



INFORME FINAL

Estudio de la Navegabilidad del Río Huallaga
En el Tramo Comprendido entre Yurimaguas
y la Confluencia con el Río Marañón



CONSORCIO HIDROVIA HUALLAGA

VOLUMEN III: ESTUDIO DE HIDROLOGIA E HIDRAULICA FLUVIAL



INSTITUTO DE CONSULTORIA S.A.

PyD

Sociedad Anónima



Lima, Julio del 2005

INFORME FINAL

ÍNDICE GENERAL

VOLUMEN I : RESUMEN EJECUTIVO

VOLUMEN II : INVESTIGACIONES Y MEDICIONES DE CAMPO

VOLUMEN III : ESTUDIO DE HIDROLOGIA E HIDRAULICA FLUVIAL

VOLUMEN IV : ESTUDIO SOCIO ECONOMICO

VOLUMEN V : ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

VOLUMEN VI : PROPUESTAS Y PLAN DE INVERSIONES

VOLUMEN VII : PERFIL DEL PROYECTO

VOLUMEN VIII : ANEXOS

VOLUMEN IX : PLANOS

VOLUMEN III

ESTUDIO DE HIDRÁULICA FLUVIAL E HIDROLOGIA

| | |
|---|------------|
| 1. GENERALIDADES | 004 |
| 1.1.- Descripción General del Río Huallaga | 004 |
| 1.2.- Afluentes del Río Huallaga | 004 |
| 1.3.- Climatología | 008 |
| 2. HIDROLOGIA E HIDRAULICA | 013 |
| 2.1.- Descripción de la Cuenca del río Huallaga | 013 |
| 2.2.- Niveles Históricos del río | 013 |
| 2.3.- Calculo de las Persistencias de los Niveles Diarios | 018 |
| 2.4.- Características Hidráulicas del Río Huallaga | 021 |
| 3. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS | 050 |
| 3.1. Introducción | 050 |
| 3.2. La Capacidad Erosiva del Río | 050 |
| 3.3. Transporte de Sedimentos en Suspensión | 050 |
| 3.4. Transporte de Sedimentos de Fondo. | 060 |
| 3.5. Transporte de Sedimentos Totales. | 067 |
| 3.6. Conclusiones. | 067 |
| 4. GEOMORFOLOGÍA FLUVIAL | 068 |
| 4.1. Definiciones | 068 |
| 4.2. Redes Fluviales | 070 |
| 4.3. Cursos Fluviales | 071 |
| 4.4. Migración de cursos Fluviales | 073 |
| 4.5. Comportamiento Morfológico del Río en el Tramo del Estudio | 074 |
| 4.6. Malos Pasos del Río Huallaga en la Zona de Proyecto | 078 |
| 4.7. Estabilidad del cauce del río | 084 |
| 5. LAS PALIZADAS. | 089 |
| 5.1. Causas de la Presencia de las Palizadas: | 089 |
| 5.2. La Palizada como Elemento Inestabilizador | 090 |
| 5.3. Medidas Preventivas contra las Palizadas | 091 |
| 5.4. Capacidad de Transporte de Palizadas | 091 |
| 5.5. Antecedentes de los efectos de la Palizada | 092 |
| 6. NAVEGABILIDAD DEL RIO HUALLAGA EN LA ZONA DE ESTUDIO ... | 093 |
| 6.1. Introducción | 093 |
| 6.2. Condiciones Generales de Navegabilidad | 093 |
| 6.3. Tipo de naves y movimiento de carga | 094 |
| 6.4. Profundidades Disponibles y Calados para la Navegación | 097 |
| 6.5. Principales restricciones para la Navegación Segura | 098 |
| 6.6. Canal navegable propuesto | 100 |
| 6.7. Descripción de la Ruta de Navegación | 101 |
| 6.8. Principales Puertos Fluviales en la Ruta de Navegación | 105 |

| | |
|---|------------|
| 7. MODELO MATEMÁTICO BIDIMENSIONAL HIDRODINAMICO Y DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS | 108 |
| 7.1. Surface Water Modeling System (SMS) | 108 |
| 7.2. El Módulo RMA | 108 |
| 7.3. El Módulo SED2D | 110 |
| 7.4. Requerimientos de Datos o Parámetros de Entrada | 117 |
| 7.5. Resultados Obtenidos | 127 |
| 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 135 |

VOLUMEN III

ESTUDIO DE HIDRÁULICA FLUVIAL E HIDROLOGIA

1. GENERALIDADES

1.1.- Descripción General del Río Huallaga.

El río Huallaga es el principal afluente del río Marañón por su margen derecha, tiene sus nacientes en el departamento de Pasco, al sur de la Cordillera de Raura, en la laguna de Huascacocha a 4,710 msnm, con una longitud aproximada de 1,389 kilómetros (750 millas náuticas).

Sus aguas desembocan en el río Marañón, atraviesan los departamentos de Pasco, Huánuco, San Martín y Loreto, tomando una dirección general hacia el Norte desde sus nacientes hasta el poblado de Juanjuí, a partir de este punto hasta el poblado Navarro toma una dirección Nor Este, luego hacia el Nor Oeste hasta la ciudad de Yurimaguas y a partir de este lugar toma una dirección Nor Este hasta su desembocadura en el río Marañón.

En la zona que corresponde a los departamentos de Huánuco y San Martín es navegable por deslizadores y balsas.

Sus aguas son barrosas, en su desembocadura el río Huallaga presenta 2 brazos debido a la presencia de la isla Mito, siendo el brazo derecho el canal navegable con un ancho aproximado de 300 metros.

La velocidad de la corriente varía de 2.5 a 4 nudos en el canal. El ancho del río es variable (400 - 900m.) siendo mayor en las épocas de avenida.

El principal centro de transporte fluvial se encuentra en Yurimaguas y cuenta con instalaciones portuarias y es administrado por la Empresa Nacional de Puertos S.A.

1.2.- Afluentes del Río Huallaga.

Los principales afluentes del Río Huallaga son:

Por la margen derecha:

Río Chipurana: Su nacimiento se origina en la Selva Alta de San Martín y desemboca en el Río Huallaga, en el caserío San Pablo de Tipishca; es navegable por motores fuera de borda y canoas.

Quebrada Shucshuyacu: Pequeña quebrada que nace en las alturas de esta zona y desemboca en el poblado del mismo nombre; esta quebrada no es navegable.

Quebrada Mondongo: Pequeña quebrada que nace de lagos y quebradas y es navegable por canoas; desemboca en el poblado del mismo nombre.

Quebrada Santa María: Su nacimiento se origina de quebradas y desemboca en el poblado Santa María; es navegable por motores fuera de borda y canoas.

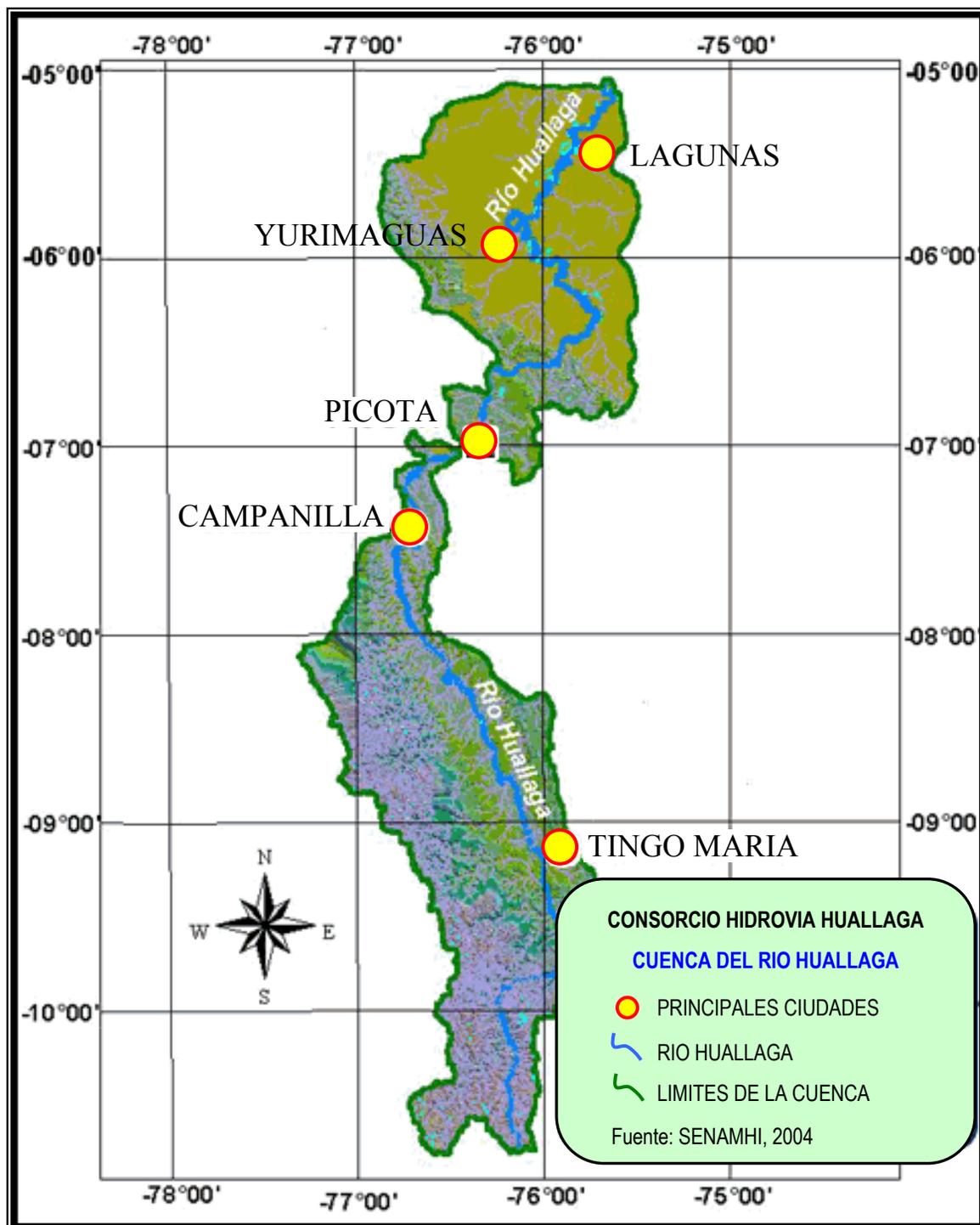


Fig. N° 1.1: Cuenca del Río Huallaga

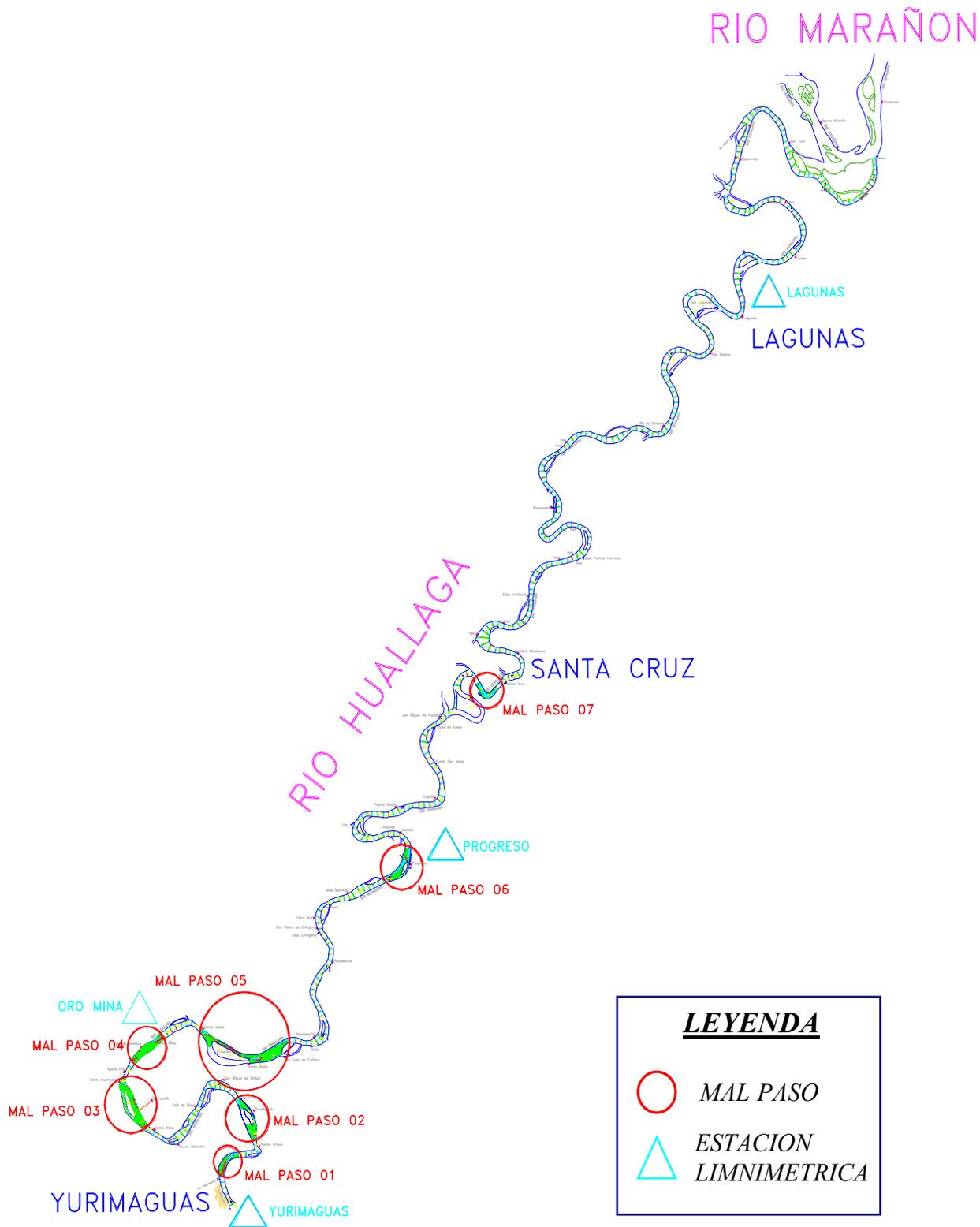


Fig. N° 1.2: Ubicación de las reglas limnimétricas y los malos pasos

Quebrada Curiyacu: Desemboca en el Río Huallaga a la altura de la isla Curiyacu; es navegable en época de creciente por embarcaciones pequeñas y canoas.

Quebrada Pumayacu: Se origina de aguajales y desemboca en el Río Huallaga; es navegable en época de creciente por embarcaciones menores.

Quebrada Shishinahua: Se origina de lagos y desemboca en el Río Huallaga; es navegable en época de creciente por embarcaciones menores.

Quebrada Santa Elena: Se origina de pequeñas quebradas y desemboca en el Río Huallaga; es navegable en época de creciente por embarcaciones pequeñas y canoas.

Quebrada Armanayacu: Se origina en las alturas de la provincia del Alto Amazonas y desemboca en el Río Huallaga; es navegable en época de creciente por embarcaciones menores.

Quebrada Yanayacu: Se origina de lagos y pequeñas quebradas; es navegable en época de creciente por embarcaciones pequeñas y canoas.

Quebrada Pampa Hermosa: Se origina de aguajales y es navegable en época de creciente por embarcaciones menores.

Quebrada Arahuate: Se origina de lagos y es navegable en época de creciente por embarcaciones menores.

Quebrada Lagunas: Se origina de lagos y aguajales; es navegable en época de creciente por embarcaciones menores.

Por la margen izquierda

Quebrada Achinamiza: Tiene sus nacientes en la Selva del departamento de San Martín y desemboca en el pongo de Aguirre en el caserío Achinamiza. No es navegable debido que es correntoso y con fuertes caídas de agua.

Río Cainarache: Tiene sus nacientes en la Selva Alta del departamento de San Martín y desemboca en el Río Huallaga a la altura del caserío Ugarte. Este Río recibe en su recorrido las aguas de numerosas quebradas pequeñas, siendo la quebrada Yanayacu el principal afluente.

Quebrada Sanango: Pequeña quebrada que nace en las alturas de Yurimaguas navegable por canoas, pero no es posible la navegación en motores fuera borda por tener su cauce muy estrecho.

Río Shanusi: Tiene sus nacientes en las alturas del departamento de San Martín en la provincia de Lamas, recibiendo en su curso las aguas de varias quebradas. Desemboca en el río Huallaga cerca de la ciudad de Yurimaguas por la zona sur. Es navegable por embarcaciones pequeñas y motores fuera borda.

Río Paranapura: Tiene sus nacientes en la Selva Alta del departamento de San Martín y recibe aguas de numerosas quebradas, desemboca en el Río Huallaga aguas abajo de la ciudad de Yurimaguas por la zona norte. Es navegable por embarcaciones pequeñas y motores fuera borda.

Quebrada Zapote: Se origina en la Selva Alta del Alto Amazonas y desemboca en el Río Huallaga, es navegable en época de creciente por embarcaciones menores y canoas.

Quebrada Chullachaqui: Se origina de aguajales y desemboca en el Río Huallaga a la altura del Río Chingana, es navegable en época de creciente por embarcaciones pequeñas y canoas.

Quebrada Pucate: Se origina de lagos y aguajales, desemboca en el Río Huallaga a la altura del caserío Pucate; es navegable en época de creciente por embarcaciones pequeñas y canoas.

Quebrada Bello Horizonte: Se origina en las alturas de esta zona, desemboca en el Río Huallaga en proximidad del caserío del mismo nombre; es navegable en época de creciente por embarcaciones pequeñas y canoas.

Quebrada Tamarate: Se origina de aguas y aguajales, desemboca en el Río Huallaga en la proximidad del caserío del mismo nombre; es navegable en época de creciente por embarcaciones pequeñas y canoas.

Río Aipena: Está formado por las infiltraciones de los Ríos Marañón y Huallaga, es encajonado y tiene un ancho aproximado en su desembocadura de 80 metros. Sus aguas son de color negro. Este Río desemboca en la intersección de los caseríos Progreso y Esperanza en el Río Huallaga. Es relativamente profundo con fondo de arena y es navegable en época de creciente por embarcaciones de 2 ½ pies de calado.

1.3.- Climatología.

El comportamiento meteorológico de una cuenca, se halla estrechamente vinculado al comportamiento evolutivo del río, si bien la cuenca del río Huallaga es medianamente extensa y requeriría de un estudio integral de la meteorología de la cuenca (aspecto difícil de desarrollar por la falta de datos), una evaluación puntual permite de algún modo fijar patrones de conocimiento del comportamiento meteorológico de la zona de proyecto (Bajo Huallaga) para tratar de encontrar alguna relación entre parámetros meteorológicos y parámetros hidrológicos en la zona.

Se han encontrado que existen algunos registros meteorológicos de la zona con una antigüedad y continuidad muy aceptable, estos se han tomado para cubrir requerimientos de la navegación aérea y han estado a cargo de SENAMHI en su estación sinóptica de Yurimaguas con un record de datos desde 1984 - 1994. La estación se encuentra ubicada en el aeropuerto de la ciudad de Yurimaguas. La estación tiene las siguientes referencias:

| | |
|-----------|-----------|
| Latitud: | 05° 52' S |
| Longitud: | 76° 07' W |
| Altura: | 120 msnm |

Esta estación nos ha proporcionado datos de Presión, Temperaturas Máximas y Mínimas, Temperaturas de Punto de Rocío, Precipitación, Dirección y Velocidad de los Vientos; por medio de la lectura directa de instrumentos como: Barómetros, Termómetro ambiental, Psicrómetro, Pluviómetro y Anemómetro respectivamente. Los registros de la estación "Yurimaguas" han sido procesados y se presentan en forma resumida y en una forma fácil de evaluar, los datos presentados son los siguientes:

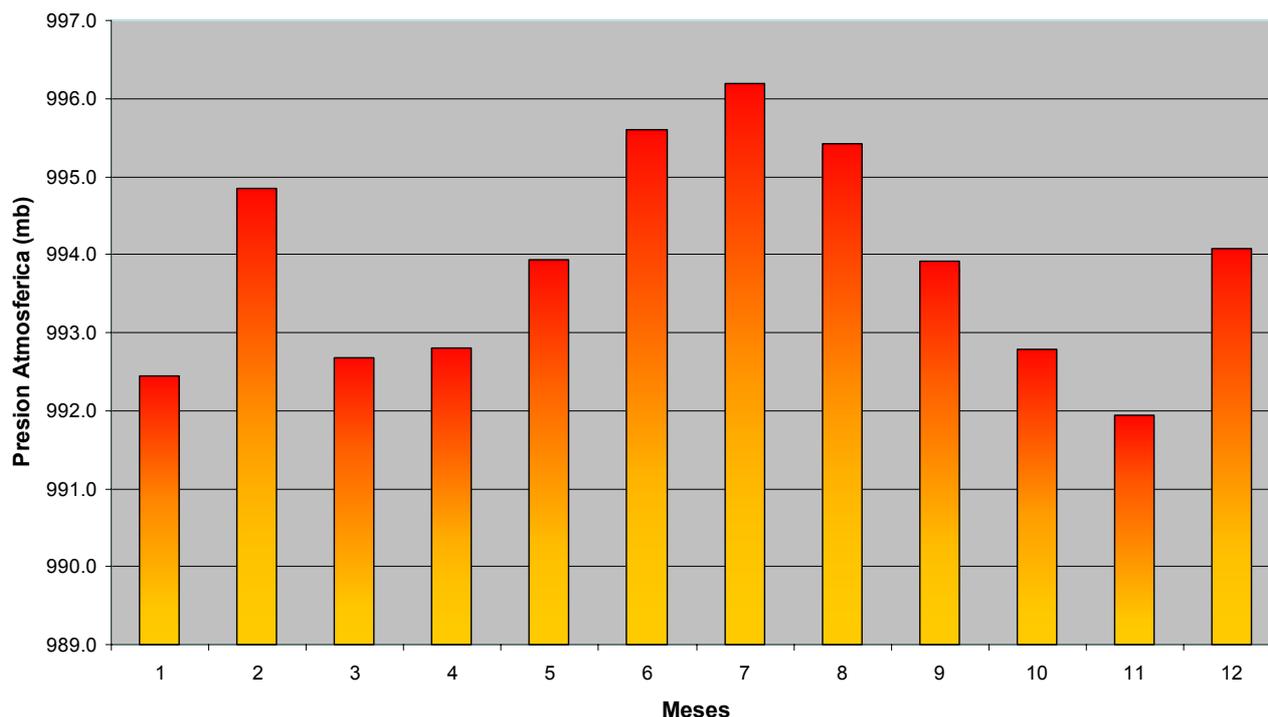
Presión Atmosférica:

Se expresa en milibares (mb) y el peso de la columna vertical de aire de una sección unitaria en la superficie del suelo y que se prolonga hasta los límites superiores de la atmósfera terrestre. Los datos de 10 años de registros se ha promediado en series mensuales para tener una idea de su comportamiento en el tiempo. Los resultados se muestran en el cuadro 1.1 y en el grafico 1.3. Los registros se obtuvieron por lectura directa de un barómetro haciendo las correcciones respectivas por la temperatura, por altura y reduciéndola al nivel medio del mar.

Cuadro 1.1: Presión Atmosférica Media Mensual (mb)

| Año | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|----------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1985 | 992.1 | 993.5 | 992.7 | 992.2 | 993.9 | 996.5 | 996.0 | 995.3 | 993.4 | 991.5 | 991.7 | 991.6 |
| 1986 | 992.6 | 992.3 | 992.9 | 992.3 | 993.3 | 995.3 | 997.2 | 994.3 | 994.5 | 993.2 | 991.2 | 992.4 |
| 1987 | 992.8 | 993.2 | 990.1 | 992.9 | 994.5 | 995.7 | 993.4 | 994.5 | 993.9 | 992.3 | 992.0 | 992.4 |
| 1988 | 992.5 | 991.6 | 992.9 | 992.8 | 994.9 | 996.5 | 996.9 | 994.0 | 993.8 | 991.7 | 992.6 | 1013.0 |
| 1989 | 993.0 | 993.2 | 992.5 | 992.7 | 995.2 | 995.4 | 996.6 | 994.7 | 993.0 | 993.5 | 991.4 | 991.4 |
| 1990 | 992.3 | 992.8 | 993.5 | 992.9 | 994.1 | 995.5 | 996.8 | 995.4 | 994.2 | 992.3 | 992.0 | 992.2 |
| 1991 | 992.2 | 1013.8 | 992.0 | 992.8 | 993.4 | 994.8 | 996.1 | 996.7 | 994.1 | 993.5 | 992.2 | 991.1 |
| 1992 | 991.8 | 992.0 | 992.5 | 992.1 | 992.2 | 994.2 | 996.8 | 996.0 | 993.3 | 992.8 | 991.4 | 991.4 |
| 1993 | 993.0 | 992.6 | 994.0 | 993.1 | 993.4 | 995.5 | 995.9 | 997.6 | 994.8 | 994.0 | 992.5 | 991.9 |
| 1994 | 992.1 | 993.4 | 993.7 | 994.3 | 994.4 | 996.6 | 996.3 | 995.7 | 994.2 | 993.1 | 992.5 | 993.4 |
| Media Mensual | 992.4 | 994.8 | 992.7 | 992.8 | 993.9 | 995.6 | 996.2 | 995.4 | 993.9 | 992.8 | 992.0 | 994.1 |

Grafico 1.3: Presión Atmosférica Media Mensual



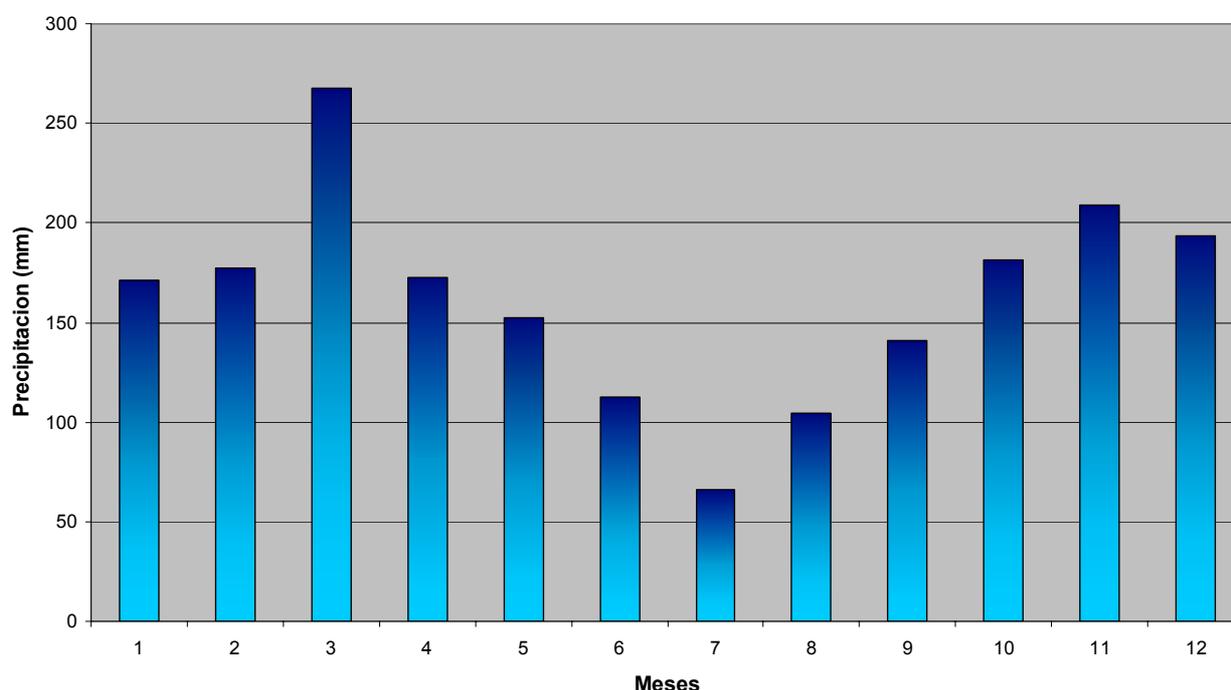
Precipitación.

La precipitación se controla en unidades lineales verticales, señala la altura de la capa de agua que debería cubrir una unidad horizontal en caso de no existir escorrentía. Los pluviómetros convencionales miden en mm. y con una aproximación de 1 mm. Los datos registrados en el periodo 1985 - 1994 se han promediado en series mensuales, los datos se presentan en el cuadro 1.2 y en el grafico 1.4.

Cuadro 1.2: Precipitación Media Mensual (mm)

| Año | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1985 | 45.0 | 93.0 | 267.8 | 131.6 | 193.0 | 55.0 | 73.2 | 145.9 | 307.6 | 190.2 | 279.7 | 84.5 |
| 1986 | 156.3 | 219.3 | 380.0 | 114.0 | 119.8 | 69.6 | 102.0 | 174.3 | 160.6 | 249.6 | 218.1 | 408.0 |
| 1987 | 302.3 | 165.8 | 233.8 | 305.8 | 116.3 | 40.6 | 97.4 | 114.0 | 151.5 | 117.6 | 193.8 | 171.0 |
| 1988 | 83.0 | 221.3 | 249.1 | 271.7 | 222.4 | 66.1 | 24.0 | 110.1 | 56.0 | 295.4 | 298.7 | 146.5 |
| 1989 | 239.9 | 97.8 | 252.7 | 129.0 | 183.8 | 158.3 | 77.8 | 84.4 | 82.6 | 217.4 | 133.5 | 43.0 |
| 1990 | 252.7 | 205.2 | 240.8 | 180.4 | 79.0 | 182.1 | 92.0 | 41.0 | 67.0 | 180.5 | 166.4 | 323.7 |
| 1991 | 116.0 | 242.0 | 292.6 | 198.0 | 229.0 | 160.0 | 33.0 | 27.0 | 153.0 | 191.0 | 179.8 | 72.0 |
| 1992 | 116.2 | 92.0 | 151.6 | 157.7 | 59.2 | 81.9 | 43.9 | 115.7 | 138.1 | 128.0 | 299.0 | 224.2 |
| 1993 | 172.4 | 355.5 | 369.5 | 128.2 | 203.8 | 116.8 | 83.0 | 120.0 | 86.0 | 116.0 | 132.0 | 262.0 |
| 1994 | 230.0 | 81.0 | 240.0 | 108.3 | 117.0 | 197.0 | 33.0 | 110.0 | 207.0 | 128.0 | 189.0 | 203.0 |
| Media Mensual | 171.4 | 177.3 | 267.8 | 172.5 | 152.3 | 112.7 | 65.9 | 104.2 | 140.9 | 181.4 | 209.0 | 193.8 |

Gráfico 1.4: Precipitación Media Mensual.



Temperatura.

Las temperatura es una forma de indicar en una escala numérica la cantidad de calor radiante que hay en el medio, se expresa en °C. Los registros de 10 años han sido promediados por series mensuales. Los registros provienen de la lectura directa de un termómetro.

a) Temperatura Máxima.- No siempre el registro tomado a una determinada hora viene a ser la representativa de valores extremos, por ello, la meteorología ha establecido el registro de temperaturas máximas y mínimas para conocer los comportamientos extremos de la temperatura; para ello ha ideado el termómetro especial de máximas que tiene la particularidad de trabarse con el registro de la máxima temperatura del día. Los resultados se muestran en el cuadro 1.3 y en el grafico 1.5.

b) Temperatura Mínima.- El extremo de la temperaturas mínimas se ha procesado en forma idéntica al de los registros de Temperaturas Máximas presentando los resultados en el cuadro 1.4 y en el grafico 1.5.

