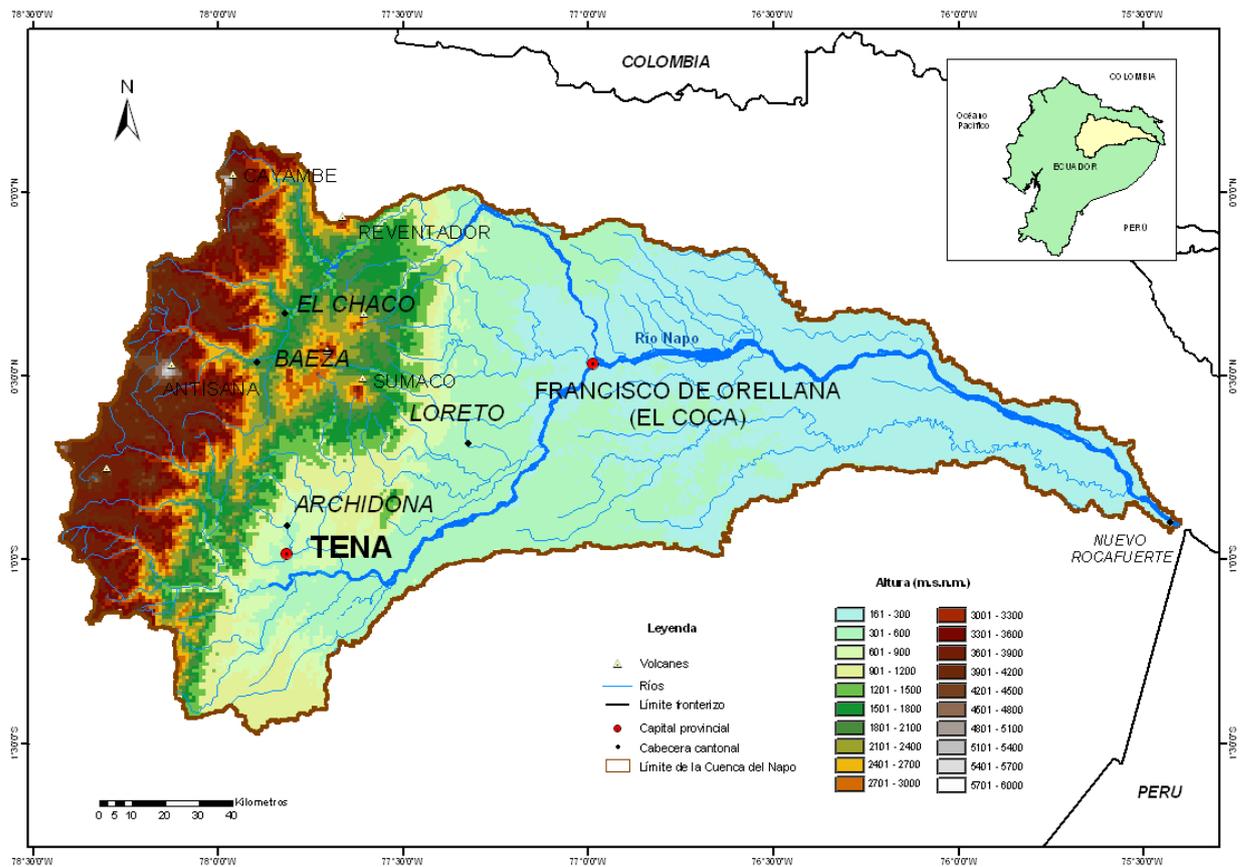


Figura 2: Mapa de la Cuenca del Río Napo (Red hidrográfica, Relieve)

GEOLOGIA

Hace millones de años (Baby P. et al, 2004), esta región del continente era una enorme planicie, en la cual se había formado una depresión alargada, en sentido Norte Sur, en que se sepultaron grandes bosques de la época del carbonífero que, con el tiempo, han llegado a convertirse en los yacimientos hidrocarbúricos de donde se extrae el petróleo.

En el Terciario medio (aproximadamente hace unos 302 millones de años) se inició la formación de los Andes y sus regiones sub-andinas, por la compresión de la placa oceánica, sobre la placa continental de América del Sur, dando lugar a la morfología montañosa del Oeste amazónico.

La formación sedimentaria ante-andina de la cuenca amazónica, está relacionada con el levantamiento tectónico que impedía que las aguas siguieran fluyendo hacia el Océano Pacífico, o hacia el Atlántico, por la presencia de los Escudos Guyano y Brasileño que

formaba una barrera a las aguas continentales, dando lugar a un inmenso lago que recibió, aproximadamente, unos tres mil metros de espesor de sedimentos que conforman la llanura amazónica terciaria.

La cuenca del Río Napo, comprende, geológicamente, las regiones de la Cordillera Real, la zona sub-andina y la cuenca oriente propiamente dicha. Hacia el Este de la Cordillera Andina se observa un conjunto de estructuras montañosas sub-andinas que tienen una conformación maciza al Norte, con el levantamiento del Napo y hacia el Sur, plegamientos antiguos, conocidos como Cordilleras del Cutucú, Galeras y Cóndor. A continuación puede mirarse una vasta planicie hacia el poniente, cubierta por bosques que encierran una topografía de llanuras onduladas, depresiones y valles de ríos divagantes.

Al realizar un corte longitudinal por la cuenca, de Oeste a Este, tenemos la siguiente descripción geológica (Baldock J.W., 1982): el *grupo Ambuquí*, formado por esquistos, cuarcitas y filitas, correspondientes al Paleozoico; *volcánicos – Cotopaxi*, con tres facies: distal, volcánico - sedimentaria y proximal; *rocas Intrusivas*, como granodiorita, diorita, que datan de la edad Cenozoica (Eoceno) y Jurásica; *formación Napo* (200 – 650 m), constituida por lutitas, calizas negras, de edad Cretácica (92 millones de años); *unidad Misahuallí*, *formación Tena*, *formación Tiyuyacu*, que comprende conglomerados, areniscas, lutitas rojas; *formación Chalcona* (600 – 1100 m); *formación Mera*, que es la más joven y está constituida por terrazas; *formación Curaray*, *depósitos aluviales*, *volcánicos Pisayambo*, *unidad Agoyán*, formada por esquistos, gneises semipelíticos, edad: devónico inferior; *unidad Upano*, *formación Arajuno*, correspondiente al Mioceno, *formación Chambira*; *unidad Cuyuja*; y la *formación Mesa* (100 – 400 m), formada por conglomerados, areniscas, de aproximadamente 164 millones de años, perteneciente al plio-cuaternario Mesa .

TECTONISMO

La construcción de secciones regionales estructurales, a partir de secciones sísmicas, de pozos y de trabajos de campo, así como el análisis detallado de estructuras petrolíferas,

han permitido diferenciar tres dominios tectónicos en la cuenca Oriente y proponer un nuevo modelo estructural (Baby P. et al, 2004).

Esos dominios tectónicos se diferencian por sus características geométricas y cinemáticas relacionadas a una herencia precretácica propia. Estos dominios son:

1. DOMINIO OCCIDENTAL: SISTEMA SUBANDINO

Constituye la parte aflorante de la cuenca “Oriente” y permite observar el estilo de las últimas deformaciones; en los afloramientos se observa fallas inversas de alto a bajo ángulo, las mismas que son características de un tectonismo transpresivo con movimientos dextrales. Este dominio se formó en el Plioceno y Cuaternario, y es aquí, donde ubicamos el Levantamiento Napo, la depresión Pastaza, y el levantamiento Cutucú.

2. DOMINIO CENTRAL: CORREDOR SACHA-SHUSHUFINDI

Abarca los campos petrolíferos más importantes del Ecuador. Está deformada por mega-fallas de un rumbo, orientadas en dirección NNE-SSW, que se verticalizan en profundidad y pueden evolucionar a estructuras en flor, hacia la superficie.

3. DOMINIO ORIENTAL: SISTEMA INVERTIDO CAPIRON – TIPUTINI

Se trata de un dominio estructural más ancho que el Corredor Sacha – Shushufindi; el estilo de la formación expresa un régimen tectónico en transpresión dextral. Este sistema corresponde a la inversión de una cuenca extensiva estructurada por fallas lístricas.

VOLCANISMO

La Cordillera de los Andes atraviesa de Norte a Sur el país (Monzier M.& Eissen J., 1990).

que se halla sobre el llamado Cinturón de Fuego del Pacífico, considerado como uno de los complejos de gran intensidad sísmica y volcánica debido a la colisión de las placas oceánicas de Nazca y la Sudamericana. Hay numerosos volcanes activos y apagados en el área del Ecuador continental e insular, que así como ofrecen una espectacular vista en los paisajes andino y amazónico e insular también preocupan cuando entran en

actividad. Aunque la lista es extensa (ver Fig.1) no hay que olvidar los volcanes que están en los diferentes ramales andinos, caso del Guagua Pichincha, Corazón, Cotopaxi, Tungurahua, Sangay, Reventador y Sumaco, entre otros del área continental, y el Cerro Azul, Wolf, Alcedo, Sierra Negra y La Cumbre en Galápagos.

VOLCAN	ALTURA (metros)
Antisana	5.758
Cayambe	5.790
Chimborazo	6.310
Cotopaxi	5.897
Guagua Pichincha	4.675
Sumaco	3.732
Iliniza	5.248
Imbabura	4.560
Reventador	3.562
Tungurahua	5.023

Tabla 1. Lista de los principales volcanes del Ecuador

El flanco Este de la Cordillera Oriental Ecuatoriana (o Cordillera Real) tiene un fuerte relieve que desciende de entre 6000 y 4000 m hasta 500 m, en solamente 100 kilómetros. Gran parte de las pendientes corresponden a las faldas de los volcanes y están compuestas de rocas eruptivas bajo la forma de colada de lava, brechas, conglomerados, lahares y capas de cenizas volcánicas, entre otros. En el “pie de monte” aparecen formaciones aluviales cuaternarias, areniscas y calizas de edad paleozoica a mesozoica. La Cordillera Oriental tiene una actividad volcánica y sísmica intensa que se traduce a menudo en erupciones de nubes de ceniza seguidas de lahares y por derrumbes muy destructivos y frecuentes. Estos eventos están amplificados por las pendientes fuertes, la falta de consistencia de los suelos, la existencia de numerosas fallas y además por las intensas lluvias. Estas características favorecen la erosión y el enriquecimiento en MES (Material En Suspensión) de los escurrimientos. Este MES es transportado por los ríos, hasta las grandes llanuras amazónicas.

CLIMA

El clima de la región amazónica se considera muy caluroso y muy húmedo todo el año (Pourrut P., 1994), pero así como existen diferencias en el relieve que ocasionan la presencia de dos sub-regiones (Laraque et al., 2004) : sub-andina y Cuenca Amazónica, también se notan diferencias climáticas en ambas.

En la zona del Alto Oriente, la temperatura media es de 25°C, con lluvias abundantes, es la zona de mayor pluviosidad en el país. Las lluvias son mayores desde la cuenca del Pastaza hacia el Norte, en la cuenca Archidona – Jondachi.

En el Bajo Oriente, que comprende la intrincada selva ecuatorial, existe el típico clima cálido ecuatorial, la temperatura oscila alrededor de los 26°C, las lluvias son también abundantes, pero de menor intensidad, con respecto a las de la región sub-andina.

3.- RED DE ESTACIONES HIDROMETEOROLOGICAS

3.1.- LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS

La red de estaciones que registran precipitaciones (INAMHI,1965-2005) ubicadas en la cuenca del Río Napo son:

CODIGO	ESTACION	TIPO	LATITUD			LONGITUD			ALTURA m.s.n.m.		
			°	'	''	°	'	''			
M007	NUEVO ROCAFUERTE	AP	S	0	55	0	W	55	25	0	200
M068	TIPUTINI AEROPUERTO	AR	S	0	46	0	W	75	32	0	219
M070	TENA	CO	S	0	59	57	W	77	49	30	665
M098	SAN MARCOS	CO	N	0	6	18	W	77	57	37	3440
M188	PAPALLACTA	CO	S	0	21	54	W	78	8	41	3150
M203	REVENTADOR	CP	S	0	25	18	W	77	58	0	1145
M205	SAN RAFAEL - NAPO	CP	N	0	5	13	W	77	343	34	1353
M208	SALADO INECEL	PV	S	0	12	0	W	72	42	0	1310
M293	PALMORIENTE (HUASHINTO)	CO	S	0	19	0	W	77	4	0	360
M436	CUYUJA	PG	S	0	5	0	W	78	2	58	2380
M484	ARCHIDONA	PV	S	0	55	53	W	77	50	13	630
M486	BORJA MISION JOSEFINA	PV	S	0	24	57	W	77	49	32	1500
M488	COTUNDO	PV	S	0	52	24	W	77	50	16	790
M489	JONDACHI	PV	S	0	44	21	W	77	51	9	1230
M491	PUERTO NAPO	PV	S	1	3	31	W	77	47	40	400
M533	CHALUPAS	PG	S	0	50	16	W	78	16	44	3520
M545	OYACACHI	PG	S	0	20	0	W	77	58	0	3130
M546	COSANGA	PG	S	0	37	0	W	77	52	19	1930
M563	LORETO	PG	S	0	41	0	W	77	19	0	420
M710	CHONTA PUNTA	PG	S	0	52	54	W	77	20	44	500

Tabla 2: Lista de las estaciones pluviométricas (utilizadas en el trazado de Isoyetas anuales) en la Cuenca del Río Napo.

Donde:

- AP Estación Agrometeorológica
- AR Estación Aeronautica
- CP Estación Climatológica principal
- CO Estación Climatológica Ordinaria
- PG Estación Pluviográfica
- PV Estación Pluviométrica

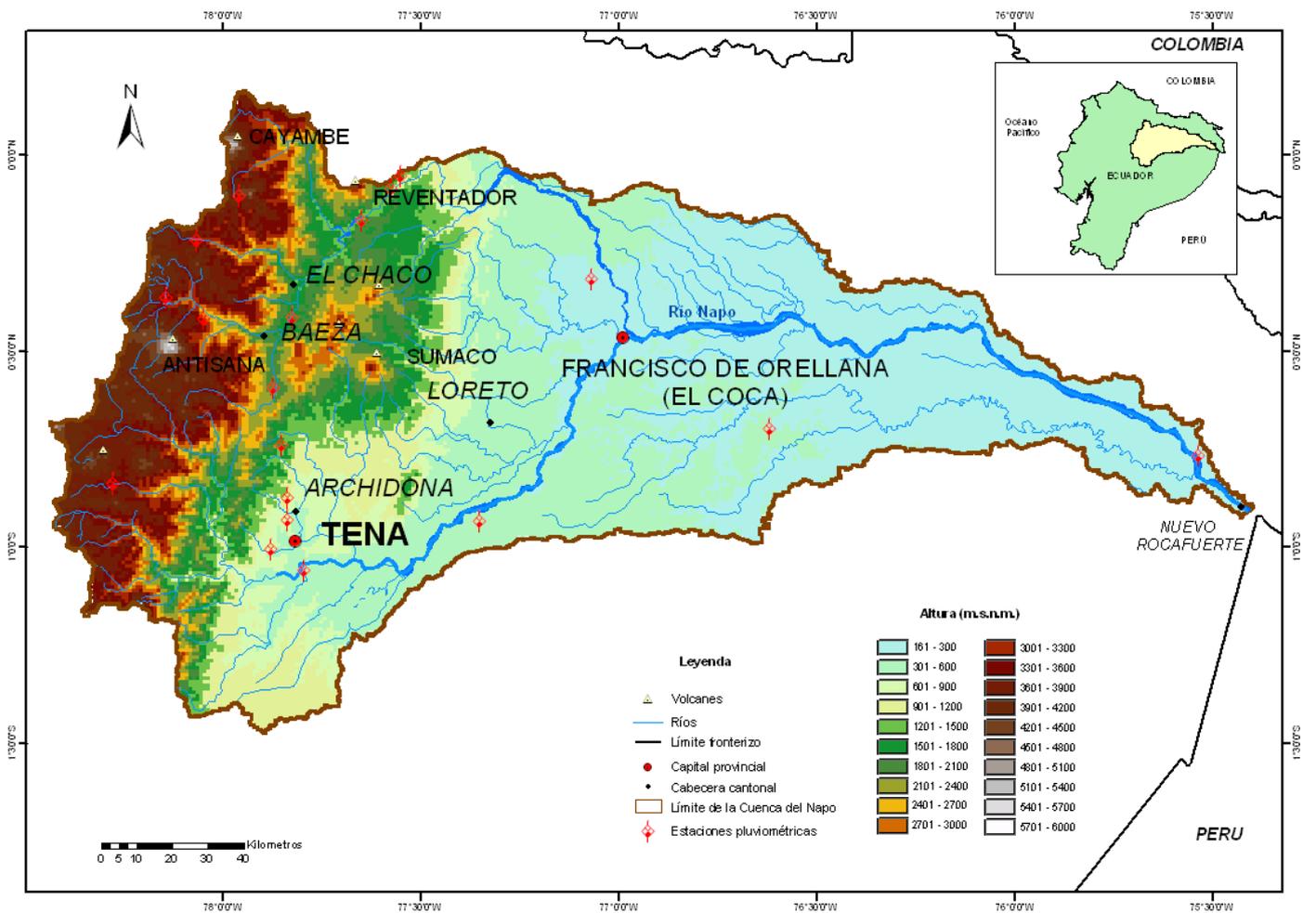


Figura 3: Mapa de ubicación de las estaciones pluviométricas en la Cuenca del Río Napo

En la hidrología interesa todos los parámetros que directa e indirectamente, influyen o interviene en el ciclo hidrológico, estos instrumentos pueden medir :

- cantidad de lluvia ,
- radiación solar,
- temperatura máxima y mínima,
- evaporación,
- velocidad del viento



Foto1.- Estación Meteorológica Nuevo Rocafuerte (INAMHI, Cuenca del Napo)

3.2.- LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS

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.

La red hidrológica seleccionada en la cuenca del Río Napo (INAMHI,1965-2005; Laraque et al.,2003) está compuesta por 10 estaciones que son:

COD. INAMHI	COD. HYBAM	RIO	NOMBRE DE LA ESTACION
H-722	10080150	YANAHURCO	YANAHURCO D.J. VALLE
H-721	10080200	JATUNYACU	JATUNYACU D.J. ILOCULLIN
H-720	10080400	MISAHUALLI	MISAHUALLI EN COTUNDO
HB-25	10080900	NAPO	FRANCISCO DE ORELLANA
H-718	10081100	QUIJOS	QUIJOS EN BAEZA
H-731	10081200	COSANGA	COSANGA A.J. QUIJOS
H-733	10081300	QUIJOS	QUIJOS A.J. BORJA
H-719	10081400	QUIJOS	QUIJOS D.J. OYACACHI
HB-24	10081900	COCA	COCA EN SAN SEBASTIAN
HB-26	10082800	NAPO	NAPO EN NUEVO ROCAFUERTE

Tabla 3: Lista de las estaciones hidrométricas en la Cuenca del Río Napo.

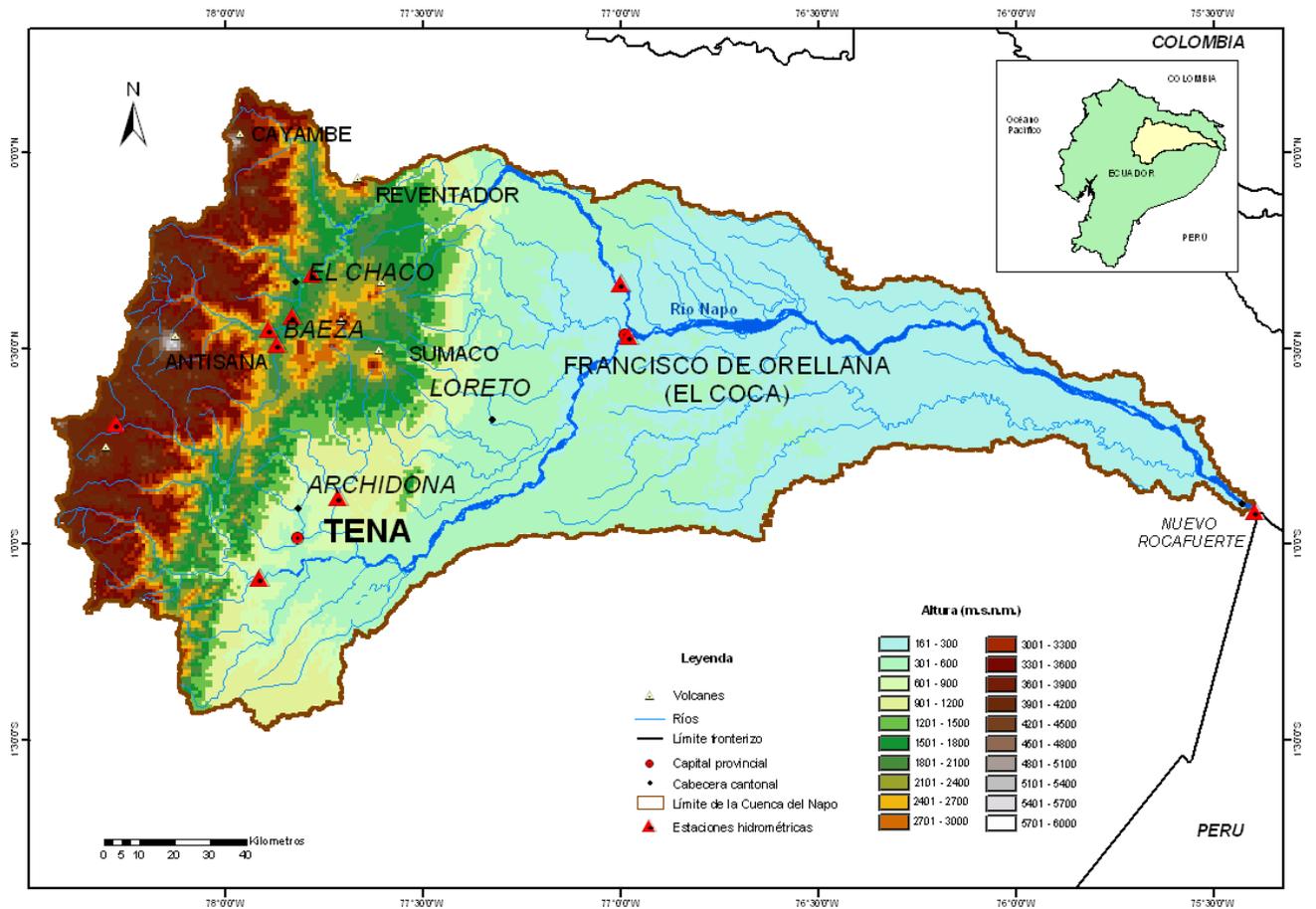


Figura 4: Mapa de ubicación de las estaciones hidrométricas en la Cuenca del Río Napo.