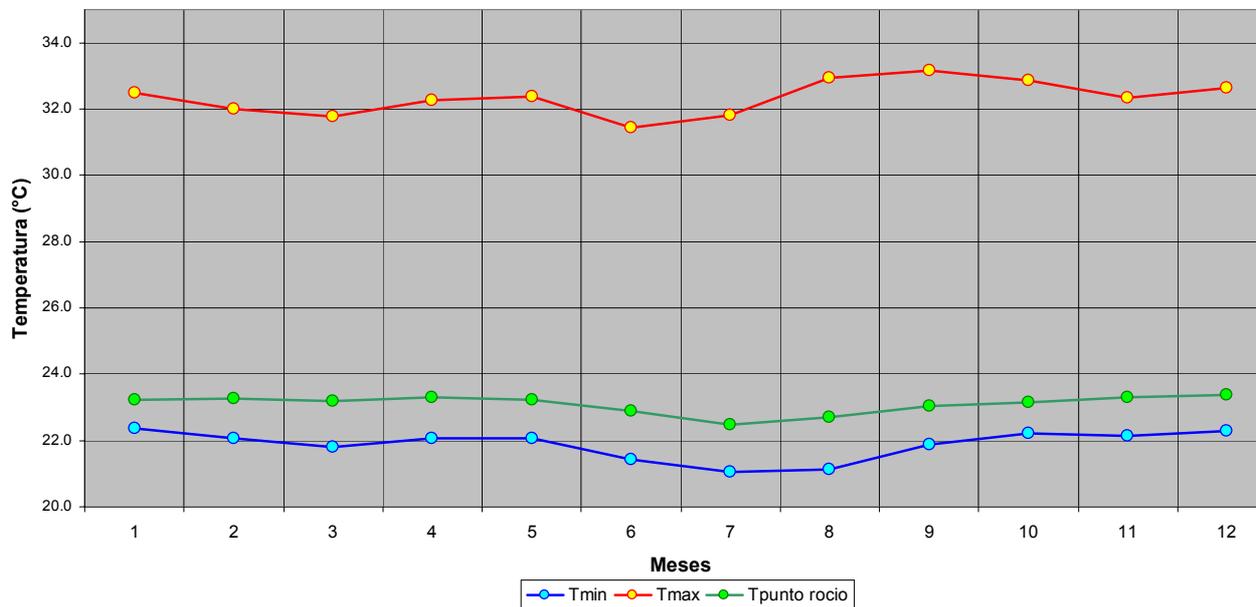
Cuadro 1.3: Temperatura Máxima Media Mensual (°C)

| Año | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1983 | 33.5 | 33.8 | 33.2 | 32.1 | 32.2 | 31.5 | 32.9 | 33.7 | 34.4 | 32.9 | 32.7 | 32.1 |
| 1984 | 31.0 | 30.5 | 30.9 | 31.1 | 31.4 | 31.0 | 31.9 | 32.4 | 33.1 | 32.9 | 32.3 | 32.9 |
| 1985 | 32.5 | 32.0 | 31.8 | 33.2 | 32.4 | 31.7 | 31.6 | 32.3 | 32.6 | 33.4 | 32.5 | 33.7 |
| 1986 | 33.3 | 32.0 | 31.2 | 32.6 | 33.4 | 32.7 | 32.0 | 33.0 | 32.4 | 32.7 | 32.4 | 32.7 |
| 1988 | 32.6 | 32.0 | 32.0 | 32.4 | 32.4 | 30.6 | 32.1 | 34.6 | 33.7 | 33.0 | 32.4 | 32.7 |
| 1989 | 32.5 | 32.0 | 31.8 | 32.3 | 31.8 | 30.9 | 31.0 | 32.9 | 33.7 | 32.1 | 32.8 | 34.1 |
| 1990 | 31.3 | 32.5 | 31.4 | 32.1 | 32.2 | 30.9 | 30.9 | 33.0 | 34.0 | 33.3 | 31.7 | 31.7 |
| 1991 | 32.7 | 32.2 | 32.2 | 31.9 | 32.0 | 31.2 | 31.3 | 32.0 | 32.7 | 32.6 | 31.3 | 33.0 |
| 1992 | 33.3 | 32.6 | 32.1 | 33.6 | 34.2 | 33.0 | 32.8 | 32.9 | 32.8 | 32.9 | 32.6 | 31.8 |
| 1994 | 32.1 | 30.5 | 31.2 | 31.4 | 31.7 | 30.9 | 31.8 | 32.7 | 32.4 | 32.9 | 32.9 | 31.9 |
| Media Mensual | 32.5 | 32.0 | 31.8 | 32.3 | 32.4 | 31.4 | 31.8 | 33.0 | 33.2 | 32.9 | 32.4 | 32.7 |

Cuadro 1.4: Temperatura Mínima Media Mensual (°C)

| Año | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1985 | 23.2 | 22.7 | 21.8 | 23.0 | 22.4 | 21.6 | 21.7 | 21.5 | 22.3 | 23.1 | 22.5 | 23.2 |
| 1986 | 22.4 | 21.7 | 21.5 | 22.5 | 22.8 | 21.7 | 20.9 | 21.6 | 22.0 | 22.1 | 21.9 | 21.2 |
| 1987 | 22.0 | 22.2 | 22.5 | 22.3 | 22.0 | 21.8 | 22.5 | 22.1 | 22.7 | 23.0 | 22.8 | 22.7 |
| 1988 | 22.9 | 22.4 | 22.2 | 22.1 | 22.3 | 20.9 | 21.1 | 21.5 | 22.3 | 22.3 | 22.2 | 21.9 |
| 1989 | 21.6 | 21.5 | 21.3 | 21.9 | 21.6 | 21.9 | 20.9 | 21.6 | 22.3 | 21.1 | 21.8 | 22.2 |
| 1990 | 21.4 | 21.6 | 21.4 | 21.7 | 21.7 | 21.0 | 20.7 | 20.9 | 21.0 | 22.2 | 22.0 | 22.2 |
| 1991 | 22.4 | 22.3 | 22.2 | 22.0 | 21.5 | 21.5 | 20.4 | 20.5 | 20.9 | 21.6 | 22.0 | 22.4 |
| 1992 | 22.1 | 22.5 | 21.8 | 21.3 | 22.2 | 21.9 | 20.6 | 21.0 | 22.4 | 22.7 | 22.7 | 22.8 |
| 1993 | 22.5 | 21.7 | 22.2 | 21.7 | 22.5 | 21.1 | 20.2 | 19.8 | 21.1 | 21.8 | 22.0 | 22.5 |
| 1994 | 23.1 | 22.0 | 21.0 | 22.0 | 21.6 | 20.9 | 21.4 | 20.6 | 21.6 | 22.2 | 21.6 | 21.6 |
| Media Mensual | 22.4 | 22.1 | 21.8 | 22.1 | 22.1 | 21.4 | 21.0 | 21.1 | 21.9 | 22.2 | 22.2 | 22.3 |

Gráfico 1.5: Temperatura Máxima, Mínima y Punto De Rocío (°C)



Temperatura del Punto de Rocío.

Se define como la temperatura a la cual un espacio se satura al enfriarse el aire con presión constante y contenido de vapor de agua constante, se expresa en °C. Es un parámetro ideal. La variación promedio mensual de la temperatura de punto de rocío se resume en el cuadro 1.5 y en el gráfico 1.5.

Cuadro 1.5: Temperatura del Punto de Rocio (°C)

| Año | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1985 | 23.2 | 23.1 | 22.7 | 23.3 | 23.1 | 22.7 | 21.8 | 21.6 | 22.0 | 22.9 | 23.0 | 22.9 |
| 1986 | 22.9 | 23.0 | 22.9 | 23.3 | 23.7 | 22.8 | 22.2 | 23.1 | 22.7 | 22.9 | 23.2 | 23.1 |
| 1987 | 22.8 | 23.1 | 23.2 | 23.1 | 22.8 | 22.7 | 22.9 | 22.4 | 23.0 | 23.1 | 23.4 | 23.3 |
| 1988 | 23.1 | 23.3 | 23.3 | 23.2 | 23.0 | 22.1 | 22.1 | 22.8 | 23.1 | 23.0 | 23.0 | 23.0 |
| 1989 | 22.7 | 22.8 | 22.8 | 23.0 | 22.9 | 22.9 | 22.1 | 22.8 | 23.2 | 22.8 | 23.2 | 23.4 |
| 1990 | 23.0 | 23.3 | 23.3 | 23.4 | 23.1 | 23.0 | 21.8 | 22.6 | 22.6 | 23.5 | 23.2 | 23.4 |
| 1991 | 23.5 | 23.7 | 23.3 | 23.4 | 23.6 | 23.3 | 22.9 | 22.6 | 23.3 | 23.1 | 23.3 | 23.6 |
| 1992 | 23.4 | 23.5 | 23.3 | 23.6 | 23.2 | 23.1 | 22.5 | 22.7 | 22.8 | 23.1 | 23.2 | 23.6 |
| 1993 | 23.6 | 23.4 | 23.4 | 23.5 | 23.2 | 23.3 | 23.2 | 23.1 | 23.9 | 24.0 | 24.0 | 24.0 |
| 1994 | 23.9 | 23.4 | 23.6 | 23.2 | 23.5 | 22.9 | 23.2 | 23.4 | 23.6 | 23.1 | 23.4 | 23.6 |
| Media Mensual | 23.2 | 23.3 | 23.2 | 23.3 | 23.2 | 22.9 | 22.5 | 22.7 | 23.0 | 23.2 | 23.3 | 23.4 |

Vientos.

La velocidades y direcciones del viento son los parámetros de interés meteorológico, los mismos que pueden determinarse mediante la lectura directa de un anemómetro, se expresa en nudos. Para su mejor estudio se calculo su distribución de frecuencias en 8 sectores direccionales que son: N, NE, E, SE, S, SW, W y NW que representan las direcciones Norte, Nor-Este, Este, Sur-Este, Sur, Sur-Oeste, Oeste y Nor-Oeste respectivamente

Todos los datos de direcciones del viento como velocidades se han procesado por series mensuales en el tiempo. El cuadro 1.6, muestra la dirección predominante y la velocidad media mensual del viento para el periodo 1985 – 1994.

Cuadro 1.6: Dirección Predominante y Velocidad Media Mensual del Viento (nudos)

| Año | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1985 | N-0.9 | N-0.7 | C-0.0 | C-0.0 | C-0.0 | S-1.0 | N-1.0 | C-0.0 | C-0.0 | C-0.0 | C-0.0 | N-2.0 |
| 1986 | C-0.0 | C-0.0 | C-0.0 | C-0.0 | C-0.0 | C-0.0 | S-0.6 | C-0.0 | C-0.0 | C-0.0 | C-0.0 | N-1.0 |
| 1987 | C-0.0 | N-1.0 | N-1.0 | N-1.0 | C-0.0 | C-0.0 | C-0.0 | C-0.0 | C-0.0 | C-0.0 | NW-2.0 | N-1.0 |
| 1988 | C-0.0 | C-0.0 | C-0.0 | N-1.0 |
| 1989 | C-0.0 | NW-1.0 | NE-1.0 | N-1.0 | SE-1.0 | C-0.0 | SE-1.0 | C-0.0 | S/D-0.0 | C-0.0 | N-1.0 | NW-2.0 |
| 1990 | C-0.0 | NW-1.0 | NW-1.0 | NE-2.0 | NE-1.0 | NE-1.0 |
| 1991 | N-1.0 | NE-1.0 | NE-1.0 | N-1.0 | NW-1.0 | SE-1.0 | SE-1.0 | SE-1.0 | NE-1.0 | S/D-0.0 | S/D-0.0 | S/D-0.0 |
| 1992 | N-3.0 | N-3.0 | N-2.0 | N-3.0 | NE-2.0 | NE-1.0 | SE-1.0 | NE-0.9 | N-2.0 | N-0.8 | NE-1.0 | W-3.0 |
| 1993 | W-3.0 | NW-3.0 | NW-1.0 | NE-1.0 | NE-0.8 | C-0.0 | NE-2.0 | NE-2.0 | NE-1.0 | NW-4.0 | NW-3.0 | N-2.0 |
| 1994 | NE-3.0 | NW-2.0 | NW-2.0 | NW-2.0 | NE-2.0 | NW-1.0 | NE-1.0 | NE-1.0 | NE-0.9 | NW-2.0 | N-2.0 | NW-2.0 |

2. HIDROLOGIA E HIDRAULICA

2.1.- Descripción de la Cuenca del río Huallaga.

La cuenca del Huallaga forma parte de la cuenca del Marañón, y esta a su vez forma parte de la cuenca del Amazonas. Tiene sus nacientes en el departamento de Pasco, al sur de la Cordillera de Raura, en la laguna de Huascacocha a 4,710 msnm, con una longitud aproximada de 1,389 kilómetros.

La cuenca abarca diversos departamentos entre estos tenemos: Cerro de Pasco, Huánuco, San Martín y Loreto, la dirección predominante es hacia el Norte. La cuenca a su vez esta dividida en dos subcuencas:

El Alto Huallaga, comienza en pasco y termina en Yurimaguas.

El Bajo Huallaga, comienza en Yurimaguas y termina en la Boca Huallaga (desembocadura con el Marañón)

2.2.- Niveles Históricos del río.

Para los estudios de los niveles de agua para la navegación, las series de datos anuales analizadas, tienen que ser completas y con la misma duración y el mismo período.

Teniendo en cuenta la disponibilidad de observaciones en Yurimaguas y San Regis, fue adoptado el periodo de 8 años, del 01 de enero de 1997 al 31 de diciembre de 2004. Estas series de observaciones fueron corregidas de los datos con errores o no registrados y completadas hasta el final de 2004 por interpolaciones en los hidrogramas anuales, puesto que los cálculos iniciales fueron hechos en el inicio del mes.

2.2.1.- Datos Obtenidos de Estudios Anteriores.

Solamente dos estudios anteriores del Río Huallaga presentan datos hidrológicos de interés para los estudios de Navegabilidad en el tramo entre Yurimaguas y la Confluencia con el Marañón. Los dos fueron hechos para el Puerto de Yurimaguas e incluyen solo datos de la región donde están las instalaciones portuarias. Pero como esta región esta en el limite superior del tramo en estudio, los datos son de gran utilidad como complementación y verificación de los nuevos datos obtenidos por nuestro Consorcio.

El trabajo mas antiguo fue elaborado en Febrero de 1985 y entre Diciembre de 1985 y Diciembre de 1986 por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina del Perú, por solicitud de ENAPU, teniendo en vista el proyecto de reubicación del Terminal Fluvial.

Este trabajo incluyo:

- 1- Levantamientos topográficos y batimétricos
- 2- La instalación de tres estaciones limnimétricas, ESTACION GRAU, ENAPU y PETRO en el río Huallaga y la observación de los niveles y temperaturas de agua en estas estaciones por cerca de 5 meses
- 3- Una serie de 12 mediciones de aforo con correntómetro en dos secciones del río Huallaga y Paranapura;

- 4- Una serie de mediciones de corriente con flotadores sub-superficiales en las mismas secciones;
- 5- Una serie de 26 mediciones de transporte sólido en suspensión, de fondo y total del cauce de los ríos;
- 6- La determinación de las pendientes de la línea de agua instantánea en un tramo del río Huallaga de 3 Km. debajo de la confluencia del río Paranapura

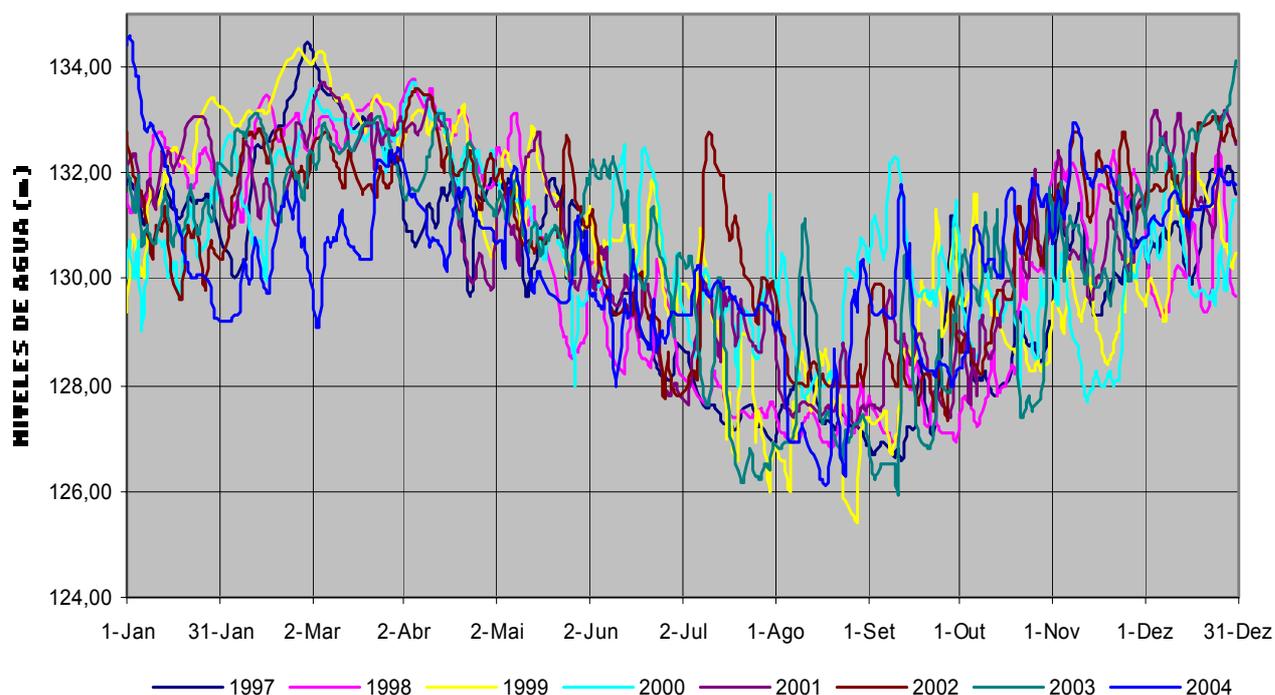
En 1995 fue hecho el proyecto de la “Reubicación del Terminal Fluvial de Yurimaguas” por la empresa consultora CESEL S.A. En esa ocasión fueron hechos muestreos de sedimentos en suspensión, mediciones de velocidad del agua con uso de correntómetro y de flotadores sub-superficiales así como toma de muestras de fondo y de la ribera del río Huallaga. Todas estas mediciones están cerca del puerto y confluencia del Paranapura.

2.2.2.- Análisis de los Datos.

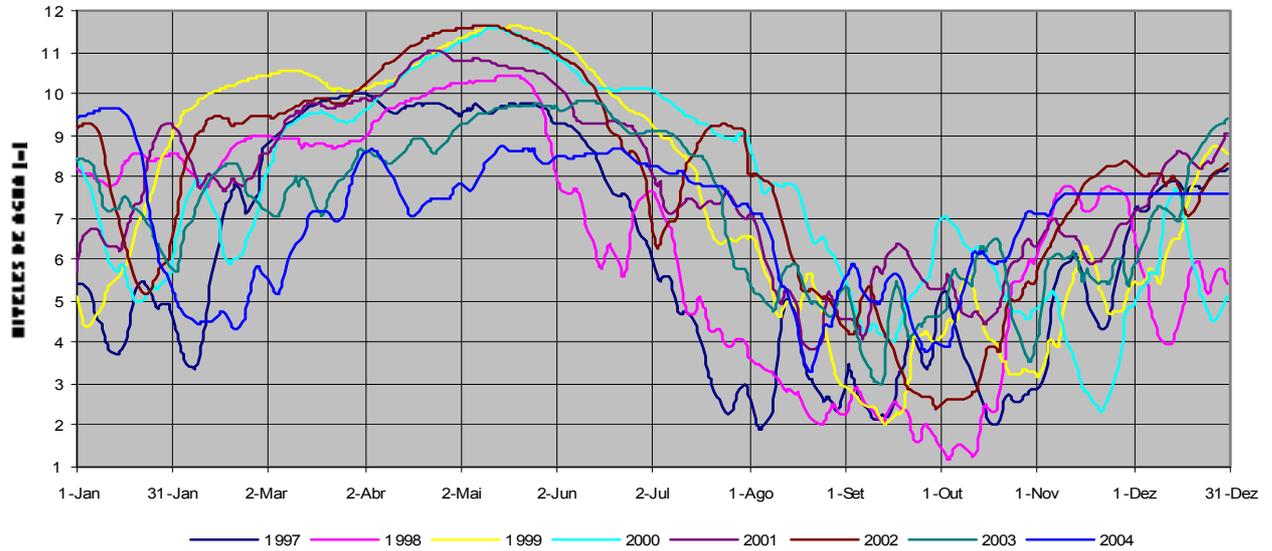
Luego de finalizada la *segunda campaña de mediciones hidrométricas* (marzo de 2005) se realizó el análisis de los datos, teniendo en cuenta las observaciones de los niveles de agua en las tres estaciones instaladas por nuestro Consorcio. Los datos de niveles de agua en las estaciones limnimétricas de Yurimaguas y San Regis fueron analizados en el ítem anterior

Los gráficos de las figuras 2.2.1, 2.2.2 y 2.2.3 presentados adelante, muestran los hidrogramas de los niveles medios diarios en las estaciones de Yurimaguas, San Regis y Tabatinga en el Río Amazonas brasileño que también fue analizado para complementar los datos de otros puestos. Los niveles de agua representados fueron previamente completados y corregidos.

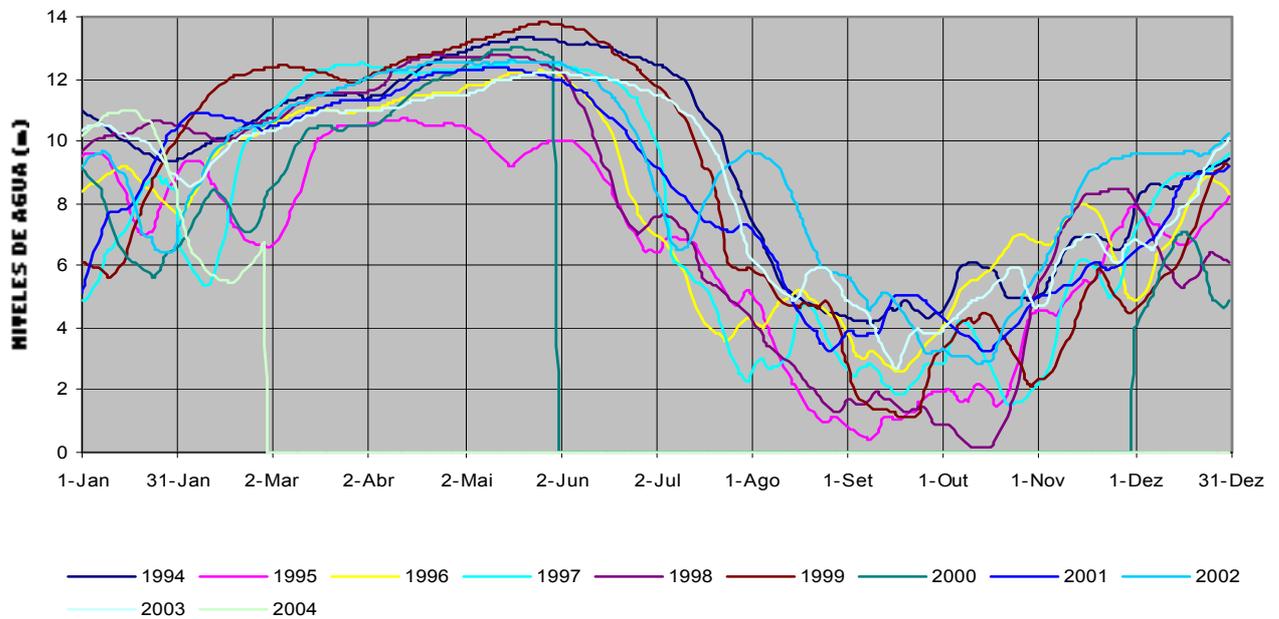
**Figura 2.2.1: Hidrogramas Anuales de Niveles Medios Diarios
Estación Limnimétrica de Yurimaguas**



**Figura 2.2.2: Hidrogramas Anuales de Niveles Medios Diarios
Estación Limnimétrica de San Regis**



**Figura 2.2.3: Hidrogramas Anuales de Niveles Medios Diarios
Estacion Limnimétrica de Tabatinga**



2.2.3.- Comportamiento Hidrológico (niveles de agua).

En el Río Huallaga hay un solo puesto de observación de niveles de agua, en Yurimaguas. Se puede considerar que las variaciones de los niveles de este puesto de observaciones es representativo del régimen del río hasta cerca del Km. 120 (desde la desembocadura) donde el régimen del río es regido por las variaciones de los niveles del río Marañon. En realidad no hay una sección de limite de influencia pero sí una zona variable con los caudales y con los niveles respectivos de los dos ríos. Cuando se tenga un mayor numero de observaciones en las estaciones instaladas por nuestro Consorcio, se tendrá una mejor noción de esta zona de transición del régimen del río Huallaga.

Por lo tanto, se consideró dos regímenes de variaciones de los niveles: uno correspondiente a la parte superior del tramo en estudio con cerca de 120 km. representado por los niveles registrados en Yurimaguas y otro, correspondiente a los últimos 100 Km., representado por los registros de San Regis, en el río Marañon. Entre estos dos tramos indicados, hay una zona con más de 50 Km. en que el régimen de niveles de agua pueden acompañar uno u otro régimen hidrológico.

En el tramo superior, los niveles tienen una variación máxima de poco más de 9,0m, pudiendo, en situaciones muy excepcionales (no registradas), llegar a sobrepasar los 11,0 m.. Considerándose un periodo de 8 años (1997-2004), los niveles fueron en 95% del tiempo mayores que 1,0m por encima del mínimo observado en 1999 y en 90% del tiempo mayores por encima de 1,5m de este mínimo.

Fue estimado, por proceso estadístico, el nivel máximo probable en la estación limnimétrica de Yurimaguas. Se consideró, como nivel máximo para los estudios de navegación, el nivel correspondiente a la ocurrencia una vez en 50 años en la serie de 8 años, de 1997 a 2004. Con el proceso de calculo de las persistencias anuales de los niveles medios diarios y la distribución normal de Gauss, fue obtenido el valor de 136,5 msnm en la lectura de la regla del Puerto, lo que corresponde a la cota de 135,13 .Este nivel es cerca de 1,9m más que el máximo registrado de 134.6m en 02/01/04 que es el máximo de todas las observaciones disponibles, incluso para años fuera del periodo 1997 a 2004.

En el tramo inferior, los niveles tienen una variación máxima de poco menos de 11,5m, pudiendo, en situaciones muy excepcionales (no registradas en San Regis), llegar a sobrepasar los 13,5 m. Considerándose en el mismo periodo de 8 años (1997-2004), los niveles fueron en 95% del tiempo mayores por encima de 0,7 m que el mínimo observado en 1998 y en 90% del tiempo mayores por encima de 1,1m de este mínimo. Las figuras 2.2.4 y 2.2.5 presentan los hidrógramas medios anuales de los niveles de agua diarios en el periodo de 1997 a 2004.

Figura 2.2.4: Hidrograma Anual Promedio de los Niveles Medios Diarios Estación Limnimétrica de Yurimaguas (1997-2004)

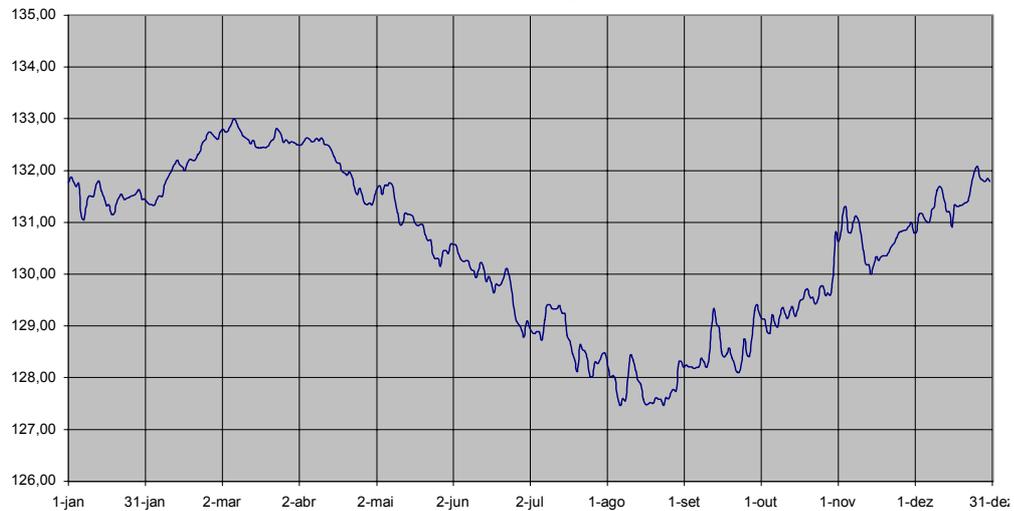


Figura 2.2.5: Hidrograma Anual Promedio de los Niveles Medios Diarios Estación Limnimétrica de San Regis (1997-2004)



2.2.4.- Conclusiones.

La comparación de los dos gráficos muestra que las variaciones rápidas en Yurimaguas son mucho mas importantes que en el río Marañon, que tiene una cuenca hidrográfica mas grande. Muestran también que las épocas de creciente y vaciante no son totalmente iguales: en el Huallaga en mediano, los máximos son en mediano Marzo y en el Marañon en mediano Mayo. Las bajantes mínimas son en mediano en Agosto en Yurimaguas y en Septiembre en San Regis, lo que corresponde a cerca de mas de un mes de desfase entre los dos ríos.

2.3.- Cálculo de las Persistencias de los Niveles Diarios.

Para los estudios de navegabilidad de un curso de agua, se deben analizar inicialmente las persistencias anuales de los niveles de agua medianos diarios que permiten determinar, en cada año, el número de días del año (o porcentaje del período anual) en que no son alcanzadas las profundidades necesarias para que pueda pasar una embarcación con un determinado calado.

Estas persistencias deben determinarse de año en año, procurándose definir “años representativos” que permitan considerar las alternancias entre los períodos de crecientes y de estiaje de los ríos.

En el río Huallaga, en el tramo de interés, solamente hay observaciones sistemáticas de niveles de agua en la Estación Limnimétrica de Yurimaguas, en el extremo superior del tramo, donde hay una serie de datos entre los años 1997 - 2004.

Se consideró, para efectos del Estudio de Navegabilidad, que las observaciones de niveles de agua hechas en la estación limnimétrica de San Regis, en el Río Marañon, 279 Km., aguas abajo de la desembocadura del río Huallaga, sean representativas de los niveles de agua del tramo inferior del afluente. En esta estación limnimétrica hay observaciones sistemáticas desde el año 1994.

Los cálculos de las persistencias de los niveles medios diarios, de año en año, para las series de 8 años (1997 a 2004) en las estaciones limnimétricas de Yurimaguas y San Regis fueron hechos con un programa estadístico, con precisión de centímetro. Los resultados obtenidos se han resumido en las tablas presentadas a continuación.

Los niveles de agua representativos, año a año en las dos estaciones, son presentados en la Tabla 2.3.1 .

Las persistencias anuales para 5%, 10%, 25%, 50% 75% y 95% de cada año y las persistencias anuales medianas para los mismos porcentajes del periodo total de 8 años, son presentadas en la Tabla 2.3.2

**Tabla 2.3.1 Valores Significativos de los Niveles Anuales
(Lecturas de las Reglas en m)**

| ESTACIÓN LIMNIMETRICA DE YURIMAGUAS | | | | | | | | | EN EL PERIODO | | |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|---------------|---------------|
| ANOS | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | MED | MAX | MIN |
| MAX | 134,45 | 133,80 | 134,35 | 133,70 | 133,70 | 133,60 | 134,12 | 134,61 | 134,04 | 134,61 | 133,60 |
| MED | 130,10 | 130,28 | 130,59 | 130,64 | 130,61 | 130,77 | 130,50 | 130,34 | 130,48 | 130,77 | 130,10 |
| MIN | 126,60 | 126,80 | 125,40 | 127,70 | 127,20 | 127,40 | 126,00 | 126,10 | 126,65 | 127,70 | 125,40 |

| ESTACIÓN LIMNIMETRICA DE SAN REGIS | | | | | | | | | EN EL PERIODO | | |
|------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|---------------|--------------|-------------|
| ANOS | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | MED | MAX | MIN |
| MAX | 9,99 | 10,43 | 11,65 | 11,57 | 11,03 | 11,65 | 9,8 | 9,64 | 10,72 | 11,65 | 9,64 |
| MED | 6,16 | 6,49 | 7,54 | 7,61 | 7,78 | 7,93 | 7,19 | 6,96 | 7,21 | 7,93 | 6,16 |
| MIN | 1,89 | 1,18 | 2,02 | 2,33 | 3,82 | 2,42 | 2,98 | 3,28 | 2,49 | 3,82 | 1,18 |

Tabla 2.3.2 Persistencias Anuales de los Niveles de Agua (M)

Estación Limnimétrica de Yurimaguas

| Años | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | Media |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 5% | 127.05 | 127.10 | 126.80 | 128.10 | 127.55 | 128.00 | 126.54 | 132.40 | 127.94 |
| 10% | 127.21 | 127.30 | 127.50 | 128.50 | 127.75 | 128.05 | 126.90 | 132.01 | 128.15 |
| 25% | 128.20 | 128.00 | 129.00 | 129.60 | 129.00 | 129.40 | 129.70 | 131.35 | 129.28 |
| 50% | 130.30 | 130.30 | 130.60 | 130.50 | 130.60 | 131.20 | 131.05 | 130.40 | 130.62 |
| 75% | 131.53 | 132.40 | 132.45 | 132.00 | 132.30 | 132.05 | 132.08 | 129.45 | 131.78 |
| 95% | 133.20 | 133.25 | 133.60 | 133.10 | 133.10 | 132.85 | 132.98 | 127.70 | 132.47 |

Estación Limnimétrica de San Regis

| Años | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | Media |
|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 5% | 2.22 | 1.55 | 2.45 | 3.27 | 4.46 | 2.69 | 3.90 | 3.93 | 3.06 |
| 10% | 2.51 | 2.15 | 3.27 | 4.47 | 4.84 | 3.80 | 4.63 | 4.48 | 3.77 |
| 25% | 3.50 | 3.96 | 4.82 | 5.31 | 6.21 | 5.70 | 5.62 | 5.59 | 5.09 |
| 50% | 5.50 | 7.32 | 7.40 | 7.49 | 7.70 | 8.13 | 7.24 | 7.44 | 7.28 |
| 75% | 8.97 | 8.73 | 10.26 | 9.68 | 9.31 | 9.72 | 8.65 | 8.07 | 9.17 |
| 95% | 9.78 | 10.23 | 11.45 | 11.22 | 10.78 | 11.43 | 9.69 | 8.67 | 10.41 |

Nota: Las lecturas de las estaciones limnimétricas están en metros.

2.3.1- Persistencias Anuales Ajustadas Estadísticamente para las Series Históricas.

Cuando se consideran estadísticamente las series de persistencias anuales de los niveles de agua, es posible definir "años representativos", secos y húmedos, de año en año, de las series correspondientes a diferentes períodos de recurrencia, es decir, años que tengan una determinada probabilidad de ocurrencia (lo inverso al período de recurrencia) en el período correspondiente a la serie temporal considerada.

De esta forma se puede definir, por ejemplo, para una serie de persistencias de 15 años de observaciones, las persistencias anuales que estadísticamente deberán ocurrir cada 10 años (período de recurrencia de 10 años).

A los efectos de una mayor simplicidad en la presentación, se ha optado por un período de recurrencia de 10 años y de 50 años para el cálculo de las persistencias anuales de 5%, 10%, 20% y 50% (75% y 95%, son las crecientes anuales) para la serie de 8 años. Se hace notar que el modelo calcula las probabilidades de ocurrencia a través del ajuste de los valores de las series mediante la distribución de Gauss, incluso cuando las series son cortas. Se admite entonces ésta situación para la continuidad en los resultados.

Desde el punto de vista de la navegación, los niveles de agua indicados en las dos series de gráficos deben ser interpretados como los que estadísticamente no serán alcanzados en un cierto número de días cada 10 años (período de recurrencia de 10 años). Para explicar lo anterior, si se ha dragado un canal con una profundidad suficiente para una embarcación con 4 pies de calado, referido a la persistencia de 10% del año, la obra garantiza estadísticamente como mínimo, el pasaje de la embarcación el 90% del año, en cualquier año de un período de 10 años. La tabla 2.3.3 presenta los valores obtenidos.

**Tabla 2.3.3 Persistencias Anuales Ajustadas Estadísticamente
(Lecturas de las Reglas en Metros)**

Estación Limnimétrica de Yurimaguas

| % Año | Media | Desv. Est. | TR = 10 años | | TR = 50 años | |
|-------|-------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| | | | Año Seco | Año Humedo | Año Seco | Año Humedo |
| 5% | 128 | 1.88 | 125.53 | 130.36 | 124.07 | 131.81 |
| 10% | 128 | 1.64 | 126.05 | 130.25 | 124.79 | 131.52 |
| 25% | 129 | 1.05 | 127.95 | 130.61 | 127.15 | 131.41 |
| 50% | 131 | 0.34 | 130.19 | 131.05 | 129.93 | 131.31 |
| 75% | 132 | 0.99 | 130.52 | 133.05 | 129.76 | 133.81 |
| 95% | 132 | 1.94 | 129.99 | 134.96 | 128.49 | 136.46 |

Estación Limnimétrica de San Regis

| % Año | Media | Desv. Est. | TR = 10 años | | TR = 50 años | |
|-------|-------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
| | | | Año Seco | Año Humedo | Año Seco | Año Humedo |
| 5% | 3.34 | 1.02 | 2.02 | 4.65 | 1.24 | 5.43 |
| 10% | 3.89 | 1.01 | 2.59 | 5.18 | 1.81 | 5.96 |
| 25% | 5.19 | 0.92 | 4.01 | 6.38 | 3.30 | 7.09 |
| 50% | 7.43 | 0.76 | 6.46 | 8.40 | 5.88 | 8.98 |
| 75% | 9.26 | 0.72 | 8.34 | 10.18 | 7.79 | 10.74 |
| 95% | 10.51 | 0.90 | 9.36 | 11.66 | 8.66 | 12.36 |

Nota: Nivel Máximo en Yurimaguas, correspondiente a 99,72% del año (un día al año), con periodo de ocurrencia de 50 años: lectura de la regla=136,54m (cota msnmm=135,13)

2.3.2.- Conclusiones.

Para los estudios de navegabilidad del Río Huallaga fue adoptado el nivel de agua definido por el análisis estadístico de la serie de observaciones de los niveles entre el 01/01/97 y el 31/12/04 (8 años) en las estaciones de San Regis (Río Marañon) y Yurimaguas (Río Huallaga). Se adopta como criterio la persistencia anual del 10% del año, con un período de recurrencia de 10 años (las profundidades no alcanzarían el requisito del calado durante cerca de un mes cada 10 años).

2.4.- Características Hidráulicas del Río Huallaga.

2.4.1.- Datos Obtenidos de Estudios Anteriores.

Como se explico en el ítem 2.2.1 existen dos estudios anteriores del Río Huallaga que presentan datos de interés para los estudios de Navegabilidad, estos estudios fueron hechos para el Puerto de Yurimaguas, toda la información que ha sido recopilada de estos estudios nos ha servido para analizar parámetros hidráulicos tales como los caudales y niveles, los cuales nos han servido para calcular los valores extremos así como los valores medios, información que es de vital importancia para la navegabilidad del río Huallaga.

2.4.1.1.- Niveles.

El análisis de los niveles del río Huallaga y el comportamiento hidrológico han sido realizado en la sección 2.2.

2.4.1.2.- Caudales.

En el periodo de 31/11/85 a 13/10/86 fueron realizadas, en el río Huallaga y Parapapura, 12 mediciones de caudales por correntómetro por la **Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina del Perú**.

Las mediciones del río Huallaga se realizaron en la Sección 20-20H que se encuentra 1500m aguas arriba de la confluencia con el Parapapura, delante de la ciudad de Yurimaguas.

Las mediciones del río Parapapura se realizaron en Villa Naval a 2km de la confluencia. en las tablas 2.4.1, 2.4.2 y 2.4.3, la tabla 2.4.2 corresponde aproximadamente a los caudales abajo del río Parapapura, obtenidos por la suma de los caudales de los dos ríos en la misma fecha.

Tabla 2.4.1 Caudal Vs. Nivel del Río Huallaga (sección 20-20H)

| FECHA | COTA * (m) | CAUDALES (m ³ / s) |
|----------|---------------|----------------------------------|
| 31/12/85 | 130,38 | 2.810,8 |
| 03/01/86 | 131,40 | 3.721,8 |
| 07/01/86 | 129,86 | 1.650,2 |
| 11/01/86 | 130,19 | 2.274,4 |
| 01/08/86 | 127,21 | 908,5 |
| 04/08/86 | 127,42 | 830,1 |
| 07/08/86 | 127,51 | 929,7 |
| 11/08/86 | 127,53 | 907,9 |
| 26/09/86 | 129,38 | 1.541,4 |
| 02/10/86 | 131,72 | 3.319,2 |
| 07/10/86 | 130,71 | 3.387,6 |
| 13/10/86 | 129,98 | 2.307,8 |

Tabla 2.4.2 Caudal Vs. Nivel del Río Huallaga (con Parapapura)

| FECHA | COTA * (m) | CAUDALES (m ³ / s) |
|----------|---------------|----------------------------------|
| 31/12/85 | 130,38 | 2.877,9 |
| 03/01/86 | 131,40 | 3.803,3 |
| 07/01/86 | 129,86 | 1.686,5 |
| 11/01/86 | 130,19 | 2.309,0 |
| 01/08/86 | 127,21 | 966,7 |
| 04/08/86 | 127,42 | 889,5 |
| 07/08/86 | 127,51 | 988,7 |
| 11/08/86 | 127,53 | 967,8 |
| 26/09/86 | 129,38 | 1.932,3 |
| 02/10/86 | 131,72 | 3.515,3 |
| 07/10/86 | 130,71 | 3.568,1 |
| 13/10/86 | 129,98 | 2.549,2 |

Tabla 2.4.3 CAUDAL Vs. Nivel del Río Parapapura (Villa Naval)

| FECHA | COTA * (m) | CAUDALES (m ³ / s) |
|----------|---------------|----------------------------------|
| 31/12/85 | 129,86 | 67,1 |
| 03/01/86 | 130,82 | 81,5 |
| 07/01/86 | 129,25 | 36,3 |
| 11/01/86 | 129,62 | 34,6 |
| 31/07/86 | 127,80 | 58,2 |
| 04/08/86 | 127,99 | 59,4 |
| 08/08/86 | 123,01 | 59,0 |
| 11/08/86 | 127,73 | 59,9 |
| 26/09/86 | 129,38 | 390,9 |
| 02/10/86 | 131,17 | 196,1 |
| 07/10/86 | 130,34 | 180,5 |
| 13/10/86 | 129,62 | 241,4 |

NOTA : * Cotas corresponden a lecturas de la regla de Yurimaguas.

En 1995 en el proyecto de la Reubicación del Terminal Fluvial de Yurimaguas se han hecho algunas mediciones con flotadores en la misma sección por **CESEL S.A.** Los resultados obtenidos fueron concordantes con las mediciones con correntómetro hechas por la DHN de la **MARINA DE PERU.**

Las Figuras 24.1, 2.4.2 y 2.4.3 presentan las curvas de caudal – nivel de agua para el río Huallaga en la región de Yurimaguas, arriba y abajo del río Paranapura.

Figura 2.4.1
Curva de Calibración Caudal – Nivel de Agua
Río Huallaga (Sección 20H)

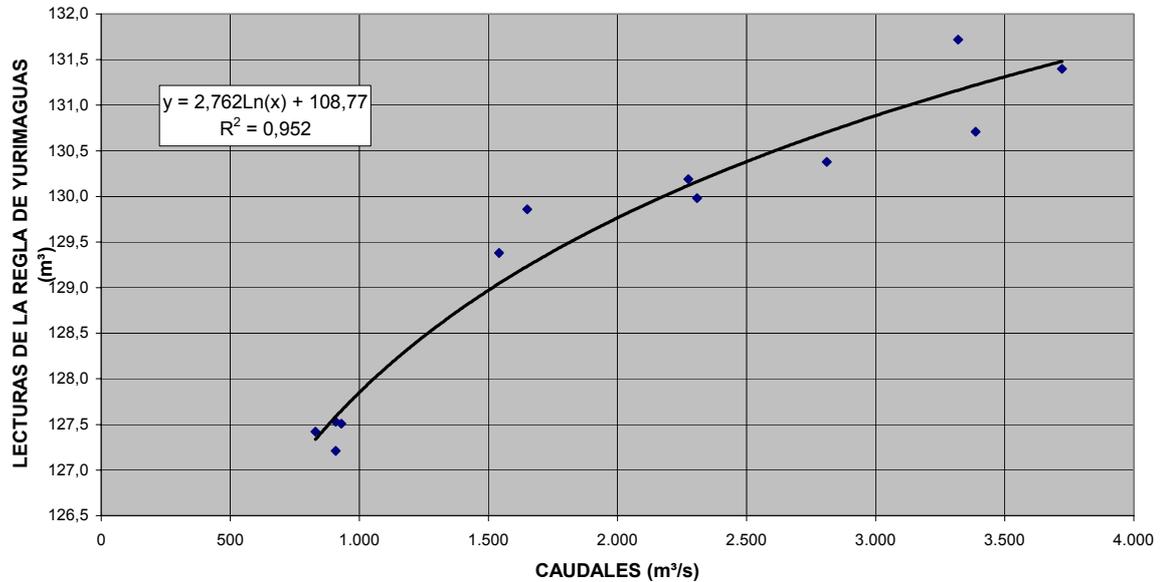


Figura 2.4.2
Curva de Calibración Caudal – Nivel de Agua
Río Huallaga (Con Paranapura)

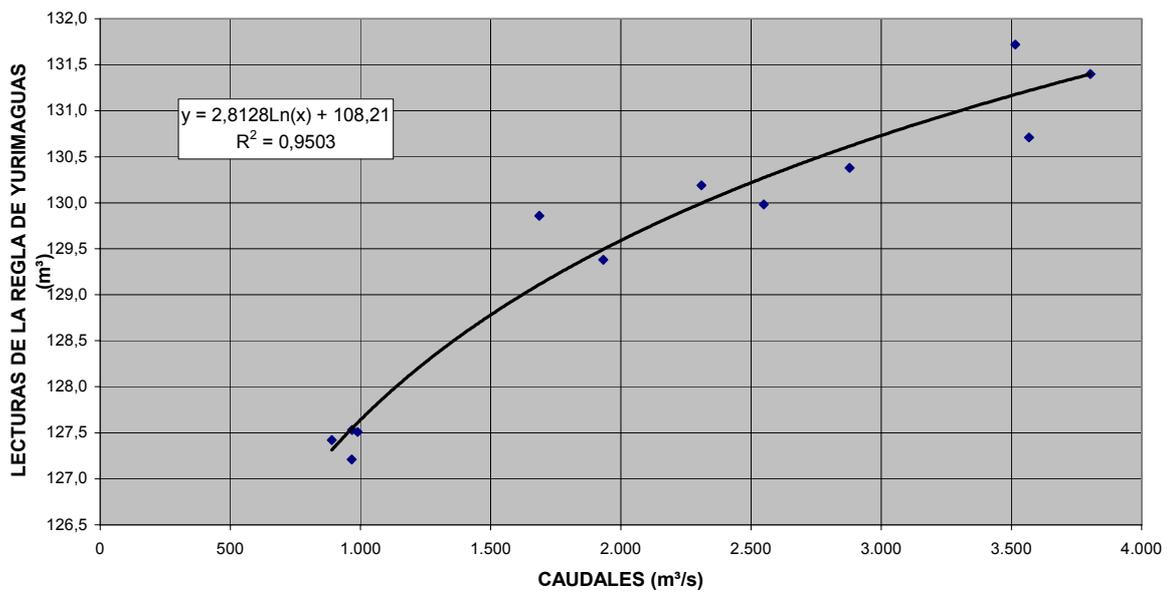
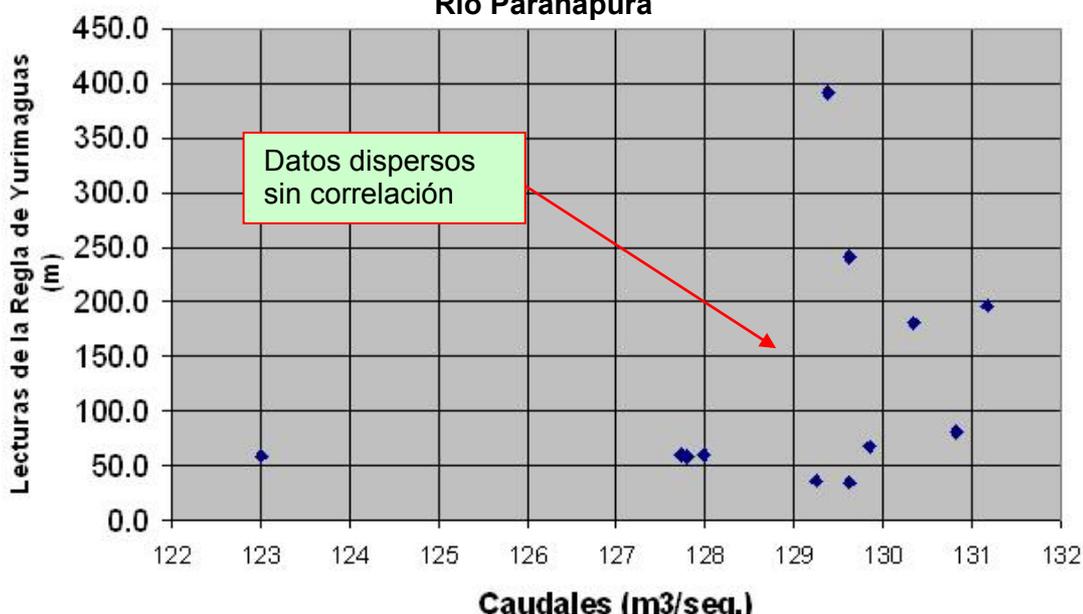


Figura 2.4.3
Curva de Calibración Caudal – Nivel de Agua
Río Paranapura



Hay que tener en cuenta que no fue posible hacer una curva de caudal – nivel para el río Paranapura porque la estación Villa Naval se encuentra en la zona de influencia del río Huallaga y por lo tanto los niveles del río son fijados por el Huallaga y no por los caudales propios del Paranapura.

2.4.2.- Mediciones Realizadas.

2.4.2.1.- Mediciones de Corrientes Superficiales.

Se hicieron mediciones de corrientes en los lugares previamente escogidos, en donde sea de suma importancia conocer la dirección y velocidad de las corrientes, para así poder determinar las zonas que sean dificultosas para la navegación. Estos lugares son los malos pasos. Por lo tanto las mediciones de corrientes se hicieron en estos lugares, en total se identificaron 07 malos pasos, en cada uno de estos lugares se midieron las corrientes, para esto se hizo uso de una boya lastrada (ver figura) la cual se fue posicionando con el sistema DGPS cada cierto intervalos de tiempo, esta información se recopiló para su posterior procesamiento.

Cada corrida tiene como mínimo una longitud de 2000 m., llegando hasta los 5000 m., las corridas se distanciaron una de otras según las características de cada zona, se ejecutaron mínimo 4 corridas por cada mal paso, en algunos lugares se hicieron mas corridas. Los lugares en donde se midieron las corrientes superficiales son las siguientes:

- Mal Paso 01 (Paranapura): Rango de velocidades 1.0 - 1.8 m/seg.
- Mal Paso 02 (Providencia): Rango de velocidades 1.1 - 1.8 m/seg.
- Mal Paso 03 (Metrópolis): Rango de velocidades 0.8 - 1.8 m/seg.
- Mal Paso 04 (Oro mina): Rango de velocidades 1.0 - 1.7 m/seg.

- Mal Paso 05 (Santa María): Rango de velocidades 0.7 - 1.7 m/seg.
- Mal Paso 06 (Progreso): Rango de velocidades 1.0 - 1.7 m/seg.
- Mal Paso 07 (Santa Cruz): Rango de velocidades 0.2 – 2.0 m/seg.

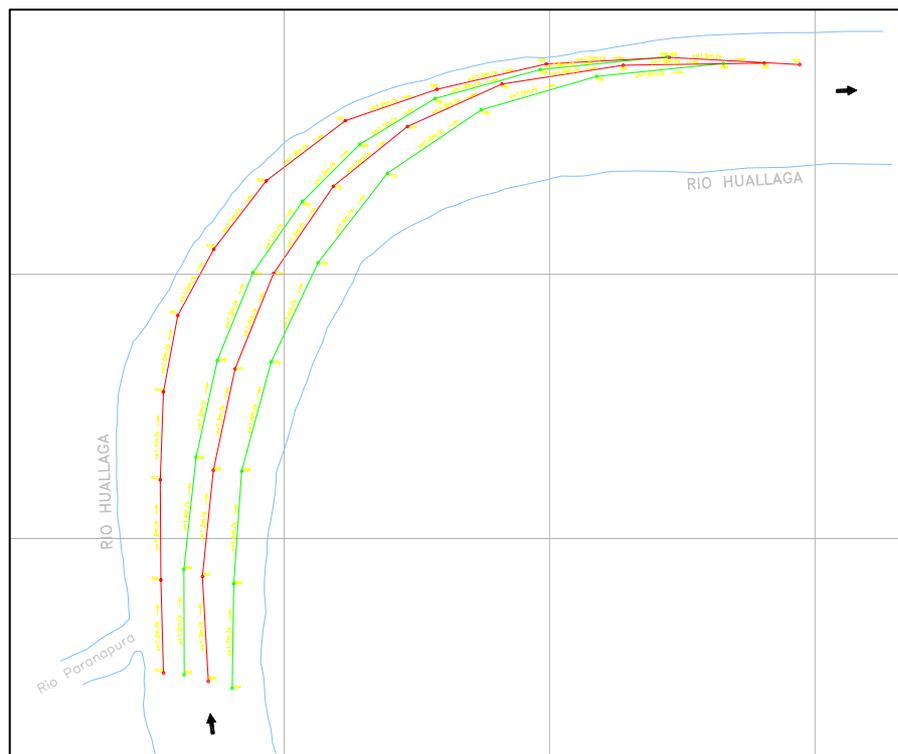


Figura 2.4.4: Medición de Corrientes Superficiales con flotadores

En el "VOLUMEN IX: PLANOS" , se pueden apreciar los resultados obtenidos en las mediciones de campo.

2.4.2.2- Aforos.

En los trabajos de campo fueron instaladas 3 secciones de aforos de carácter permanente, con el objetivo de obtención de series históricas de caudales, en Lagunas, Progreso y Yurimaguas.

De estas 3 estaciones, solo Yurimaguas tiene una serie histórica de niveles de agua, las estaciones limnimétricas de Lagunas y Progreso, cerca de las otras dos estaciones de aforos, fueron también instaladas en este trabajo.

Se debe tener en cuenta que en un río de mucha movilidad de fondo, como es el Río Huallaga, la selección de secciones de control de aforos es una tarea muy difícil, debido a la gran variación de las secciones transversales en el tiempo y por la dificultad de seleccionar secciones donde no haya rebosamientos en las riberas y que el flujo total se quede concentrado en la sección en todos los niveles de agua.

El equipo de campo tuvo dificultades en la localización de las secciones, en especial en el tramo del Km. 0 al Km. 150 (Villa Progreso).

La Estación de Lagunas fue instalada cerca de las reglas limnimétricas un poco abajo de la curva del puerto actual, donde no debe haber grandes rebosamientos hasta lecturas de cerca de 9,00 m en las reglas. Arriba de este valor del nivel de agua, la curva nivel - caudal deberá tener una inflexión para abajo debido a los rebosamientos.

La Estación de Progreso fue instalada cerca de 2 a 3 Km. arriba de las reglas, en un tramo mas recto del río, donde todo el caudal parece concentrarse en una sección única. La ribera izquierda es mas elevada, no se debe esperar rebosamientos hasta lecturas del orden de 12 m en la regla. La ribera derecha es mas baja con rebosamientos para las lecturas de regla de cerca de 10 m. Por lo tanto es de esperar una inflación en la curva de aforos en esta estación para lecturas del orden de 10,5 m

La Estación de Yurimaguas, fue la mejor localizada, arriba de la desembocadura del río Parapapura, cerca de la ciudad, y poco arriba del puerto flotante de ENAPU. En este local el río es muy encajado. La ribera izquierda es muy elevada no permitiendo el rebosamiento de las aguas. La ribera derecha es un poco mas baja, pero los rebosamientos serán pequeños, solamente en aguas muy altas.

Durante los trabajos de campo fue hecha una medición de aforo en cada una de estas 3 estaciones (ver FIGURA 2.4.5). Como las variaciones de nivel durante los trabajos de campo fueron pequeñas, se opto por aguardar una variación mayor del nivel de agua para la realización de la segunda campaña de mediciones de caudales.



Figura 2.4.5: Aforo con Correntómetro

Las mediciones hechas no permiten aún la elaboración de curvas de nivel- caudal, que necesitan de diversos pares de lecturas de reglas y respectivos aforos.

Las determinaciones de los caudales del río Huallaga fueron hechas, de acuerdo con las especificaciones técnicas, por aforos con correntómetro, en 3 estaciones de aforos instaladas por nuestro Consorcio en las proximidades de las estaciones limnimétricas de Yurimaguas (Km. 220), Progreso (Km. 152) y Lagunas (Km. 46.5) Estas secciones fueron definidas por especialistas en hidrometría, teniendo en cuenta la configuración del cauce, la estabilidad de riberas y las condiciones de flujo.

Para la determinación de los caudales fue adoptado el método de mediciones de las velocidades de la corriente líquida en múltiples puntos, siendo 2 (uno a 20% del tirante y otro a 80% del tirante) en cada una de las 18 a 21 verticales adoptadas en cada sección de medición, no pasando más del 10% del caudal entre dos verticales.

El correntómetro fue suspendido en la embarcación hidrográfica, la cual estaba anclada, manteniéndose estacionaria en relación con el cauce del río.

Las determinaciones de las distancias de la embarcación hidrográfica y, por lo tanto, de las verticales de medición a la orilla, fueron hechas con equipo DGPS de precisión sub-métrica.

Ubicaciones de las Estaciones de Aforos.

Las ubicaciones de las Estaciones de aforo del río Huallaga instaladas por el Consorcio son presentadas en las figuras 2.4.6, 2.4.7 y 2.4.8 siguientes:

Figura 2.4.6: Plano de Ubicación
Estación de Aforos “Yurimaguas”

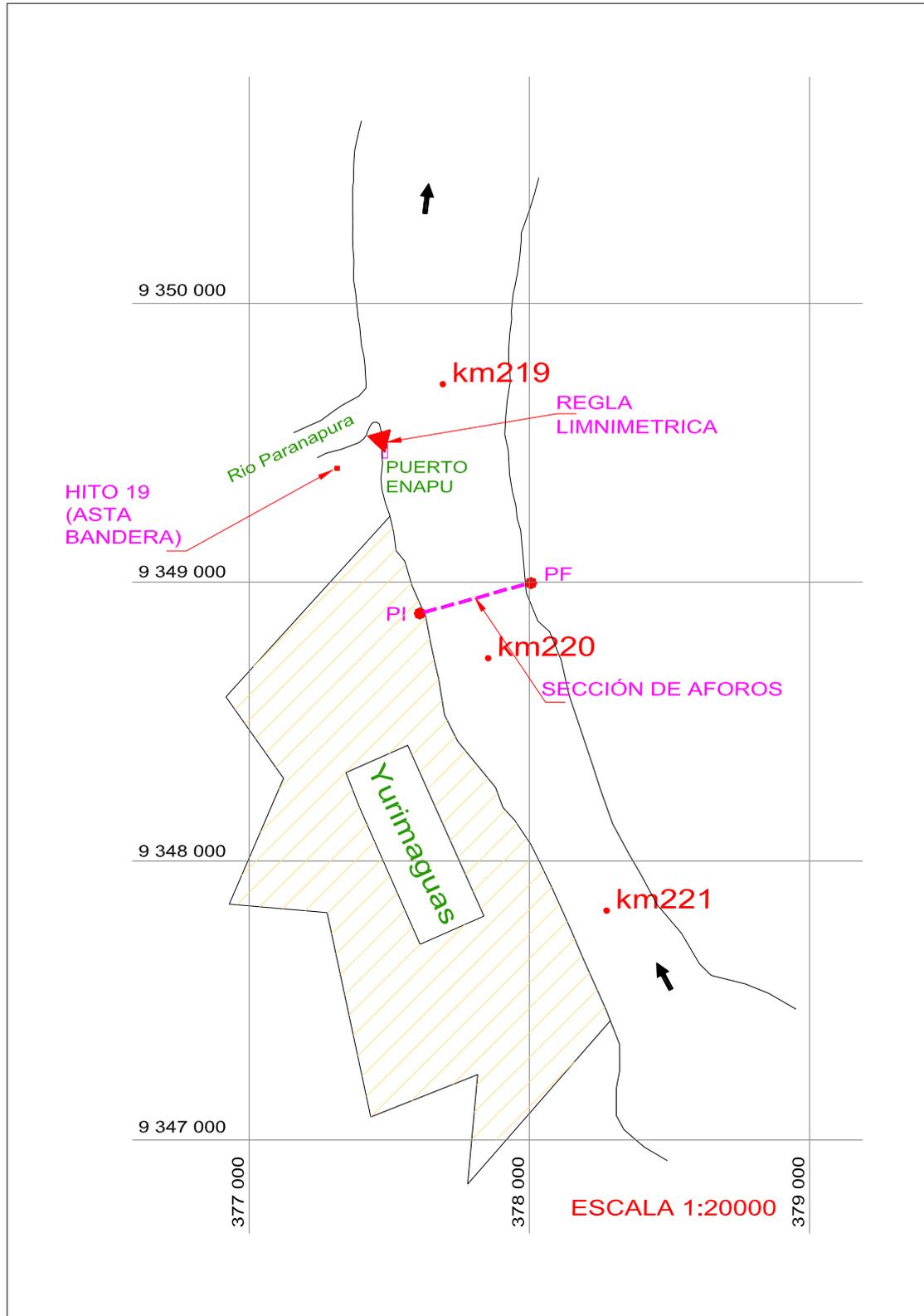


Figura 2.4.7: Plano de Ubicación
Estación de Aforos "Progreso"

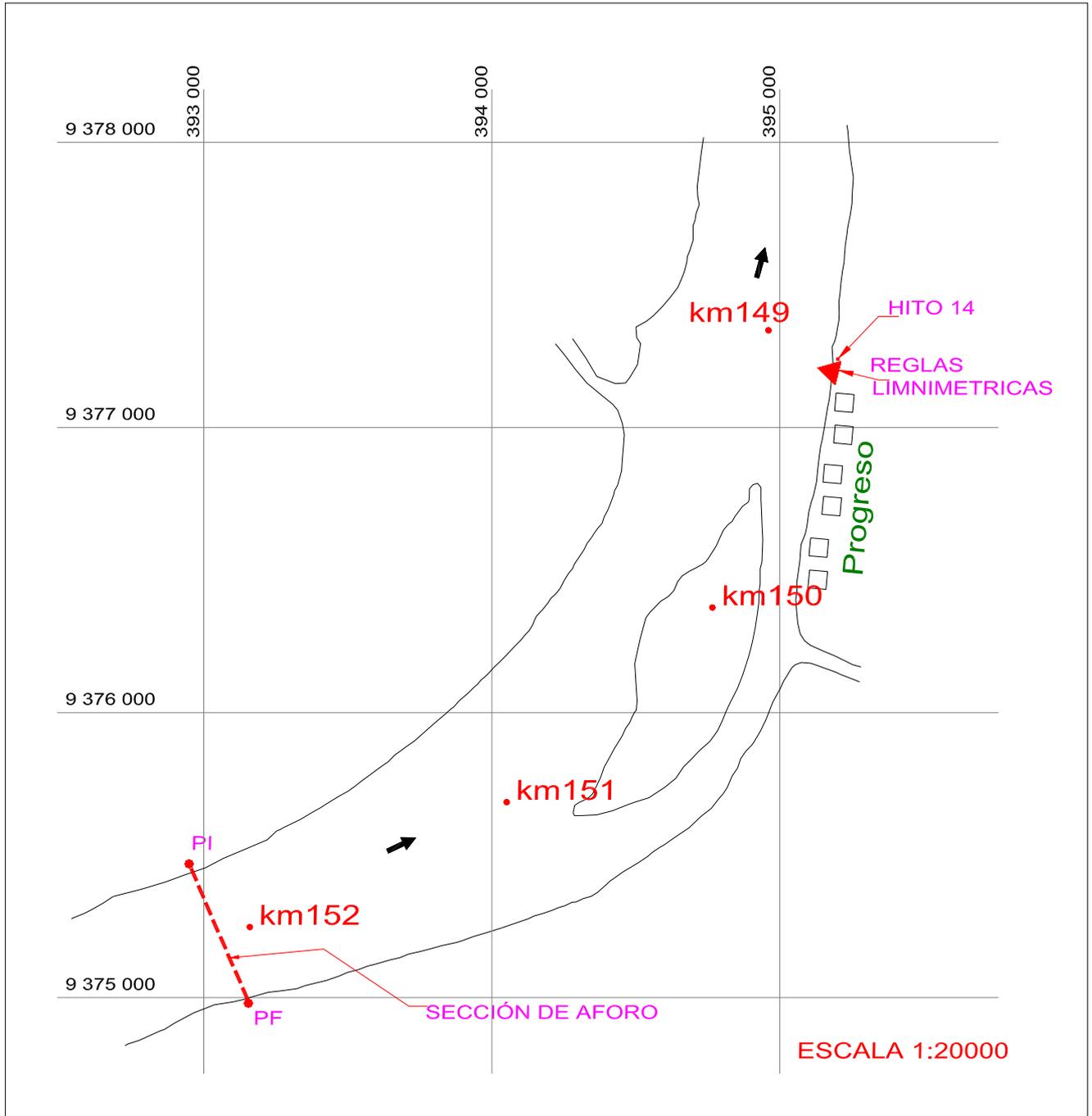
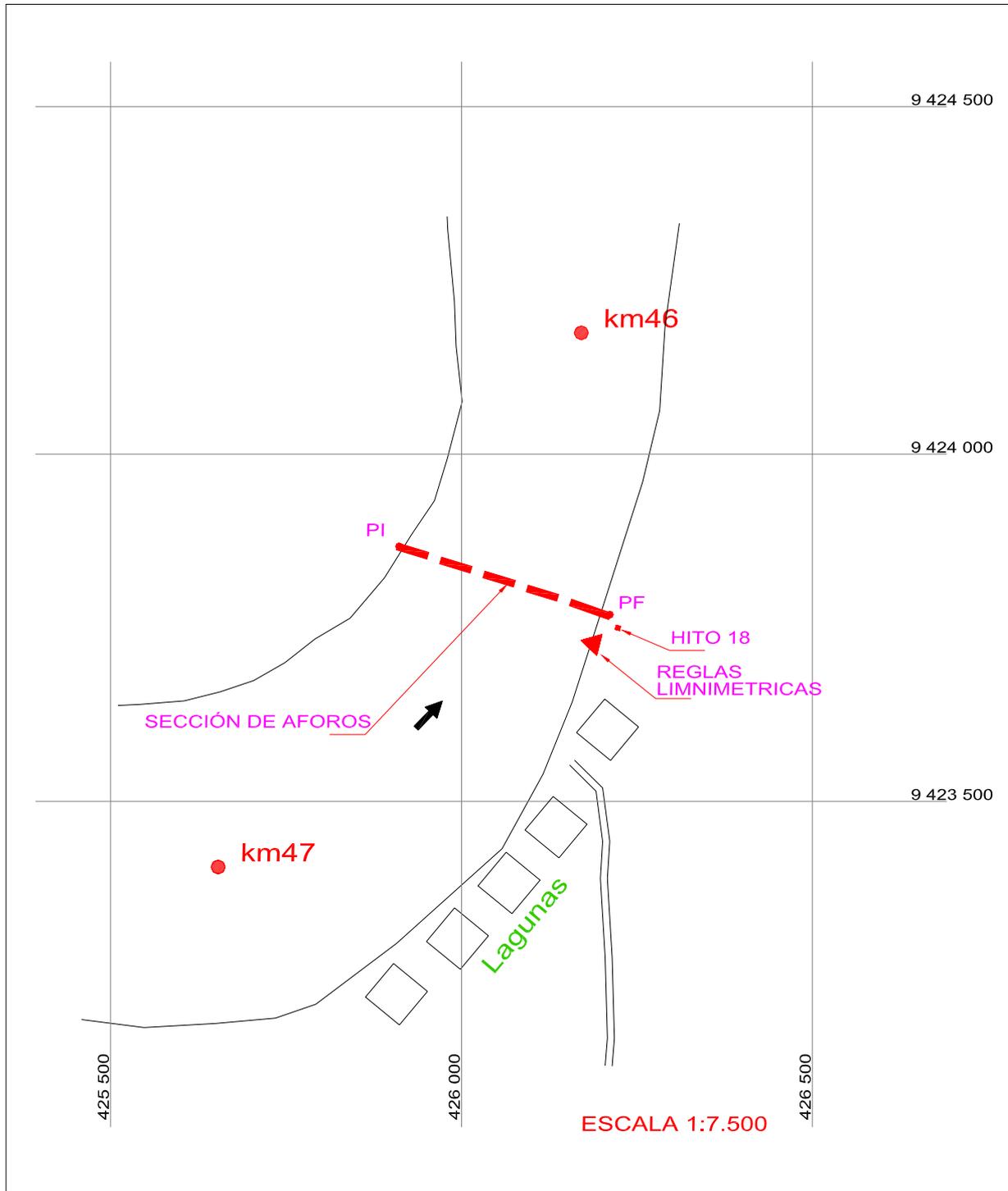


Figura 2.4.8: Plano de Ubicación
Estación de Aforos “Lagunas”



Resultados Obtenidos y Calculo de los Caudales.