3.2.1.- LECTURAS LIMNIMÉTRICAS

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

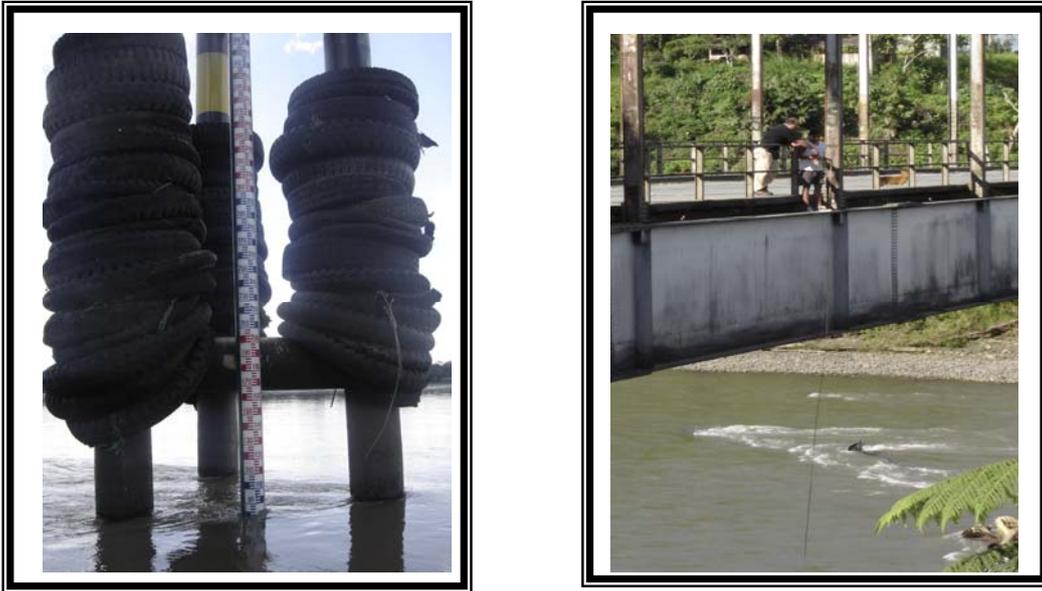


Foto 2: Lecturas limnimétricas a partir de una regla y desde un puente.

b) A partir de un puente

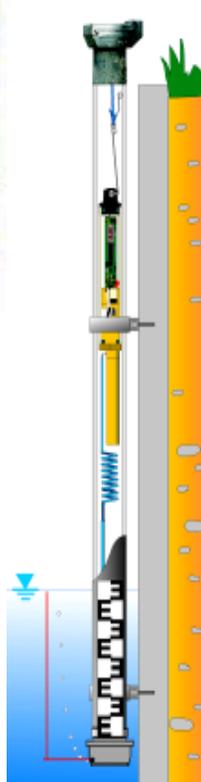
A falta de escalas limnimétricas, y si se cuenta con la presencia de un puente ubicado en el sitio adecuado de acuerdo a los parámetros especificados, se lo puede considerar como sitio de medición de cotas, considerando aspectos tales como:

- 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 Orphimedes (Registrador automático de niveles de agua)



Al momento de mejorar tiempos de ejecución y mayor exactitud en los datos de campo utilizamos Orphimedes (www.ott-hydrometry.com) 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 la manipulación de datos.



El almacenamiento de información es de una manera continua e interrumpida 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: Registrador automático de niveles de agua (Orphimedes).



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.

$$P = p.g.h$$

Donde:

p = la gravedad específica de agua

g = aceleración gravitacional (m/s^2)

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.

3.2.2- MEDICIÓN DE CAUDALES O AFORO LIQUIDO.

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.

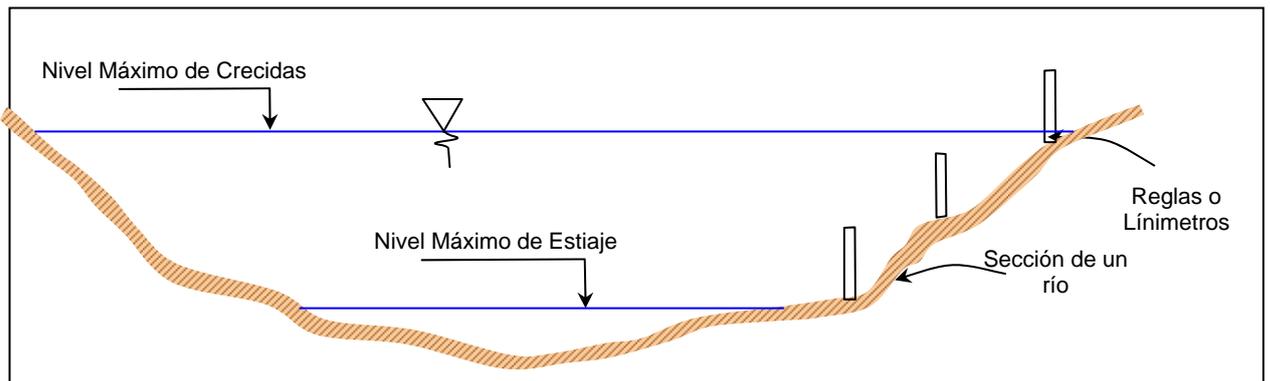


Figura 5: Sección transversal de un río

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.

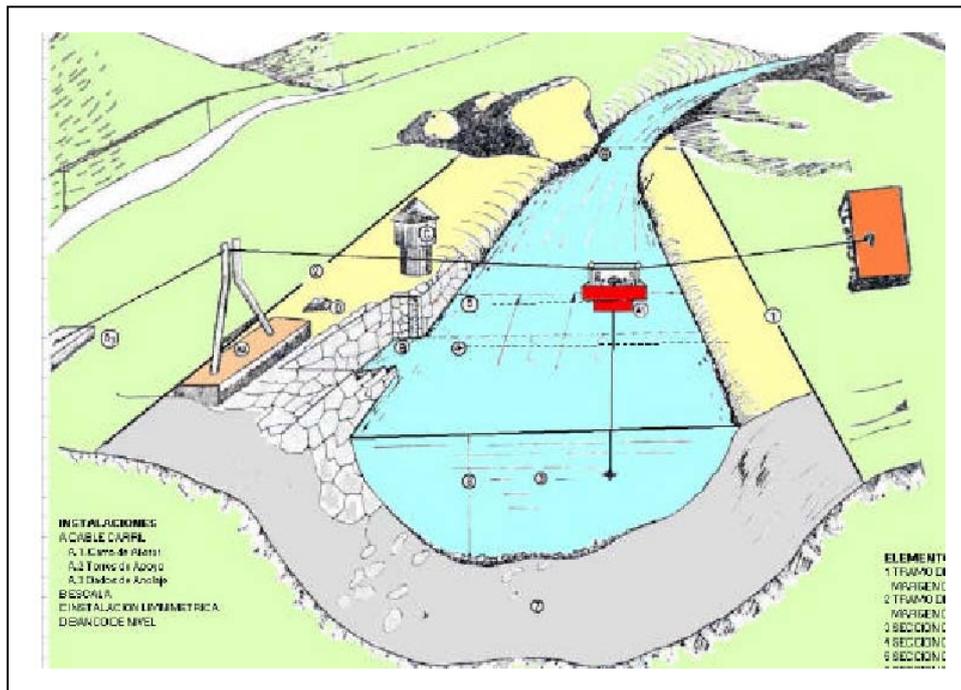


Figura 6: Esquema de una sección de Aforo

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

a) 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
- Escandallo de 25-50 o 100 kg. (Dependiendo de la velocidad del agua)
- Torno de acuerdo al escandallo seleccionado.
- GPS
- Contador



Foto 4: Aforo con Molinete Estación Quijos DJ Oyacachi.

MATERIAL

- Cuerdas de seguridad.
- Tablones.
- Guantes

PROCEDIMIENTO

▪ **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 ha 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 coordenadas 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 5: Aforo con molinete desde un puente.

- **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 el 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.

b) 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.

c) 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.

d) 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:

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

Donde:

Q = Caudal en l.s⁻¹

q = Gasto de la solución concentrada

Co = Concentración del contenido inicial de sales del río.

C1 = Concentración de la sal utilizada.

C2 = Concentración de la mezcla.

e) AFORO UTILIZANDO ADCP



El ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler, RDI, 1996) es un equipo de alta tecnología (www.rdinstruments.com) 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.

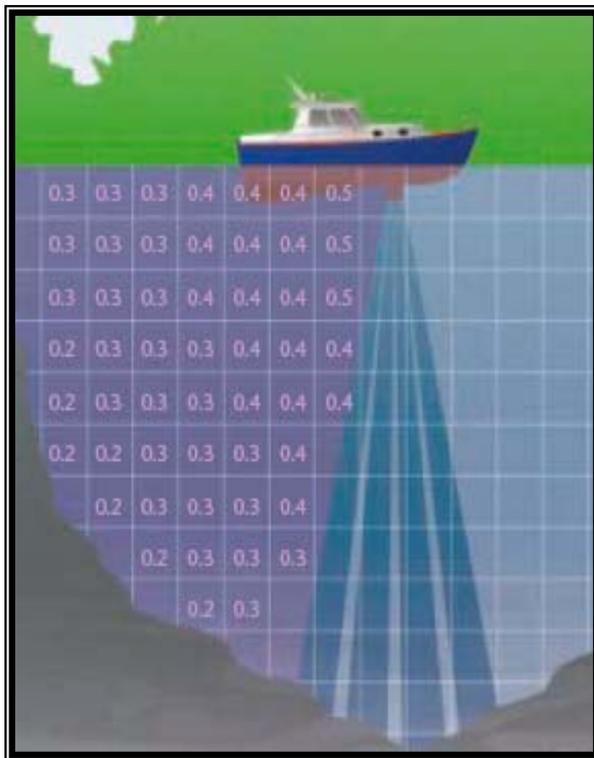


Foto 6: Equipo, instalación y funcionamiento del ADCP

Estas celdas pueden tener dependiendo a la configuración, aproximadamente 30 cm de lado. Posteriormente y por integración, el paquete 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.

4. METODOLOGÍA

4.1.- Parámetros Físico Morfométricos de una Cuenca Hidrográfica

ESTACION	NOMBRE	COORDENADAS	AREA Km ²	PERIMETRO Km	Lr Km	COTAS		lr %	lc	lp %	Tc horas	Relieve	CN
						SUP	INF						
H-718	Quijos en Baeza	00°27'16" S 77°53'11" W	866	145	42,6	3800	1770	4,8	1,38	34,3	4,6	Escarpado	81
H-719	Quijos AJ Oyacachi	00°18'10" S 77°46'30" W	2461	239	63,5	3800	1490	3,6	1,35	22,2	7,4	Fuertemente Accidentado	83
H-720	Misahualli en Cotundo	00°52'39" S 77°50'04" W	185	73	32,2	2400	800	5,0	1,49	52,1	2,2	Muy Escarpado	89
H-721	Jatunyacu DJ Iloculin	01°06'21" S 77°55'58" W	3128	311	104,0	4600	570	3,9	1,56	22,6	10,1	Fuertemente Accidentado	85
H-722	Yanahurco DJ Valle	00°41'30" S 78°16'52" W	87	45	16,1	4200	3590	3,8	1,34	49,9	1,3	Escarpado	89
H-731	Cosanga AJ Quijos	00°29'30" S 77°51'50" W	495	116	53,1	3900	1740	4,1	1,46	36,0	4,6	Escarpado	85
H-733	Quijos AJ Borja	00°25'03" S 77°49'00" W	1534	200	49,9	3800	1635	4,3	1,43	30,2	5,5	Escarpado	81
HB-24	Napo en Fco. de Orellana	00°28'15" S 76°59'25" W	12404	689	271,1	4600	310	1,6	1,73	3,0	43,8	Suave	93
HB-26	Napo en Rocafuerte	00°55'00" S 75°24'00" W	27387	980	488,0	4600	180	0,9	1,66	2,4	56,0	Suave	99

Donde:

Estación:	Estación Hidrométrica de estudio
Coordenadas:	Coordenadas del Punto de estudio
Area:	Area de la cuenca en el punto de estudio
Perímetro:	Perímetro correspondiente al área del punto de estudio
Lr:	Longitud del río hasta el punto de estudio
Cotas:	Superior e Inferior del río
Ir:	Pendiente del río
Ic:	Índice de compacidad o de forma
Ip:	Pendiente media de la cuenca
Tc:	Tiempo de concentración Fórmula de Kirpich
Relieve:	Tipo de terreno en función de Ip
CN:	Número Hidrológico según el SCS

Tabla 4 . Parámetros físico-morfométricos de la Cuenca del Río Napo

Las características físicas de una cuenca (Bravard J.P. & Petit F.,1997; Monsalve G., 1995) dependen de la morfología (forma, relieve, red de drenaje, etc), tipo de suelos, cobertura vegetal, geología, uso de suelos, etc.; estos parámetros físicos nos dan a conocer espacialmente los elementos del régimen hidrológico.

a) LONGITUD DEL RIO

Longitud total de la corriente de agua, expresado en Km.

b) PENDIENTE MEDIA DEL RIO

Es la diferencia total de elevación del lecho del río dividido por su longitud entre esos puntos.

c) PERIMETRO DE LA CUENCA

Corresponde a la suma de los lados del polígono (cuenca de drenaje).

d) AREA DE DRENAJE DE LA CUENCA

Es el área plana (proyección horizontal) incluida entre su divisoria topográfica; se designa como divisoria la línea que separa las precipitaciones que caen en cuencas

inmediatamente vecinas, y que encaminan la escorrentía resultante para uno u otro sistema fluvial. La divisoria sigue una línea atravesando el curso de agua solamente en el punto de salida. La divisoria une los puntos de máxima cota entre cuencas.

e) PENDIENTE DE LA CUENCA

Esta característica controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por lo tanto, el tiempo que lleva el agua de la lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de las cuencas.

Midiendo la longitud total de las curvas de nivel, el área de drenaje y la diferencia consecutiva de cota entre curvas de nivel, se puede hallar la pendiente promedio ponderada de una cuenca determinada.

d) FORMA DE LA CUENCA (INDICE DE COMPACIDAD)

Esta característica es importante pues se relaciona con el tiempo de concentración, que es el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la cuenca hasta llegar a la salida de la misma.

INDICE DE COMPACIDAD O DE GRAVELIUS.

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual a la de la cuenca.

$$A = \pi r^2 \quad r = (A/\pi)^{1/2}$$

$$Kc = P / (2\pi r)$$

$$Kc = P / (2\pi (A/\pi)^{1/2}) \quad Kc = 0.28 P / A^{1/2}$$

Donde:

A: área de la cuenca

P: perímetro de la cuenca

Kc: Índice de compacidad o de Gravelius.

g) TIEMPO DE CONCENTRACION

Es el tiempo que la lluvia que cae en el punto más distante de la corriente de agua de una cuenca hasta llegar a una sección determinada de dicha corriente, se mide en minutos u horas.

h) CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA

Es la representación gráfica del relieve de una cuenca, para el presente trabajo se ha determinado a partir del último Modelo Numérico del Terreno disponible (MNT – SRTM) que tiene la mayor resolución (píxeles de 90 metros).

La curva hipsométrica relaciona el valor de altura, en las ordenadas, con el porcentaje de área acumulada en las abscisas.

4.2.- PARAMETROS PLUVIOMETRICOS

4.2.1 PRECIPITACIÓN

La precipitación es uno de los factores climatológicos más importantes. Puede ser clasificada de acuerdo con las condiciones que producen movimiento vertical del aire en: Convectivas, Orográficas y de Convergencia.

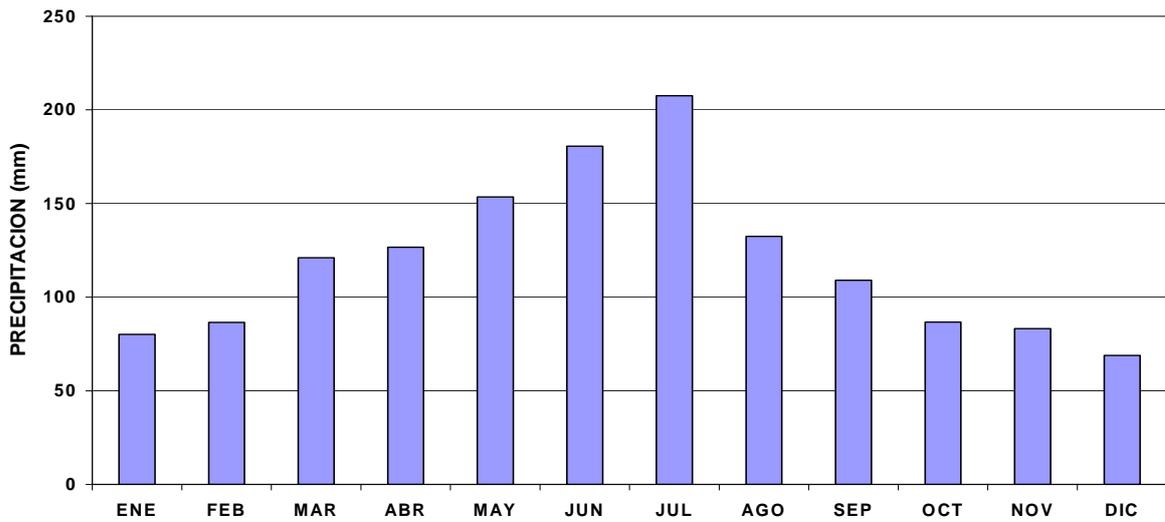
Cualquier producto formado (Linsley R. K. et al., 1977) por la condensación del vapor de agua atmosférico en el aire libre o la superficie de la tierra es un hidrometeoro. Puesto que los hidrólogos están interesados en la Precipitación, únicamente se definen acá aquellos hidrometeoros que caen, estableciéndose la precipitación en forma de: llovizna, lluvia (ligera, moderada y fuerte), escarcha, nieve, granizo.

El régimen pluviométrico (variación temporal) lo podemos determinar a través de pluviogramas (ver Fig. 7), la gran variabilidad de la distribución geográfica de las cantidades de precipitación (variación espacial) lo podemos terminar a través de las Isoyetas (ver Fig. 8).

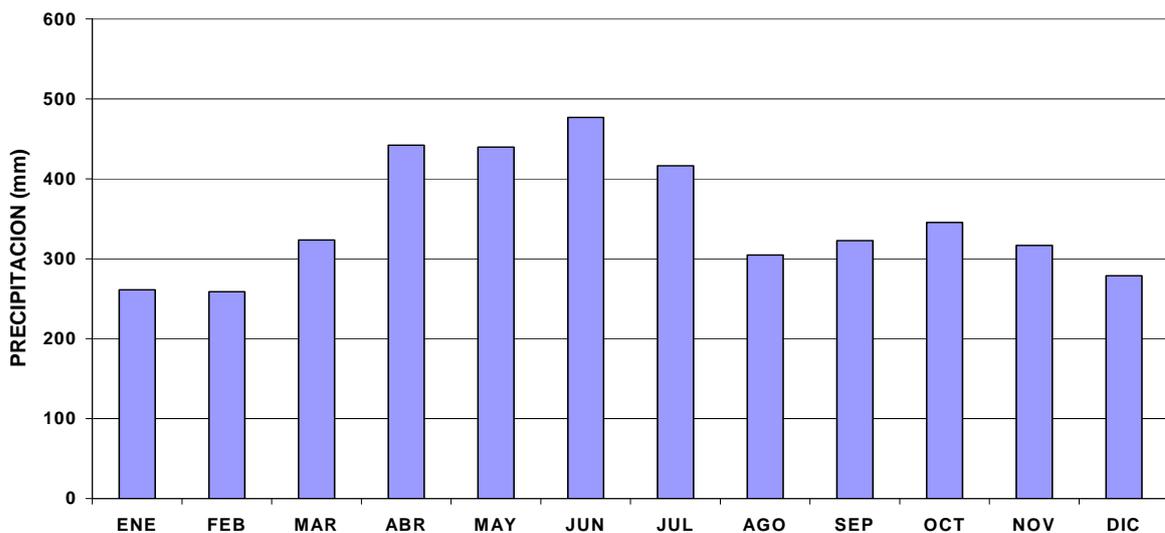
a) PLUVIOGRAMAS

Representan la cantidad de lluvia caída en función del tiempo en el cual dicha lluvia se presentó. La altura pluviométrica, en mm, se expresa diariamente, mensualmente, anualmente, etc. permiten observar el régimen pluviométrico.