Las tablas 2.4.4, 2.4.5, 2.4.6, 2.4.7, 2.4.8 y 2.4.9 siguientes presentan las mediciones de campo de las corrientes y el cálculo de los caudales, hechos por planilla electrónica.

**Figura 2.4.4: Aforo con Correntómetro
Estación de Yurimaguas (Diciembre 2004)**

| AFORO CON CORRENTOMETRO | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|-------------------------|-------------|----------------------|-------------------------|------------------|---------------------|-----------------|--------------|-------------|
| ECUACION CORRENTÓMETRO $v = 0,261x n/t + 0,007$ | | | | | | | medicion numero: | | 1 | |
| RÍO : | HUALLAGA | | HORA: | INICIO: | 08:56 (h:min) | FECHA: | | 10/12/04 | | |
| | | | | FIN: | 10:55 (h:min) | | | | | |
| ESTACIÓN | YURIMAGUAS | | COTA: | INICIO: | 130,90 (m) | Mario G. Almeida | | | | |
| | | | | FIN : | 130,89 (m) | Operador | | | | |
| PUNTO | DIST PI (m) | DIST INTERMED (m) | PROF (m) | PROF MÉDIA (m) | PROF MOLINETE (m) | N (rotac.) | VELOC (m/s) | Vmédia (m/s) | ÁREA (m2) | Q (m3/s) |
| IA = ME | 5,10 | | 1,50 | | | | | | | |
| | | 3,33 | | 2,52 | | | | 0,30 | 5,59 | 1,68 |
| 1 | 8,43 | | 3,54 | | 0,71 | 85 | 0,45 | | | |
| | | | | | 2,83 | 75 | 0,40 | | | |
| | | 22,57 | | 6,32 | | | | 0,71 | 142,64 | 101,52 |
| 2 | 31,00 | | 9,10 | | 1,82 | 195 | 1,02 | | | |
| | | | | | 7,28 | 185 | 0,97 | | | |
| | | 32,00 | | 9,05 | | | | 1,13 | 289,60 | 327,05 |
| 3 | 63,00 | | 9,00 | | 1,80 | 275 | 1,44 | | | |
| | | | | | 7,20 | 205 | 1,08 | | | |
| | | 24,48 | | 8,66 | | | | 1,27 | 211,87 | 269,68 |
| 4 | 87,48 | | 8,31 | | 1,66 | 275 | 1,44 | | | |
| | | | | | 6,65 | 215 | 1,13 | | | |
| | | 27,25 | | 8,20 | | | | 1,29 | 223,31 | 287,16 |
| 5 | 114,73 | | 8,08 | | 1,62 | 265 | 1,39 | | | |
| | | | | | 6,46 | 225 | 1,18 | | | |
| | | 43,86 | | 7,88 | | | | 1,23 | 345,62 | 426,39 |
| 6 | 158,59 | | 7,68 | | 1,54 | 245 | 1,29 | | | |
| | | | | | 6,14 | 205 | 1,08 | | | |
| | | 28,20 | | 7,82 | | | | 1,18 | 220,38 | 260,38 |
| 7 | 186,79 | | 7,95 | | 1,59 | 275 | 1,44 | | | |
| | | | | | 6,36 | 175 | 0,92 | | | |
| | | 34,37 | | 7,80 | | | | 1,18 | 268,09 | 316,74 |
| 8 | 221,16 | | 7,65 | | 1,53 | 265 | 1,39 | | | |
| | | | | | 6,12 | 185 | 0,97 | | | |
| | | 28,31 | | 7,63 | | | | 1,17 | 215,86 | 252,23 |
| 9 | 249,47 | | 7,60 | | 1,52 | 265 | 1,39 | | | |
| | | | | | 6,08 | 175 | 0,92 | | | |
| | | 25,25 | | 7,70 | | | | 1,14 | 194,43 | 222,10 |

| | | | | | | | | | | |
|----------------|--------|-------|------|------|------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 10 | 274,72 | | 7,80 | | 1,56 | 265 | 1,39 | | | |
| | | | | | 6,24 | 165 | 0,87 | | | |
| | | 25,28 | | 7,53 | | | | 1,16 | 190,36 | 219,94 |
| 11 | 300,00 | | 7,26 | | 1,45 | 255 | 1,34 | | | |
| | | | | | 5,81 | 195 | 1,02 | | | |
| | | 25,74 | | 6,93 | | | | 1,13 | 178,38 | 201,44 |
| 12 | 325,74 | | 6,60 | | 1,32 | 245 | 1,29 | | | |
| | | | | | 5,28 | 165 | 0,87 | | | |
| | | 28,79 | | 6,47 | | | | 1,10 | 186,27 | 205,49 |
| 13 | 354,53 | | 6,34 | | 1,27 | 245 | 1,29 | | | |
| | | | | | 5,07 | 185 | 0,97 | | | |
| | | 15,41 | | 7,16 | | | | 1,09 | 110,26 | 120,20 |
| 14 | 369,94 | | 7,97 | | 1,59 | 235 | 1,23 | | | |
| | | | | | 6,38 | 165 | 0,87 | | | |
| | | 15,27 | | 6,92 | | | | 0,99 | 105,59 | 104,09 |
| 15 | 385,21 | | 5,86 | | 1,17 | 215 | 1,13 | | | |
| | | | | | 4,69 | 135 | 0,71 | | | |
| | | 12,89 | | 5,36 | | | | 0,83 | 69,09 | 57,29 |
| 16 | 398,10 | | 4,86 | | 0,97 | 175 | 0,92 | | | |
| | | | | | 3,89 | 105 | 0,56 | | | |
| | | 6,31 | | 3,31 | | | | 0,59 | 20,85 | 12,39 |
| 17 | 404,41 | | 1,75 | | 0,35 | 105 | 0,56 | | | |
| | | | | | 1,40 | 65 | 0,35 | | | |
| | | 2,47 | | 1,18 | | | | 0,30 | 2,90 | 0,87 |
| FA=MD | 406,88 | | 0,60 | | | | | | | |
| RESUMEN | | | | | | Hmédio | Ancho | Vmédia | Área | Caudal |
| | | | | | | 7,42 | 401,78 | 1,14 | 2.981,09 | 3.386,64 |

**Tabla 2.4.5: Aforo con Correntómetro
Estación de Progreso (Diciembre 2004)**

| AFORO CON CORRENTOMETRO | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------------|----------|----------------|-------------------|------------------|-------------|--------------|-----------|----------|
| ECUACION DEL CORRENTOMETRO $v = 0,261x n/t + 0,007$ | | | | | | medición numero: | | 1 | | |
| RIO : | HUALLAGA | HORA: | INICIO: | 09:25 (h:min) | FECHA: | | 08/12/04 | | | |
| | | | FIN: | 16:20 (h:min) | | | | | | |
| ESTACION | PROGRESO | COTA: | INICIO: | 8,14 (m) | Mario G. Almeida | | | | | |
| | | | FIN : | 8,06 (m) | Operador | | | | | |
| PUNTO | DIST PI (m) | DIST INTERMED (m) | PROF (m) | PROF MÉDIA (m) | PROF MOLINETE (m) | N (rotac.) | VELOC (m/s) | Vmédia (m/s) | ÁREA (m2) | Q (m3/s) |
| IA = ME | 4,12 | | 1,50 | | | | | | | |
| | | 12,91 | | 3,49 | | | | 0,47 | 29,99 | 14,23 |
| 1 | 17,03 | | 5,47 | | 1,09 | 135 | 0,71 | | | |
| | | | | | 4,38 | 115 | 0,61 | | | |
| | | 21,44 | | 6,72 | | | | 0,71 | 144,08 | 102,54 |
| 2 | 38,47 | | 7,97 | | 1,59 | 175 | 0,92 | | | |
| | | | | | 6,38 | 115 | 0,61 | | | |
| | | 19,71 | | 8,13 | | | | 0,84 | 160,24 | 134,96 |
| 3 | 58,18 | | 8,29 | | 1,66 | 205 | 1,08 | | | |
| | | | | | 6,63 | 145 | 0,76 | | | |
| | | 20,41 | | 8,13 | | | | 0,95 | 165,93 | 157,07 |
| 4 | 78,59 | | 7,97 | | 1,59 | 215 | 1,13 | | | |
| | | | | | 6,38 | 155 | 0,82 | | | |
| | | 31,90 | | 7,83 | | | | 1,00 | 249,62 | 249,32 |
| 5 | 110,49 | | 7,68 | | 1,54 | 225 | 1,18 | | | |
| | | | | | 6,14 | 165 | 0,87 | | | |
| | | 21,00 | | 7,60 | | | | 1,05 | 159,60 | 167,74 |
| 6 | 131,49 | | 7,52 | | 1,50 | 235 | 1,23 | | | |
| | | | | | 6,02 | 175 | 0,92 | | | |
| | | 30,68 | | 7,41 | | | | 1,05 | 227,19 | 238,77 |
| 7 | 162,17 | | 7,29 | | 1,46 | 215 | 1,13 | | | |
| | | | | | 5,83 | 175 | 0,92 | | | |
| | | 38,79 | | 7,44 | | | | 1,09 | 288,40 | 314,40 |
| 8 | 200,96 | | 7,58 | | 1,52 | 245 | 1,29 | | | |
| | | | | | 6,06 | 195 | 1,02 | | | |
| | | 37,89 | | 7,89 | | | | 1,14 | 298,95 | 341,51 |
| 9 | 238,85 | | 8,20 | | 1,64 | 255 | 1,34 | | | |
| | | | | | 6,56 | 175 | 0,92 | | | |
| | | 39,15 | | 7,96 | | | | 1,19 | 311,44 | 372,03 |
| 10 | 278,00 | | 7,71 | | 1,54 | 265 | 1,39 | | | |
| | | | | | 6,17 | 215 | 1,13 | | | |
| | | 20,38 | | 7,74 | | | | 1,29 | 157,64 | 202,71 |
| 11 | 298,38 | | 7,76 | | 1,55 | 275 | 1,44 | | | |
| | | | | | 6,21 | 225 | 1,18 | | | |
| | | 40,63 | | 7,67 | | | | 1,31 | 311,63 | 408,86 |
| 12 | 339,01 | | 7,58 | | 1,52 | 285 | 1,49 | | | |
| | | | | | 6,06 | 215 | 1,13 | | | |
| | | 38,04 | | 7,52 | | | | 1,25 | 285,87 | 356,41 |
| 13 | 377,05 | | 7,45 | | 1,49 | 245 | 1,29 | | | |
| | | | | | 5,96 | 205 | 1,08 | | | |
| | | 24,42 | | 7,48 | | | | 1,30 | 182,54 | 237,11 |
| 14 | 401,47 | | 7,50 | | 1,50 | 305 | 1,60 | | | |
| | | | | | 6,00 | 235 | 1,23 | | | |
| | | 29,55 | | 7,58 | | | | 1,39 | 223,99 | 311,41 |

| | | | | | | | | | | |
|----------------|--------|-------|------|------|------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 15 | 431,02 | | 7,66 | | 1,53 | 265 | 1,39 | | | |
| | | | | | 6,13 | 255 | 1,34 | | | |
| | | 19,37 | | 7,56 | | | | 1,22 | 146,34 | 178,63 |
| 16 | 450,39 | | 7,45 | | 1,49 | 235 | 1,23 | | | |
| | | | | | 5,96 | 175 | 0,92 | | | |
| | | 22,32 | | 7,28 | | | | 1,06 | 162,38 | 172,78 |
| 17 | 472,71 | | 7,10 | | 1,42 | 225 | 1,18 | | | |
| | | | | | 5,68 | 175 | 0,92 | | | |
| | | 21,79 | | 6,95 | | | | 1,04 | 151,33 | 157,07 |
| 18 | 494,50 | | 6,79 | | 1,36 | 195 | 1,02 | | | |
| | | | | | 5,43 | 195 | 1,02 | | | |
| | | 4,35 | | 6,66 | | | | 0,96 | 28,95 | 27,78 |
| 19 | 498,85 | | 6,52 | | 1,30 | 195 | 1,02 | | | |
| | | | | | 5,22 | 145 | 0,76 | | | |
| | | 14,56 | | 6,23 | | | | 0,79 | 90,71 | 71,66 |
| 20 | 513,41 | | 5,94 | | 1,19 | 135 | 0,71 | | | |
| | | | | | 4,75 | 125 | 0,66 | | | |
| | | 7,22 | | 4,05 | | | | 0,54 | 29,20 | 15,83 |
| 21 | 520,63 | | 2,15 | | 0,43 | 75 | 0,40 | | | |
| | | | | | 1,72 | 75 | 0,40 | | | |
| | | 0,92 | | 1,38 | | | | 0,27 | 1,26 | 0,34 |
| FA=MD | 521,55 | | 0,60 | | | | | | | |
| RESUMEN | | | | | | Hmédio | Ancho | Vmédia | Área | Caudal |
| | | | | | | 7,36 | 517,43 | 1,11 | 3.807,28 | 4.233,16 |

**Tabla 2.4.6: Aforo con Correntómetro
Estación de Lagunas (Diciembre 2004)**

| AFORO CON CORRENTOMETRO | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------|----------------------|-------------------------|------------------|------------------|-----------------|--------------|-------------|
| ECUACION DEL CORRENTOMETRO | | v= 0,261x n/t + 0,007 | | | | | medición numero: | | 1 | |
| RÍO : HUALLAGA | | HORA: | INICIO: | 12:19 | (h:min) | FECHA: | | 04/12/04 | | |
| | | | FIN: | 15:10 | (h:min) | | | | | |
| ESTACION | LAGUNAS | COTA: | INICIO: | 8,12 | (m) | Mário G. Almeida | | | | |
| | | | FIN : | 8,12 | (m) | Operador | | | | |
| PUNTO | DIST PI (m) | DIST INTERMED (m) | PROF (m) | PROF MÉDIA (m) | PROF MOLINETE (m) | N (rotac.) | VELOC (m/s) | Vmédia (m/s) | ÁREA (m2) | Q (m3/s) |
| IA = ME | 0,00 | | 1,00 | | | | | | | |
| | | 16,83 | | 2,13 | | | | 0,72 | 23,84 | 17,12 |
| 1 | 16,83 | | 3,25 | | 0,65 | 205 | 1,08 | | | |
| | | | | | 2,60 | 145 | 0,76 | | | |
| | | 16,61 | | 3,45 | | | | 1,01 | 57,22 | 57,90 |
| 2 | 33,44 | | 3,64 | | 0,73 | 255 | 1,34 | | | |
| | | | | | 2,91 | 165 | 0,87 | | | |
| | | 16,91 | | 3,90 | | | | 1,14 | 65,95 | 75,34 |
| 3 | 50,35 | | 4,16 | | 0,83 | 245 | 1,29 | | | |
| | | | | | 3,33 | 205 | 1,08 | | | |
| | | 16,31 | | 4,61 | | | | 1,27 | 75,19 | 95,70 |
| 4 | 66,66 | | 5,06 | | 1,01 | 275 | 1,44 | | | |
| | | | | | 4,05 | 245 | 1,29 | | | |
| | | 16,01 | | 5,43 | | | | 1,34 | 86,93 | 116,33 |
| 5 | 82,67 | | 5,80 | | 1,16 | 255 | 1,34 | | | |
| | | | | | 4,64 | 245 | 1,29 | | | |
| | | 16,76 | | 7,26 | | | | 1,47 | 121,59 | 178,57 |
| 6 | 99,43 | | 8,71 | | 1,74 | 315 | 1,65 | | | |
| | | | | | 6,97 | 305 | 1,60 | | | |
| | | 15,85 | | 9,46 | | | | 1,63 | 149,86 | 243,56 |
| 7 | 115,28 | | 10,20 | | 2,04 | 325 | 1,70 | | | |
| | | | | | 8,16 | 295 | 1,55 | | | |
| | | 16,92 | | 10,51 | | | | 1,63 | 177,83 | 289,01 |
| 8 | 132,20 | | 10,82 | | 2,16 | 325 | 1,70 | | | |
| | | | | | 8,66 | 295 | 1,55 | | | |
| | | 16,91 | | 11,26 | | | | 1,64 | 190,41 | 311,93 |
| 9 | 149,11 | | 11,70 | | 2,34 | 335 | 1,76 | | | |
| | | | | | 9,36 | 295 | 1,55 | | | |
| | | 16,16 | | 11,84 | | | | 1,61 | 191,25 | 308,33 |
| 10 | 165,27 | | 11,97 | | 2,39 | 315 | 1,65 | | | |
| | | | | | 9,58 | 285 | 1,49 | | | |
| | | 16,61 | | 11,77 | | | | 1,63 | 195,50 | 317,73 |
| 11 | 181,88 | | 11,57 | | 2,31 | 325 | 1,70 | | | |
| | | | | | 9,26 | 315 | 1,65 | | | |
| | | 16,91 | | 12,40 | | | | 1,73 | 209,60 | 362,52 |
| 12 | 198,79 | | 13,22 | | 2,64 | 355 | 1,86 | | | |

| | | | | | | | | | | |
|----------------|--------|-------|-------|-------|-------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| | | | | | 10,58 | 325 | 1,70 | | | |
| | | 16,47 | | 13,69 | | | | 1,76 | 225,47 | 395,87 |
| 13 | 215,26 | | 14,16 | | 2,83 | 385 | 2,02 | | | |
| | | | | | 11,33 | 275 | 1,44 | | | |
| | | 15,85 | | 16,08 | | | | 1,69 | 254,87 | 430,84 |
| 14 | 231,11 | | 18,00 | | 3,60 | 365 | 1,91 | | | |
| | | | | | 14,40 | 265 | 1,39 | | | |
| | | 16,61 | | 20,00 | | | | 1,73 | 332,20 | 574,57 |
| 15 | 247,72 | | 22,00 | | 4,40 | 385 | 2,02 | | | |
| | | | | | 17,60 | 305 | 1,60 | | | |
| | | 16,91 | | 23,40 | | | | 1,90 | 395,69 | 751,52 |
| 16 | 264,63 | | 24,80 | | 4,96 | 405 | 2,12 | | | |
| | | | | | 19,84 | 355 | 1,86 | | | |
| | | 16,76 | | 17,00 | | | | 1,76 | 284,84 | 500,09 |
| 17 | 281,39 | | 9,19 | | 1,84 | 295 | 1,55 | | | |
| | | | | | 7,35 | 285 | 1,49 | | | |
| | | 16,46 | | 8,49 | | | | 1,23 | 139,66 | 172,30 |
| 18 | 297,85 | | 7,78 | | 1,56 | 205 | 1,08 | | | |
| | | | | | 6,22 | 155 | 0,82 | | | |
| | | 6,05 | | 5,49 | | | | 0,63 | 33,21 | 20,96 |
| FA=MD | 303,90 | | 3,20 | | | | | | | |
| RESUMEN | | | | | | Hmedio | Ancho | Vmedia | Área | Caudal |
| | | | | | | 10,66 | 303,90 | 1,61 | 3.238,63 | 5.220,19 |

Figura 2.4.7: Aforo con Correntómetro
Estación de Yurimaguas (Marzo 2005)

| AFORO CON CORRENTOMETRO | | | | | | | | | | |
|---|-------------------|-----------------------------|-------------|----------------------|-----------------------------|---------------|----------------|---------------------|---------------------------|--------------------------|
| EQUACION CORRENTÓMETRO $v = 0,261x n/t + 0,007$ | | | | | | | | medición numero: | 2 | |
| RÍO : | HUALLAGA | HORA: | INICIO: | 12:11 (h:min) | FECHA: 11/03/05 | | | | | |
| | | | FIN: | 16:12 (h:min) | | | | | | |
| ESTACIÓN | YURIMAGUAS | COTA: | INICIO: | 131,57 (m) | Mario G. Almeida | | | | | |
| | | | FIN : | 131,58 (m) | Operador | | | | | |
| PUNTO | DIST PI (m) | DIST INTERME D (m) | PROF (m) | PROF MÉDIA (m) | PROF MOLINET E (m) | N (rotac.) | VELOC (m/s) | Vmédia (m/s) | ÁREA (m ²) | Q (m ³ /s) |
| IA = ME | 4,03 | | 1,50 | | | | | | | |
| | | 6,11 | | 2,81 | | | | 0,34 | 11,43 | 3,83 |
| 1 | 10,14 | | 4,11 | | 0,82 | 95 | 0,50 | | | |
| | | | | | 3,29 | 85 | 0,45 | | | |
| | | 17,98 | | 6,77 | | | | 0,80 | 121,63 | 96,89 |
| 2 | 28,12 | | 9,42 | | 1,88 | 215 | 1,13 | | | |
| | | | | | 7,54 | 210 | 1,10 | | | |
| | | 22,36 | | 9,41 | | | | 1,31 | 210,30 | 274,54 |
| 3 | 50,48 | | 9,39 | | 1,88 | 305 | 1,60 | | | |
| | | | | | 7,51 | 265 | 1,39 | | | |
| | | 29,73 | | 9,17 | | | | 1,51 | 272,62 | 411,05 |
| 4 | 80,21 | | 8,95 | | 1,79 | 310 | 1,63 | | | |
| | | | | | 7,16 | 270 | 1,42 | | | |
| | | 32,60 | | 8,93 | | | | 1,51 | 291,12 | 438,93 |
| 5 | 112,8 1 | | 8,91 | | 1,78 | 300 | 1,57 | | | |
| | | | | | 7,13 | 270 | 1,42 | | | |
| | | 33,31 | | 8,60 | | | | 1,44 | 286,30 | 412,99 |
| 6 | 146,1 2 | | 8,28 | | 1,66 | 285 | 1,49 | | | |
| | | | | | 6,62 | 245 | 1,29 | | | |
| | | 31,06 | | 8,92 | | | | 1,40 | 277,06 | 387,00 |
| 7 | 177,1 8 | | 9,56 | | 1,91 | 290 | 1,52 | | | |
| | | | | | 7,65 | 245 | 1,29 | | | |
| | | 34,38 | | 8,90 | | | | 1,37 | 305,81 | 419,18 |
| 8 | 211,5 6 | | 8,23 | | 1,65 | 285 | 1,49 | | | |
| | | | | | 6,58 | 225 | 1,18 | | | |
| | | 28,70 | | 8,29 | | | | 1,38 | 237,78 | 327,48 |
| 9 | 240,2 6 | | 8,34 | | 1,67 | 295 | 1,55 | | | |
| | | | | | 6,67 | 245 | 1,29 | | | |
| | | 27,22 | | 8,40 | | | | 1,40 | 228,51 | 320,68 |
| 10 | 267,4 8 | | 8,45 | | 1,69 | 290 | 1,52 | | | |
| | | | | | 6,76 | 240 | 1,26 | | | |

| | | | | | | | | | | |
|----------------|------------|-------|------|------|------|---------------|--------------|---------------|-------------|---------------|
| | | 21,08 | | 7,92 | | | | 1,35 | 166,95 | 225,58 |
| 11 | 288,5 6 | | 7,39 | | 1,48 | 275 | 1,44 | | | |
| | | | | | 5,91 | 225 | 1,18 | | | |
| | | 20,18 | | 7,33 | | | | 1,31 | 147,92 | 194,07 |
| 12 | 308,7 4 | | 7,27 | | 1,45 | 280 | 1,47 | | | |
| | | | | | 5,82 | 220 | 1,16 | | | |
| | | 26,31 | | 7,07 | | | | 1,30 | 186,01 | 241,62 |
| 13 | 335,0 5 | | 6,87 | | 1,37 | 265 | 1,39 | | | |
| | | | | | 5,50 | 225 | 1,18 | | | |
| | | 32,65 | | 6,54 | | | | 1,26 | 213,53 | 269,01 |
| 14 | 367,7 0 | | 6,21 | | 1,24 | 255 | 1,34 | | | |
| | | | | | 4,97 | 215 | 1,13 | | | |
| | | 20,97 | | 6,04 | | | | 1,16 | 126,55 | 146,22 |
| 15 | 388,6 7 | | 5,86 | | 1,17 | 245 | 1,29 | | | |
| | | | | | 4,69 | 165 | 0,87 | | | |
| | | 9,43 | | 5,76 | | | | 0,99 | 54,27 | 53,50 |
| 16 | 398,1 0 | | 5,65 | | 1,13 | 205 | 1,08 | | | |
| | | | | | 4,52 | 135 | 0,71 | | | |
| | | 6,05 | | 4,65 | | | | 0,72 | 28,10 | 20,37 |
| 17 | 404,1 5 | | 3,64 | | 0,73 | 125 | 0,66 | | | |
| | | | | | 2,91 | 85 | 0,45 | | | |
| | | 3,05 | | 2,12 | | | | 0,37 | 6,47 | 2,39 |
| FA=MD | 407,2 0 | | 0,60 | | | | | | | |
| RESUMEN | | | | | | Hmédío | Ancho | Vmédía | Área | Caudal |
| | | | | | | 7,87 | 403,17 | 1,34 | 3.172,36 | 4.245,33 |

Figura 2.4.8: Aforo con Correntómetro
Estación de Progreso (Marzo 2005)

| AFORO CON CORRENTOMETRO | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|-------------------|----------|----------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|------------------|-----------|----------|
| ECUACION DEL CORRENTOMETRO | | | | | | $v = 0,261x \ n/t + 0,007$ | | medición numero: | | 2 |
| RIO : | HUALLAGA | HORA: | INICIO: | 08:55 (h:min) | FIN: | 11:47 (h:min) | FECHA: | 12/03/05 | | |
| ESTACION | PROGRESO | COTA: | INICIO: | 8,14 (m) | FIN : | 8,06 (m) | Mario G. Almeida Operador | | | |
| PUNTO | DIST PI (m) | DIST INTERMED (m) | PROF (m) | PROF MÉDIA (m) | PROF MOLINETE (m) | N (rotac.) | VELOC (m/s) | Vmédia (m/s) | ÁREA (m2) | Q (m3/s) |
| IA = ME | 2,24 | | 1,50 | | | | | | | |
| | | 11,97 | | 3,78 | | | | 0,51 | 30,12 | 15,34 |
| 1 | 14,21 | | 6,05 | | 1,21 | 145 | 0,76 | | | |
| | | | | | 4,84 | 125 | 0,66 | | | |
| | | 18,24 | | 6,80 | | | | 0,79 | 124,03 | 97,99 |
| 2 | 32,45 | | 7,55 | | 1,51 | 195 | 1,02 | | | |
| | | | | | 6,04 | 135 | 0,71 | | | |
| | | 27,63 | | 7,68 | | | | 0,95 | 212,20 | 200,87 |
| 3 | 60,08 | | 7,81 | | 1,56 | 225 | 1,18 | | | |
| | | | | | 6,25 | 165 | 0,87 | | | |
| | | 16,47 | | 7,91 | | | | 1,04 | 130,28 | 135,22 |
| 4 | 76,55 | | 8,01 | | 1,60 | 235 | 1,23 | | | |
| | | | | | 6,41 | 165 | 0,87 | | | |
| | | 26,99 | | 8,23 | | | | 1,09 | 221,99 | 242,01 |
| 5 | 103,54 | | 8,44 | | 1,69 | 245 | 1,29 | | | |
| | | | | | 6,75 | 185 | 0,97 | | | |
| | | 19,94 | | 8,22 | | | | 1,14 | 163,81 | 187,13 |
| 6 | 123,48 | | 7,99 | | 1,60 | 255 | 1,34 | | | |
| | | | | | 6,39 | 185 | 0,97 | | | |
| | | 52,28 | | 7,87 | | | | 1,14 | 411,44 | 470,01 |
| 7 | 175,76 | | 7,75 | | 1,55 | 235 | 1,23 | | | |
| | | | | | 6,20 | 195 | 1,02 | | | |
| | | 33,03 | | 7,94 | | | | 1,17 | 262,09 | 306,24 |
| 8 | 208,79 | | 8,12 | | 1,62 | 255 | 1,34 | | | |
| | | | | | 6,50 | 205 | 1,08 | | | |
| | | 36,81 | | 7,94 | | | | 1,23 | 292,27 | 358,67 |
| 9 | 245,60 | | 7,76 | | 1,55 | 270 | 1,42 | | | |
| | | | | | 6,21 | 205 | 1,08 | | | |
| | | 29,00 | | 7,83 | | | | 1,27 | 226,93 | 288,84 |
| 10 | 274,60 | | 7,89 | | 1,58 | 275 | 1,44 | | | |
| | | | | | 6,31 | 220 | 1,16 | | | |
| | | 25,40 | | 7,96 | | | | 1,34 | 202,06 | 271,69 |
| 11 | 300,00 | | 8,02 | | 1,60 | 295 | 1,55 | | | |
| | | | | | 6,42 | 235 | 1,23 | | | |
| | | 27,58 | | 7,42 | | | | 1,42 | 204,64 | 289,86 |
| 12 | 327,58 | | 6,82 | | 1,36 | 305 | 1,60 | | | |
| | | | | | 5,46 | 245 | 1,29 | | | |

| | | | | | | | | | | |
|----------------|--------|-------|------|------|------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| | | 42,54 | | 7,14 | | | | 1,34 | 303,52 | 406,14 |
| 13 | 370,12 | | 7,45 | | 1,49 | 255 | 1,34 | | | |
| | | | | | 5,96 | 215 | 1,13 | | | |
| | | 32,53 | | 7,66 | | | | 1,35 | 249,02 | 336,46 |
| 14 | 402,65 | | 7,86 | | 1,57 | 310 | 1,63 | | | |
| | | | | | 6,29 | 250 | 1,31 | | | |
| | | 33,38 | | 7,30 | | | | 1,42 | 243,67 | 346,73 |
| 15 | 436,03 | | 6,74 | | 1,35 | 270 | 1,42 | | | |
| | | | | | 5,39 | 255 | 1,34 | | | |
| | | 26,28 | | 6,86 | | | | 1,27 | 180,28 | 228,29 |
| 16 | 462,31 | | 6,98 | | 1,40 | 245 | 1,29 | | | |
| | | | | | 5,58 | 195 | 1,02 | | | |
| | | 24,32 | | 6,54 | | | | 1,16 | 158,93 | 183,63 |
| 17 | 486,63 | | 6,09 | | 1,22 | 245 | 1,29 | | | |
| | | | | | 4,87 | 195 | 1,02 | | | |
| | | 8,39 | | 6,62 | | | | 1,06 | 55,50 | 59,05 |
| 18 | 495,02 | | 7,14 | | 1,43 | 195 | 1,02 | | | |
| | | | | | 5,71 | 175 | 0,92 | | | |
| | | 10,44 | | 7,06 | | | | 0,93 | 73,71 | 68,81 |
| 19 | 505,46 | | 6,98 | | 1,40 | 185 | 0,97 | | | |
| | | | | | 5,58 | 155 | 0,82 | | | |
| | | 7,82 | | 5,91 | | | | 0,80 | 46,22 | 37,11 |
| 20 | 513,28 | | 4,84 | | 0,97 | 145 | 0,76 | | | |
| | | | | | 3,87 | 125 | 0,66 | | | |
| | | 8,87 | | 2,72 | | | | 0,47 | 24,13 | 11,45 |
| FA=MD | 522,15 | | 0,60 | | | | | | | |
| RESUMEN | | | | | | Hmédio | Ancho | Vmédia | Área | Caudal |
| | | | | | | 7,34 | 519,91 | 1,19 | 3816,84 | 4541,54 |

Figura 2.4.9: Aforo con Correntómetro
Estación de Lagunas (Marzo 2005)

| AFORO CON CORRENTOMETRO | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|--------------------------|----------|----------------|-------------------|------------------|-------------|--------------|-----------|----------|
| ECUACION DEL CORRENTOMETRO | | $v = 0,261x n/t + 0,007$ | | | | medición numero: | | 2 | | |
| RÍO : HUALLAGA | | HORA: | INICIO: | 10:19 (h:min) | FECHA: | | 11/03/05 | | | |
| | | | FIN: | 13:10 (h:min) | | | | | | |
| ESTACION | LAGUNAS | COTA: | INICIO: | (m) | Mário G. Almeida | | | | | |
| | | | FIN : | (m) | Operador | | | | | |
| PUNTO | DIST PI (m) | DIST INTERMED (m) | PROF (m) | PROF MÉDIA (m) | PROF MOLINETE (m) | N (rotac.) | VELOC (m/s) | Vmédia (m/s) | ÁREA (m2) | Q (m3/s) |
| IA = ME | 0,00 | | 0,70 | | | | | | | |
| | | 8,94 | | 2,01 | | | | 0,70 | 11,98 | 8,39 |
| 1 | 8,94 | | 3,32 | | 0,66 | 200 | 1,05 | | | |
| | | | | | 2,66 | 150 | 0,79 | | | |
| | | 16,20 | | 3,50 | | | | 1,04 | 56,70 | 58,85 |
| 2 | 25,14 | | 3,68 | | 0,74 | 265 | 1,39 | | | |
| | | | | | 2,94 | 175 | 0,92 | | | |
| | | 15,97 | | 3,89 | | | | 1,17 | 62,12 | 72,99 |
| 3 | 41,11 | | 4,10 | | 0,82 | 255 | 1,34 | | | |
| | | | | | 3,28 | 200 | 1,05 | | | |
| | | 19,16 | | 4,69 | | | | 1,27 | 89,86 | 113,79 |
| 4 | 60,27 | | 5,28 | | 1,06 | 265 | 1,39 | | | |
| | | | | | 4,22 | 245 | 1,29 | | | |
| | | 20,76 | | 5,63 | | | | 1,31 | 116,78 | 152,45 |
| 5 | 81,03 | | 5,97 | | 1,19 | 250 | 1,31 | | | |
| | | | | | 4,78 | 235 | 1,23 | | | |
| | | 16,10 | | 7,41 | | | | 1,46 | 119,22 | 174,31 |
| 6 | 97,13 | | 8,84 | | 1,77 | 325 | 1,70 | | | |
| | | | | | 7,07 | 305 | 1,60 | | | |
| | | 16,74 | | 9,05 | | | | 1,64 | 151,50 | 248,19 |
| 7 | 113,87 | | 9,26 | | 1,85 | 335 | 1,76 | | | |
| | | | | | 7,41 | 285 | 1,49 | | | |
| | | 19,28 | | 8,98 | | | | 1,64 | 173,13 | 283,64 |
| 8 | 133,15 | | 8,70 | | 1,74 | 345 | 1,81 | | | |
| | | | | | 6,96 | 285 | 1,49 | | | |
| | | 18,17 | | 10,40 | | | | 1,63 | 188,97 | 307,11 |
| 9 | 151,32 | | 12,10 | | 2,42 | 335 | 1,76 | | | |
| | | | | | 9,68 | 275 | 1,44 | | | |
| | | 20,69 | | 12,85 | | | | 1,60 | 265,87 | 425,15 |
| 10 | 172,01 | | 13,60 | | 2,72 | 325 | 1,70 | | | |
| | | | | | 10,88 | 285 | 1,49 | | | |
| | | 12,67 | | 13,63 | | | | 1,65 | 172,69 | 285,17 |
| 11 | 184,68 | | 13,66 | | 2,73 | 345 | 1,81 | | | |
| | | | | | 10,93 | 305 | 1,60 | | | |
| | | 14,55 | | 13,56 | | | | 1,73 | 197,23 | 341,12 |
| 12 | 199,23 | | 13,45 | | 2,69 | 355 | 1,86 | | | |
| | | | | | 10,76 | 315 | 1,65 | | | |

| | | | | | | | | | | |
|----------------|--------|-------|-------|-------|-------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| | | 15,59 | | 13,90 | | | | 1,74 | 216,62 | 377,50 |
| 13 | 214,82 | | 14,34 | | 2,87 | 395 | 2,07 | | | |
| | | | | | 11,47 | 265 | 1,39 | | | |
| | | 16,18 | | 16,28 | | | | 1,68 | 263,33 | 441,71 |
| 14 | 231,00 | | 18,21 | | 3,64 | 355 | 1,86 | | | |
| | | | | | 14,57 | 265 | 1,39 | | | |
| | | 17,02 | | 20,17 | | | | 1,73 | 343,29 | 593,76 |
| 15 | 248,02 | | 22,13 | | 4,43 | 375 | 1,96 | | | |
| | | | | | 17,70 | 325 | 1,70 | | | |
| | | 14,51 | | 22,92 | | | | 1,90 | 332,57 | 631,63 |
| 16 | 262,53 | | 23,71 | | 4,74 | 405 | 2,12 | | | |
| | | | | | 18,97 | 345 | 1,81 | | | |
| | | 14,95 | | 18,86 | | | | 1,70 | 281,88 | 480,19 |
| 17 | 277,48 | | 14,00 | | 2,80 | 285 | 1,49 | | | |
| | | | | | 11,20 | 265 | 1,39 | | | |
| | | 21,26 | | 11,03 | | | | 1,20 | 234,39 | 281,52 |
| 18 | 298,74 | | 8,05 | | 1,61 | 200 | 1,05 | | | |
| | | | | | 6,44 | 165 | 0,87 | | | |
| | | 8,62 | | 4,73 | | | | 0,64 | 40,73 | 26,06 |
| FA=MD | 307,36 | | 1,40 | | | | | | | |
| RESUMEN | | | | | | Hmedio | Ancho | Vmedia | Área | Caudal |
| | | | | | | 10,80 | 307,36 | 1,60 | 3318,86 | 5303,52 |

Resumen de los Caudales Medidos.

La tabla 2.4.10 presenta los resúmenes de los caudales medidos en diciembre de 2004.y la tabla 2.4.11 en marzo de 2005

**Tabla 2.4.10 Resumen de los Caudales Medidos
(Diciembre 2004)**

| Estación | Fecha | Lecturas de la Regla (m) | Área (m ²) | Velocidad Mediana (m/s) | Caudal (m ³ /s) |
|------------|----------|--------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| YURIMAGUAS | 10/12/04 | 129.48 | 2.981 | 1,14 | 3386.64 |
| PROGRESO | 08/12/04 | 123,64 | 3.807 | 1,11 | 4233.16 |
| LAGUNAS | 04/12/04 | 115.34 | 3.211 | 1,63 | 5220.19 |

**Tabla 2.4.11 Resumen de los Caudales Medidos
(Marzo 2005)**

| Estación | Fecha | Lecturas de la Regla (m) | Área (m ²) | Velocidad Mediana (m/s) | Caudal (m ³ /s) |
|------------|----------|--------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| YURIMAGUAS | 11/03/05 | 130.17 | 3.172 | 1,34 | 4245.33 |
| PROGRESO | 12/03/05 | 123.95 | 3.319 | 1,60 | 4541.54 |
| LAGUNAS | 12/03/05 | 115.03 | 3.817 | 1,19 | 5303.52 |

Conclusiones.

Debido a que los aforos se hicieron en fechas diferentes, para poder compararlos se tomo un solo nivel de referencia, tomando a progreso como base, como el primer aforo en Progreso se hizo el 08 dic. 2004 se procedió a calcular el caudal que tuvo la estación Yurimaguas el día 08 de Diciembre con la curva de calibración H-Q (ver Fig. 2.4.1):

$$Q(\text{Yurimaguas})_{08 \text{ dic}} = 3800 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Esto se hizo con el fin de comparar los caudales medidos pero tomando como referencia el nivel del mismo día. Entonces para el 08 de Diciembre:

$$Q_{\text{Yurimaguas}} - Q_{\text{Progreso}} = 433 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Como se puede apreciar este caudal tan solo representa el 11% del caudal de Yurimaguas, en el mes de Marzo también sucede algo similar y la variación es mucho menor, esto se debe a que no hay ningún afluente de importancia en este tramo, y el aporte de caudal se debe al área de drenaje. En el tramo Progreso – Lagunas sucede algo similar encontrándose variaciones menores al 10% en el caudal.

2.4.2.3.- Pendientes Hidráulicas.

Introducción.

Las pendientes hidráulicas del río Huallaga varían en sus diferentes tramos, con los caudales propios y con los niveles del río Marañon, la influencia del Marañon se da en los tramos inferiores, hasta cerca del Km. 100 , puesto que el nivel del río principal es un control hidráulico variable independiente en un régimen propio.

Estas variaciones de pendiente son reflejadas en las velocidades y, en consecuencia, en la conformación del lecho y las profundidades.

Para el conocimiento de las pendientes hidráulicas en el tramo de Yurimaguas y el desembocamiento del río, con extensión de 220 Km., solamente se tiene 4 puntos de determinación de las cotas msnm. en las estaciones limnimétrica de Yurimaguas, en el extremo superior del tramo (Km. 220), Oro Mina (Km. 189), Progreso (Km. 150) y Lagunas (Km. 47), los kilometrajes empiezan desde Boca Huallaga (confluencia con el Marañon) hacia aguas arriba. Entre Yurimaguas y Progreso las pendientes normalmente solo dependen de los caudales propios, de origen pluvial. Solo en situaciones ocasionales, con niveles muy altos del Marañon y niveles bajos en el Huallaga, lo que es poco probable, puesto que los regímenes de los dos ríos son similares, el control hidráulico tiene influencia. En el tramo de 47km aguas debajo de Lagunas, los niveles de agua y en consecuencia, las pendientes son controladas por el Marañon (ver Fig. N° 4.5.3)

Por el momento se dispone de pocos días de observaciones simultaneas en las 4 estaciones limnimétricas (Diciembre 2004 – Enero 2005). Solo en la continuación de los estudios, cuando fueren disponibles mas registro de niveles de agua, se podrá hacer un análisis mas detallado de las pendientes naturales.

Pendientes Observadas.

Con los pocos datos existentes en el momento es posible tener una primera información sobre el asunto. La tabla 2.4.12 y la figura 2.4.6 presenta las cotas msnm. de los niveles de agua diarios disponibles, en el periodo del 01/12/04 al 19/01/05, La tabla 2.2.13 y la figura 2.4.7 presentan las pendientes medias diarias resultantes, para el mismo periodo, en los 3 tramos Yurimaguas - Oro Mina, Oro Mina - Progreso y Progreso - Lagunas. Estas pendientes corresponden a una lectura media de 132m.en la regla de Yurimaguas y de 7,6m en la regla de San Regis que son igualadas o sobrepasadas en 20% y 50% del año mediano, respectivamente.

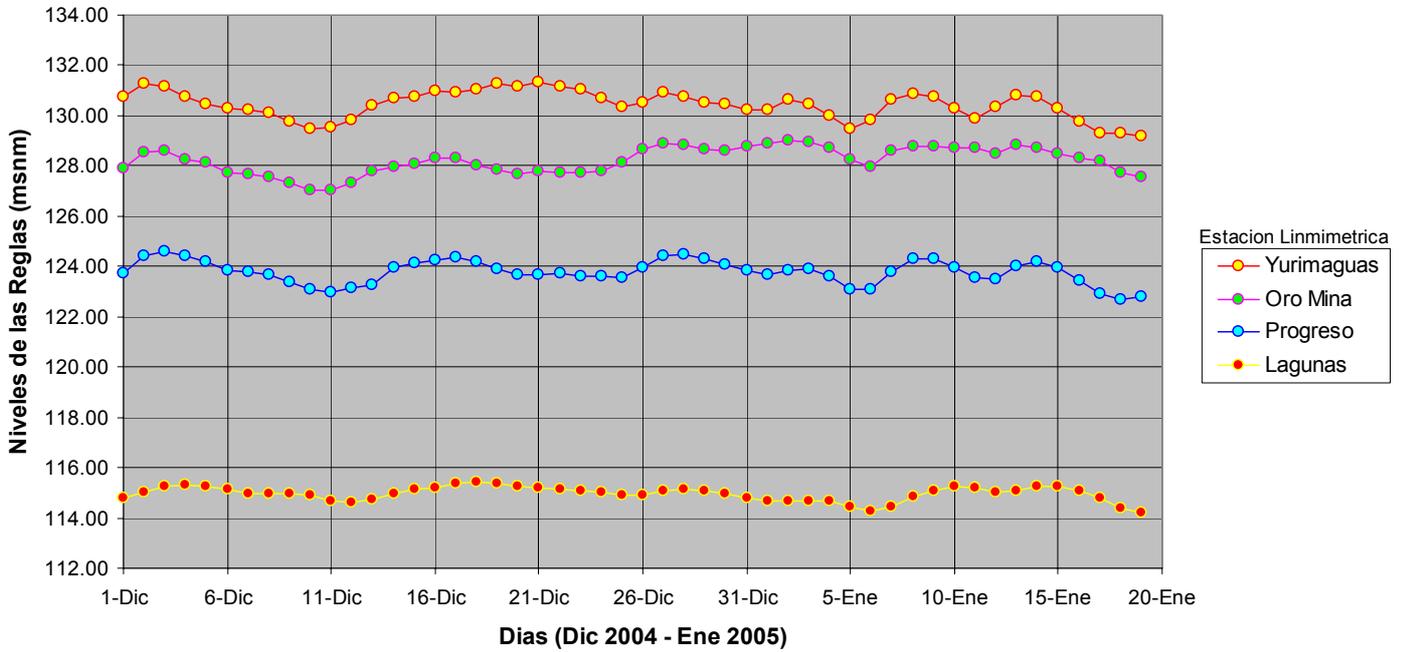
**Tabla 2.4.12 Cotas de los Niveles de Agua (Msnm)
 Diciembre 2004**

| Mes | Dia | Estaciones Limnimetricas | | | |
|----------------|-----|--------------------------|----------|----------|---------|
| | | Yurimaguas | Oro Mina | Progreso | Lagunas |
| DICIEMBRE 2004 | 1 | 130.73 | 127.91 | 123.73 | 114.81 |
| | 2 | 131.29 | 128.57 | 124.42 | 115.03 |
| | 3 | 131.17 | 128.58 | 124.57 | 115.27 |
| | 4 | 130.74 | 128.26 | 124.43 | 115.32 |
| | 5 | 130.48 | 128.11 | 124.20 | 115.26 |
| | 6 | 130.26 | 127.71 | 123.87 | 115.12 |
| | 7 | 130.25 | 127.69 | 123.78 | 114.98 |
| | 8 | 130.10 | 127.56 | 123.64 | 114.97 |
| | 9 | 129.79 | 127.31 | 123.40 | 114.98 |
| | 10 | 129.48 | 127.04 | 123.09 | 114.88 |
| | 11 | 129.53 | 127.01 | 122.96 | 114.66 |
| | 12 | 129.84 | 127.33 | 123.14 | 114.59 |
| | 13 | 130.39 | 127.76 | 123.28 | 114.74 |
| | 14 | 130.67 | 127.99 | 123.94 | 114.98 |
| | 15 | 130.74 | 128.09 | 124.11 | 115.14 |
| | 16 | 130.99 | 128.30 | 124.27 | 115.22 |
| | 17 | 130.90 | 128.34 | 124.38 | 115.36 |
| | 18 | 131.05 | 128.05 | 124.18 | 115.41 |
| | 19 | 131.30 | 127.84 | 123.89 | 115.38 |
| | 20 | 131.14 | 127.69 | 123.65 | 115.27 |
| | 21 | 131.33 | 127.79 | 123.66 | 115.17 |
| | 22 | 131.15 | 127.74 | 123.73 | 115.16 |
| | 23 | 131.06 | 127.72 | 123.61 | 115.08 |
| | 24 | 130.70 | 127.80 | 123.63 | 115.00 |
| | 25 | 130.36 | 128.11 | 123.55 | 114.89 |
| | 26 | 130.50 | 128.64 | 123.97 | 114.89 |
| | 27 | 130.91 | 128.90 | 124.45 | 115.06 |
| | 28 | 130.74 | 128.86 | 124.50 | 115.15 |
| | 29 | 130.53 | 128.65 | 124.31 | 115.10 |
| | 30 | 130.47 | 128.59 | 124.06 | 114.95 |
| | 31 | 130.25 | 128.79 | 123.87 | 114.79 |
| ENERO 2005 | 1 | 130.25 | 128.89 | 123.65 | 114.65 |
| | 2 | 130.63 | 128.99 | 123.85 | 114.65 |
| | 3 | 130.48 | 128.94 | 123.92 | 114.68 |
| | 4 | 130.00 | 128.74 | 123.61 | 114.67 |
| | 5 | 129.48 | 128.26 | 123.09 | 114.46 |
| | 6 | 129.81 | 127.96 | 123.06 | 114.25 |
| | 7 | 130.66 | 128.60 | 123.81 | 114.44 |
| | 8 | 130.88 | 128.79 | 124.28 | 114.83 |
| | 9 | 130.74 | 128.76 | 124.29 | 115.10 |
| | 10 | 130.26 | 128.69 | 123.98 | 115.23 |
| | 11 | 129.87 | 128.69 | 123.57 | 115.17 |
| | 12 | 130.36 | 128.51 | 123.51 | 115.01 |
| | 13 | 130.83 | 128.81 | 124.01 | 115.06 |
| | 14 | 130.74 | 128.71 | 124.19 | 115.24 |
| | 15 | 130.26 | 128.51 | 123.95 | 115.26 |
| | 16 | 129.75 | 128.34 | 123.42 | 115.09 |
| | 17 | 129.31 | 128.19 | 122.94 | 114.79 |
| | 18 | 129.30 | 127.71 | 122.70 | 114.39 |
| | 19 | 129.19 | 127.54 | 122.82 | 114.21 |

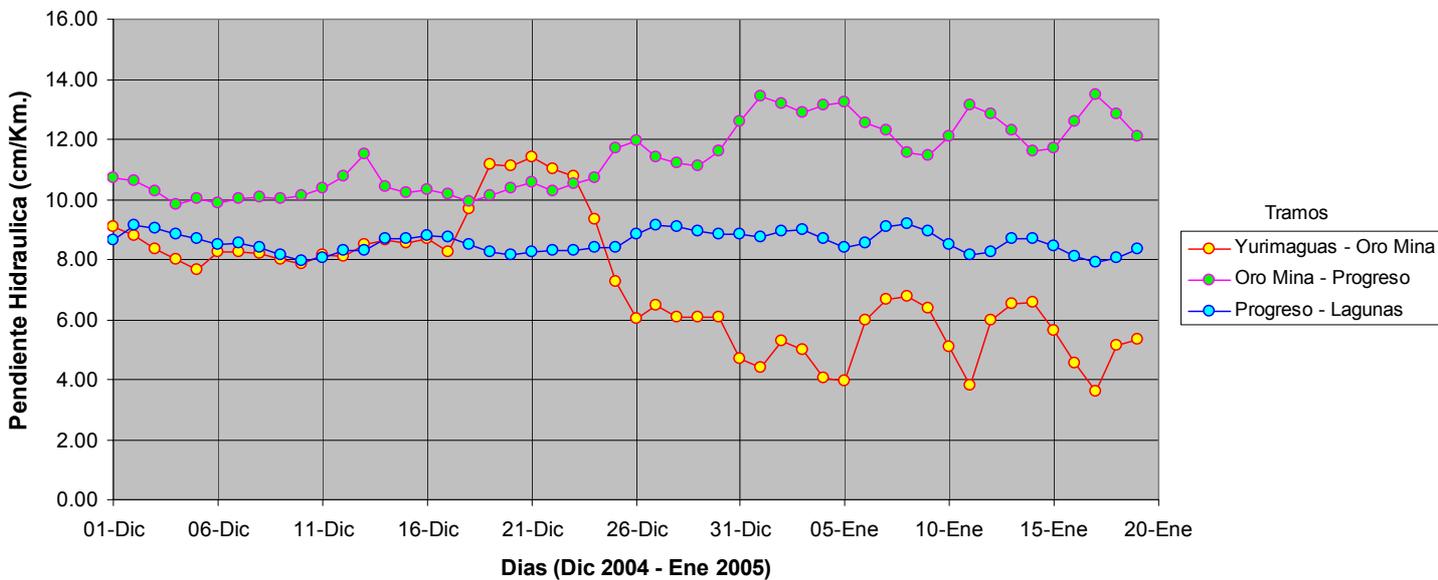
Tabla 2.4.13 Pendientes Medias (cm/Km.)

| Mes | Dia | Yurimaguas/Oro Mina | Oro Mina/Progreso | Progreso/Lagunas |
|----------------|-----|---------------------|-------------------|------------------|
| DICIEMBRE 2004 | 1 | 9.10 | 10.72 | 8.66 |
| | 2 | 8.77 | 10.64 | 9.12 |
| | 3 | 8.35 | 10.28 | 9.03 |
| | 4 | 8.00 | 9.83 | 8.84 |
| | 5 | 7.65 | 10.03 | 8.68 |
| | 6 | 8.23 | 9.86 | 8.49 |
| | 7 | 8.26 | 10.03 | 8.54 |
| | 8 | 8.19 | 10.05 | 8.42 |
| | 9 | 8.00 | 10.04 | 8.17 |
| | 10 | 7.87 | 10.14 | 7.97 |
| | 11 | 8.13 | 10.38 | 8.06 |
| | 12 | 8.10 | 10.74 | 8.30 |
| | 13 | 8.48 | 11.49 | 8.29 |
| | 14 | 8.65 | 10.40 | 8.69 |
| | 15 | 8.55 | 10.22 | 8.70 |
| | 16 | 8.68 | 10.33 | 8.79 |
| | 17 | 8.26 | 10.15 | 8.76 |
| | 18 | 9.68 | 9.94 | 8.51 |
| | 19 | 11.16 | 10.13 | 8.26 |
| | 20 | 11.13 | 10.37 | 8.13 |
| | 21 | 11.42 | 10.59 | 8.24 |
| | 22 | 11.00 | 10.29 | 8.32 |
| | 23 | 10.77 | 10.54 | 8.28 |
| | 24 | 9.35 | 10.69 | 8.38 |
| | 25 | 7.26 | 11.71 | 8.40 |
| | 26 | 6.00 | 11.97 | 8.82 |
| | 27 | 6.48 | 11.41 | 9.12 |
| | 28 | 6.06 | 11.19 | 9.07 |
| | 29 | 6.06 | 11.13 | 8.94 |
| | 30 | 6.06 | 11.63 | 8.84 |
| | 31 | 4.71 | 12.62 | 8.82 |
| ENERO 2005 | 1 | 4.39 | 13.44 | 8.74 |
| | 2 | 5.29 | 13.18 | 8.93 |
| | 3 | 4.97 | 12.87 | 8.97 |
| | 4 | 4.06 | 13.15 | 8.68 |
| | 5 | 3.94 | 13.26 | 8.38 |
| | 6 | 5.97 | 12.56 | 8.55 |
| | 7 | 6.65 | 12.28 | 9.10 |
| | 8 | 6.74 | 11.56 | 9.17 |
| | 9 | 6.39 | 11.46 | 8.92 |
| | 10 | 5.06 | 12.08 | 8.50 |
| | 11 | 3.81 | 13.13 | 8.16 |
| | 12 | 5.97 | 12.82 | 8.25 |
| | 13 | 6.52 | 12.31 | 8.69 |
| | 14 | 6.55 | 11.59 | 8.69 |
| | 15 | 5.65 | 11.69 | 8.44 |
| | 16 | 4.55 | 12.62 | 8.09 |
| | 17 | 3.61 | 13.46 | 7.91 |
| | 18 | 5.13 | 12.85 | 8.07 |
| | 19 | 5.32 | 12.10 | 8.36 |

**Figura 2.4.6: Niveles Medios Diarios
 Diciembre 2004 – Enero 2005**



**Figura 2.4.7: Pendiente Hidráulica Media Diaria
 Diciembre 2004 – Enero 2005**



Conclusiones.

El análisis de las pendientes observadas muestran que, para las condiciones de observación, o sea lectura media de 132m. en la regla de Yurimaguas y de 7,6m en la regla de San Regis y caudales en el rango de 3.400 – 4500 m³/seg. en Yurimaguas y 4500 – 5200 m³/s en Lagunas, las pendientes en todo el tramo varían entre 4 y 14 cm/Km., que son bajas pero comunes en los ríos de la planicie Amazónica. Son también poco variables en la extensión de 220 Km. teniendo en cuenta que solamente fueron determinadas en base a tres puntos de observación, pero en el tramo Oro Mina - Progreso, las pendientes son, siempre ligeramente mayores.

Las pendientes medias en el periodo 01 Dic. 2004 – 19 Mar. 2005 son:

Tramos Yurimaguas – Oro Mina: **7.18 cm/Km.**

Tramos Oro Mina - Progreso: **10.52 cm/Km.**

Tramos Progreso - Lagunas: **7.93 cm/Km.**

Verificase que, de una manera general, las pendientes aumentaron con los caudales, entre Yurimaguas y Progreso, siendo mas sensibles a esta variación cerca del Puerto,. En el tramo final, de Progreso a Lagunas, las pendientes son prácticamente constantes debido a la retención de las aguas por el Marañon.

En los levantamientos de campo se notó que en las proximidades de Oro Mina hay un obstáculo natural, correspondiente a un estrechamiento del cauce del río que aumenta las pendientes locales.

Hay que tener en cuenta que el periodo de observaciones en este Estudio es muy corto y los puntos de observación de los niveles de agua muy pocos. La distancia entre las estaciones limnimétricas con variaciones rápidas de caudales, puede llevar a desfases entre los niveles de agua medianos diarios que pueden hacer poco significativas las pendientes presentadas. Para un conocimiento mejor de la hidráulica del río hay la necesidad de un mayor número de datos, en tiempo de observación y en cantidad de estaciones.

2.4.3.- Principales Parámetros Hidráulicos.

La tabla 2.4.14 y 2.4.15 se presentan los principales parámetros hidráulicos obtenidos para las estaciones hidrométricas del Río Huallaga, en las fechas que se hicieron las mediciones de campo.

**Tabla 2.4.14: Principales Parametros Hidraulicos
(Diciembre 2004)**

| SECCIONES | FECHAS | CAUDAL | VELOC. | ANCHO | RADIO | TIRANTE | PENDIENTE | NUMERO | TIPO DE |
|------------|-----------|----------------------|--------|--------|---------|---------|-----------|--------|------------|
| | | LÍQUIDO | MEDIA | MEDIO | HIDRAUL | MEDIO | HIDRAUL | FROUDE | REGIMEN |
| | | m ³ / seg | m/s | m | m | m | cm/Km | Adim | |
| YURIMAGUAS | 10-Dic-04 | 3,386.64 | 1.14 | 401.78 | 7.27 | 7.42 | 7.18 | 0.13 | SUBCRITICO |
| PROGRESO | 8-Dic-04 | 4,233.16 | 1.11 | 517.43 | 7.25 | 7.36 | 10.52 | 0.13 | SUBCRITICO |
| LAGUNAS | 4-Dic-04 | 5,220.19 | 1.63 | 303.90 | 10.11 | 10.66 | 7.93 | 0.16 | SUBCRITICO |

**Tabla 2.4.15: Principales Parametros Hidraulicos
(Marzo 2005)**

| SECCIONES | FECHAS | CAUDAL LÍQUIDO | VELOC. MEDIA | ANCHO MEDIO | RADIO HIDRAUL. | TIRANTE MEDIO | PENDIENTE HIDRAUL. | NUMERO FROUDE | TIPO DE REGIMEN |
|------------|-----------|----------------------|-----------------|----------------|-------------------|------------------|-----------------------|------------------|--------------------|
| | | m ³ / seg | m/s | m | m | m | cm/Km | Adim | |
| YURIMAGUAS | 11-Mar-05 | 4,245.33 | 1.34 | 403.17 | 7.72 | 7.87 | - | 0.15 | SUBCRITICO |
| PROGRESO | 12-Mar-05 | 4,541.54 | 1.19 | 519.91 | 7.26 | 7.34 | - | 0.14 | SUBCRITICO |
| LAGUNAS | 12-Mar-05 | 5,303.52 | 1.60 | 307.36 | 10.45 | 10.80 | - | 0.16 | SUBCRITICO |

Para el calculo de estos parámetros se usaron los datos recopilados en las mediciones de campo realizados en Diciembre del 2004 y Marzo del 2005. Como era de esperarse los valores del radio hidráulico son similares al tirante medio y si calculamos la profundidad hidráulica veremos que los valores también coinciden, esto se debe a las características geométricas de la sección del río el cual es muy ancho y tiene poca profundidad por lo tanto su relación de aspecto es muy grande. Al calcular el numero de Froude el cual nos indica el tipo de régimen (subcritico, critico o supercritico), nos da un valor muy bajo el cual nos indica claramente que nos encontramos en un río de régimen subcritico, esto se debe a su baja pendiente, parámetro que también sufre variaciones según el régimen hidrológico en que nos encontremos. Las velocidades son medianamente altas habiéndose encontrado velocidades máximas de hasta 2 m/seg. , e promedio vemos que las velocidades varían entre 1.1 – 2.0 m/seg.