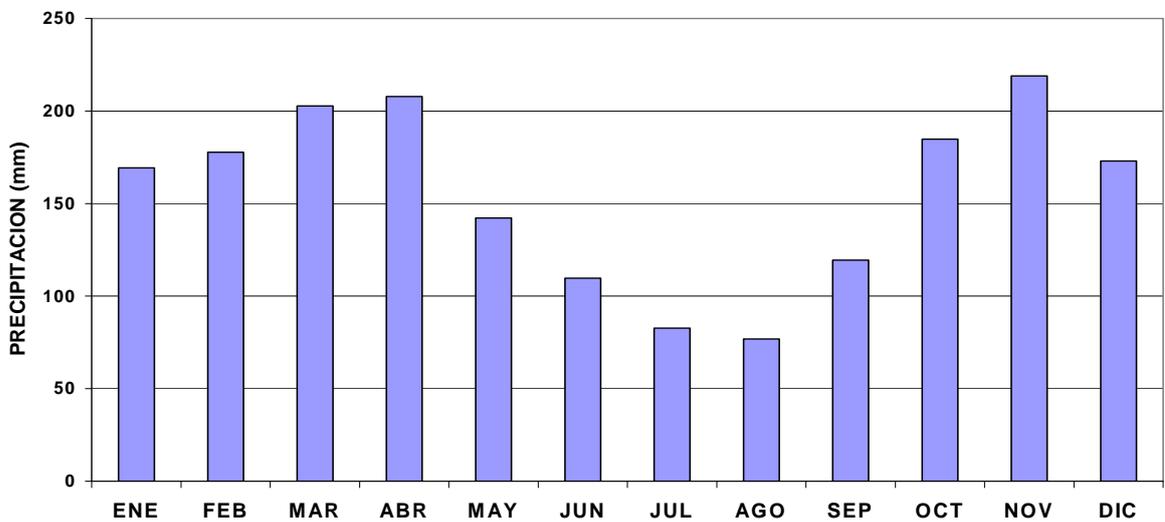
PAPALLACTA
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (1964-2004)



TENA
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (1965-2005)



LORETO
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (1963-1985)



NUEVO ROCAFUERTE
PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (1976-2005)

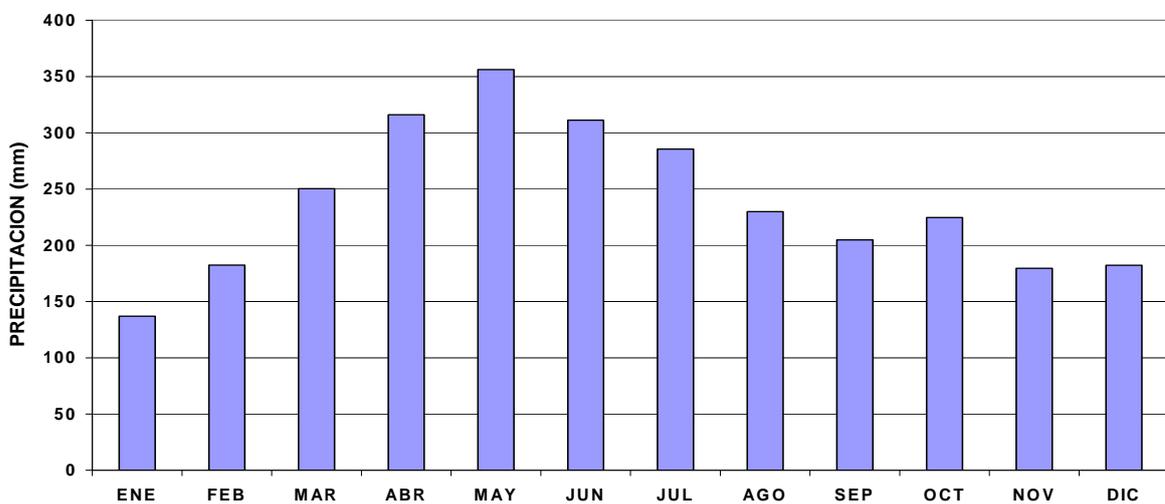


Figura 7. Pluviogramas de algunas estaciones ubicadas en la Cuenca del Río Napo

Se han mostrado 4 pluviogramas correspondientes a:

- 1) La estación de Papallacta (3150 m.s.n.m) ubicada en la parte norte de la Cuenca del Río Napo, los valores de precipitación corresponden a datos medios mensuales multianuales (1964-2004) y puede observarse claramente que existe una distribución unimodal de las lluvias, con los valores máximos ocurridos en los meses de mayo a julio; el período menos lluvioso se encuentra de noviembre a febrero.
- 2) La Estación de Tena (665 m.s.n.m.) ubicada en la parte Sur de la Cuenca del Río Napo, pero a menor altura de la anterior, se caracteriza por registrar altos índices de lluvia, en los meses menos lluviosos (enero y febrero) se observan valores superiores a los 200 mm de precipitación; mientras que en los meses más lluviosos (abril a julio) los valores superan los 400 mm.
- 3) La estación de Loreto (420 m.s.n.m) ubicada en la parte media de la cuenca, presenta un régimen diferente a las 2 anteriores, de carácter bimodal con dos picos en picos en noviembre (valores superan los 200 mm de precipitación) y en abril (mayor a 200 mm de precipitación).
- 4) La estación de Nuevo Rocafuerte (200 m.s.n.m) ubicada en la parte baja, prácticamente en el cierre de la cuenca, los meses lluviosos se extienden de marzo a octubre donde la precipitaciones superan los 200 mm, el período menos lluvioso es de noviembre a febrero.

b) ISOYETAS

Con el objeto de describir la distribución espacial de la lámina precipitada total anual se procedió al trazado de las curvas isoyetas o isolíneas de igual lámina de precipitación.

Las isoyetas reportan resultados consistentes cuando es aplicado en terrenos planos como es el caso de gran parte del ámbito de estudio.

Sin embargo, debe considerarse como referenciales en el extremo noroeste del área debido a que este método no permite tener en cuenta la influencia orográfica.

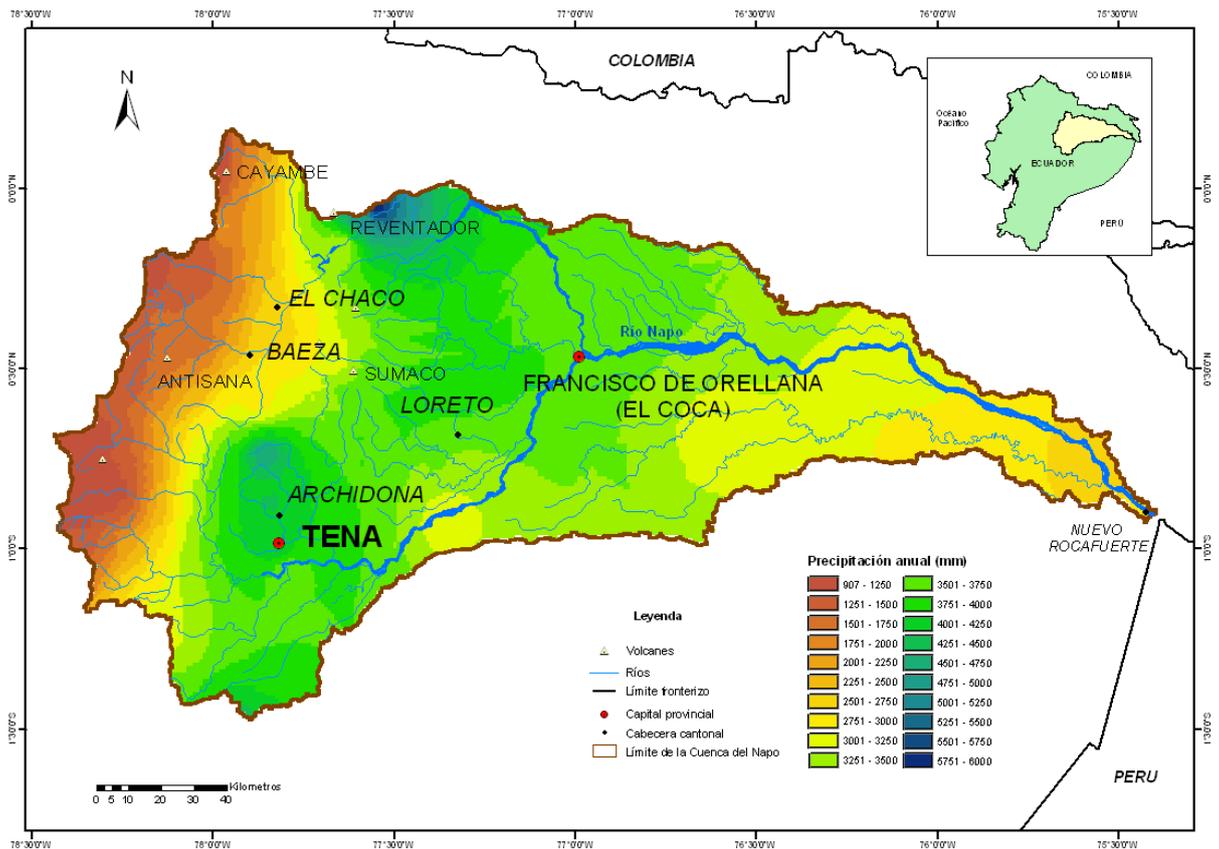


Figura 8: Mapa de Isoyetas (Precipitación Media Multianual) de la Cuenca del Río Napo.

4.3.- PARAMETROS HIDOLOGICOS

En el presente trabajo primeramente se analizaron los datos existentes en el INAMHI además de los datos obtenidos mediante trabajo de campo realizado por los observadores y aforadores del proyecto HYBAM.

Luego se hizo la fase de crítica, depuración, análisis y relleno de información básica a nivel diario, con la ayuda del paquete HYDRACCESS (Vauchel P., IRD / HYBAM, www.mpl.ird.fr/hybam/outils/logiciels.htm).

a) LIMNIGRAMAS

Es la representación gráfica de la variación de los niveles de agua en relación con el tiempo.

b) CURVA DE DESCARGAS

Una vez que la sección de control para la medición de caudales ha sido escogida, se puede instalar en este sitio una regla limnimétrica o un limnógrafo (ORPHIMEDES); la finalidad de la regla limnimétrica es la de relacionar el nivel del agua de un río con su caudal.

Utilizando un molinete o ADCP, se miden los caudales en el río para varios niveles de agua, registrando para cada nivel de agua su correspondiente caudal y de esta manera se puede construir una curva de calibración, que relaciona el nivel de agua en un determinado momento de la sección con su caudal respectivo.

La curva de calibración normalmente debería estar representada por una ecuación del tipo:

$$Q = ah^n$$

Donde:

- Q : caudal, m³/s
- h : lectura de la regla, m
- a, n : constantes para cada sección.

Sin embargo, debido a que el cero de la regla limnimétrica no resulta siempre exactamente en el punto en el cual el caudal es igual a cero, la curva de calibración puede tener, después del ajuste con los datos de campo, la siguiente ecuación:

$$Q = a (h + h_0)^n$$

El valor de h_0 es igual al nivel cero de la regla sumado o restado el nivel del río para un caudal igual a cero, que pueden o no coincidir con el fondo del río.

Con los datos de nivel y caudal determinados, las constantes a , h_0 y n pueden ser calculadas por el método de mínimos cuadrados, dado que:

$$\log Q = \log a + n \log (h \pm h_0)$$

Variando el valor de h_0 se hallan valores respectivos de a y n . Adicionalmente se encuentra el respectivo coeficiente de correlación resultante del método de mínimos

cuadrados para los datos históricos de nivel h y caudal Q . El valor de h_0 que maximice el valor del coeficiente de correlación se define como el que mejor ajusta la curva de calibración resultante.

c) HIDROGRAMAS

Es la representación gráfica de la variación del caudal en relación con el tiempo. El intervalo de tiempo puede variar de horas a años.

Estas gráficas sirven para visualizar la magnitud de cada uno de los ríos que forman parte de la cuenca del río Napo.

d) CURVAS DE DURACIÓN GENERAL

La curva de duración de caudales es la representación gráfica en orden decreciente de los caudales observados, duración normalmente expresada en porcentaje. Como cada dato de caudal corresponde a un intervalo de tiempo (hora, día, mes, año), hay una correspondencia entre aquel porcentaje y el período total de datos.

Para la construcción de esta curva se grafican los valores de caudal en el eje de las ordenadas, contra su frecuencia acumulada relativa correspondiente, en el eje de las abscisas

5.- DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDROPLUVIOMÉTRICO

En el territorio amazónico (Figueroa S. & Nobre C., 1990; ECORAE, 2003), la interacción entre las masas de aire y vapor de origen oceánico y continental, la retroalimentación del contenido de humedad atmosférica a través de los procesos de evapotranspiración, el desplazamiento estacional de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) y el efecto orográfico de la cadena montañosa de la cordillera, sobre las masas de aire en desplazamiento hacia el interior del continente, son sólo algunos de los fenómenos complejos, que determinan la gran variabilidad de la distribución geográfica de las cantidades de precipitación (variación espacial) y de su régimen pluviométrico (variación temporal).

SUBCUENCA	PRECIPITACION (mm)	COTAS (cm)		CAUDALES (m ³ /s)		
	MEDIA	MIN	MAX	MEDIOS	MIN	MAX
YANAHURCO D.J. VALLE	1279	60	300	2.24	0,01	48
JATUNYACU D.J. ILOCULLIN	2345	3	600	322	54	4505
MISAHUALLI EN COTUNDO	4218	22	498	20,82	3,68	2084
NAPO EN FCO. DE ORELLANA	3361	180	796	1054	316	5228
QUIJOS EN BAEZA	1713	0	310	54,29	4,01	553
COSANGA A.J. QUIJOS	2925	13	550	47,68	2,51	1289
QUIJOS A.J. BORJA	2223	7	450	116	12	750
QUIJOS D.J. OYACACHI	2118	20	470	197	59,7	2807
COCA EN SAN SEBASTIAN	2808	207	540	341	99	743
NAPO EN NUEVO ROCAFUERTE	3342	90	492	2212	1180	6162

Tabla 5. Resumen de precipitaciones, cotas y caudales en las Subcuencas del Río Napo

5.1.- CUENCA ALTA (Los Andes)

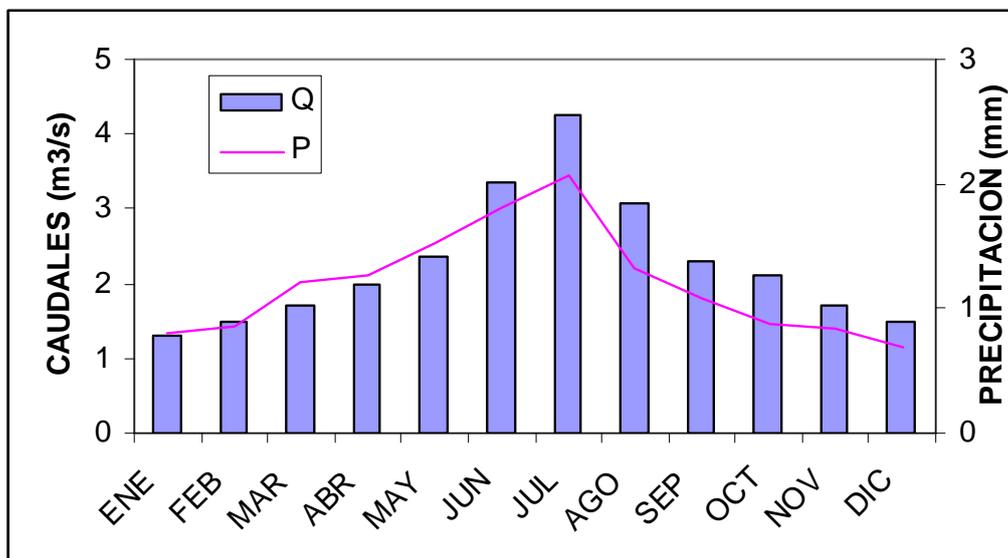


Figura 9: Régimen Hidropluviométrico de la Cuenca alta del Río Napo (caudales medios mensuales multianuales en m³/s en la estación de Yanahurco D.J. Valle y Precipitaciones medias mensuales multianuales en mm divididas para 100, en la Estación de Papallacta).

5.2.- La Cuenca Media (El Pie de Monte)

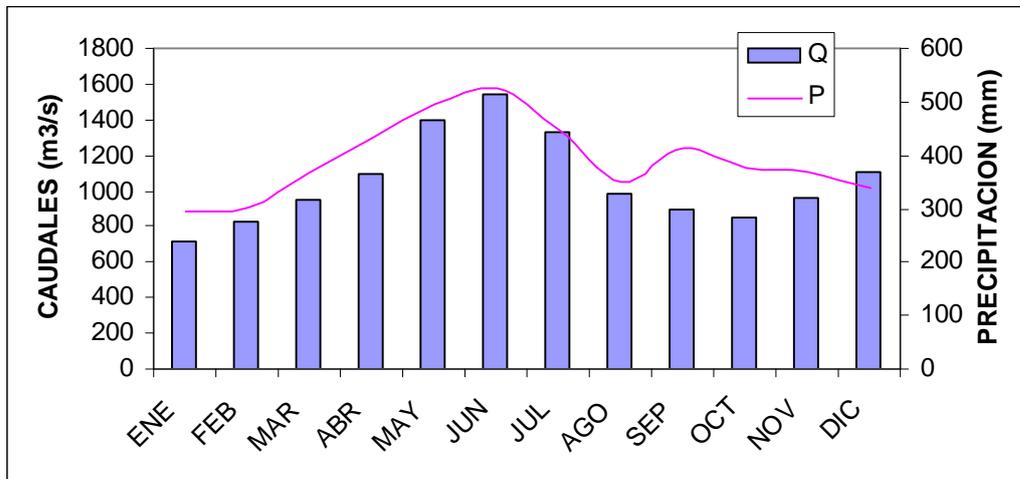


Figura 10: Regimen Hidropluviométrico de la Cuenca media del Río Napo (Caudales medios mensuales multianuales en m^3/s en la estación de Napo en Nuevo Rocafuerte y Precipitaciones medias mensuales multianuales en mm, en la Estación de Zatzayacu).

5.3.- La Cuenca Baja (Llanura Amazónica)

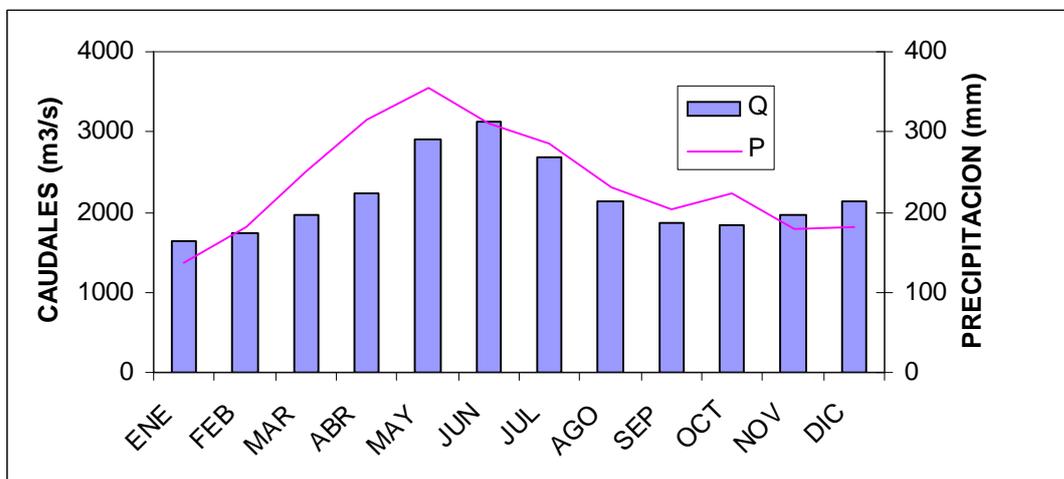


Figura 11: Regimen Hidropluviométrico de la Cuenca alta del Río Napo (Caudales medios mensuales multianuales en m^3/s en la estación de Napo en Nuevo Rocafuerte y Precipitaciones medias mensuales multianuales en mm, en la Estación de Nuevo Rocafuerte).