Valores Medios y Extremos.

Estos parámetros fueron obtenidos con base en las observaciones de niveles de agua en Yurimaguas, para las cuales fue hecho un estudio estadístico con las observaciones disponibles (10 años). Para los otros puestos, los valores fueron estimados con base en correlaciones obtenidas con las observaciones hechas por el CONSORCIO entre Diciembre 2004 y Marzo de 2005. Como los datos que fueron utilizados en los estudios fueron pocos, los valores obtenidos deben ser considerados provisorios.

Hay que tener en cuenta que los niveles de agua y los caudales en Lagunas son muy influenciados por el Río Marañon y por lo tanto las correlaciones con las otras estaciones no son precisas.

En lo que respecta a los caudales, fue adoptada la curva cotas / caudales de Yurimaguas, obtenida en los estudios del Puerto, completada con las mediciones hechas por el CONSORCIO. Para la estación de Progreso, fueron consideradas las mediciones hechas en el local por el Consorcio y extrapolados para los valores extremos por diferencias de áreas de las cuencas hidrológicas bien como las diferencias con los caudales de Yurimaguas.

Tabla 2.4.16: Parámetros Hidraulicos (Medio, Máximo y Mínimo)

| ESTACION | NIVELES DE AGUA (msnm) | | | CAUDALES (m ³ /s) | | | PENDENTES (cm/km) | | |
|------------|------------------------|--------|--------|------------------------------|-------|------|-------------------|-------|------|
| | MAX. | MEDIA | MIN. | MAX. | MEDIA | MIN. | MAX. | MEDIA | MIN. |
| YURIMAGUAS | 133,44 | 129,21 | 123,76 | 10280 | 2560 | 397 | 10.6 | 6.3 | 4.9 |
| ORO MINA | 129,29 | 126,74 | 121,85 | - | - | - | 12.9 | 9.5 | 7.6 |
| PROGRESO | 124,26 | 123,03 | 118,89 | 12912 | 3215 | 499 | 8.9 | 8.1 | 5.3 |
| LAGUNAS | 115,13 | 114,73 | 113,41 | - | - | - | | | |

3.- TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.

3.1.- Introducción.

Al discurrir los ríos desde su inicio hasta un punto de descarga, sufre cambios de velocidad, dependiendo de las características del lecho (forma de la sección transversal y composición del material) y la pendiente del cauce. La velocidad del río es la principal energía portante del río y da origen al transporte de sedimentos. El estudio del transporte de sedimentos es muy difícil especialmente cuando se trata de cuantificarlo, pues la interacción recíproca entre el movimiento del agua y los sedimentos es muy complejo y difícil de describir matemáticamente. También es de recalcar que las mediciones del transporte de sedimentos son inexactas, en consecuencia las formulaciones existentes no se pueden chequear correctamente.

El transporte de sedimentos se puede clasificar como sigue:

- Transporte de sedimentos en suspensión
- Transporte de sedimentos de fondo

3.2.- La Capacidad Erosiva del Río.

El suelo de las riberas de los ríos de la Amazonía Baja en la mayoría de lugares está compuesto por: arcilla, limo y arenas. Si las riberas son de material cohesivo (arcilla) será muy difícil que se produzca una erosión considerable, pues este material compacto es muy resistente. Si las riberas son de material no cohesivo (arena y limo) será fácilmente erosionable, las riberas del río Huallaga tienen este tipo de material. En muchas ocasiones la cobertura vegetal que tienen las riberas de los ríos hace que el proceso sea más lento.

Se puede observar muy comúnmente cuando se navega por los ríos de la Amazonía, que inmensos árboles que componen la cobertura vegetal de esta región caen al río, como efecto del proceso erosivo de las riberas del cauce por la fuerza de la corriente del río, matemáticamente la capacidad erosiva es calculada mediante el esfuerzo cortante de fondo "bed shear stress".

Durante el período que dura una creciente, el proceso de erosión y sedimentación puede hacer que el río se desplace varios cientos de metros en una u otra dirección, dependiendo de la dirección del flujo y del material de las riberas del río.

3.3.- Transporte de Sedimentos en Suspensión.

3.3.1.- Introducción.

Las mediciones de sedimentos en suspensión tienen como objetivo conocer la magnitud del transporte de sedimentos del río Huallaga, en el tramo en estudio. Asimismo las características físicas del material que compone los sedimentos que se transportan en suspensión, por análisis del material sólido en laboratorio especializado.

Las mediciones fueron hechas, de acuerdo con las especificaciones técnicas, de manera simultánea con los aforos con correntómetro, en las 3 estaciones de aforos

instaladas por el Consorcio en las proximidades de las estaciones limnimétricas de Yurimaguas (Km. 220), Progreso (Km. 152) y Lagunas (Km. 46.5)

Se realizaron dos campañas de muestreos, una en Diciembre y otra en Marzo, y de manera simultanea con los aforos, ubicándose en las mismas secciones.

3.3.2.- Medición de Sedimentos en Suspensión.

Siempre de acuerdo con las especificaciones técnicas, los muestreos de sedimentos en suspensión fueron hechos con equipo de muestreo HIDROMECC, con 0.5 litros de capacidad, sostenido por un cable de acero. Fueron extraídas muestras de la mezcla agua-sedimentos representativas de las concentraciones de sólidos de la vertical, por el método integrador, de manera que al sumergir el muestreador hasta el fondo y luego emerger a la superficie, a una velocidad constante, salga lleno sin rebalsar. Se tomaron muestras en 6 verticales distribuidas uniformemente a lo ancho de la sección escogida. En estas 6 verticales se tomaron también muestras de material de fondo del cauce.



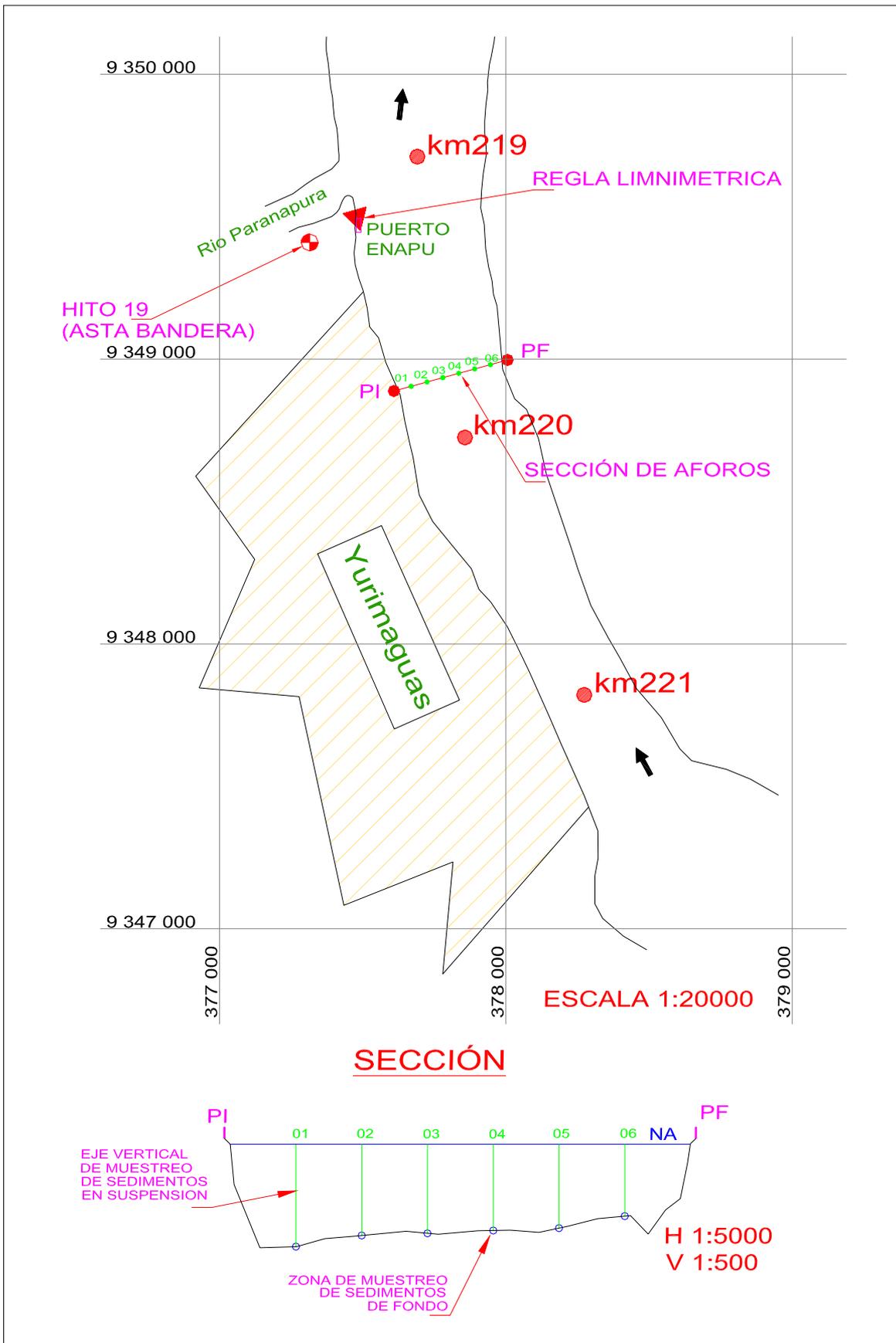
FIGURA 3.3.1: Muestreador integrador HIDROMECC

El posicionamiento de cada uno de los lugares de muestreo, en la sección de medición, se efectuó con el sistema DGPS de precisión sub métrica.

3.3.3.- Localización de los Puntos de Muestreo.

Las secciones de muestreos son las mismas secciones de aforo de los caudales líquidos, o sea, las estaciones fluviométricas de Yurimaguas (Km. 220), Progreso (Km. 152) y Lagunas (Km. 46.5). En las figuras 3.3.2, 3.3.3 y 3.3.4 siguientes son presentadas las ubicaciones de las secciones, las verticales de muestreos y las secciones transversales del calce del río en los locales de muestreos.

Figura 3.3.2: Plano de Ubicación "Estación Yurimaguas"
Muestreo de Sedimentos en Suspensión y de Fondo "Yurimaguas"



**Figura 3.3.3: Plano de Ubicación "Estación Progreso"
 Muestreo de Sedimentos en Suspensión y de Fondo**

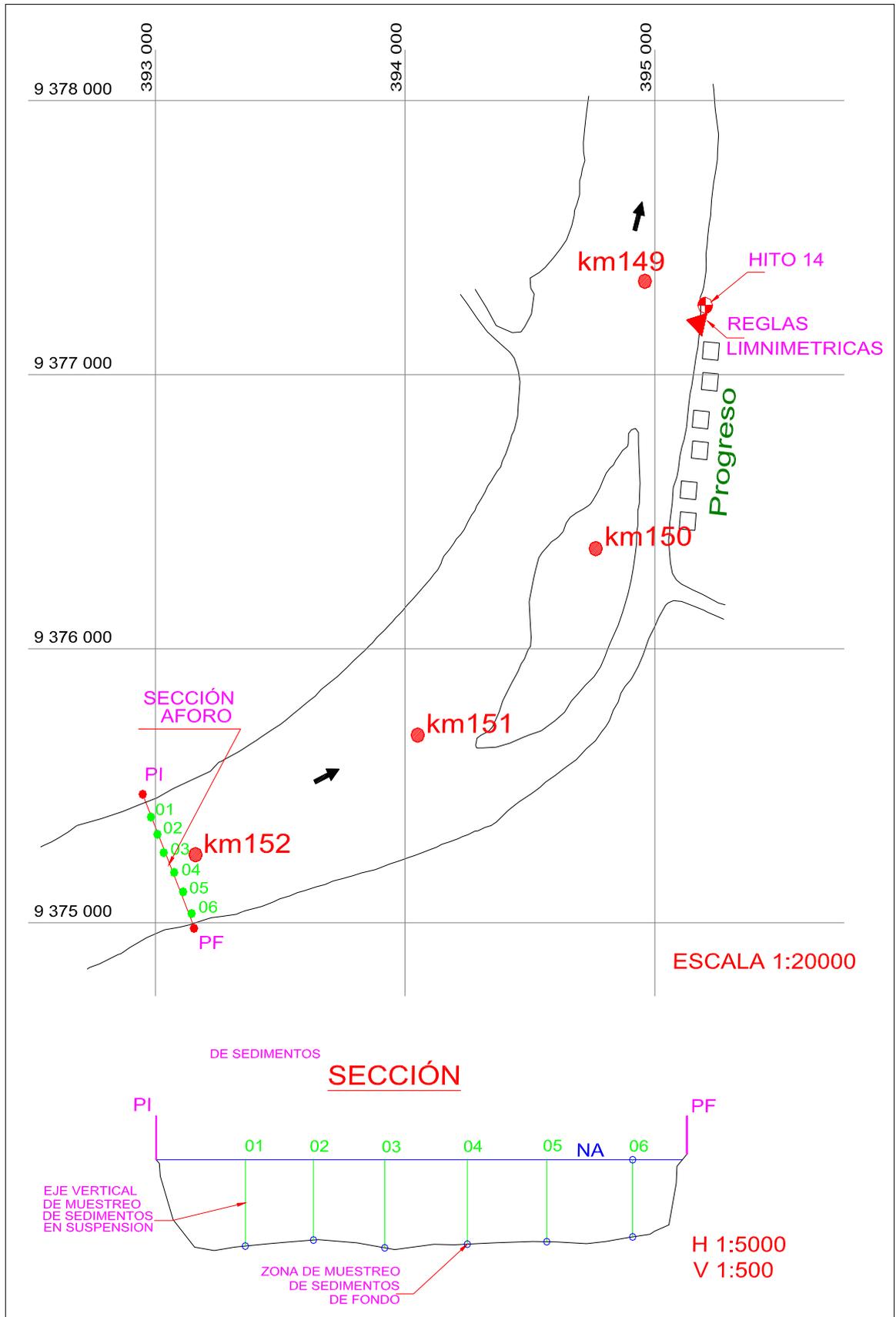
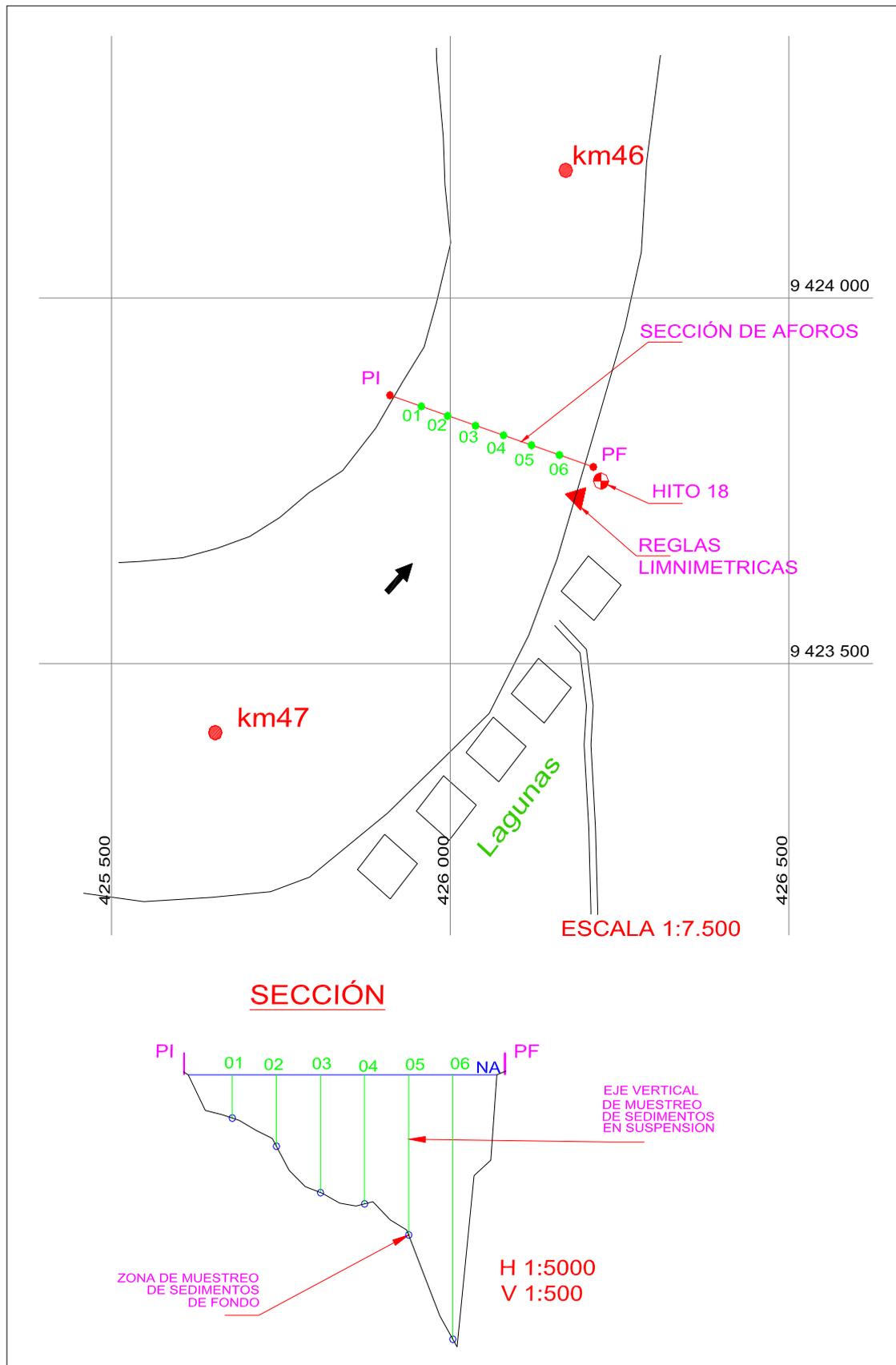


Figura 3.3.4: Plano de Ubicación "Estación Lagunas"
Muestreo de Sedimentos en Suspensión y de Fondo



3.3.4.- Análisis de los Muestreos.

Las muestras de agua-sedimentos de cada uno de los muestreos fueron analizadas en el Laboratorio Sedimentológico (Laboratorio N.º20 – Ingeniería Sanitaria) de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería del Perú, mediante filtrado, secado y pesado para determinar la concentración de sedimentos en suspensión.

Los resultados obtenidos son presentados en los informes de análisis N°006-05 y N°006-05, que se presentan a continuación: (las muestras M1-M6, M7-M12 y M13-M18 representan las mediciones hechas en Yurimaguas, Progreso y Lagunas respectivamente).



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
LABORATORIO N° 20 - INGENIERIA SANITARIA

INFORME DE ANÁLISIS N°006-05 LAB N° 20

Solicitante : COSORCIO HIDROVIA HUALLAGA
Tipo de muestra : Agua de río
Procedencia : Río Huallaga – Yurimaguas - Loreto
Fecha de muestreo : 04, 08 y 10-12-04
Fecha de recepción : 14-01-05

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO

| PARAMETRO | UNIDAD | M1 | M2 | M3 | M4 |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Sólidos suspendidos | mg/L | 159,00 | 156,00 | 137,00 | 183,00 |

| PARAMETRO | UNIDAD | M5 | M6 | M7 | M8 |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Sólidos suspendidos | mg/L | 178,00 | 189,00 | 211,00 | 177,00 |

| PARAMETRO | UNIDAD | M9 | M10 | M11 | M12 |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Sólidos suspendidos | mg/L | 207,00 | 194,00 | 222,00 | 180,00 |

| PARAMETRO | UNIDAD | M13 | M14 | M15 | M16 |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Sólidos suspendidos | mg/L | 693,00 | 576,00 | 550,00 | 587,00 |

| PARAMETRO | UNIDAD | M17 | M18 |
|---------------------|--------|--------|--------|
| Sólidos suspendidos | mg/L | 478,00 | 435,00 |

(*) Los análisis se han efectuado tomando en cuenta los METODOS NORMALIZADOS PARA EL ANALISIS DE AGUA POTABLES Y RESIDUALES APHA-AWWA-WPCF 19 edición

Procedencia:

M1: Agua de río 01 – Yurimaguas – 10-12-04
M2: Agua de río 02 – Yurimaguas – 10-12-04
M3: Agua de río 03 – Yurimaguas – 10-12-04
M4: Agua de río 04 – Yurimaguas – 10-12-04
M5: Agua de río 05 – Yurimaguas – 10-12-04
M6: Agua de río 06 – Yurimaguas – 10-12-04
M7: Agua de río 01 – Progreso – 08-12-04
M8: Agua de río 02 – Progreso – 08-12-04
M9: Agua de río 03 – Progreso – 08-12-04

M10: Agua de río 04 – Progreso – 08-12-04
M11: Agua de río 05 – Progreso – 08-12-04
M12: Agua de río 06 – Progreso – 08-12-04
M13: Agua de laguna 01 – 04-12-04
M14: Agua de laguna 02 – 04-12-04
M15: Agua de laguna 03 – 04-12-04
M16: Agua de laguna 05 – 04-12-04
M17: Agua de laguna 06 – 04-12-04
M18: Agua de laguna 07 – 04-12-04

Lima, 14 de Enero de 2005
ING. ARTURO PATA PAYCO
JEFE DEL LABORATORIO N° 20

*Muestra tomada por el solicitante

3.3.5.- Cálculo de Transporte de Sedimentos en Suspensión.

Los volúmenes totales de sedimentos transportados por las aguas del río en correspondencia con el caudal respectivo, fueron calculados por el método de integración de los volúmenes parciales entre las verticales de muestreo, con uso de una planilla electrónica, como muestran las tablas 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4, 3.3.5, y 3.3.6 que incluyen los resultados de las concentraciones medidas y del transporte de sedimentos por suspensión totales por día.

**Tabla 3.3.1: Volúmenes de Sedimentos en Suspensión
Estación Yurimaguas
(Diciembre 2004)**

| Rio | Sección | Origen | Fecha | Equipo | Hora | Operador |
|----------|------------|--------|-----------|----------|--------------|-----------|
| HUALLAGA | YURIMAGUAS | Borde. | 10-Dic-04 | Hidromec | 09:00- 11:00 | M Almeida |

| VERTICAL NUMERO | DISTANCIAS | | | PROFUNDIDADES | | | SEGMENTOS PARCIALES | | CONCENTRACIONES MEDIAS | |
|--------------------|-----------------|-----------|-----------|-------------------|----------|-----------|---------------------|--------|------------------------|-------------------|
| | DE LA ORILLA | PARCIALES | | EN LA VERTICAL | MEDIAS | | ANCHOS | ÁREA | EN LA VERTICAL | EN EL SEGMENTO |
| | | ANTERIOR | POSTERIOR | | ANTERIOR | POSTERIOR | | | | |
| (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m ²) | (gr/l) | (Gral.) | |
| 0 | 5.10 | | 57.40 | 0.00 | 0.00 | 2.25 | 28.70 | 32.25 | | |
| 1 | 62.50 | 57.40 | 57.40 | 8.99 | 4.50 | 8.50 | 57.40 | 372.96 | 0.159 | 59.30 |
| 2 | 119.90 | 57.40 | 57.40 | 8.01 | 8.50 | 7.91 | 57.40 | 470.82 | 0.156 | 73.45 |
| 3 | 177.30 | 57.40 | 57.40 | 7.80 | 7.91 | 7.69 | 57.40 | 447.43 | 0.137 | 61.30 |
| 4 | 234.70 | 57.40 | 57.40 | 7.57 | 7.69 | 7.47 | 57.40 | 434.81 | 0.183 | 79.57 |
| 5 | 292.10 | 57.40 | 57.38 | 7.36 | 7.47 | 6.84 | 57.39 | 410.34 | 0.178 | 73.04 |
| 6 | 349.50 | 57.38 | | 6.31 | 6.84 | 3.16 | 28.69 | 143.31 | 0.189 | 27.08 |
| Fin | 406.88 | | | 0.00 | 3.16 | 0.00 | | | | |

| | | | |
|----------------|-------|-------|--------|
| TOTALES | 2,312 | 0.167 | 373.74 |
|----------------|-------|-------|--------|

CONCENTRACIÓN MEDIA EN LA SECCIÓN : 0.162 g/l
DESCARGA SÓLIDA TOTAL

CAUDAL DE SEDIMENTOS
(CAUDAL MEDIO X CONCENTRACIÓN MEDIA)

| | |
|---------------|----------------------------|
| 47,293 TM/día | 36,948 m ³ /día |
|---------------|----------------------------|

**Tabla 3.3.2: Volúmenes de Sedimentos en Suspensión
Estación Progreso
(Diciembre 2004)**

| Rio | Sección | Origen | Fecha | Equipo | Hora | Operador |
|----------|----------|--------|-----------|----------|-------------|-----------|
| HUALLAGA | PROGRESO | Borne. | 08-Dic-04 | Hidromec | 09:30-16:30 | M Almeida |

| VERTICAL NUMERO | DISTANCIAS | | | PROFUNDIDADES | | | SEGMENTOS PARCIALES | | CONCENTRACIONES MEDIAS | |
|--------------------|-----------------|-----------|-----------|-------------------|----------|-----------|---------------------|--------|------------------------|-------------------|
| | DE LA ORILLA | PARCIALES | | EN LA VERTICAL | MEDIAS | | ANCHOS | ÁREA | EN LA VERTICAL | EN EL SEGMENTO |
| | | ANTERIOR | POSTERIOR | | ANTERIOR | POSTERIOR | | | | |
| (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m ²) | (gr/l) | (Gral.) | |
| 0 | 4.2 | | 68.2 | 0 | 0 | 1.97 | 34.1 | 33.55 | | |
| 1 | 89.3 | 68.2 | 71.4 | 7.87 | 3.94 | 7.6 | 69.8 | 402.4 | 0.211 | 84.91 |
| 2 | 157.5 | 71.4 | 82.7 | 7.32 | 7.6 | 7.68 | 77.05 | 588.28 | 0.177 | 104.12 |
| 3 | 228.9 | 82.7 | 79.5 | 8.03 | 7.68 | 7.87 | 81.1 | 630.15 | 0.207 | 130.44 |
| 4 | 311.6 | 79.5 | 86 | 7.7 | 7.87 | 7.59 | 82.75 | 639.45 | 0.194 | 124.05 |
| 5 | 391.1 | 86 | 44.45 | 7.48 | 7.59 | 7.26 | 65.23 | 484.13 | 0.222 | 107.48 |
| 6 | 477.1 | 44.45 | | 7.03 | 7.26 | 3.52 | 22.23 | 119.68 | 0.18 | 21.54 |
| fin | 521.55 | | | 0 | 3.52 | 0 | | | | |

| | | | |
|----------------|----------|-------|--------|
| TOTALES | 2,897.64 | 0.199 | 572.54 |
|----------------|----------|-------|--------|

CONCENTRACIÓN MEDIA EN LA SECCIÓN : 0.198 g/l
DESCARGA SÓLIDA TOTAL

CAUDAL DE SEDIMENTOS
(CAUDAL MEDIO X CONCENTRACIÓN MEDIA)

| | |
|---------------|----------------------------|
| 72,265 TM/día | 56,457 m ³ /día |
|---------------|----------------------------|

**Tabla 3.3.3: Volúmenes de Sedimentos en Suspensión
Estación Lagunas
(Diciembre 2004)**

| Río | Sección | Origen | Fecha | Equipo | Hora | Operador |
|----------|------------|--------|-----------|----------|-------------|-----------|
| HUALLAGA | YURIMAGUAS | Borde. | 04-Dic-04 | Hidromec | 12:20-15:10 | M Almeida |

| VERTICAL NUMERO | DISTANCIAS | | | PROFUNDIDADES | | | SEGMENTOS PARCIALES | | CONCENTRACIONES MEDIAS | |
|--------------------|-----------------|-----------|-----------|-------------------|----------|-----------|---------------------|--------|------------------------|-------------------|
| | DE LA ORILLA | PARCIALES | | EN LA VERTICAL | MEDIAS | | ANCHOS | ÁREA | EN LA VERTICAL | EN EL SEGMENTO |
| | | ANTERIOR | POSTERIOR | | ANTERIOR | POSTERIOR | | | | |
| (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m ²) | (gr/l) | (Gral.) | |
| 0 | 4.10 | | 43.41 | 0.00 | 0.00 | 0.99 | 21.71 | 10.72 | | |
| 1 | 47.51 | 43.41 | 43.42 | 3.95 | 1.98 | 5.24 | 43.42 | 156.51 | 0.693 | 108.46 |
| 2 | 90.92 | 43.42 | 43.42 | 6.52 | 5.24 | 8.64 | 43.42 | 301.12 | 0.576 | 173.44 |
| 3 | 134.34 | 43.42 | 43.41 | 10.75 | 8.64 | 11.26 | 43.42 | 431.87 | 0.55 | 237.53 |
| 4 | 177.76 | 43.41 | 43.42 | 11.77 | 11.26 | 13.19 | 43.42 | 530.64 | 0.587 | 311.49 |
| 5 | 221.17 | 43.42 | 43.41 | 14.60 | 13.19 | 19.36 | 43.42 | 706.36 | 0.478 | 337.64 |
| 6 | 264.59 | 43.41 | | 24.11 | 19.36 | 12.06 | 21.71 | 340.88 | 0.435 | 148.28 |
| fin | 308.00 | | | 0.00 | 12.06 | 0.00 | | | | |

| | | | |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|
| TOTAL | 2,478.10 | 0.553 | 1,316.84 |
|--------------|-----------------|--------------|-----------------|

CONCENTRACIÓN MEDIA EN LA SECCIÓN : 0.531 g/l
DESCARGA SÓLIDA TOTAL

CAUDAL DE SEDIMENTOS
(CAUDAL MEDIO X CONCENTRACIÓN MEDIA)

| | | | |
|----------------|---------------|----------------|---------------|
| 155,459 | TM/día | 121,453 | m3/día |
|----------------|---------------|----------------|---------------|

**Tabla 3.3.4: Volúmenes de Sedimentos en Suspensión
Estación Yurimaguas
(Marzo 2005)**

| Río | Sección | Origen | Fecha | Equipo | Hora | Operador |
|----------|------------|--------|-----------|----------|--------------|-----------|
| HUALLAGA | YURIMAGUAS | Borde. | 11-Mar-05 | Hidromec | 12:00- 16:00 | M Almeida |

| VERTICAL NUMERO | DISTANCIAS | | | PROFUNDIDADES | | | SEGMENTOS PARCIALES | | CONCENTRACIONES MEDIAS | |
|--------------------|-----------------|-----------|-----------|-------------------|----------|-----------|---------------------|--------|------------------------|-------------------|
| | DE LA ORILLA | PARCIALES | | EN LA VERTICAL | MEDIAS | | ANCHOS | ÁREA | EN LA VERTICAL | EN EL SEGMENTO |
| | | ANTERIOR | POSTERIOR | | ANTERIOR | POSTERIOR | | | | |
| (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m ²) | (gr/l) | (Gral.) | |
| 0 | 5.10 | | 73.80 | 0.00 | | 4.47 | 36.90 | 82.47 | | |
| 1 | 92.80 | 73.80 | 46.10 | 8.94 | 4.47 | 9.08 | 59.95 | 406.01 | 0.217 | 88.10 |
| 2 | 166.60 | 46.10 | 63.90 | 9.21 | 9.08 | 8.36 | 55.00 | 479.46 | 0.201 | 96.37 |
| 3 | 212.70 | 63.90 | 130.28 | 7.51 | 8.36 | 8.22 | 97.09 | 804.63 | 0.140 | 112.65 |
| 4 | 276.60 | 79.30 | 50.98 | 8.92 | 8.22 | 7.79 | 65.14 | 521.12 | 0.184 | 95.89 |
| 5 | 355.90 | 50.98 | | 6.65 | 7.79 | 3.33 | 25.49 | 141.60 | 0.210 | 29.74 |
| fin | 406.88 | | | 0.00 | 3.33 | | | | | |

| | | | |
|----------------|--------------|--------------|---------------|
| TOTALES | 2,435 | 0.190 | 422.75 |
|----------------|--------------|--------------|---------------|

CONCENTRACIÓN MEDIA EN LA SECCIÓN : 0.174 g/l
DESCARGA SÓLIDA TOTAL

CAUDAL DE SEDIMENTOS
(CAUDAL MEDIO X CONCENTRACIÓN MEDIA)

| | | | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 79,544 | TM/día | 62,144 | m3/día |
|---------------|---------------|---------------|---------------|

**Tabla 3.3.5: Volúmenes de Sedimentos en Suspensión
Estación Progreso
(Marzo 2005)**

| Rio | Sección | Origen | Fecha | Equipo | Hora | Operador |
|----------|----------|--------|-----------|----------|-------------|-----------|
| HUALLAGA | PROGRESO | Borne. | 12-Mar-05 | Hidromec | 09:00-11:45 | M Almeida |

| VERTICAL NUMERO | DISTANCIAS | | | PROFUNDIDADES | | | SEGMENTOS PARCIALES | | CONCENTRACIONES MEDIAS | |
|--------------------|-----------------|-----------|-----------|-------------------|----------|-----------|---------------------|--------|------------------------|-------------------|
| | DE LA ORILLA | PARCIALES | | EN LA VERTICAL | MEDIAS | | ANCHOS | ÁREA | EN LA VERTICAL | EN EL SEGMENTO |
| | | ANTERIOR | POSTERIOR | | ANTERIOR | POSTERIOR | | | | |
| (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m ²) | (gr/l) | (Gral.) | |
| 0 | 4.20 | | 77.20 | 0.00 | 0.00 | 3.97 | 38.60 | 76.52 | | |
| 1 | 68.20 | 77.20 | 83.70 | 7.93 | 3.97 | 7.80 | 80.45 | 473.25 | 0.261 | 123.52 |
| 2 | 145.40 | 83.70 | 83.30 | 7.67 | 7.80 | 8.09 | 83.50 | 663.41 | 0.324 | 214.94 |
| 3 | 229.10 | 83.30 | 132.30 | 8.51 | 8.09 | 8.23 | 107.80 | 879.38 | 0.310 | 272.61 |
| 4 | 312.40 | 132.30 | 76.85 | 7.94 | 8.23 | 7.87 | 104.58 | 841.57 | 0.261 | 219.65 |
| 5 | 444.70 | 76.85 | | 7.80 | 7.87 | 3.90 | 38.43 | 226.13 | 0.261 | 59.02 |
| fin | 521.55 | | | 0.00 | 3.90 | 0.00 | | | | |

| | | | |
|----------------|----------|-------|--------|
| TOTALES | 3,160.26 | 0.283 | 889.74 |
|----------------|----------|-------|--------|

CONCENTRACIÓN MEDIA EN LA SECCIÓN : 0.282 g/l
DESCARGA SÓLIDA TOTAL

CAUDAL DE SEDIMENTOS
(CAUDAL MEDIO X CONCENTRACIÓN MEDIA)

| | |
|-----------------------|----------------------|
| 110,473 TM/día | 86,307 m3/día |
|-----------------------|----------------------|

**Tabla 3.3.6: Volúmenes de Sedimentos en Suspensión
Estación Lagunas
(Marzo 2005)**

| Rio | Sección | Origen | Fecha | Equipo | Hora | Operador |
|----------|---------|--------|-----------|----------|-------------|-----------|
| HUALLAGA | LAGUNAS | Borde. | 11-Mar-05 | Hidromec | 12:00 15:00 | M Almeida |

| VERTICAL NUMERO | DISTANCIAS | | | PROFUNDIDADES | | | SEGMENTOS PARCIALES | | CONCENTRACIONES MEDIAS | |
|--------------------|-----------------|-----------|-----------|-------------------|----------|-----------|---------------------|--------|------------------------|-------------------|
| | DE LA ORILLA | PARCIALES | | EN LA VERTICAL | MEDIAS | | ANCHOS | ÁREA | EN LA VERTICAL | EN EL SEGMENTO |
| | | ANTERIOR | POSTERIOR | | ANTERIOR | POSTERIOR | | | | |
| (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m) | (m ²) | (gr/l) | (Gral.) | |
| 0 | 4.10 | | 45.40 | 0.00 | 0.00 | 2.37 | 26.25 | 31.04 | | |
| 1 | 49.50 | 45.40 | 52.50 | 4.73 | 2.37 | 6.02 | 48.95 | 205.22 | 0.101 | 20.73 |
| 2 | 102.00 | 52.50 | 52.50 | 7.31 | 6.02 | 8.88 | 51.30 | 382.19 | 0.233 | 89.05 |
| 3 | 154.50 | 52.50 | 50.10 | 10.45 | 8.88 | 12.08 | 56.05 | 587.26 | 0.223 | 130.96 |
| 4 | 204.60 | 50.10 | 59.60 | 13.70 | 12.08 | 18.70 | 46.95 | 722.44 | 0.235 | 169.77 |
| 5 | 264.20 | 59.60 | 43.80 | 23.70 | 18.70 | 11.85 | 29.80 | 455.20 | 0.246 | 111.98 |
| fin | 308.00 | 43.80 | | 0.00 | 11.85 | 0.00 | 21.90 | 129.76 | | |

| | | | |
|----------------|----------|-------|--------|
| TOTALES | 2,513.11 | 0.208 | 522.49 |
|----------------|----------|-------|--------|

CONCENTRACIÓN MEDIA EN LA SECCIÓN : 0.208 g/l
DESCARGA SÓLIDA TOTAL

CAUDAL DE SEDIMENTOS
(CAUDAL MEDIO X CONCENTRACIÓN MEDIA)

| | |
|----------------------|----------------------|
| 95,267 TM/día | 74,428 m3/día |
|----------------------|----------------------|

3.3.6.- Resumen de los Resultados Obtenidos.

Las tablas 3.3.7 y 3.3.8 presentan un resumen de las mediciones de transporte de sedimentos en suspensión

Tabla 3.3.7 Resumen de las Mediciones de Transporte de Sedimentos en Suspensión (Diciembre 2004)

| SECCIONES | FECHAS | CAUDALES LÍQUIDOS | CONCENT. MEDIA EN LA SECCIÓN | CAUDALES SÓLIDOS | |
|------------|-----------|-----------------------|------------------------------|------------------|---------------------|
| | | m ³ / seg. | gr / lit | TM/día | m ³ /día |
| YURIMAGUAS | 10-Dic-04 | 3,386.64 | 0.162 | 47,302.01 | 36,954.69 |
| PROGRESO | 8-Dic-04 | 4,233.16 | 0.198 | 72,266.97 | 56,458.57 |
| LAGUNAS | 4-Dic-04 | 5,220.19 | 0.531 | 239,670.31 | 187,242.43 |

Tabla 3.3.8 Resumen de las Mediciones de Transporte de Sedimentos en Suspensión (Marzo 2004)

| SECCIONES | FECHAS | CAUDALES LÍQUIDOS | CONCENT. MEDIA EN LA SECCIÓN | CAUDALES SÓLIDOS | |
|------------|-----------|-----------------------|------------------------------|------------------|---------------------|
| | | m ³ / seg. | gr / lit | TM/día | m ³ /día |
| YURIMAGUAS | 11-Mar-05 | 4,245.33 | 0.174 | 63,672.74 | 49,744.33 |
| PROGRESO | 12-Mar-05 | 4,541.54 | 0.282 | 110,473.17 | 86,307.17 |
| LAGUNAS | 12-Mar-05 | 5,303.52 | 0.208 | 95,267.24 | 74,427.53 |

3.3.7.- Conclusiones.

El análisis de los datos obtenidos de las dos mediciones efectuadas no permiten un estudio muy profundo de la estimación del transporte sólido en las 3 secciones de medición, toda vez que el fenómeno es directamente proporcional al aforo local.

Este dato permite estimar que el transporte en suspensión es del orden de 100,000 Ton./día en la región de Lagunas, como debía esperarse disminuye hacia aguas arriba teniendo un orden de 40,000 Ton./día en Yurimaguas donde el cauce es más estable y los terrenos más consistentes (ver Fig. N° 4.5.1 y 4.5.2).

El crecimiento de la descarga en suspensión no es lineal en el tramo dado las características distintas de los 3 diferentes tramos morfológicos del área del estudio. En Yurimaguas es de la orden de 40,000 Ton./día en el Km. 220, pasando a 70,000. Ton./día en la sección de Progreso (Km. 152) y a 100,000 Ton./día en Lagunas (Km. 47).

3.4.- Transporte de Sedimentos de Fondo.

3.4.1.- Introducción.

Las muestras de sedimentos de fondo fueron echas con el propósito de conocer, en conjunto con el transporte de sedimentos en suspensión, la magnitud del transporte total de sedimentos identificándose la función caudal versus transporte sólido del río Huallaga, en el tramo en estudio. Asimismo las características físicas del material que compone los sedimentos que se transportan en suspensión y los del fondo del cauce.

Las características físico-químicas y la granulometría de las muestras tomadas servirán también para planificar y cuantificar los trabajos de dragado, en particular en lo que se refiere al tipo de equipo que será empleado en los trabajos.

Los muestreos fueron hechos de manera simultanea con los muestreos de sedimentos en suspensión y los aforos líquidos, en las mismas secciones de medición..

3.4.2.- Medición de Sedimentos de Fondo.

Las muestras de sedimentos de fondo fueron extraídas en las mismas verticales donde se realizó el muestreo de sedimentos en suspensión, con uso de un muestreador tipo de arrastre, con cerca de 1 Kg. de capacidad. Se adoptó este tipo de muestreador por que las fuertes corrientes no permiten el uso de otros tipos de muestreo.

Se tomaran muestras en 6 puntos distribuidos uniformemente a lo ancho de la sección escogida (en la figuras 3.3.2, 3.3.3 y 3.3.4 son presentadas las ubicaciones de los puntos de muestreo). El posicionamiento de cada uno de los lugares de muestreo, en la sección de medición, se efectuó con el sistema DGPS de precisión sub métrica.



Figura 3.4.1: Muestreador de Arrastre

3.4.3.- Localización de los Puntos de Muestreos.

Las secciones de muestreos son las mismas secciones de aforo de los caudales líquidos, o sea, las estaciones pluviométricas de Yurimaguas (Km. 219), Progreso (Km. 152) y Lagunas (Km. 46.5). Se tomaron muestras de material de fondo en 6 puntos distribuidos uniformemente a lo ancho de la sección escogida las mismas en que se tomaron también muestras de los sedimentos en suspensión.

En las figuras 3.3.2, 3.3.3 y 3.3.4 son presentadas las ubicaciones de las secciones, los puntos de muestreos y las secciones transversales del cauce del río en las zonas de muestreo.

3.4.4.- Análisis de los Muestreos.

Las muestras de sedimentos de fondo fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria la Molina, mediante tamiz clasificados de acuerdo con las normas, para la determinación de las curvas granulométricas de los sedimentos.

También se determinaron, en el mismo Laboratorio las características físico-químicas y la forma, tipo y densidad de las partículas que componen el material transportado por el río.

Los resultados obtenidos son presentados en los informes de Análisis **H.R.7510** y **H.R.7977**.

En estas tablas son también presentadas las análisis de otras muestras del cauce sacadas por el equipo de geología en los malos pasos. A los estudios de transporte de sedimentos de fondo en las secciones de aforo, solamente tienen interés las muestras de Yurimaguas, Progreso y Lagunas.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS : EN SUELO

SOLICITANTE : CONSORCIO HIDROVIA HUALLAGA
PROCEDENCIA : LORETO/RIO HUALLAGA
REFERENCIA : H.R. 7510
FECHA : 24/01/05

| No. de lab. | Clave de campo | Arena | Limo | Arcilla | Distribución porcentual fracción arena | | | | | M. O. % |
|-------------|-----------------|-------|------|---------|--|--------|-------|-------|----------|---------|
| | | | | | muy gruesa | gruesa | media | fina | muy fina | |
| 0062 | M P1 - 1 | 100 | 0 | 0 | 0.30 | 3.96 | 78.10 | 14.32 | 1.40 | |
| 0063 | M P1 - 2 | 100 | 0 | 0 | 0.34 | 10.04 | 78.12 | 8.36 | 1.50 | 0.1 |
| 0064 | M P1 - 3 | 100 | 0 | 0 | 0.10 | 0.30 | 59.22 | 36.34 | 2.28 | |
| 0065 | Yurimaguas - 01 | 100 | 0 | 0 | 0.76 | 17.40 | 69.96 | 8.18 | 0.40 | |
| 0066 | Yurimaguas - 02 | 100 | 0 | 0 | 1.58 | 11.16 | 79.84 | 4.62 | 0.46 | 0.2 |
| 0067 | Yurimaguas - 03 | 100 | 0 | 0 | 0.04 | 0.68 | 79.98 | 15.18 | 1.16 | |
| 0068 | M P2 - 1 | 100 | 0 | 0 | 0.00 | 0.20 | 52.10 | 42.76 | 2.02 | |
| 0069 | M P2 - 3 | 100 | 0 | 0 | 0.24 | 0.90 | 77.88 | 15.78 | 1.26 | |
| 0070 | Progreso - 1 | 94 | 1 | 5 | 0.18 | 0.96 | 16.40 | 60.12 | 3.24 | |
| 0071 | Progreso - 2 | 100 | 0 | 0 | 0.00 | 0.22 | 37.72 | 50.80 | 2.80 | 0.2 |
| 0072 | Progreso -3 | 100 | 0 | 0 | 0.00 | 0.44 | 63.80 | 29.84 | 2.50 | |
| 0073 | Progreso - 4 | 100 | 0 | 0 | 0.68 | 12.32 | 66.24 | 17.70 | 1.61 | |
| 0074 | Progreso - 5 | 100 | 0 | 0 | 1.60 | 22.06 | 58.36 | 14.20 | 0.26 | 0.1 |
| 0075 | Progreso - 6 | 100 | 0 | 0 | 0.00 | 0.14 | 15.82 | 66.00 | 12.50 | |
| 0076 | M P3 - 2 | 100 | 0 | 0 | 0.06 | 3.16 | 58.06 | 30.68 | 2.06 | |
| 0077 | M P4 - 1 | 100 | 0 | 0 | 0.00 | 0.12 | 84.60 | 13.44 | 0.24 | |
| 0078 | M P4 - 2 | 100 | 0 | 0 | 0.06 | 3.88 | 51.60 | 39.02 | 3.16 | |
| 0079 | M P4 - 3 | 100 | 0 | 0 | 0.12 | 3.28 | 78.60 | 14.38 | 1.06 | |
| 0080 | M P5 - 1 | 100 | 0 | 0 | 1.54 | 10.56 | 71.92 | 12.40 | 0.52 | 0.2 |
| 0081 | M P5 - 3 | 100 | 0 | 0 | 0.24 | 4.12 | 75.20 | 16.60 | 0.32 | |
| 0082 | M P6 - I | 26 | 62 | 12 | 0.08 | 0.08 | 0.28 | 0.60 | 27.32 | 1.7 |
| 0083 | M P6 - D | 46 | 50 | 4 | 0.00 | 0.10 | 1.38 | 6.54 | 43.08 | 1.9 |
| 0084 | M P7 - I | 60 | 36 | 4 | 0.04 | 0.08 | 0.58 | 8.60 | 52.40 | 1.3 |
| 0085 | M P7 - D | 32 | 56 | 12 | 0.00 | 0.02 | 6.00 | 15.92 | 8.60 | 1.0 |
| 0086 | Laguna - 1 | 100 | 0 | 0 | 0.00 | 0.04 | 58.90 | 34.32 | 2.90 | |
| 0087 | Laguna - 2 | 100 | 0 | 0 | 0.02 | 1.26 | 36.32 | 47.68 | 9.00 | 0.2 |
| 0088 | Laguna - 3 | 100 | 0 | 0 | 0.02 | 0.16 | 23.94 | 65.96 | 4.60 | |
| 0089 | Laguna - 4 | 100 | 0 | 0 | 15.88 | 43.02 | 24.72 | 11.54 | 0.58 | 0.1 |
| 0090 | Laguna - 5 | 24 | 58 | 18 | 0.00 | 0.16 | 0.30 | 0.58 | 21.52 | 0.2 |
| 0091 | Laguna - 1 IA | 100 | 0 | 0 | 0.80 | 44.56 | 42.86 | 2.84 | 1.62 | |

Ing. Rubén Bazán Tapia
Jefe del Laboratorio

/ndf

Av. La Universidad s/n. La Molina. Campus UNALM
Telfs.: 349 5669 349 5647 Anexo: 222 Telefax: 349 5622
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS: EN SUELO

SOLICITANTE : CONSORCIO HIDROVIA HUALLAGA
PROCEDENCIA : LORETO
REFERENCIA : H.R. 7545
FECHA : 27/01/05

| No. de lab. | Clave de campo | Arena % | Limo % | Arcilla % | Distribución porcentual fracción arena | | | | |
|-------------|-----------------|---------|--------|-----------|--|--------|-------|-------|----------|
| | | | | | Muy Gruesa | Gruesa | Media | Fina | Muy Fina |
| 0127 | Yurimaguas - 04 | 100 | 0 | 0 | 0.0 | 0.40 | 62.74 | 31.46 | 1.40 |
| 0128 | Yurimaguas - 05 | 100 | 0 | 0 | 0.0 | 0.10 | 52.94 | 40.02 | 2.64 |
| 0129 | Yurimaguas - 06 | 100 | 0 | 0 | 0.0 | 0.04 | 23.02 | 67.18 | 4.36 |



Rubén Bazán Tapia
Ing. Rubén Bazán Tapia
Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA – DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORMES DE ANÁLISIS – ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : CARMEN CONOPUMA
PROCEDENCIA : LORETO/ALTO AMAZONAS/YURIMAGUAS
REFERENCIA : H.R. 7977
FECHA : 18-19/03/05

| Clave de campo | Grava | | | Arena | | Limo | | Arcilla | | Distribución porcentual de fracción arena | | | | |
|-----------------|-------|--|--|--------|-------|------|------|---------|------------|---|-------|-------|----------|--|
| | | | | % | | % | % | % | Muy Gruesa | Gruesa | Media | Fina | Muy fina | |
| Yurimaguas - 01 | 0.00 | | | 97.40 | 1.20 | 0.90 | 0.00 | 0.00 | 3.44 | 34.54 | 54.98 | 3.88 | 0.60 | |
| Yurimaguas - 02 | 0.00 | | | 58.00 | 40.00 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.04 | 0.06 | 1.78 | 56.04 | |
| Yurimaguas - 03 | 0.00 | | | 97.42 | 1.95 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 1.08 | 78.48 | 17.82 | 0.02 | |
| Yurimaguas - 04 | 0.00 | | | 97.85 | 0.90 | 0.86 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.38 | 63.98 | 29.88 | 3.61 | |
| Yurimaguas - 05 | 0.70 | | | 99.17 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.6 | 6.88 | 82.79 | 8.08 | 0.82 | |
| Progreso - 1 | 0.00 | | | 98.53 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.18 | 18.59 | 50.96 | 28.80 | |
| Progreso - 2 | 0.24 | | | 98.10 | 0.65 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.18 | 4.54 | 75.82 | 17.52 | |
| Progreso - 3 | 0.00 | | | 98.05 | 0.97 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.68 | 54.89 | 38.87 | 3.59 | |
| Progreso - 4 | 1.08 | | | 98.98 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 22.1 | 31.52 | 26.78 | 17.04 | 1.54 | |
| Progreso - 5 | 1.06 | | | 98.78 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 10.72 | 29.54 | 44.76 | 12.96 | 0.80 | |
| Laguna - 1 | 0.00 | | | 98.42 | 1.32 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.32 | 63.06 | 33.66 | 1.38 | |
| Laguna - 2 | 0.23 | | | 97.64 | 2.01 | 0.14 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.48 | 55.72 | 39.32 | 2.08 | |
| Laguna - 3 | 0.12 | | | 99.24 | 0.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.78 | 60.52 | 36.34 | 1.52 | |
| Laguna - 4 | 0.00 | | | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 4.09 | 71.14 | 23.02 | 0.90 | |
| Laguna - 5 | 0.00 | | | 24 | 42 | 34 | | | 0.08 | 0.32 | 0.46 | 2.83 | 19.98 | |


Ing. Rubén Bazán Tapia
Jefe del Laboratorio



3.4.5.- Cálculo de Transporte de Sedimentos de Fondo.

El transporte de sedimentos de fondo es un parametro muy importante, pues determina la magnitud de los procesos de erosión – sedimentación, para esto se ha recolectado muestras del tipo de material que esta constituido el lecho del río, posteriormente se procedió analizar dichas muestras, unas vez obtenidas las curvas granulometricas, se procedió a obtener los diametros caracteristicos. A continuacion se procederá a calcular el transporte de sedimentos de fondo para cada una de campañas de muestreo realizadas, para esto se hara uso de las siguientes formulas:

| METODOS | FORMULAS |
|---|--|
| DU BOYS - STRAUB | $Gb = \frac{0.01003}{\gamma_s \cdot D^{3/4}} \tau_0 (\tau_0 - \tau_c)$ |
| KALINSKE | $\frac{Gb}{V_* \cdot \gamma_s \cdot D} = f\left(\frac{\tau_c}{\tau_0}\right)$ |
| MEYER PETER Y MULLER TERCERA FORMULA | $Gb = \left[\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma} \right)^{2/3} \left(\left(\frac{n'}{n} \right)^{3/2} \gamma R S - 0.079 D m \right) \right]^{3/2}$ |
| MEYER PETER Y MULLER CUARTA FORMULA | $Gb = 8 \cdot \gamma_s \cdot D_m^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot \Delta^{1/2} \cdot \left[\left(\frac{n'}{n} \right)^{3/2} \cdot \frac{R \cdot S}{\Delta \cdot D_m} - 0.047 \right]^{3/2}$ |
| S. SATO, H. KIKKAWA , K. ASHIDA | $Gb = \tau_0 \cdot v_* \cdot F \left(\frac{\tau_c}{\tau_0} \right) \left(\frac{1}{40n} \right)^{3.5}$ |
| FRIJLINK | $Gb = 5 \cdot \gamma_s \cdot D_{50} (\mu \cdot g \cdot R \cdot S)^{1/2} \cdot e^{-0.27 \frac{\Delta \cdot D_{50}}{\mu \cdot R \cdot S}}$ |
| PERNECKER Y VOLLMERS | $Gb = \frac{\gamma_s}{(\gamma_s - \gamma)} \tau_0 \cdot V_* \left(\frac{25 \cdot \tau_0}{(\gamma_s - \gamma) D} - 1 \right)$ |
| INGLIS - LACEY | $Gb = 0.562 \frac{(v \cdot g)^{1/3}}{\omega} \cdot \frac{v^2}{g \cdot D} \cdot \frac{\gamma \cdot v^3}{g}$ |

En la sección de Lagunas, las muestras de fondo indican la predominancia de arenas medianas a finas. Solamente cerca del canal más profundo con las mayores velocidades se encontró arena gruesa (43%). En una única muestra del fondo se ve una parcela significativa de limo y arcilla que probablemente se originan de la propia ribera limosa.

En la sección de Progreso, ocurren solamente arenas de medianas a finas, con baja porcentaje de arena gruesa. El punto en que se ubica la arena mas gruesa (22%), una vez mas se encuentra en el canal principal donde las velocidades son mas elevadas.

En la sección de Yurimaguas, se encontró solamente arena de mediana a fina, solamente una muestra presenta 11% de arena gruesa y esta ubicada en el canal con las mayores velocidades.

**Tabla 3.4.1: Volúmenes de Sedimentos de Fondo
 (Diciembre 2004)**

| METODOS | Gb (Ton/día) | | |
|------------------------------------|--------------|----------|---------|
| | Yurimaguas | Progreso | Lagunas |
| DU BOYS - STRAUB | 2331 | 3346 | 7451 |
| KALINSKE | 46373 | 66793 | 92042 |
| MEYER PETER Y MULLER | 72380 | 92601 | 116949 |
| S. SATO, H. KIKKAWA , K. ASHIDA | 14162 | 20399 | 28110 |
| FRIJLINK | 121998 | 150670 | 149679 |
| PERNECKER Y VOLLMERS | 10053 | 15587 | 43029 |
| INGLIS - LACEY | 6357 | 10443 | 28829 |

**Tabla 3.4.2: Volúmenes de Sedimentos de Fondo
 (Enero 2005)**

| METODOS | Gb (Ton/día) | | |
|------------------------------------|--------------|----------|---------|
| | Yurimaguas | Progreso | Lagunas |
| DU BOYS - STRAUB | 2105 | 3806 | 6089 |
| KALINSKE | 44086 | 71903 | 82041 |
| MEYER PETER Y MULLER | 69732 | 97594 | 108008 |
| S. SATO, H. KIKKAWA , K. ASHIDA | 13464 | 21959 | 25055 |
| FRIJLINK | 136269 | 135305 | 158829 |
| PERNECKER Y VOLLMERS | 8849 | 18309 | 33374 |
| INGLIS - LACEY | 5929 | 12267 | 22360 |

Los resultados obtenidos en los cálculos han sido analizados de manera minuciosa ,
 llegándose a la conclusión que la formula de Meyer Peter y Muller es la que ofrece
 mejores resultados, esto concuerda satisfactoriamente con la experiencia pues esta
 formula ha sido utilizada de manera exitosa en ríos de características similares.

3.5.- Transporte de Sedimentos Total.

Las tablas 3.5.1 y 3.5.2 presentan un resumen de las mediciones de transporte de sedimentos totales

**Tabla 3.5.1 Transporte de Sedimentos Totales
(Diciembre 2004)**

| SECCIONES | FECHAS | CAUDALES LÍQUIDOS | PENDIENTE HIDRAULICA | CAUDALES SÓLIDOS | |
|------------|-----------|----------------------|-------------------------|---------------------|------------|
| | | m3 / seg. | cm/Km. | TM/día | m3/día |
| YURIMAGUAS | 10-Dic-04 | 3,386.64 | 7.18 | 119,682 | 93,501.81 |
| PROGRESO | 8-Dic-04 | 4,233.16 | 10.52 | 164,868 | 128,803.33 |
| LAGUNAS | 4-Dic-04 | 5,220.19 | 7.93 | 356,620 | 278,609.50 |

**Tabla 3.5.2 Transporte de Sedimentos Totales
(Marzo 2004)**

| SECCIONES | FECHAS | CAUDALES LÍQUIDOS | PENDIENTE HIDRAULICA | CAUDALES SÓLIDOS | |
|------------|-----------|----------------------|-------------------------|---------------------|------------|
| | | m3 / seg. | cm/Km. | TM/día | m3/día |
| YURIMAGUAS | 11-Mar-05 | 4,245.33 | - | 133,405 | 104,222.46 |
| PROGRESO | 12-Mar-05 | 4,541.54 | - | 208,067 | 162,552.48 |
| LAGUNAS | 12-Mar-05 | 5,303.52 | - | 203,276 | 158,809.42 |

3.6.- Conclusiones.

Con solamente dos campañas de mediciones de sedimentos en suspensión y de fondo no se puede sacar conclusiones al respecto del monto del transporte por arrastre de material de fondo de manera definitiva.

El transporte de sedimentos total medido en las dos campañas están en el orden de los 100,000 – 300,000 TM/día entre Yurimaguas y Lagunas, siendo mayor en este último, debido a la inestabilidad del cauce, como debía esperarse disminuye hacia aguas arriba llegando a 100,000 TM/día en Yurimaguas donde el cauce es más estable y los terrenos más consistentes (ver Fig. N° 4.5.1).

El crecimiento de la descarga total de sedimentos es lineal en el tramo dado las características distintas de los 3 diferentes tramos morfológicos del área del estudio (ver cuadro 3.5.1 y 3.5.2).

4.- GEOMORFOLOGÍA FLUVIAL

4.1. Definiciones.

Antes de proceder a dar nuestro análisis de dinámica fluvial del río Huallaga, se dará una definición sobre los términos mas importantes de Geomorfología Fluvial (ver Fig. N° 4.1.1). Los términos españoles usados son principalmente de Anchieta-Calderón (1987). Los trabajos presentados por Schumm (1977), Levey (1978), Reineck y Singh (1980), Selley (1982) y Morisawa (1985) presentan una información mas detallada sobre la geomorfología fluvial.

La **planicie de inundación** o **llanura inundable** (*flood plain*) se refiere a una región plana regularmente inundada adyacente a un río, que se puede dividir en dos secciones. La **llanura meándrica** (*meander plain, meander belt*) esta limitada por los meandros anteriores, cauces abandonados y otras formas creadas por los ríos. La **cuenca inundable** (*flood basin*) es la parte baja de la llanura inundable y se conoce también como **planicie de bajial**. Estas áreas se localizan adyacentes a canales ribereños activos o abandonados, son planas casi sin rasgos de relieves y presentan un drenaje pobre. El tamaño y forma de una cuenca inundable varían pero normalmente presentan una forma alargada que corre paralelamente a la llanura meándrica. El otro lado esta definido tanto por el declive del valle, terrazas aluviales o por otras llanuras meándricas. Existen áreas pantanosas entre diques naturales en el curso bajo de dos ríos que se unen (por ejemplo, entre los ríos Huallaga y Marañón)

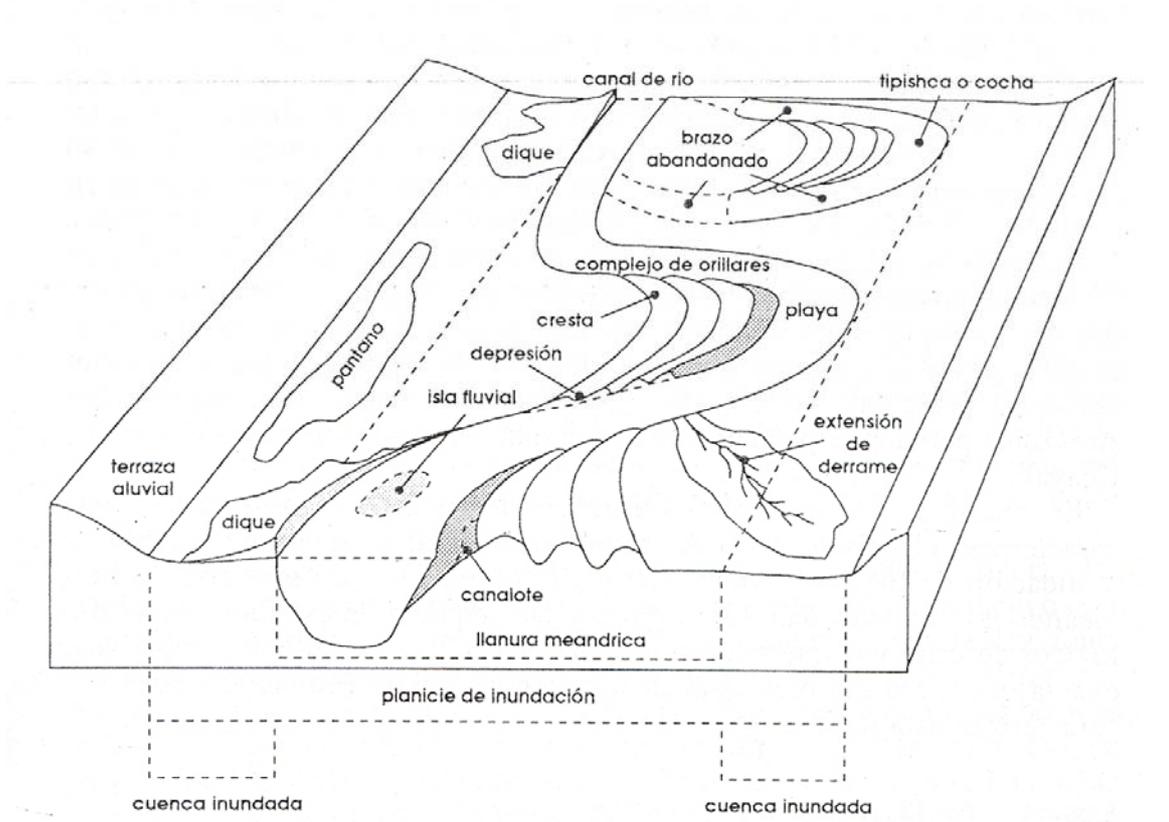


Fig. N° 4.1.1: Definición de los mas importantes términos de Geomorfología Fluvial

El aumento lateral y vertical de los sedimentos fluviales tienen lugar en las planicies de inundación (ver Fig. N° 4.1.2). En los ríos que tienen una migración lateral activa, los depósitos fluviales se diferencian en **depósitos del canal** (*channel deposits*) y **depósitos de la llanura inundable** o **depósitos distales del canal** (*flood plain deposits* o *overbank deposits*). Los depósitos del canal incluyen **depósitos centrales** gruesos y **depósitos de barras fluviales**. Piedras grandes, bloques de sedimentos no consolidados y guijarros de lodos se concentran en la corriente central, mientras que las barras fluviales (playas) se componen de un material cuyas partículas pueden ser de diverso tamaño.