6.- CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

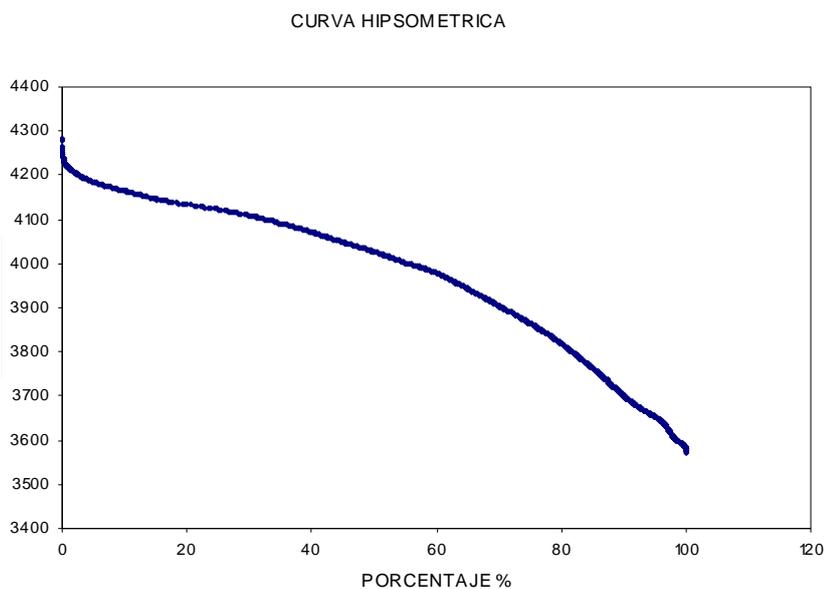
- El presente documento sintetiza los estudios desarrollados por el Proyecto HYBAM dentro de la cuenca del Río Napo. En la parte media y baja a través del Proyecto se han instalado estaciones hidrométricas las cuales entraron en funcionamiento a finales del 2001, mismas que nos han servido para investigar el comportamiento hidrológico del Río Napo a través del tiempo .
- La cuenca del río Napo representa la mayor cuenca Hidrográfica del País (27.400 Km²), actualmente algunas instituciones tienen el propósito de investigar la posibilidad de que sobre este río se amplié la red de navegación en nuestro País, con miras a desarrollar e incrementar sustancialmente la transportación fluvial desde el Brasil hacia el Ecuador.
- En la cuenca del Río Napo encontramos tres zonas con regimenes hidroluviométricos diferentes, debido principalmente a la altura. La cuenca alta que parte desde los deshielos del Antisana (5700 m.s.n.m), la parte media a nivel del pie de monte andino (500 m.s.n.m) y la parte baja a nivel de la llanura amazónica (200 m.s.n.m).
- La Precipitación media de la cuenca en la parte alta es del orden de los 1 500 mm, en la parte media 3 500 mm y en la parte baja 2 500 mm.
- Los caudales medios multianuales registrados en el cierre de las estaciones representativas de las tres zonas son del orden de los 300 m³/s en la parte alta, 1050 m³/s en la parte media y 2200 m³/s en la parte baja.
- Ahora que el Proyecto HYBAM, cuenta con datos registrados en la parte baja y media de la cuenca es posible establecer un balance hídrico superficial a nivel de toda la cuenca y comprobar los resultados obtenidos con la proyecciones realizadas en base a los datos existentes en la cuenca alta (Pérez V., 2000).
- En el Proyecto HYBAM se han obtenido a través del tiempo registros de material en suspensión con la red de observadores y de los aforos realizados en las campañas de campo. Información que se utilizará para la estimación de los flujos sólidos a fin de conocer el funcionamiento hidrosedimentológico de la cuenca.
- Este trabajo servirá de guía para la elaboración de otros documentos a realizarse en las otras cuencas del País.

7.- BIBLIOGRAFÍA

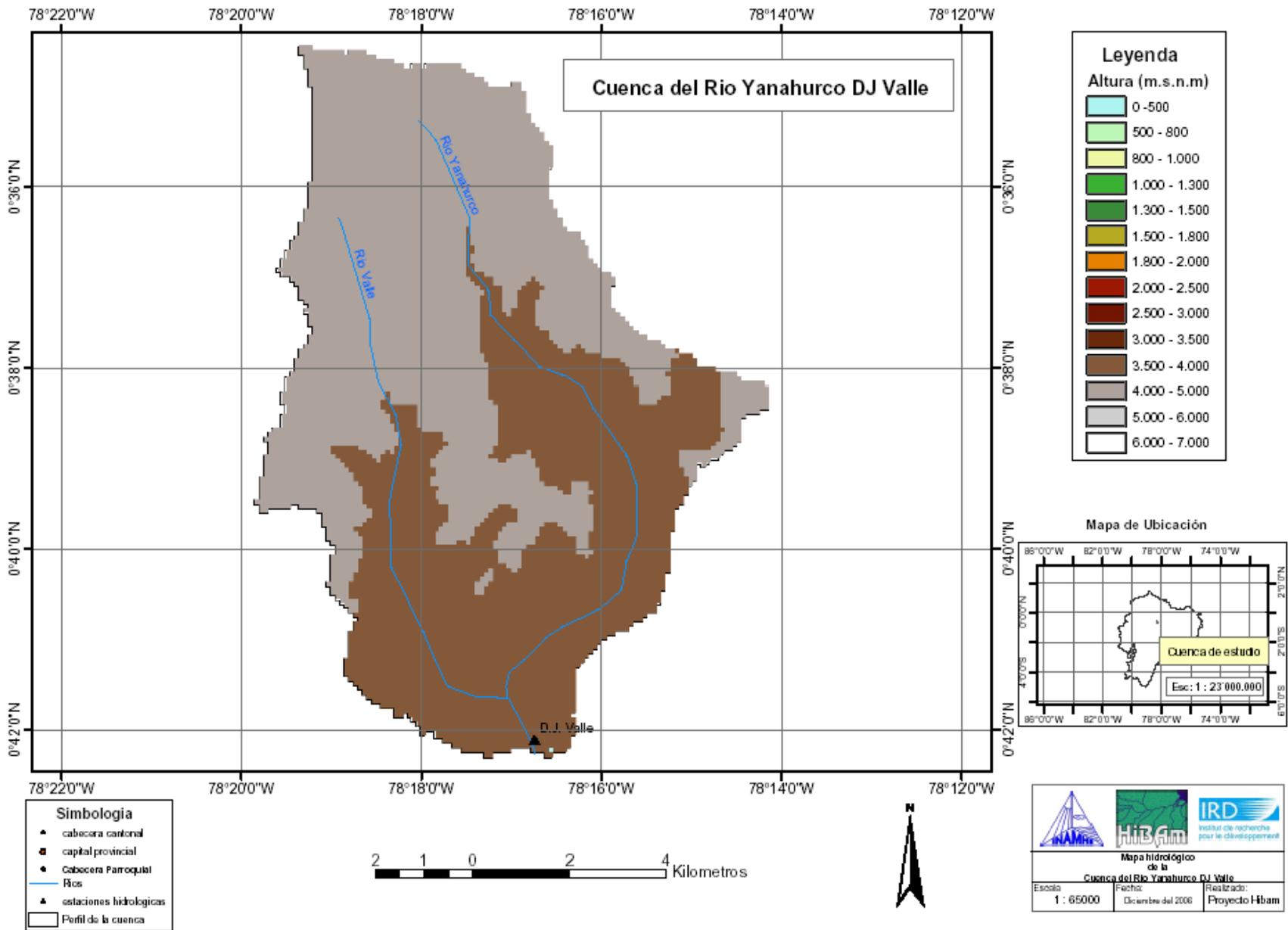
- Armijos, E., 2002. Estudio hidrofísico de las cuencas de los ríos Napo, Pastaza y Santiago. Tesis de Ingeniero Civil de la Universidad Central del Ecuador, Quito, Junio 2002, 126 p + anexos.
- Aspiazu P. & Luna M., 1993. Geografía e Historia del Ecuador, Ed. CULTURAL S.A., Madrid, 340 p.
- Atlas del Ecuador. Ed. Les Editions J.A., París, 1982, 80 p.
- Baby P. et al., 2004. La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo, Ed. IFEA, IRD, PETROECUADOR, Lima, 295p.
- Baldock J.W. 1982. Geología del Ecuador, Ed. DGGM, Quito, 66p.
- Bravard J.P. & Petit F, 1997. Les cours d'eau: Dynamique du système fluvial, Ed. COLIN A., Paris, 222 p.
- ECORAE, 2003. Zonificación Ecológica-Económica de la Amazonía Ecuatoriana, Ed. ECORAE, Quito.
- Figuroa S.N. & Nobre C.,1990. Precipitation distribution over central and western tropical South America. *Climanalyse*, 5, 36-47.
- Hall, M.L.,1977. El volcanismo en el Ecuador. Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Sección Nacional del Ecuador, Quito, 120 p.
- Humboldt Von A., 1825. Voyages dans l'Amérique équinoxiale. I. Itinéraire. Trad. C. Minguet. Ed. F. Maspero, 1980, Paris, 295 p.
- INAMHI,1965-2005. Anuarios Meteorológicos, Ed. INAMHI, Quito.
- INAMHI,1965-2005. Anuarios Hidrológicos, Ed. INAMHI, Quito.
- Laraque, A., Pombosa, R., Cerón, C., Armijos, E., Magat, P. 2003. La red de estaciones de referencias del proyecto HYBAM en Ecuador – Primeros resultados. Informe Interno IRD-INAMHI, 50 p. + anexos.
- Laraque A., Guyot J.L., Pombosa R. 2004. Hidroclimatología de la Cuenca Amazónica del Ecuador y su hidrosedimentología (Ejemplo de la cuenca del Napo). Geología de la cuenca Oriente (Baby P., Rivadeneira M., Barragan R., Eds.). IRD, IFEA, PETROECUADOR. p.131-151.
- Linsley R.K., Kohler M. A., Paulus J.L.H., 1977. Hidrología para ingenieros, Ed. McGraw-Hill Latino America S.A., Bogotá, 382 p.
- Monsalve G.M., 1995. Hidrología en la Ingeniería. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá ,382 p.

- Moreno, F., Tapia, A., 2001., Regionalización hidrometeorológica de las cuencas amazónicas. Tesis de Ingeniero Civil de la Universidad Central de Ecuador, 75 p.
- Perez Suasnavas, V.P., 2000. Balance hídrico superficial de la cuenca del Río Napo. Tesis de Ingeniero Civil de la Universidad Central del Ecuador, Quito, 132 p.
- Pourrut P., 1994. Climat de l'Equateur. In l'eau en Equateur, principaux acquis en hydroclimatologie, Ed. ORSTOM, 147 p.
- RDI, 1996. Acoustic Doppler Current Profilers – Principles of Operation : A practical Primer. Second Edition for broad Band ADCP. San Diego California, USA. 54 p.

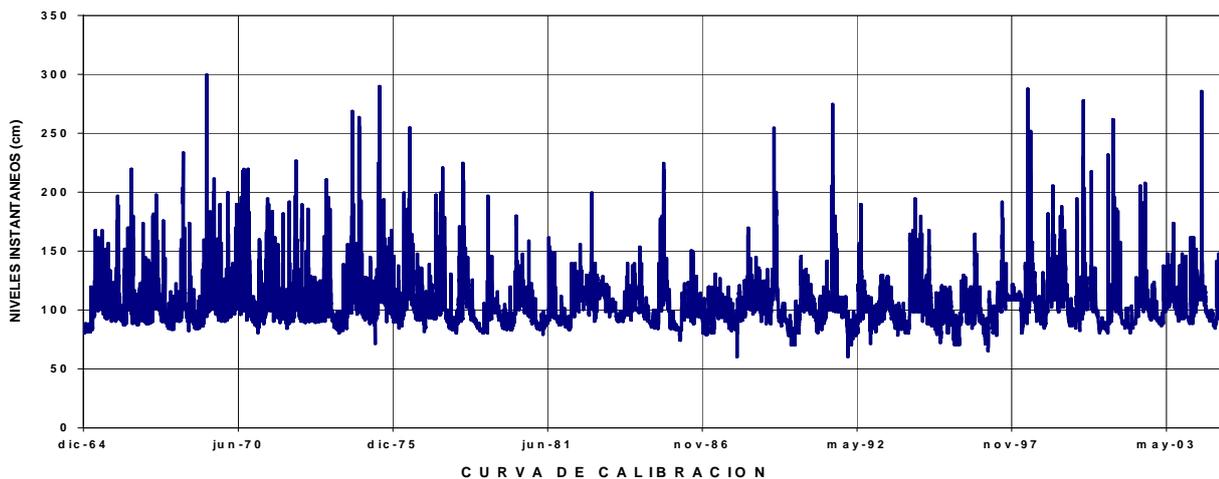
8.1 RIO YANAHURCO DJ VALLE



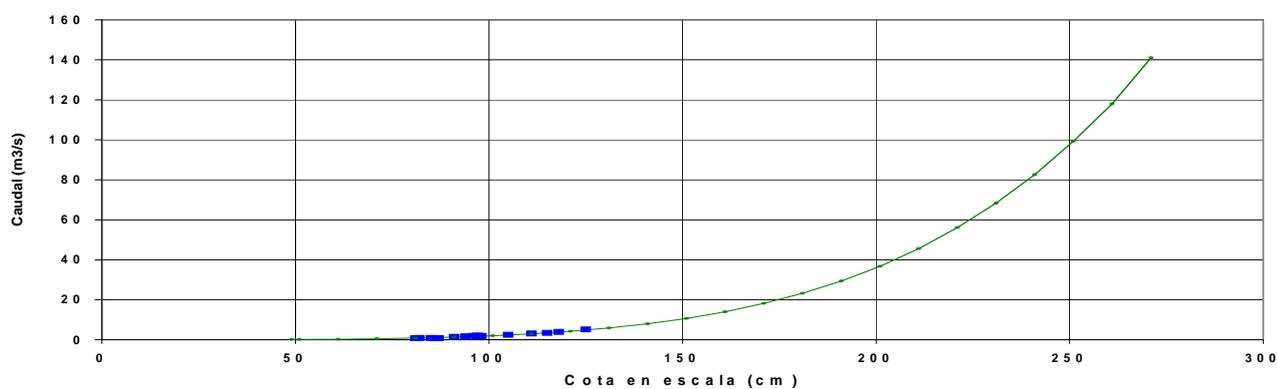
CODIGO INAMHI:	H-722
CODIGO HYBAM:	10080150
FECHA DE INICIACIÓN:	SEPTIEMBRE 1964
TIPO DE ESTACIÓN:	LIMNIGRAFICA
INSTITUCIÓN:	INAMHI
EQUIPO:	SECCIÓN DE AFORO ORPHIMEDES ESCALA LIMNIMÉTRICA
LATITUD:	S 00° 41' 30''
LONGITUD:	E 78° 16' 52''
ALTITUD:	3590 m.s.n.m.
AREA DE LA CUENCA:	87 Km ²
PERIMETRO DE LA CUENCA:	45 Km.
LONGITUD DEL RIO PRINCIPAL:	16.1 Km.
PENDIENTE DEL RIO:	3.8 %
INDICE DE COMPACIDAD:	1.34
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA:	49.9 %
TIEMPO DE CONCENTRACION:	1.3 horas
RELIEVE:	Escarpado



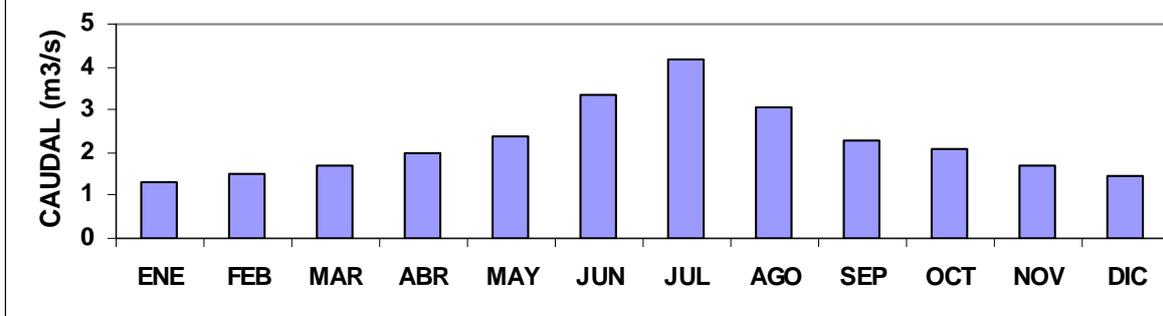
NIVELES INSTANTANEOS O DIARIOS



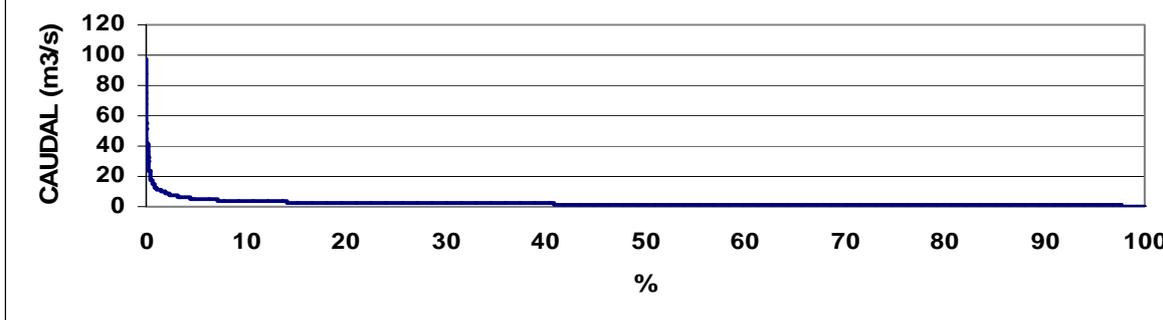
CURVA DE CALIBRACION



CAUDALES MEDIOS MENSUALES (1964-2005)



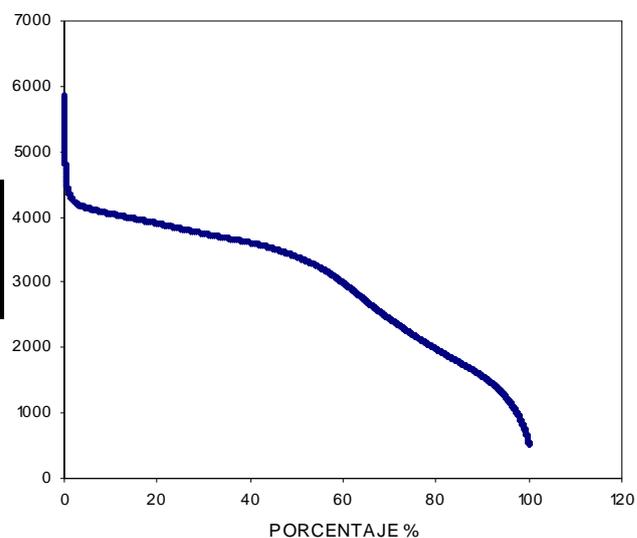
CURVA DE DURACION GENERAL ESTACION YANAHURCO D.J. VALLE



8.2 RIO JATUNYACU DJ ILOCULLIN

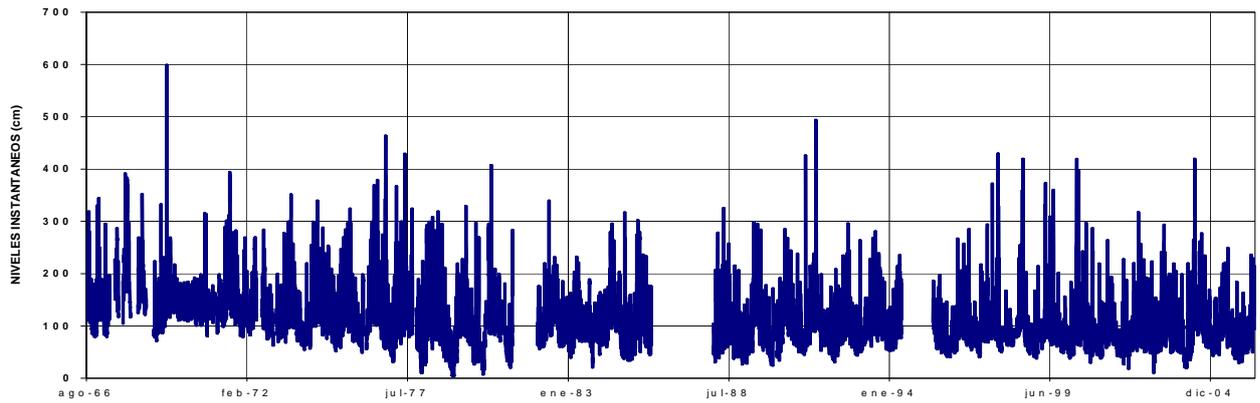


CURVA HIP SOMETRICA

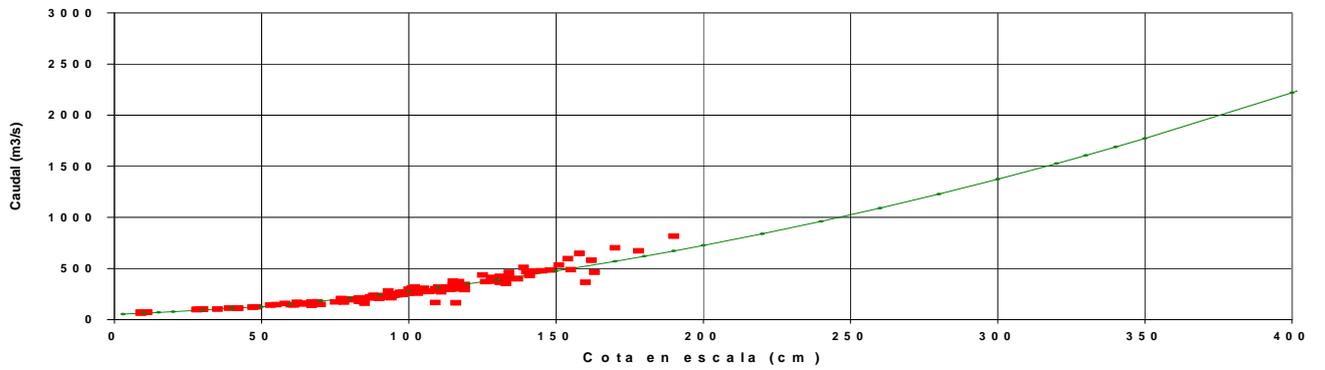


CODIGO INAMHI:	H-721
CODIGO HYBAM:	10080200
FECHA DE INICIACIÓN:	AGOSTO 1966
TIPO DE ESTACIÓN:	LIMNIGRAFICA
INSTITUCIÓN:	INAMHI-PROYECTO HYBAM
EQUIPO:	SECCIÓN DE AFORO ORPHIMEDES ESCALA LIMNIMÉTRICA
LATITUD:	S 01° 05' 00''
LONGITUD:	E 77° 54' 20''
ALTITUD:	570 m.s.n.m.
AREA DE LA CUENCA:	3128 Km ²
PERIMETRO DE LA CUENCA:	311 Km.
LONGITUD DEL RIO PRINCIPAL:	164 Km.
PENDIENTE DEL RIO:	3.9 %
INDICE DE COMPACIDAD:	1.56
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA:	22.6 %
TIEMPO DE CONCENTRACION:	10.1 horas
RELIEVE:	Fuertemente Accidentado

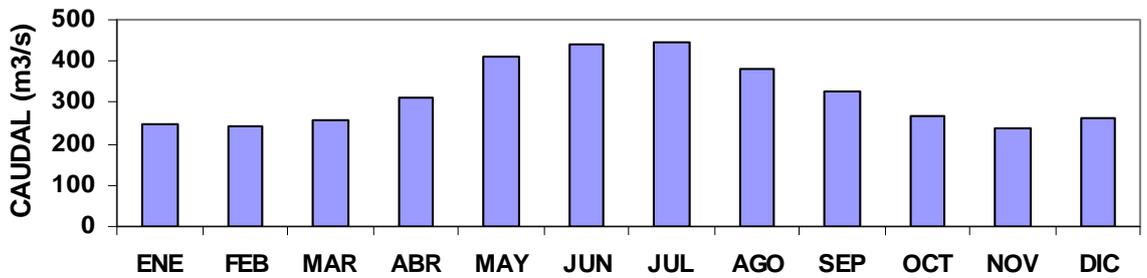
NIVELES INSTANTANEOS O DIARIOS



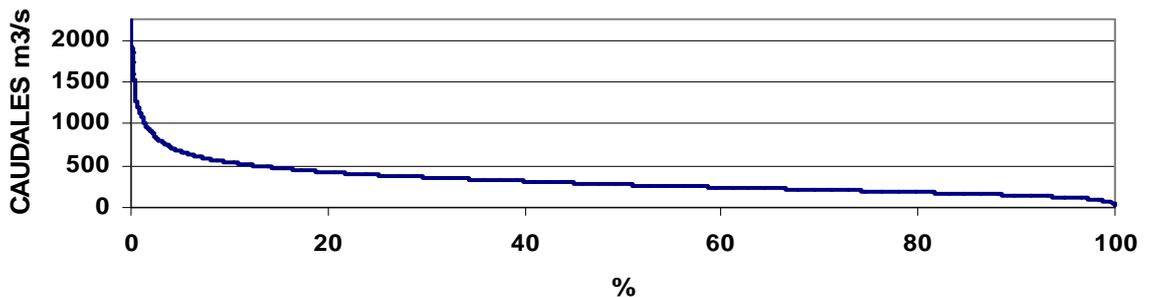
CURVA DE CALIBRACION



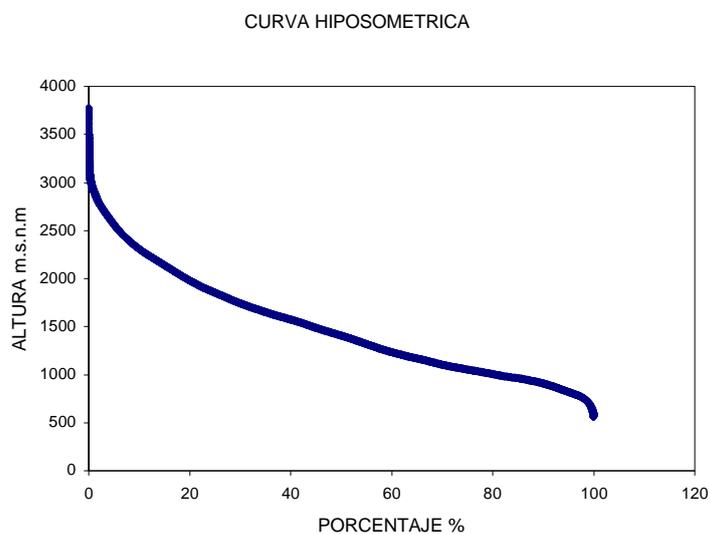
CAUDALES MEDIOS MENSUALES (1966-2006)



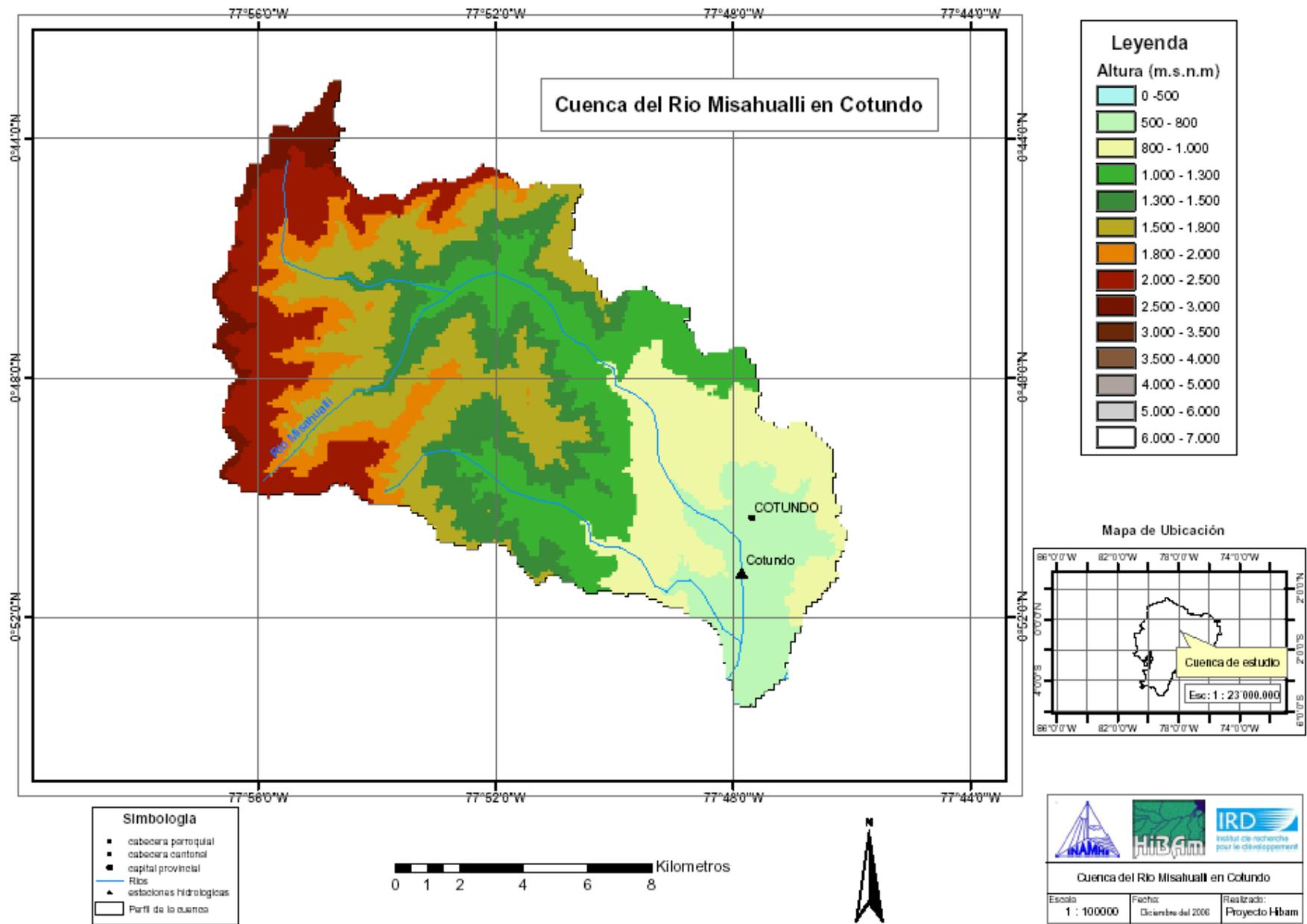
CURVA DURACION GENERAL ESTACION JATUNYACU D.J. ILOCULLIN



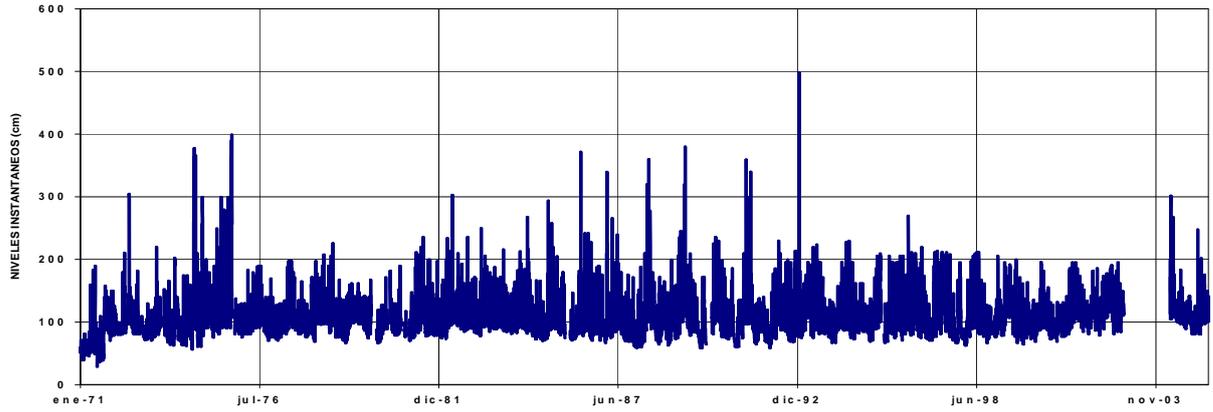
8.3 RIO MISAHUALLI EN COTUNDO



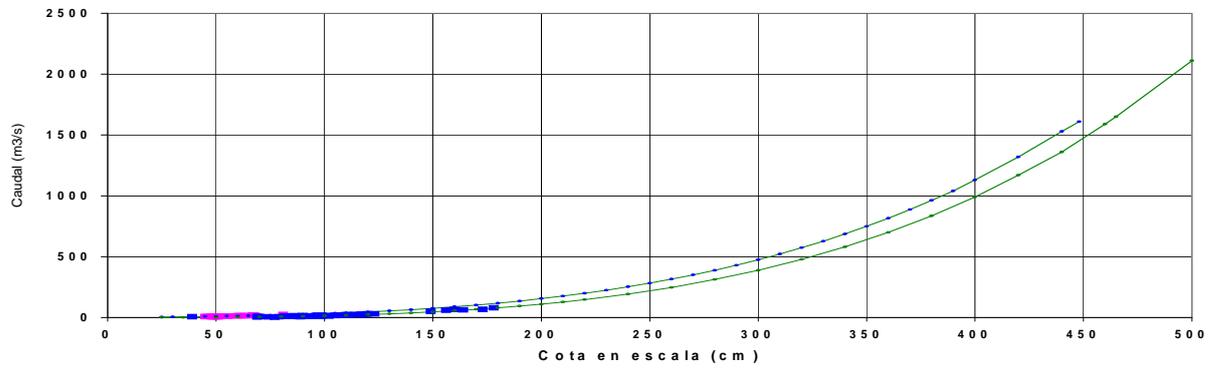
CODIGO INAMHI:	H-720
CODIGO HYBAM:	10080400
FECHA DE INICIACIÓN:	ENERO 1971
TIPO DE ESTACIÓN:	LIMNIGRAFICA
INSTITUCIÓN:	INAMHI
EQUIPO:	SECCIÓN DE AFORO ORPHIMEDES ESCALA LIMNIMÉTRICA
LATITUD:	S 00° 50' 30''
LONGITUD:	E 77° 47' 04''
ALTITUD:	800 m.s.n.m.
AREA DE LA CUENCA:	185 Km ²
PERIMETRO DE LA CUENCA:	73 Km.
LONGITUD DEL RIO PRINCIPAL:	32.2 Km.
PENDIENTE DEL RIO:	5.0 %
INDICE DE COMPACIDAD:	1.49
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA:	52.1 %
TIEMPO DE CONCENTRACION:	2.2 horas
RELIEVE:	Muy Escarpado



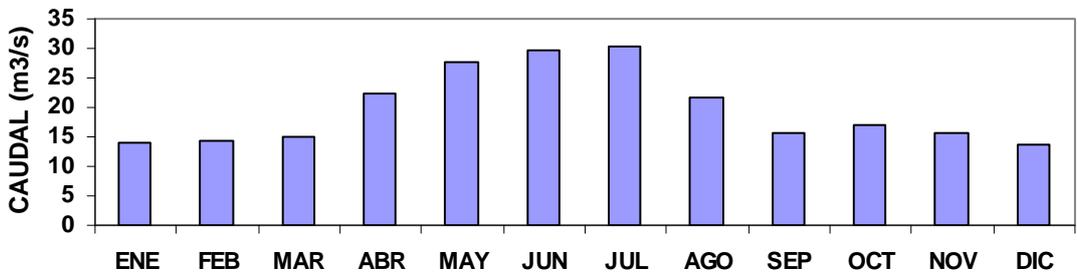
NIVELES INSTANTANEOS O DIARIOS



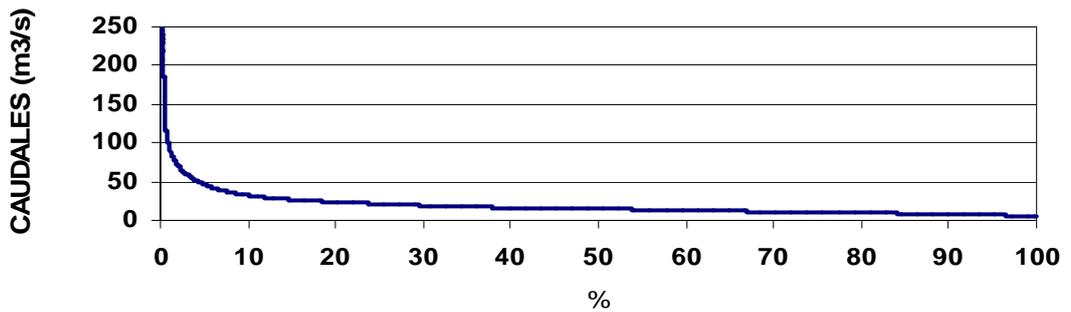
CURVAS DE DESCARGA



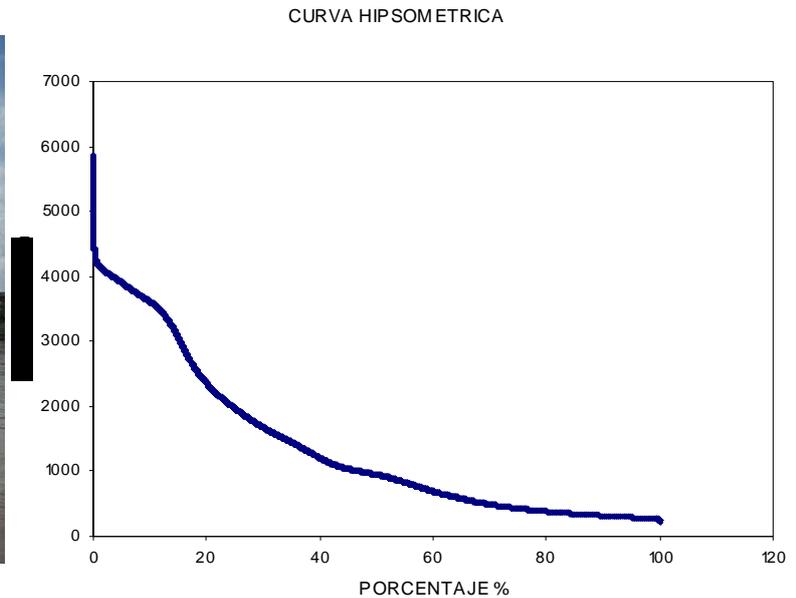
CAUDALES MEDIOS MENSUALES (1971-2005)



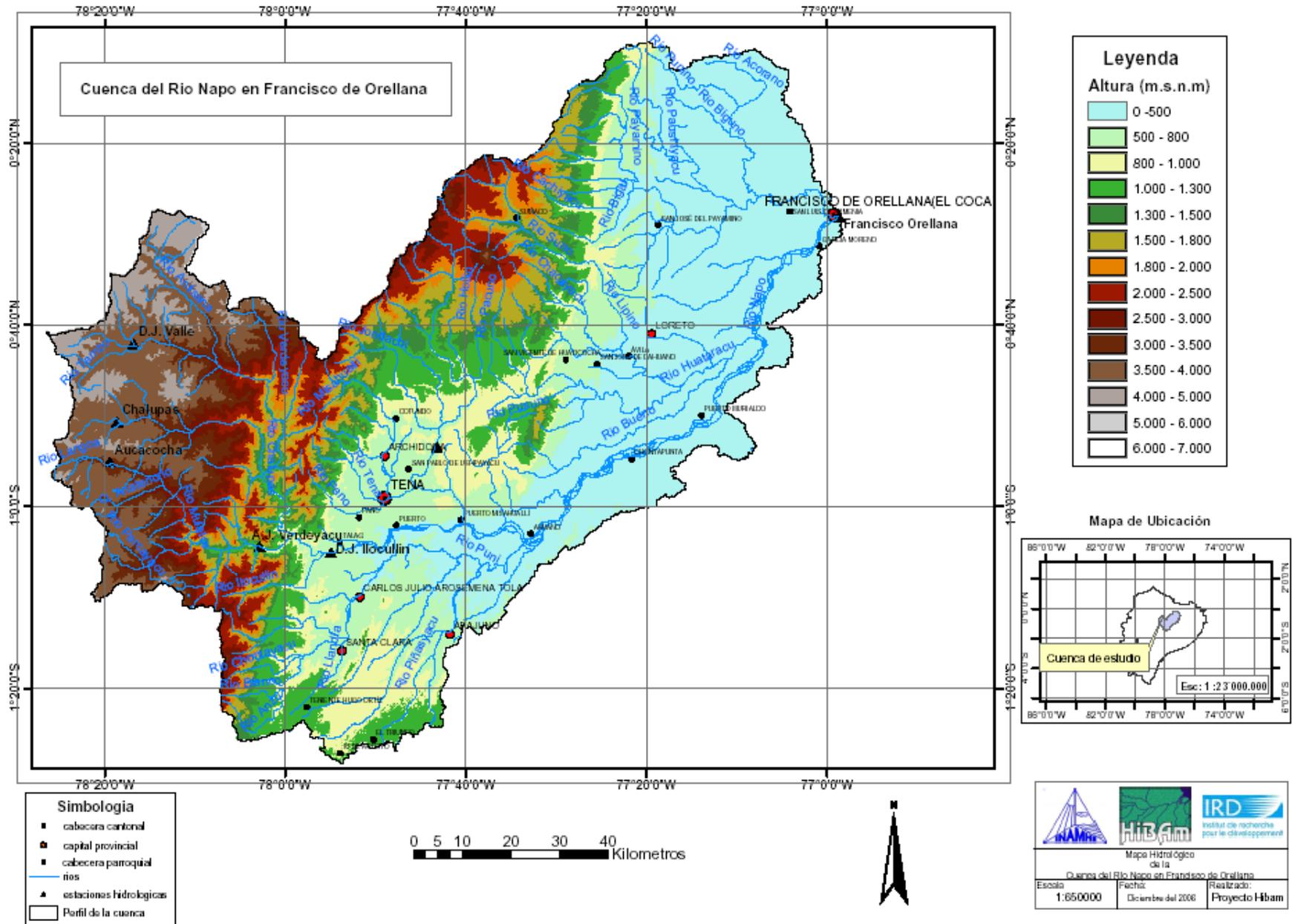
CURVA DURACION GENERAL ESTACION MISAHUALLI



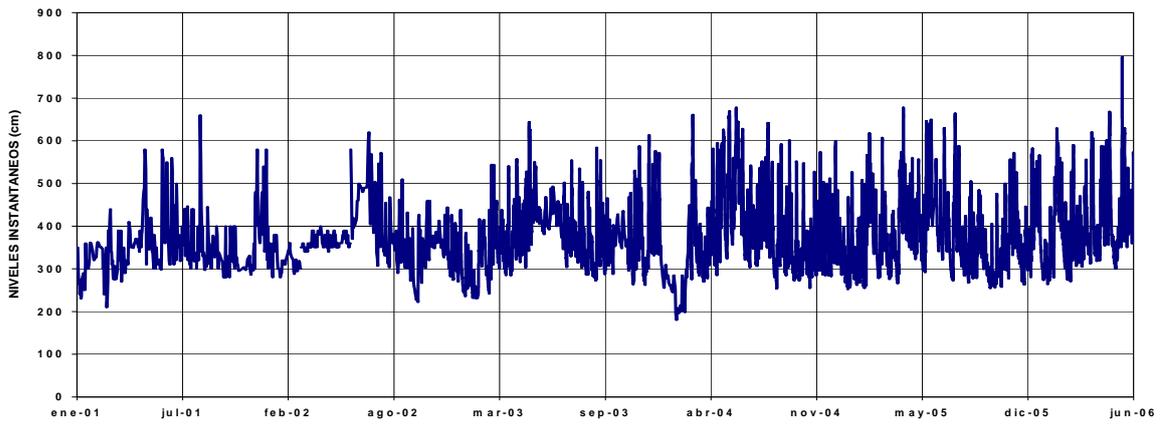
8.4. RIO NAPO EN FRANCISCO DE ORELLANA



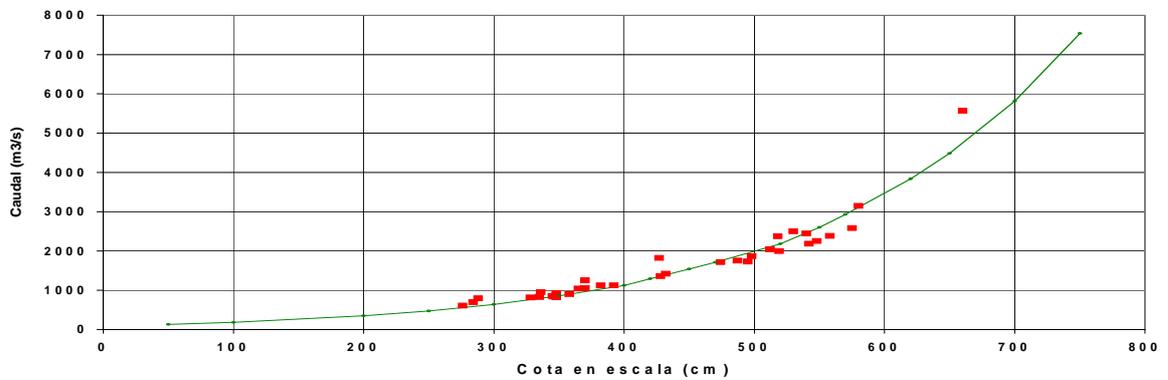
CODIGO INAMHI:	HB-24
CODIGO HYBAM:	10080900
FECHA DE INICIACIÓN:	DICIEMBRE 2002
TIPO DE ESTACIÓN:	LIMNIGRAFICA
INSTITUCIÓN:	INAMHI-PROYECTO HYBAM
EQUIPO:	SECCIÓN DE AFORO ORPHIMEDES
	ESCALA LIMNIMÉTRICA
LATITUD:	S 00° 28' 15''
LONGITUD:	E 76° 59' 25''
ALTITUD:	262 m.s.n.m.
AREA DE LA CUENCA:	12404 Km ²
PERIMETRO DE LA CUENCA:	689 Km.
LONGITUD DEL RIO PRINCIPAL:	271.1 Km.
PENDIENTE DEL RIO:	1.6 %
INDICE DE COMPACIDAD:	1.73
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA:	3.0 %
TIEMPO DE CONCENTRACION:	43.8 horas
RELIEVE:	Suave



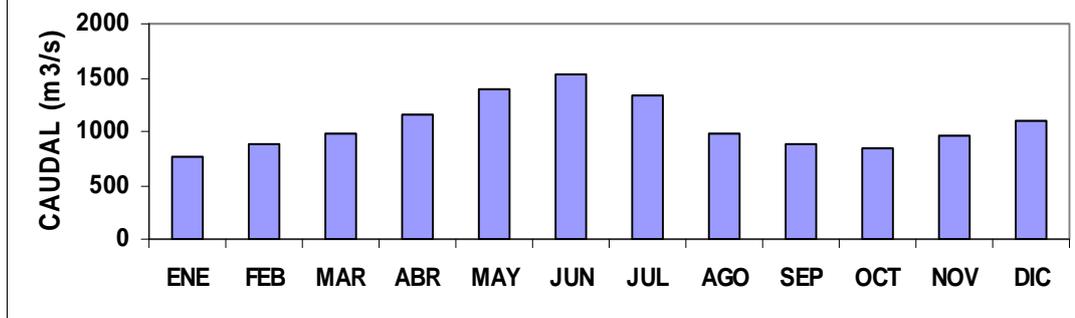
NIVELES INSTANTANEOS O DIARIOS



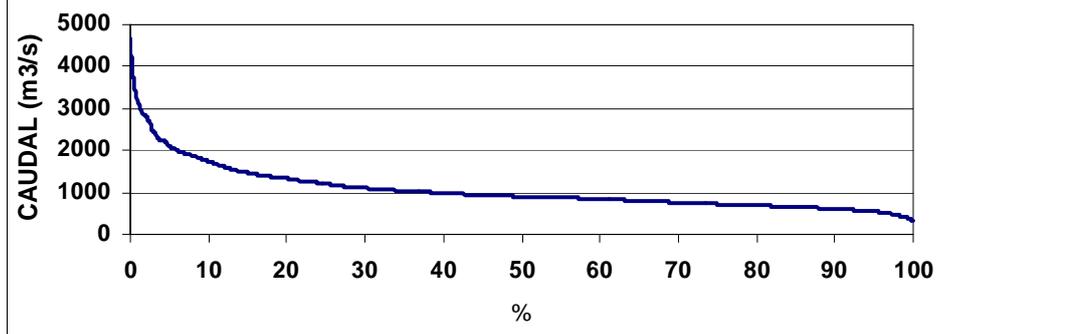
CURVA DE DESCARGA



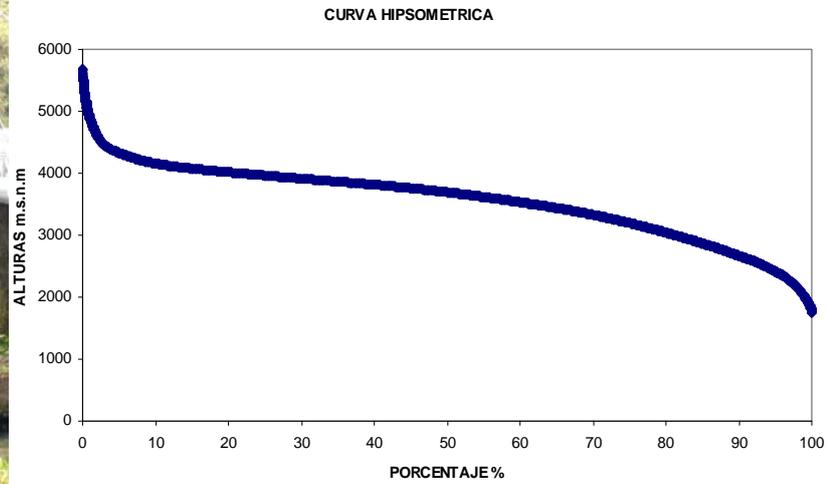
CAUDALES MEDIOS MENSUALES (2001-2006)



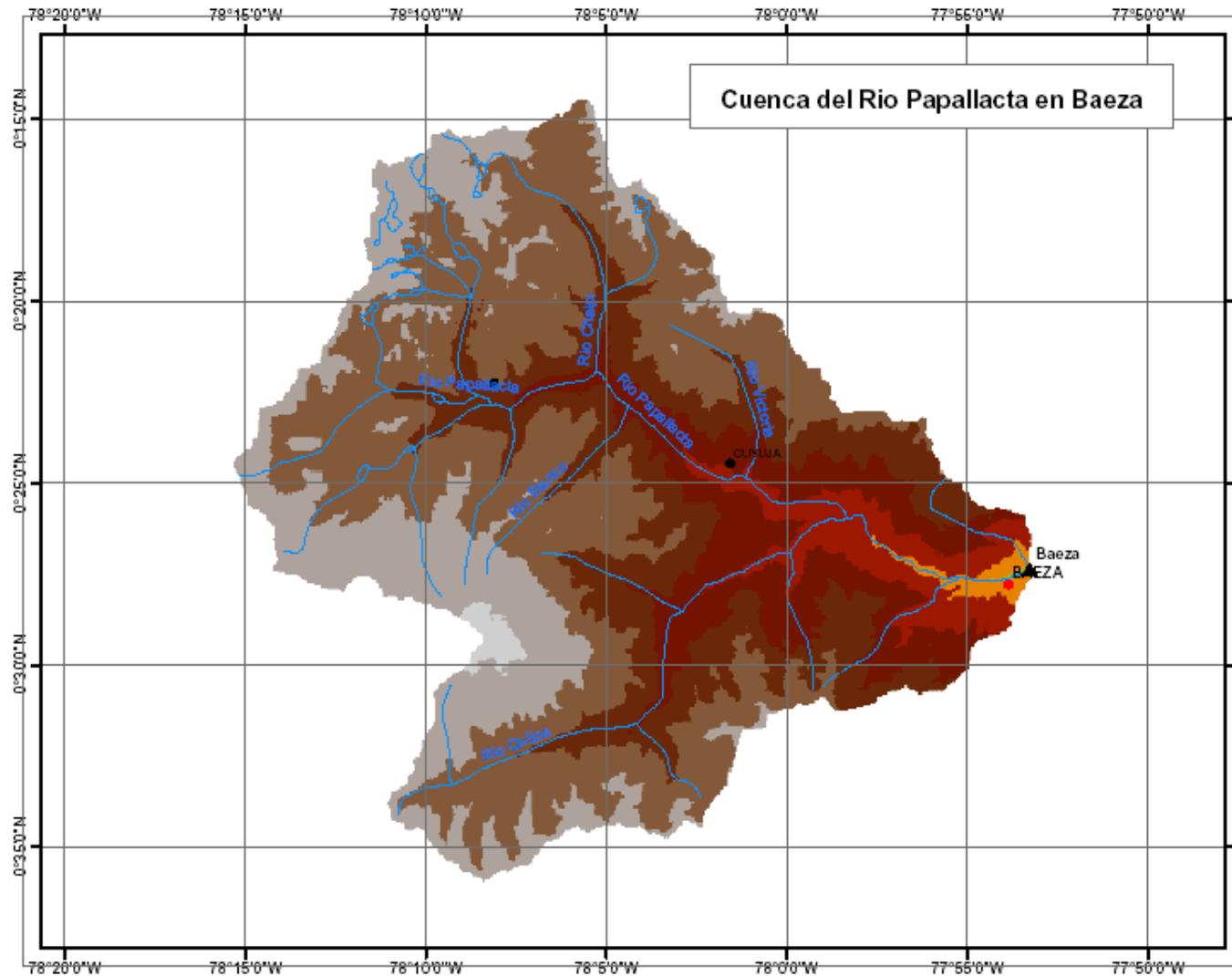
CURVA DE DURACION GENERAL
ESTACION FRANCISCO DE ORELLANA



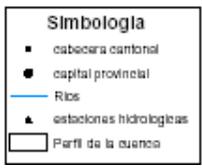
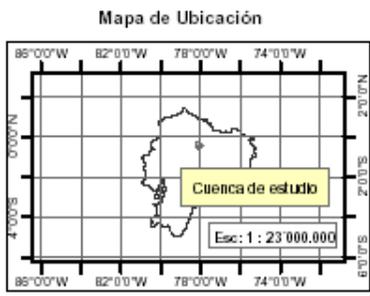
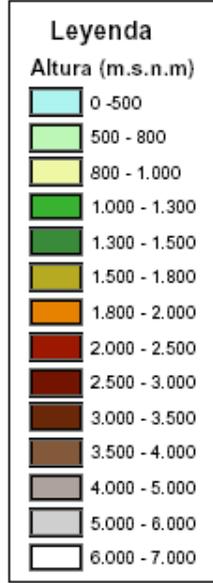
8.5 RIO QUIJOS EN BAEZA



CODIGO INAMHI:	HB-24
CODIGO HYBAM:	10080900
FECHA DE INICIACIÓN:	DICIEMBRE 2002
TIPO DE ESTACIÓN:	LIMNIGRAFICA
INSTITUCIÓN:	INAMHI-PROYECTO HYBAM
EQUIPO:	SECCIÓN DE AFORO ORPHIMEDES ESCALA LIMNIMÉTRICA
LATITUD:	S 00° 28' 15''
LONGITUD:	E 76° 59' 25''
ALTITUD:	262 m.s.n.m.
AREA DE LA CUENCA:	12404 Km ²
PERIMETRO DE LA CUENCA:	689 Km.
LONGITUD DEL RIO PRINCIPAL:	271.1 Km.
PENDIENTE DEL RIO:	1.6 %
INDICE DE COMPACIDAD:	1.73
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA:	3.0 %
TIEMPO DE CONCENTRACION:	43.8 horas
RELIEVE:	Suave

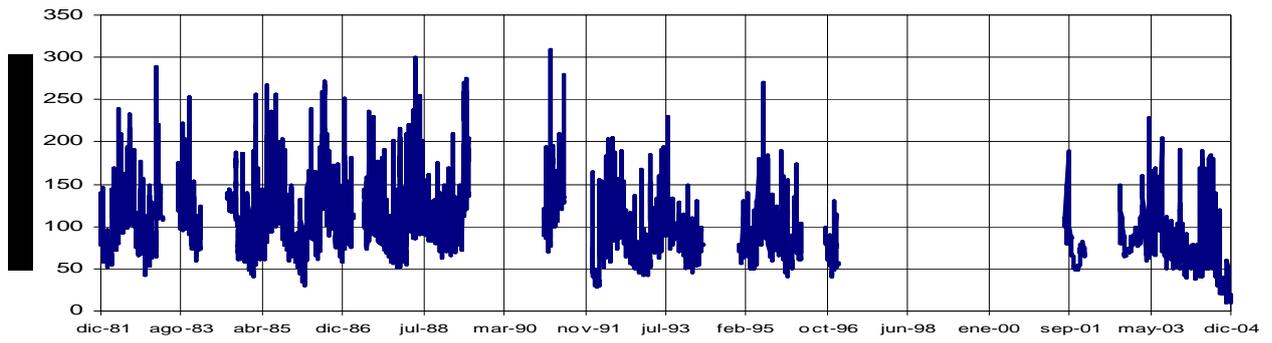


Cuenca del Rio Papallacta en Baeza

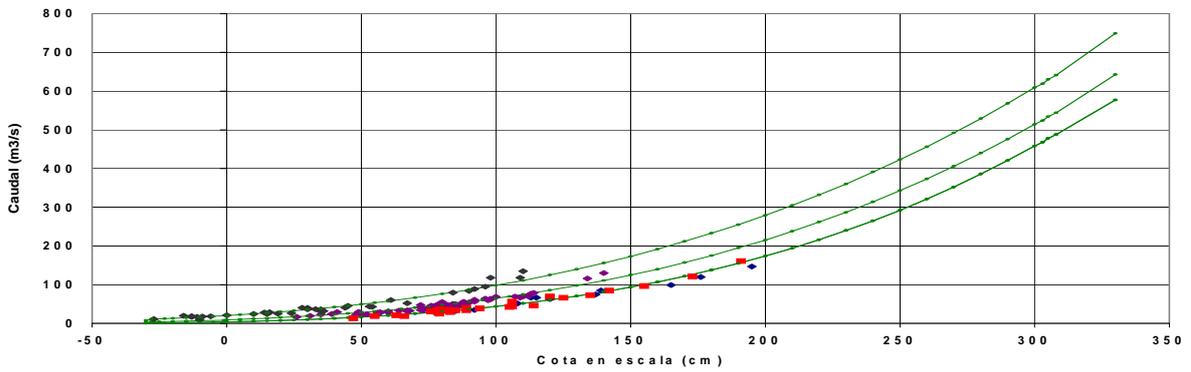


Mapa Hidrológico de la Cuenca del Rio Papallacta en Baeza		
Escala: 1:200000	Fecha: Diciembre del 2008	Realizado: Proyecto HiBam

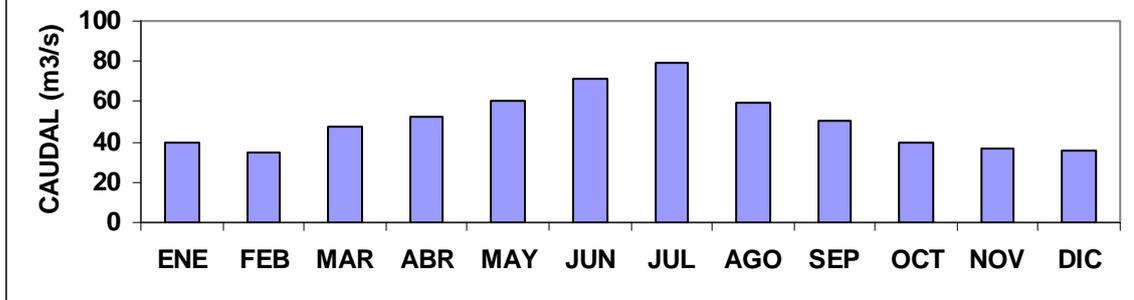
NIVELES INSTANTANEOS O DIARIOS



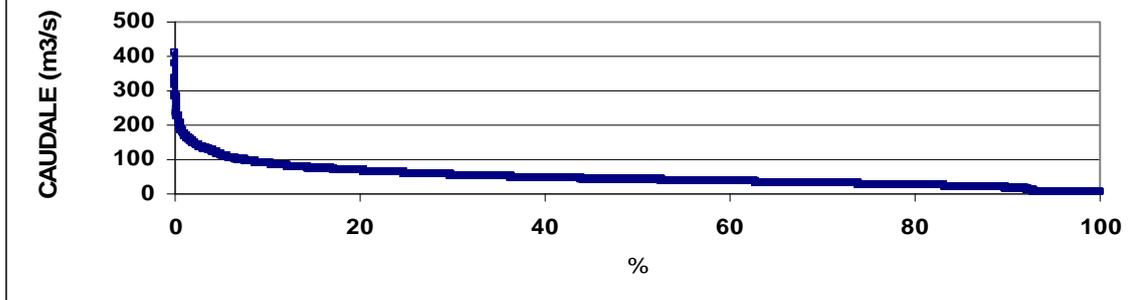
CURVAS DE DESCARGA



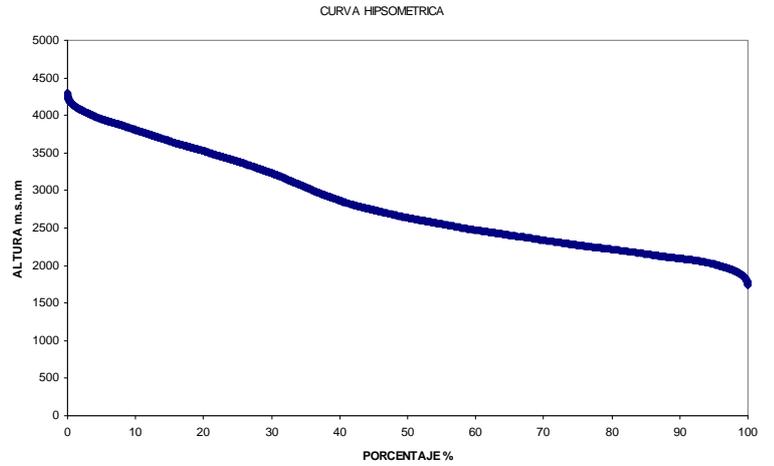
CAUDALES MEDIOS MENSUALES (1964-2004)



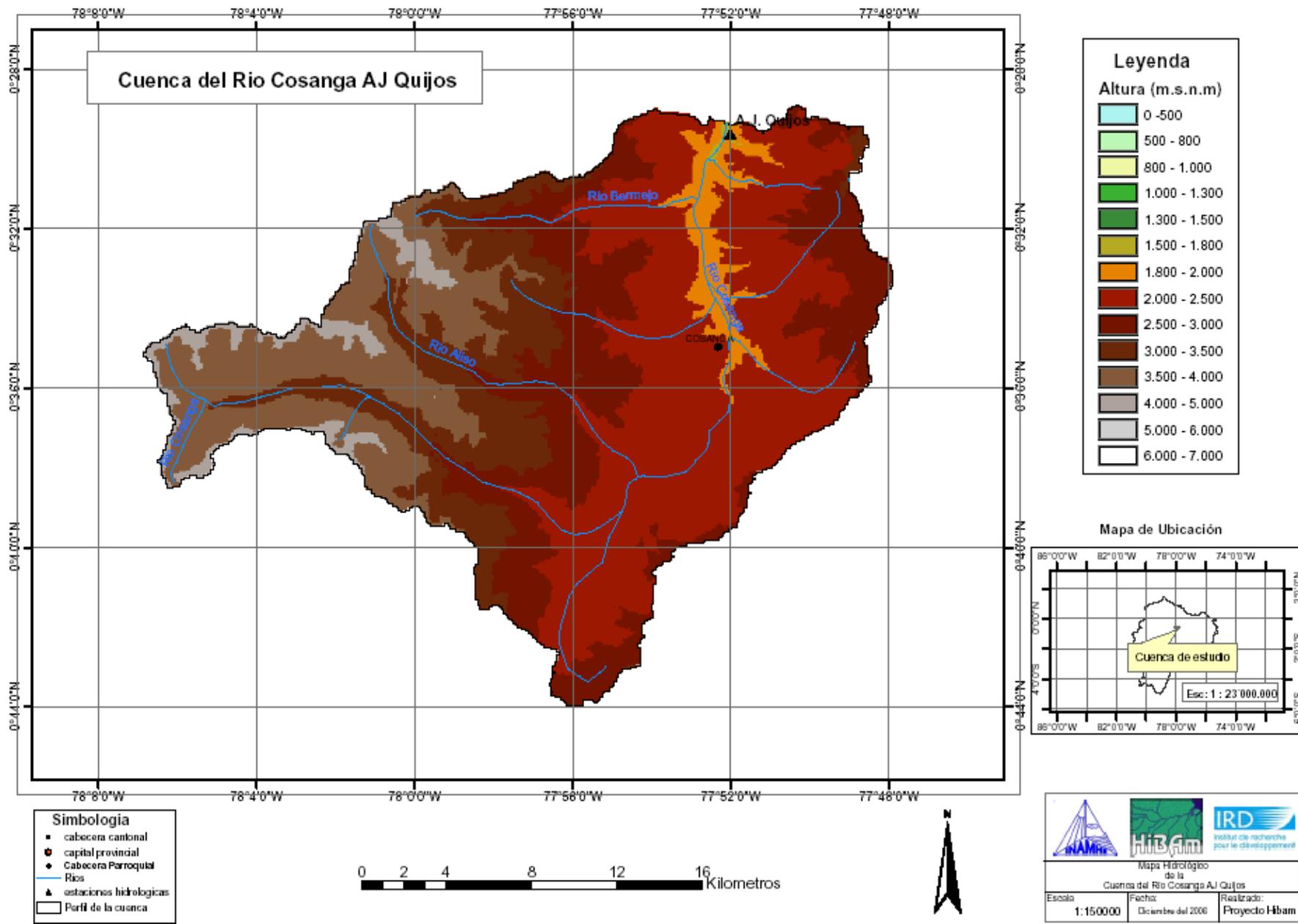
CURVA DE DURACION GENERAL ESTACION BAEZA



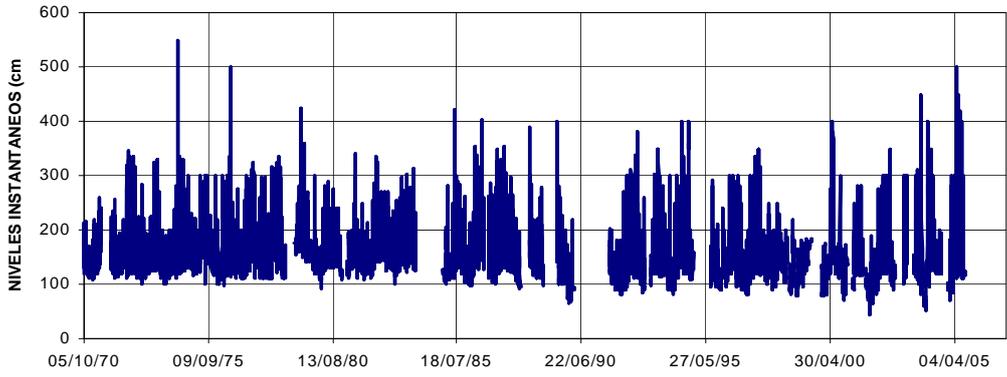
8.6. RIO COSANGA AJ QUIJOS



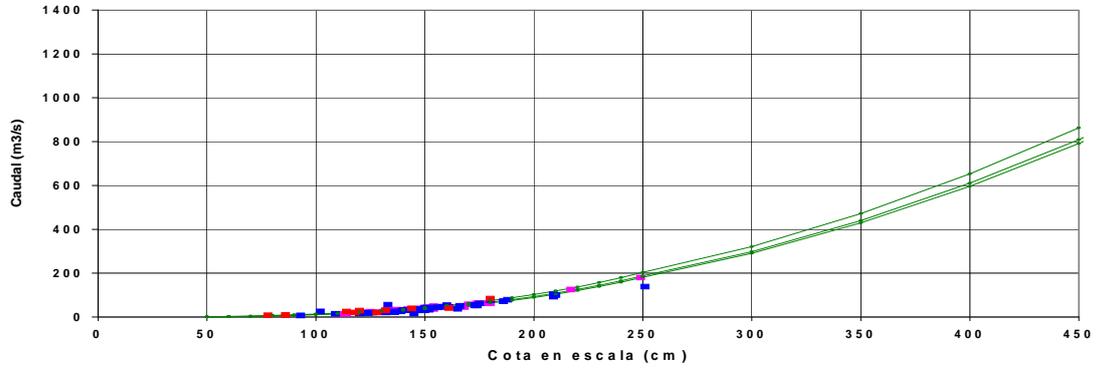
CODIGO INAMHI:	H-731
CODIGO HYBAM:	10081200
FECHA DE INICIACIÓN:	NOVIEMBRE 1970
TIPO DE ESTACIÓN:	LIMNIGRAFICA
INSTITUCIÓN:	INAMHI
EQUIPO:	SECCIÓN DE AFORO ORPHIMEDES ESCALA LIMNIMÉTRICA
LATITUD:	S 00° 29' 30''
LONGITUD:	E 77° 51' 50''
ALTITUD:	1740 m.s.n.m.
AREA DE LA CUENCA:	495 Km ²
PERIMETRO DE LA CUENCA:	116 Km.
LONGITUD DEL RIO PRINCIPAL:	53.1 Km.
PENDIENTE DEL RIO:	4.1 %
INDICE DE COMPACIDAD:	1.46
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA:	36.0 %
TIEMPO DE CONCENTRACION:	4.6 horas
RELIEVE:	Escarpado



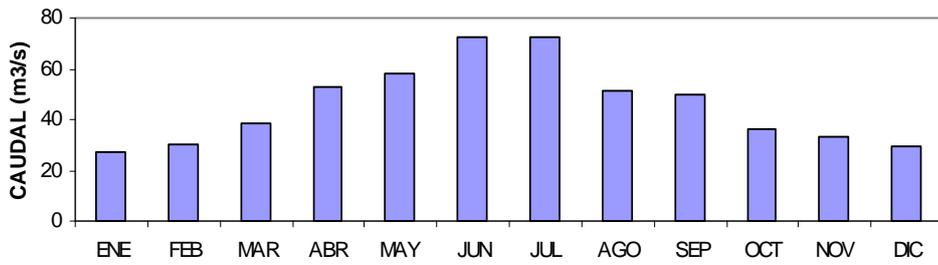
NIVELES INSTANTANEOS O DIARIOS



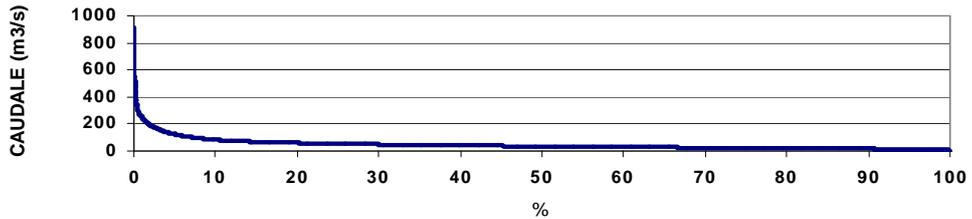
CURVAS DE DESCARGA



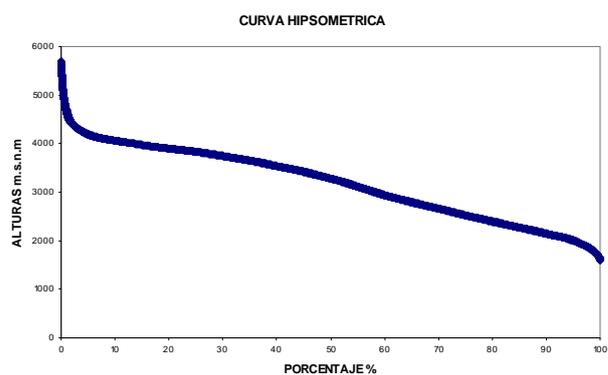
CAUDALES MEDIOS MENSUALES (1970-2005)



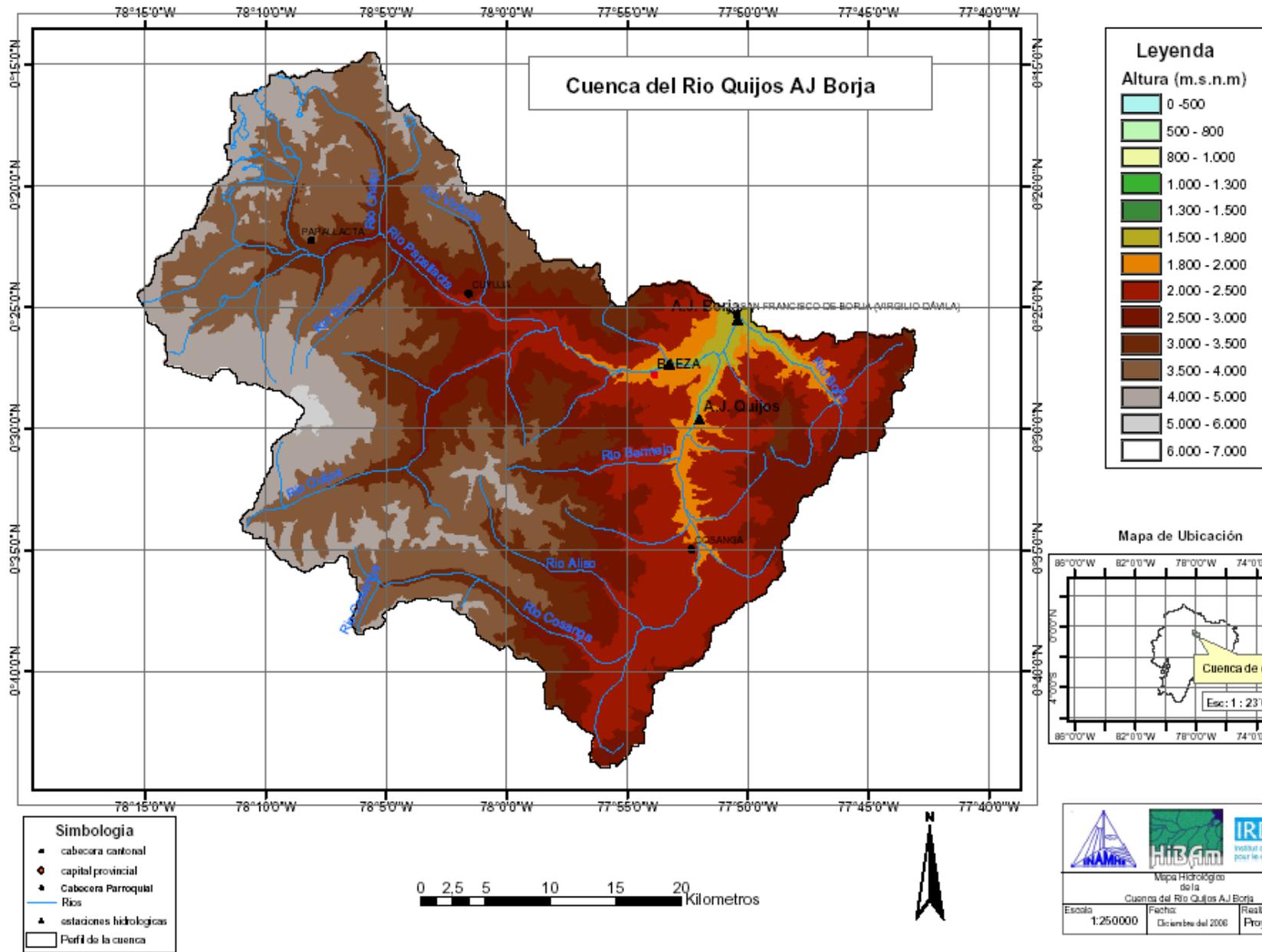
CURVA DE DURACION GENERAL ESTACION COSANGA D.J. QUIJOS



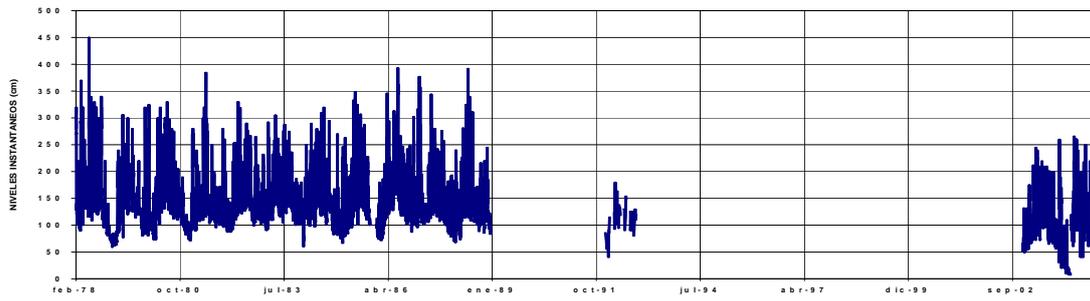
8.7. RIO QUIJOS AJ BORJA



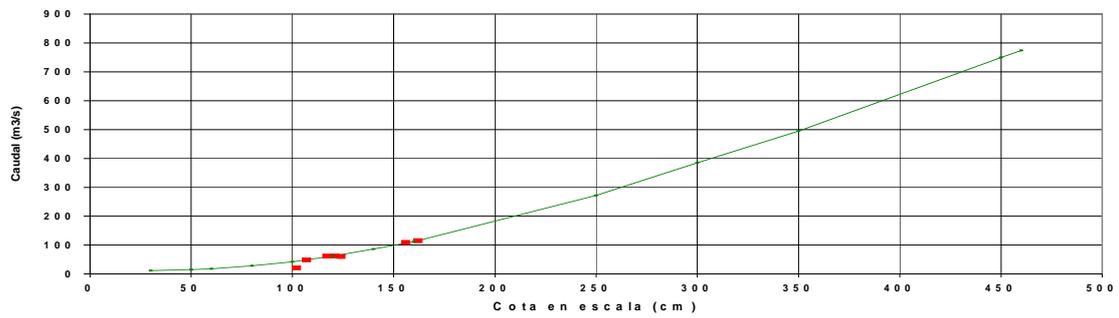
CODIGO INAMHI:	H-733
CODIGO HYBAM:	10081300
FECHA DE INICIACIÓN:	ABRIL 1978
TIPO DE ESTACIÓN:	LIMNIGRAFICA
INSTITUCIÓN:	INAMHI
EQUIPO:	SECCIÓN DE AFORO ORPHIMEDES ESCALA LIMNIMÉTRICA
LATITUD:	S 00° 25' 03''
LONGITUD:	E 77° 49' 00''
ALTITUD:	1635 m.s.n.m.
AREA DE LA CUENCA:	1534 Km ²
PERIMETRO DE LA CUENCA:	200 Km.
LONGITUD DEL RIO PRINCIPAL:	49.9 Km.
PENDIENTE DEL RIO:	4.3 %
INDICE DE COMPACIDAD:	1.43
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA:	30.2 %
TIEMPO DE CONCENTRACION:	5.5 horas
RELIEVE:	Escarpado



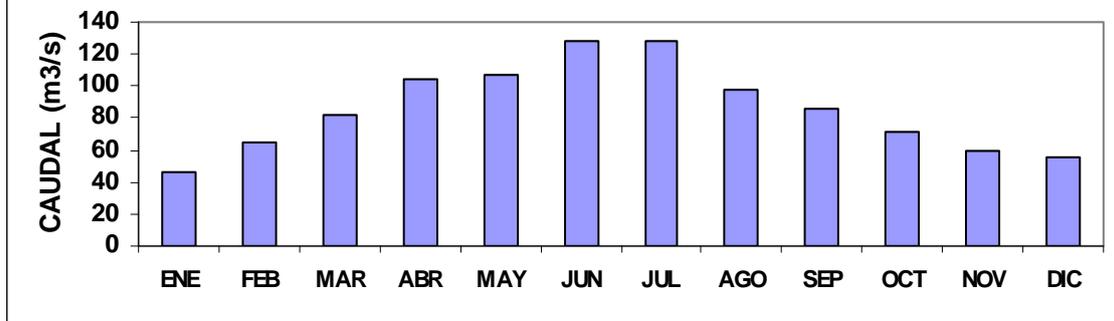
NIVELES INSTANTANEOS O DIARIOS



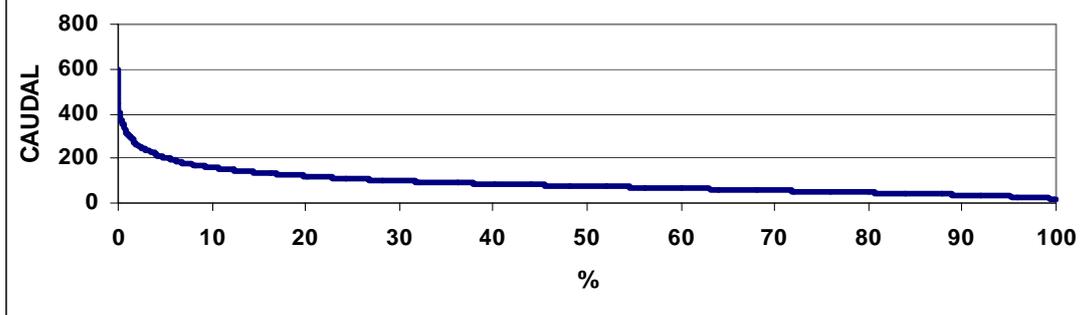
CURVA DE CALIBRACION



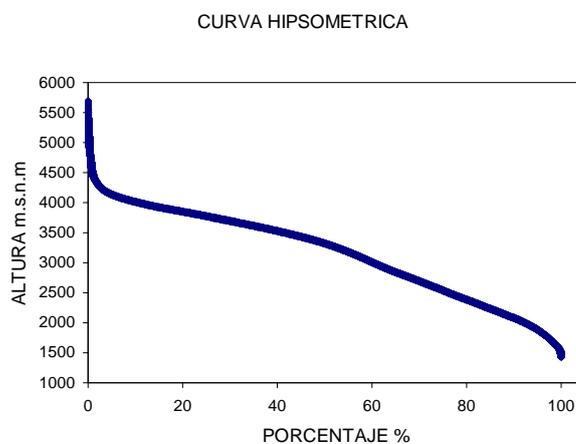
CAUDALES MEDIOS MENSUALES (1978-2004)



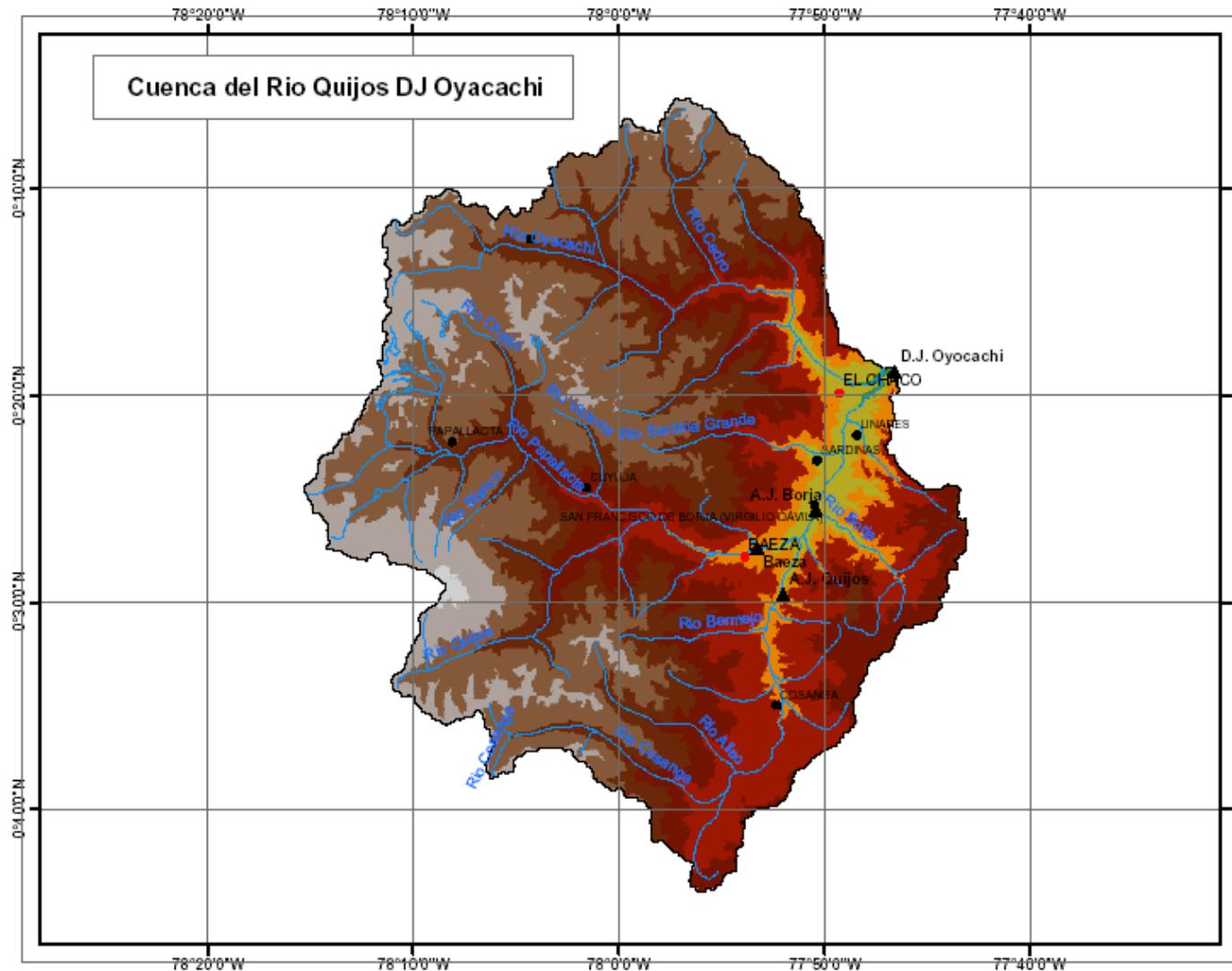
CURVA DE DURACION GENERAL
ESTACION QUIJOS A.J.BORJA



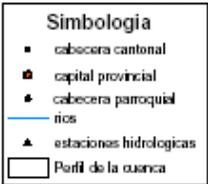
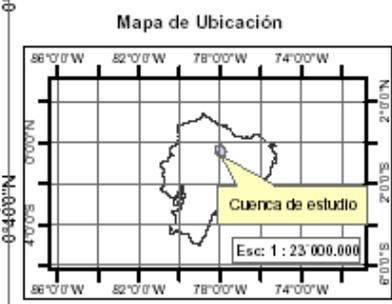
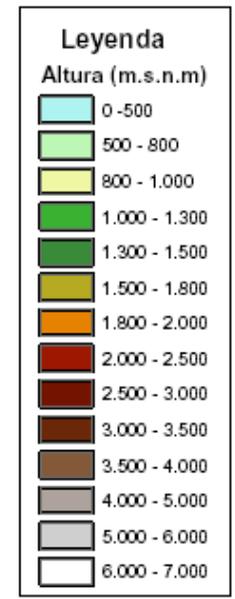
8.8. RIO QUIJOS DJ OYACACHI



CODIGO INAMHI:	H-719
CODIGO HYBAM:	10081400
FECHA DE INICIACIÓN:	MAYO 1965
TIPO DE ESTACIÓN:	LIMNIGRAFICA
INSTITUCIÓN:	INAMHI
EQUIPO:	SECCIÓN DE AFORO ORPHIMEDES ESCALA LIMNIMÉTRICA
LATITUD:	S 00° 18' 10''
LONGITUD:	E 77° 46' 30''
ALTITUD:	1490 m.s.n.m.
AREA DE LA CUENCA:	2461 Km ²
PERIMETRO DE LA CUENCA:	239 Km.
LONGITUD DEL RIO PRINCIPAL:	63.5 Km.
PENDIENTE DEL RIO:	3.6 %
INDICE DE COMPACIDAD:	1.35
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA:	22.2 %
TIEMPO DE CONCENTRACION:	7.4 horas
RELIEVE:	Fuertemente Accidentado



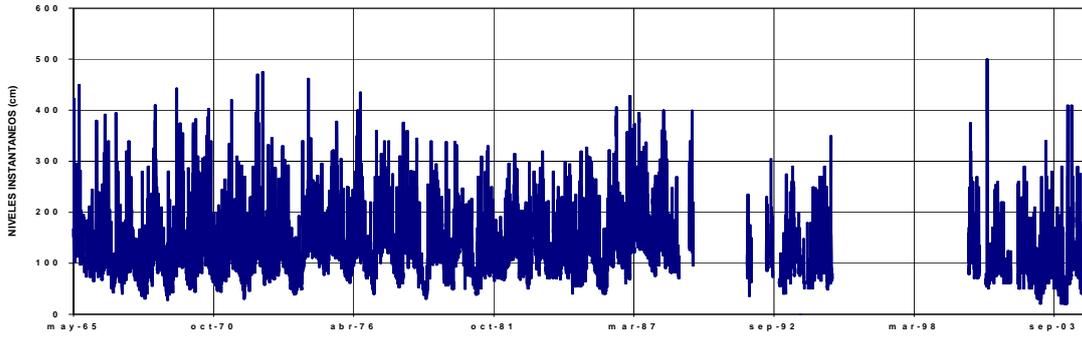
Cuenca del Río Quijos DJ Oyacachi



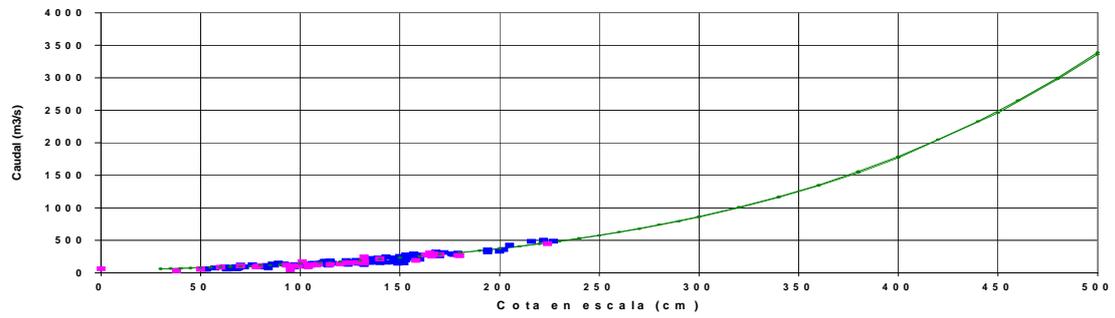
Cuenca del Río Quijos DJ Oyacachi

Escala 1:350000	Fecha: Diciembre del 2006	Realizado: Proyecto HIBAM
--------------------	------------------------------	------------------------------

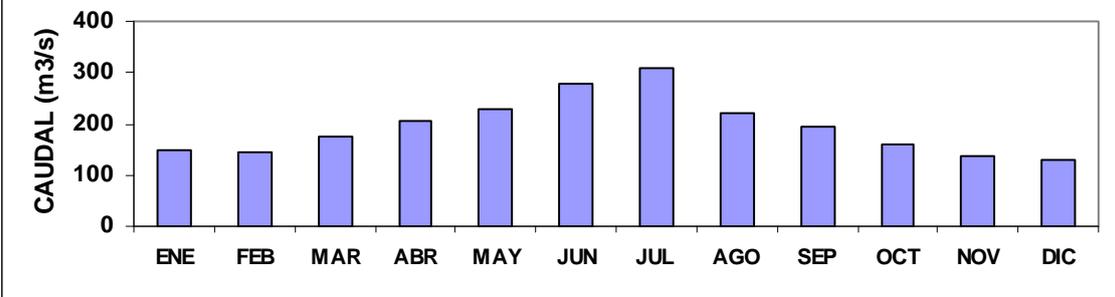
NIVELES INSTANTANEOS O DIARIOS



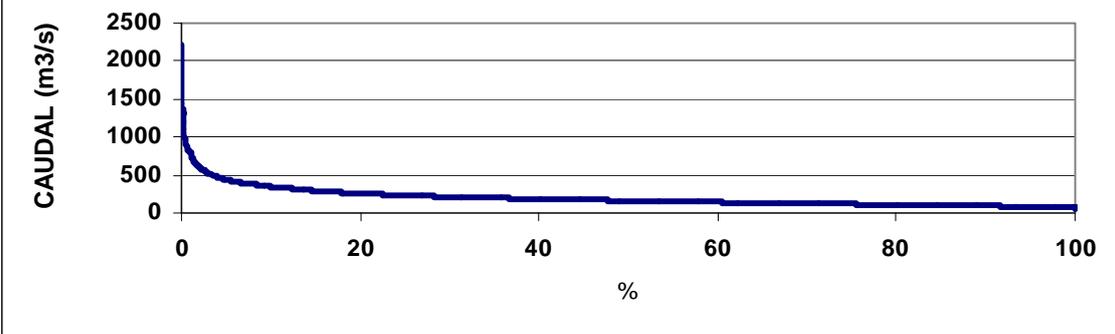
CURVAS DE DESCARGA



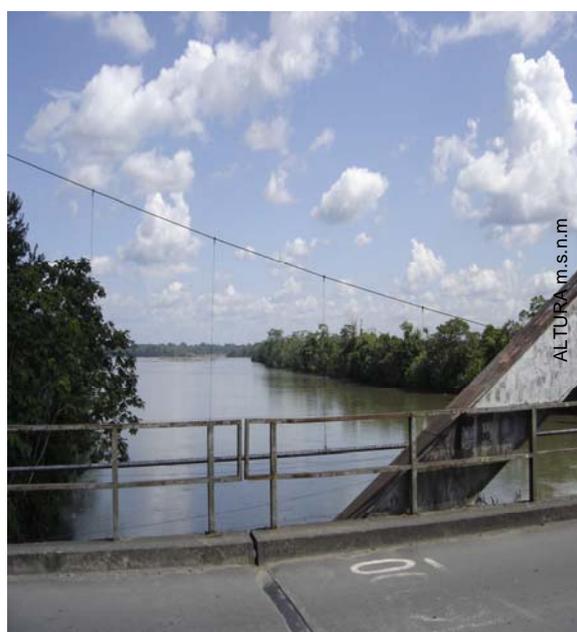
CAUDALES MEDIOS MENSUALES (1965-2004)



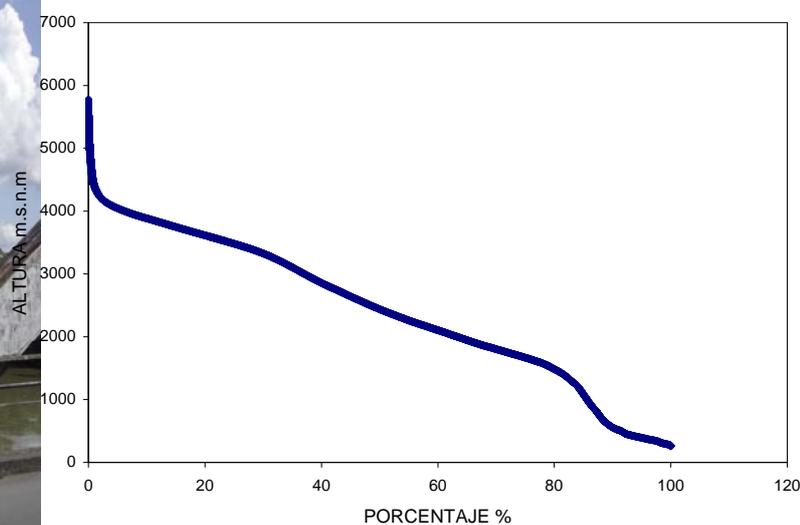
CURVA DE DURACION GENERAL
ESTACION QUIJOS D.J.OYACACHI



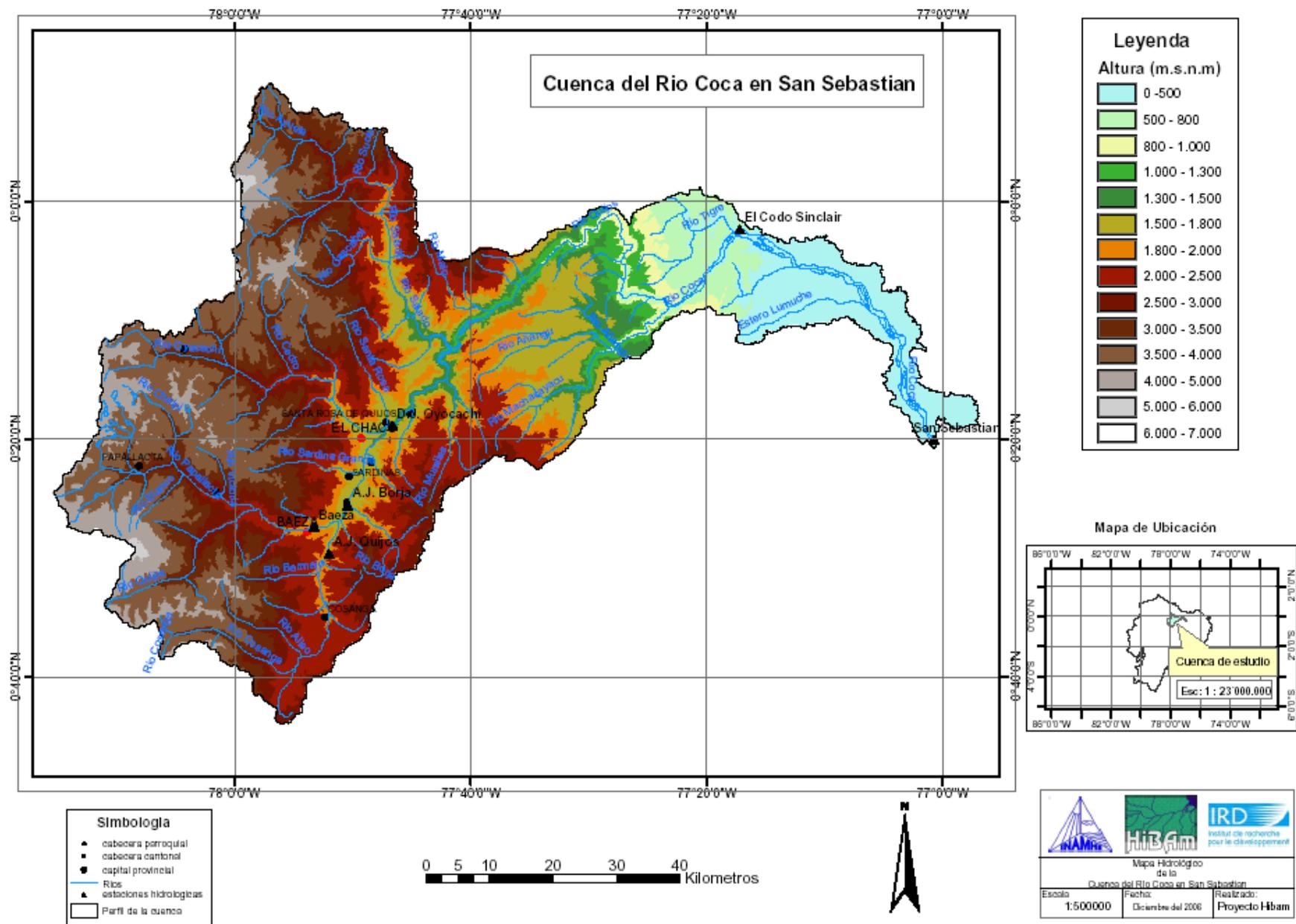
8.9.RIO COCA EN SAN SEBASTIAN



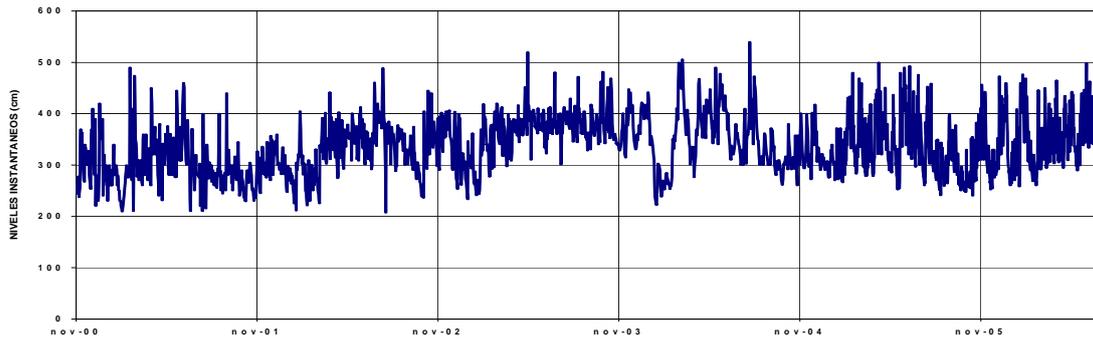
CURVA HIPSOMETRICA



CODIGO INAMHI:	HB-25
CODIGO HYBAM:	10081900
FECHA DE INICIACIÓN:	NOVIEMBRE 2000
TIPO DE ESTACIÓN:	LIMNIGRAFICA
INSTITUCIÓN:	INAMHI-PROYECTO HYBAM
EQUIPO:	SECCIÓN DE AFORO ORPHIMEDES ESCALA LIMNIMÉTRICA
LATITUD:	S 00° 20' 34''
LONGITUD:	E 77° 00' 24''
ALTITUD:	290 m.s.n.m.
AREA DE LA CUENCA:	5329 Km ²
PERIMETRO DE LA CUENCA:	523 Km.
LONGITUD DEL RIO PRINCIPAL:	238.2 Km.
PENDIENTE DEL RIO:	1.5 %
INDICE DE COMPACIDAD:	2.01
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA:	%
TIEMPO DE CONCENTRACION:	horas
RELIEVE:	Fuertemente Accidentado



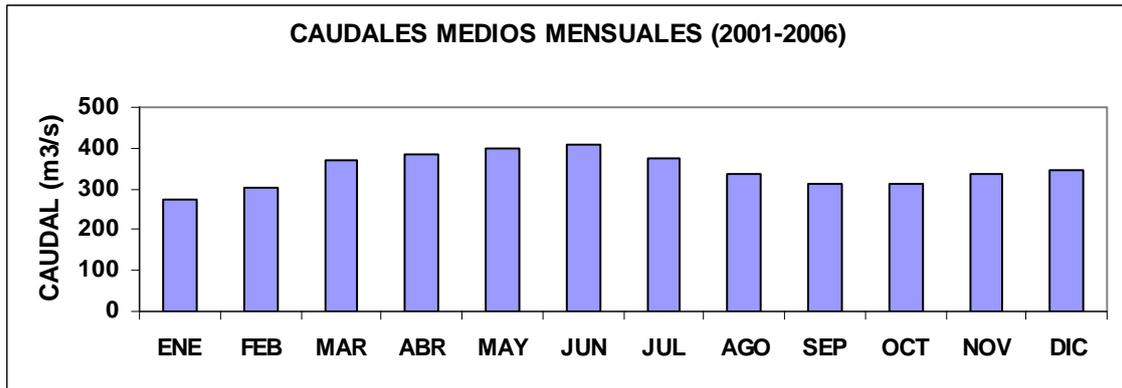
NIVELES INSTANTANEOS O DIARIOS



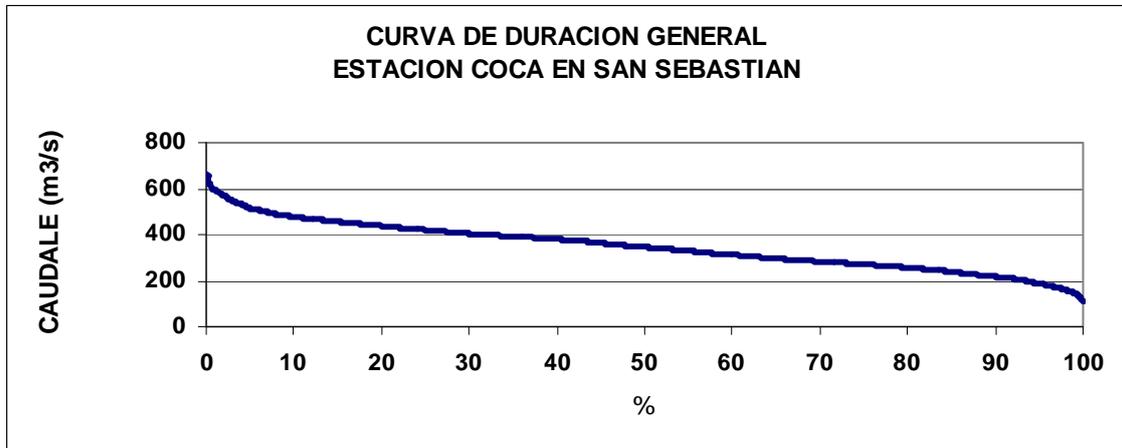
CURVA DE CALIBRACION



CAUDALES MEDIOS MENSUALES (2001-2006)



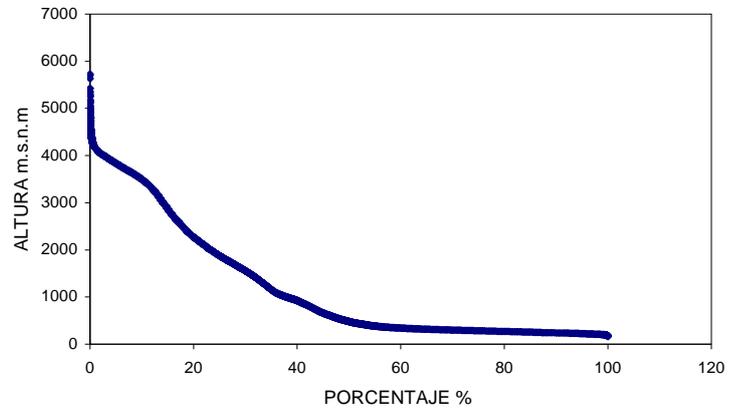
CURVA DE DURACION GENERAL ESTACION COCA EN SAN SEBASTIAN



8.10. RIO NAPO EN NUEVO ROCAFUERTE



CURVA HIPSOMETRICA



CODIGO INAMHI:	HB-26
CODIGO HYBAM:	10082800
FECHA DE INICIACIÓN:	MARZO 2001
TIPO DE ESTACIÓN:	LIMNIGRAFICA
INSTITUCIÓN:	INAMHI-PROYECTO HYBAM
EQUIPO:	SECCIÓN DE AFORO ORPHIMEDES ESCALA LIMNIMÉTRICA
LATITUD:	S 00° 55' 00''
LONGITUD:	E 75° 24' 00''
ALTITUD:	189 m.s.n.m.
AREA DE LA CUENCA:	27387 Km ²
PERIMETRO DE LA CUENCA:	979.6 Km
LONGITUD DEL RIO PRINCIPAL:	488 Km.
PENDIENTE DEL RIO:	0.9 %
INDICE DE COMPACIDAD:	1.66
PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA:	2.4 %
TIEMPO DE CONCENTRACION:	56 horas
RELIEVE:	Suave