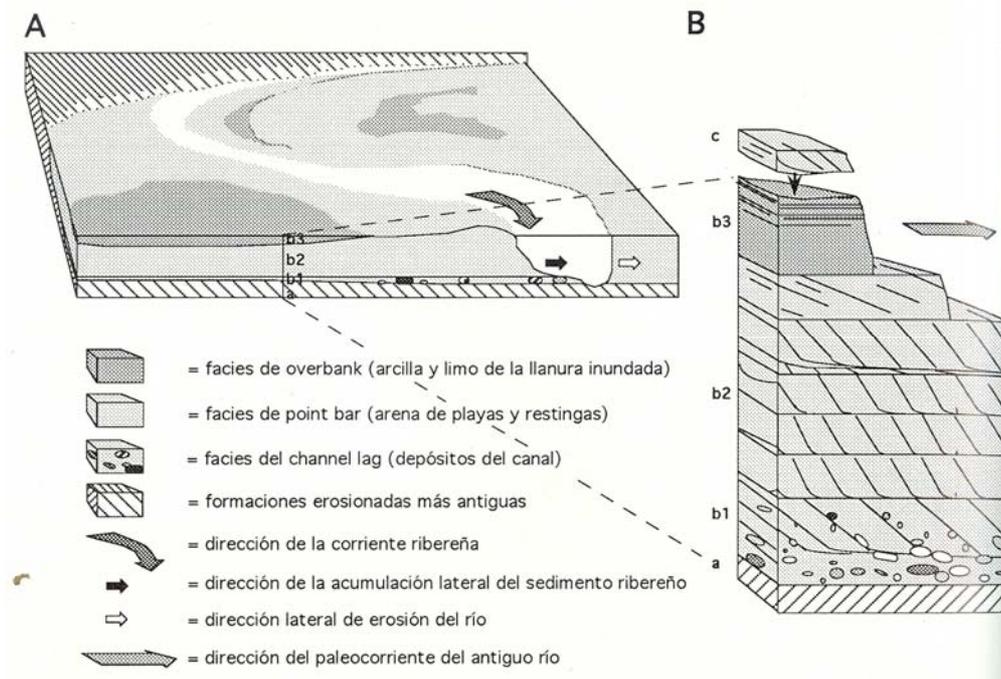


Fig. N° 4.1.2: A) Modelo simplificado de los procesos y formaciones en el sistema fluvial de ríos de curso meandriforme (río Huallaga), B. Secuencia típica de un ciclofluvial, varios ciclos fluviales formados de esta manera, pueden ser expuestos en lugares de profunda denudación

Las **playas** o **barras fluviales** (*fluvial bars*) son definidas como acumulaciones de sedimentos que acaban de formar los puntos topográficos mas elevados de los cauces de los ríos, incluyendo playas en la orilla (*point bar*) y del canal (*channel bar*). Las playas en la orilla son el mayor lugar de deposición de sedimento en los ríos de curso meándrico y se forman en el lado convexo de la curvatura del río, las islas fluviales están formadas de barras en el centro del canal. La morfología de la playa contiene otras subformas mas pequeñas, como son ondulaciones (*ripples*), mega-ondulaciones (*mega-ripples*), barras transversales (*transverse bars*) y canalones (*chute channels*).

La migración de los ríos de curso meándrico deja una serie de **crestas** o **restingas** (*ridges*) y **depressiones pantanosas** o **bajiales** (*swales*). Esta serie se denomina **complejo de orillares** (*meander scrolls*). Cada cresta representa el resultado de la migración del curso durante la formación de una nueva playa. Las depressiones entre las restingas se llenan de partículas de pequeñas dimensiones.

A veces las facies mas gruesas de los depósitos forman **diques naturales** (*levee*) y **extensiones de derrame** (*crevasse splay*) adyacentes al canal del río. El dique natural es una restinga formadas por sedimentos que flanquean los cauces y están desarrollados especialmente en las orillas cóncavas o en los estirones (tramos rectos). La elevación máxima de estos diques ocurre cerca o en el borde del canal, luego le sigue un declive suave hasta las planicies inundadas, mas lejos del canal. Durante las extensas inundaciones, cantidades de agua y sedimentos penetran en las planicies de inundación adyacentes. El agua que rebasa puede llenar las entalladuras cortadas en los diques, formando de esta manera extensiones de derrame, que pueden alcanzar varios metros de espesor.

Las cuencas inundadas representan unos embalses en los que se depositan sedimentos finos. Las áreas mas anegadas forman extensas **zonas pantanosas** (*backswamps*). A veces grandes lagos de un fondo bajo pueden desarrollarse en estos pantanos. No obstante, la mayoría de los lagos formados en la planicie de inundación se originan en canales abandonados de los ríos. Mientras una o ambas bocas del canal abandonado se llenan de sedimentos, el lugar periférico permanece abierto y forma una **tipishca** o cocha (*cutoff lake, oxbow lake*). Estas lagunas varían en forma y tamaño, las mas comunes son las que se formaron cuando un río interrumpe su curso por una depresión pantanosa (*chute cut-off*) o cuando ha cortado su curso en el cuello del meandro (*neck cut-off*) (Lewis y Lewin 1983, Hooke 1984). Los lagos bloqueados en el valle se forman cuando un tributario esta bloqueado por los sedimentos del canal principal. Todos estos tipos de lagos son muy comunes en la amazonía peruana, especialmente en las cuencas del Huallaga, Pastaza, Marañon y Ucayali.

4.2. Redes Fluviales.

La amazonía peruana comprende la parte occidental de la región drenada por el río Amazonas, que cubre mas de 5'800,000 Km² y es el sistema fluvial mas grande del mundo. En Obidos (Brasil) el rio Amazonas presenta una descarga anual promedio de 157,000 m³/seg. (Oltman 1968), y la carga de sedimentos en suspensión varia entre 1,1 a 1,3 billones TM (Meade *et al.* 1985). La deposición de estos sedimentos ocurre, en su mayor parte, a lo largo de los ríos que contienen una alta carga de suspensión, los cuales de acuerdo a los cálculos de Radambrasil (1972) cubren 60,000 km² en la amazonía brasileña. La presente planicie inundable en la amazonía peruana, comparable aproximadamente con el concepto *várzea* brasileña, ha sido estimada como de 62,100 km² (Salo *et al.* 1986).

La amazonía peruana esta drenada por numerosos ríos de diferentes tamaños entre los cuales el Amazonas, Marañón, Huallaga, Ucayali y Madre de Dios pertenecen a los ríos mas grandes. Como estos ríos vienen de áreas climáticamente diferentes, las fluctuaciones del nivel de agua sigue diferentes regímenes (Peñaherrera 1986). En la figura se observan los distintos regimenes hidrológicos.

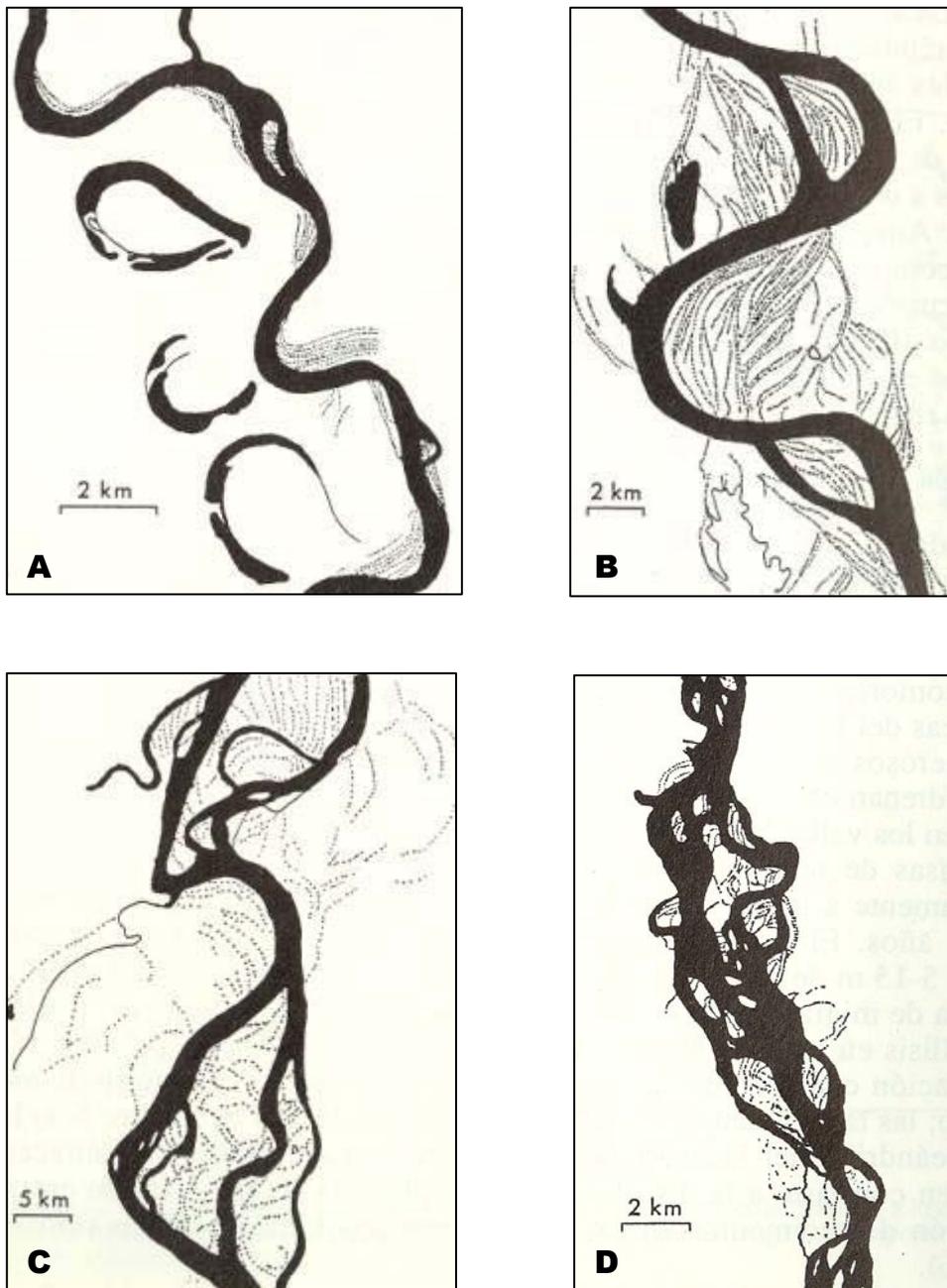


Fig. N° 4.3.1: Ejemplo de diferentes patrones de ríos en la amazonía peruana, A. Meándrico (Madre de dios). B. Meándrico con islas fluviales (Ucayali). C. Anastomoso (Amazonas). D. Trenzado (Inambari). Las líneas indican el patrón de orillares.

En la amazonía peruana, varios ríos grandes se originan en los Andes, como el Huallaga, Urubamba, Alto Madre de Dios, Inambari y Tambopata, forman cursos trenzados pero empiezan a presentar una forma meandreante río abajo. Los ríos Pastaza y Napo mantienen sus cursos trenzados en la selva baja. Los ríos Amazonas y Marañón son intermedios entre trenzados y anastomosos. El río Huallaga presenta forma meándrica con islas fluviales en su parte baja.

4.4. Migración de cursos Fluviales.

La tasa de erosión lateral del curso meándrico ejerce una influencia sobre la vegetación circundante. La tasa de migración de los meandros del río Huallaga están siendo estudiados actualmente a través de imágenes satelitales multiespectrales de diversos años, esta información será presentada en el Informe Final.

Preliminarmente se puede observar las marcas profundas dejadas por la migración del cauce del río huallaga (ver Fig. N° 4.4.2 en Anexos).

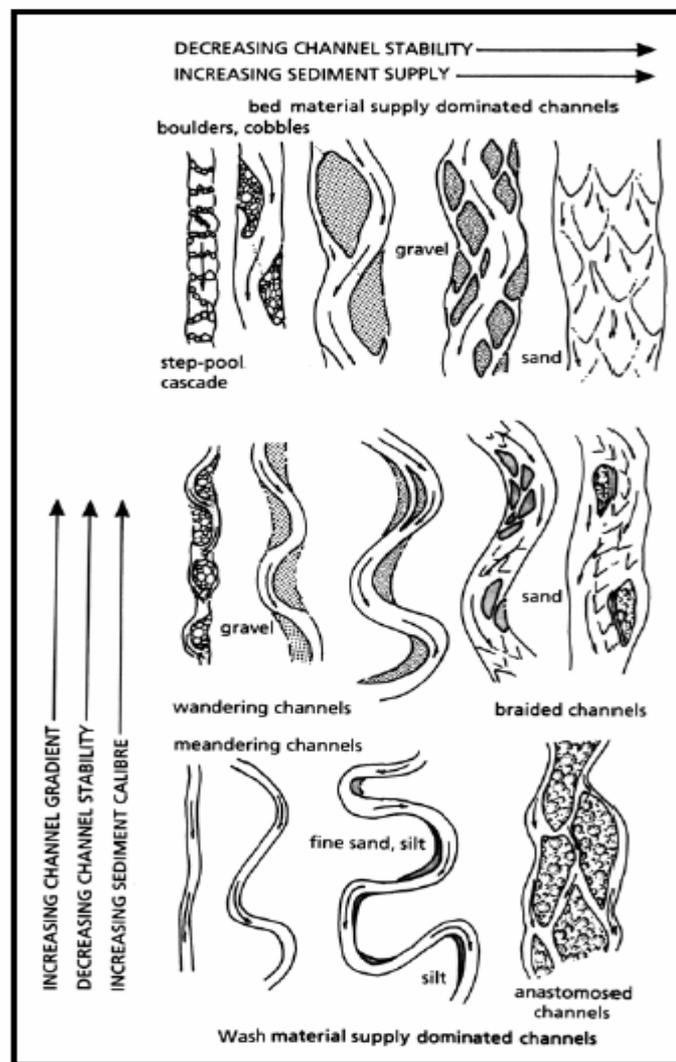


Fig. N° 4.4.1: Modelo conceptual del tipo morfológico para ríos grandes (Church 1992).
Se puede apreciar claramente que los canales del tipo trenzado cuidan ser más estable que los canales muy sinuosos:

4.5. Comportamiento Morfológico del Río en el Tramo del Estudio.

El trecho de 220 Km. en estudio, morfológicamente puede ser dividido en 3 sub-tramos:

1. Primer Subtramo (ZONA A1), entre el Km. 0 (Boca Huallaga) y el Km 120 (aguas arriba de Santa Cruz), con gran influencia del comportamiento hidrológico del Río Marañón. Las variaciones del nivel del Río Marañón cambian directamente al régimen hidráulico del Río Huallaga interfiriendo en el comportamiento morfológico del cauce. Un examen preliminar de las imágenes satelitales disponibles actuales y del pasado (últimos 10 años) indican fenómenos típicos de ríos de fondo extremadamente móviles, capturas de afluentes, lagunas con el formato de media luna y principalmente una gran variación de la forma en planta de la desembocadura del Río Huallaga en el Marañón (ver Fig. N° 4.5.1 y 4.5.3).

Los dos cauces son inestables, evolucionan sobre sus propios sedimentos interferido mutuamente. En las crecidas el cauce menor extravasa pasando ambos los ríos a desembocar en un cauce mayor más extenso en medio de terrenos planos, con muchas lagunas provenientes de antiguos meandros. En la ocasión de la disminución de los aforos de crecida el cauce vuelve al cauce menor tomando por veces canales muy distintos de los de la bajada anterior.

Notase en todo el tramo, que la evolución de los meandros es muy rápida, que los meandros son vivos, casi nunca obteniendo un desarrollo que garantice la estabilidad.

2. Segundo Subtramo (ZONA A2), entre lo Km120 hasta un poco aguas arriba del Paso de Progreso, se caracteriza por un falso delta en el cual la influencia del Río Marañón no es permanente (solamente por ocasión de las grandes crecidas). Por este efecto el cauce continua movable y evoluciona sobre sus propios sedimentos. El canal se bifurca en medio de una serie de islas disminuyendo las profundidades dando inicio a los primeros pasos críticos para la navegación (ver Fig. N° 4.5.2).

El fenómeno del falso delta es muy común en toda la Amazonía cuando del encuentro de ríos relativamente pequeños en relación con grandes aforos de los ríos Amazonas y Marañón.

Los meandros continúan con fuerte tendencia a evolucionar en la busca de estabilidad. En la comparación de las fotos satelitales disponibles se nota muy bien el fenómeno de la tendencia del desplazamiento de los lagos aguas abajo y se nota muchos meandros vivos que no alcanzan la estabilidad teniendo como resultado la formación de lagunas en media luna.

3. Tercer Subtramo (ZONA B), tiene inicio un poco aguas arriba del paso de Progreso yendo hasta la ciudad de Yurimaguas, el río Huallaga pasa a evolucionar arriba de terrenos un poco mas elevados en medio de colinas bastante suaves. El Río evoluciona sobre sus propios sedimentos, en tiempos pasados, ateniendo cierta estabilidad en el tramo. Su apoyo sobre las riberas más resistentes de las colinas (ver Fig. N° 4.5.1 y 4.5.2).

No se notan meandros vivos en el tramo (lagunas en media luna). En los tramos rectilíneos y anchos, como en el paso de Santa María, se ve la formación de campos de dunas de fondo que caracterizan los malos pasos.

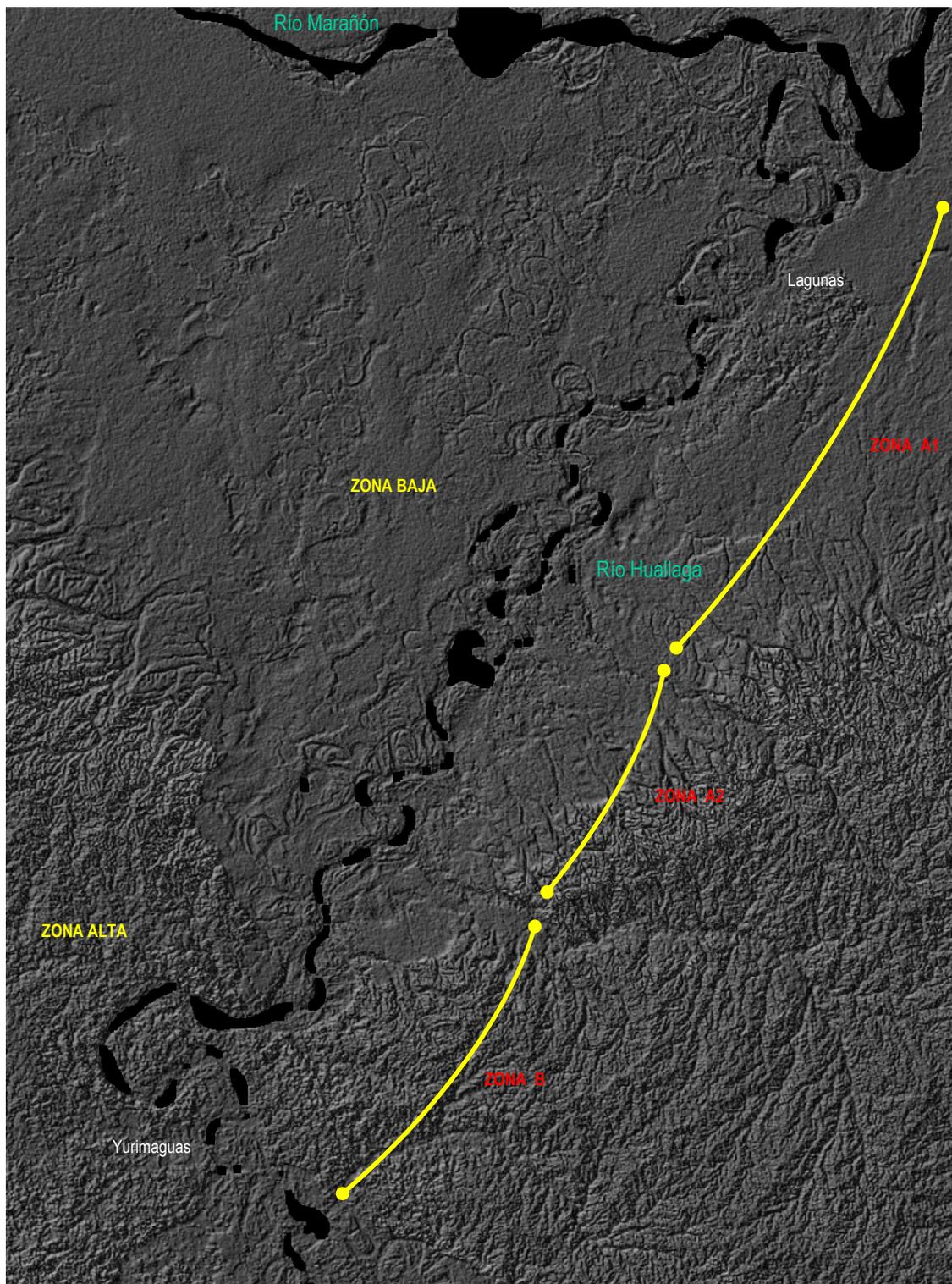


Fig. N° 4.5.1: Imagen RadarSat de la zona de estudio, se pueden apreciar claramente que la cuenca del río en este tramo esta dividido en dos zonas: Zona Baja (ZONA A)de cauce inestable (observar las marcas profundas dejadas por la migración del cauce), esta zona esta dividida a su vez en dos zonas (A1 y A2) y Zona Alta (ZONA B), la cual es mas estable que la anterior.

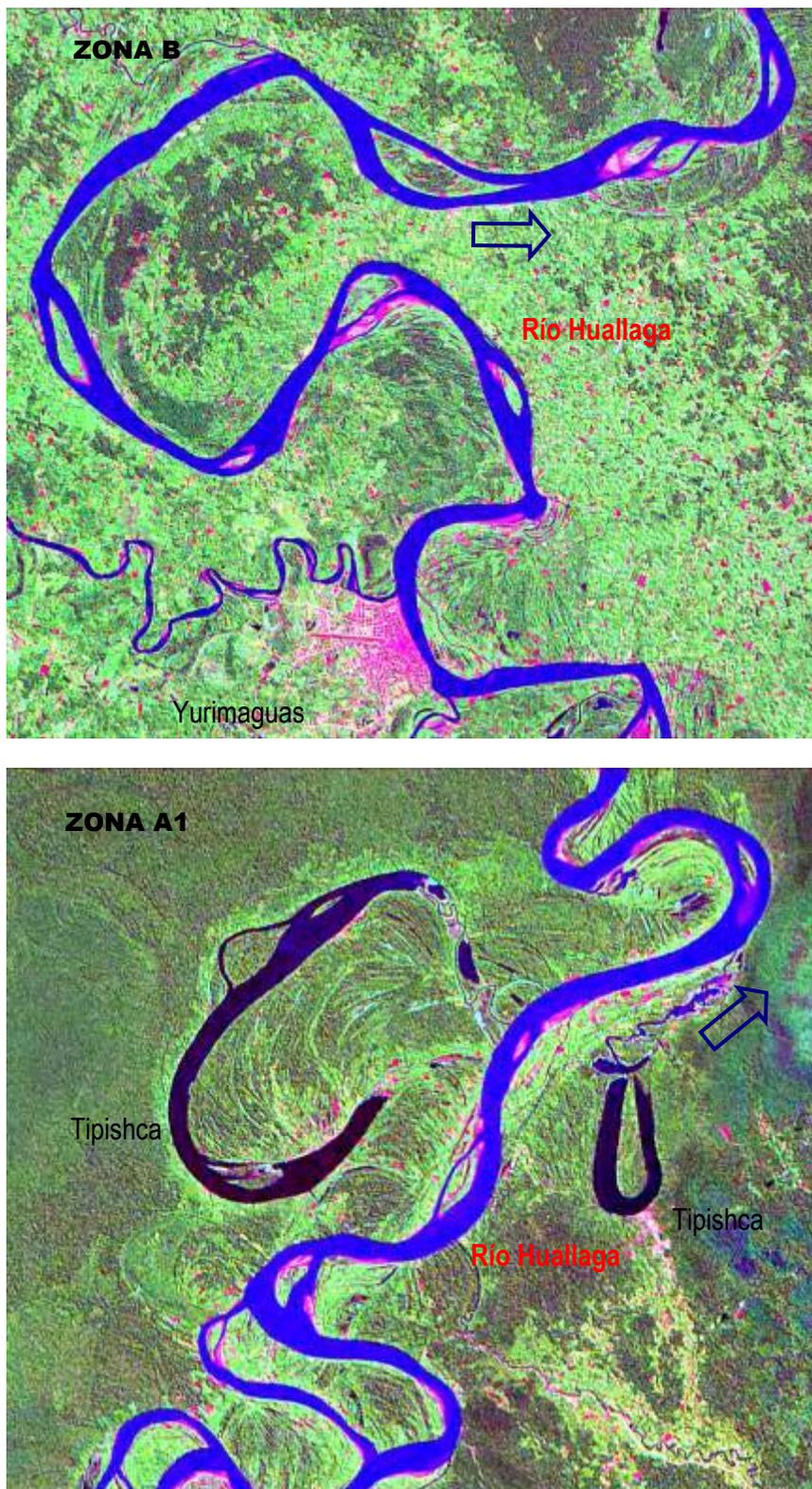


Fig. N° 4.5.2: Imagen LanSat ETM+ en ella se pueden observar las zonas descritas en la Fig. N° 4.5.1. (ZONAS A1 y B).

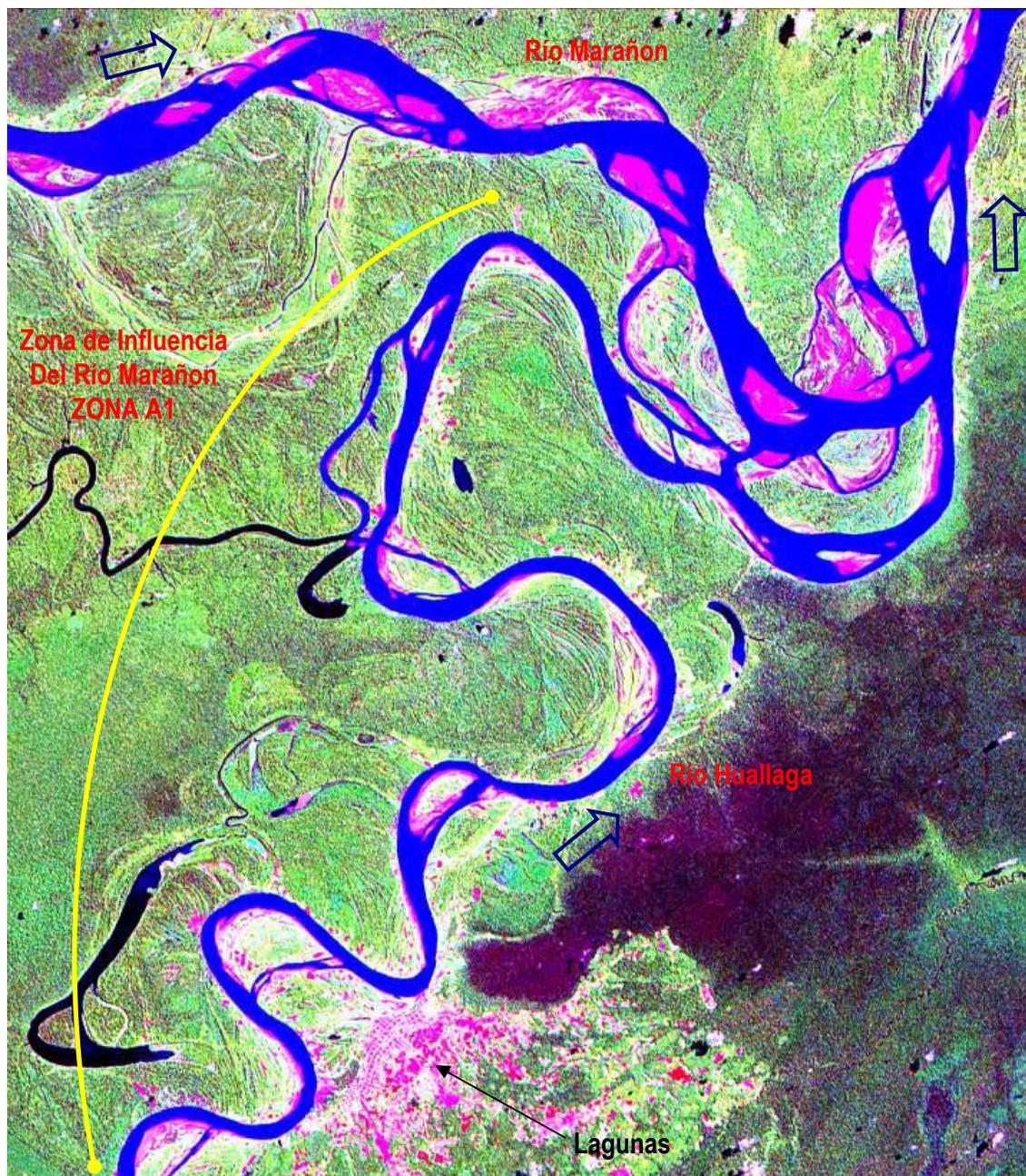


Fig. N° 4.5.3: Imagen LanSat ETM+ en ella se esquematiza las zona de influencia del río Marañon sobre el Huallaga debido a la diferencia de niveles (ZONA A1).

En algunos tramos, como en el mal Paso de Providencia, se nota que el cauce menor continua a evolucionar dentro del cauce mayor de aguas crecidas, alterando la posición del canal de navegación entre dos periodos de aguas bajas. En este Paso en los últimos años el canal que estaba en la margen izquierda, cambio a la otra margen erosionando las islas existentes.

Las pocas mediciones disponibles del transporte sólido en suspensión en toda el tramo de 220 Km indican un acentuado transporte de sedimentos en todo el tramo. Las velocidades bastante elevadas en el periodo de crecidas aumentan sensiblemente el transporte por suspensión de los limos que se depositan en los periodos de aguas bajas principalmente en el cauce mayor durante la bajada de las aguas.

El transporte por arrastre de fondo es proporcional al de suspensión arrastrando granos de arena (mediana y fina) principalmente en el cauce menor dando origen a los malos pasos. En la totalidad de los pasos críticos el fondo es de arena y en los levantamientos batimétricos se notan la formación de dunas de fondo.

4.6.- Malos Pasos del Río Huallaga en la Zona de Proyecto.

Se procedió a identificar la ubicación, extensión y número de malos pasos, para lo cual se analizó la siguiente información:

- Estudio de los derroteros editados por la Dirección de Hidrografía y navegación de la Amazonía
- Características náuticas de la flota naviera
- Viaje de reconocimiento (identificaron 07 malos pasos)
- Tirante mínimo requerido que se establece en las bases igual a 4 pies.
- Resultados del levantamiento batimétrico detallado

Esta información ha sido confrontada con los resultados del levantamiento batimétrico detallado que se realizó en cada zona seleccionada, luego del análisis de toda esta información se estableció de manera definitiva los malos pasos en relación al tirante mínimo requerido que se establece en las bases igual a 4 pies.

Mal Paso 01 (Paranapura):

Esta ubicado entre las progresivas 216+250 y 217+000 (contadas a partir de Boca Huallaga), tiene una extensión de 750 m. Y un ancho que fluctúa entre los 500 – 600 m. Las márgenes derecha e izquierda se caracterizan por ser terrenos bajos inundables y de espesa vegetación (ver Fig. N° 4.6.1).

Mal Paso 02 (Providencia).

Esta ubicado entre las progresivas 209+500 y 213+700, que tiene una extensión de 4200 m. Y un ancho que fluctúa entre los 200 – 950 m, la isla Providencia separa el cauce del río en dos partes, el trafico fluvial en aguas bajas es llevado a cabo por el cauce del lado derecho pues presenta mejores condiciones de navegabilidad. La margen derecha se caracteriza por ser de terrenos altos no inundables, la margen izquierda y la isla están conformados por terrenos bajos inundables, ambas riberas y la isla están cubiertas por una espesa vegetación. El principal centro poblado es "Providencia" y se encuentra en la margen derecha. (ver Fig. N° 4.6.2).



Fig. N° 4.6.1: Mal Paso "Paranapura".

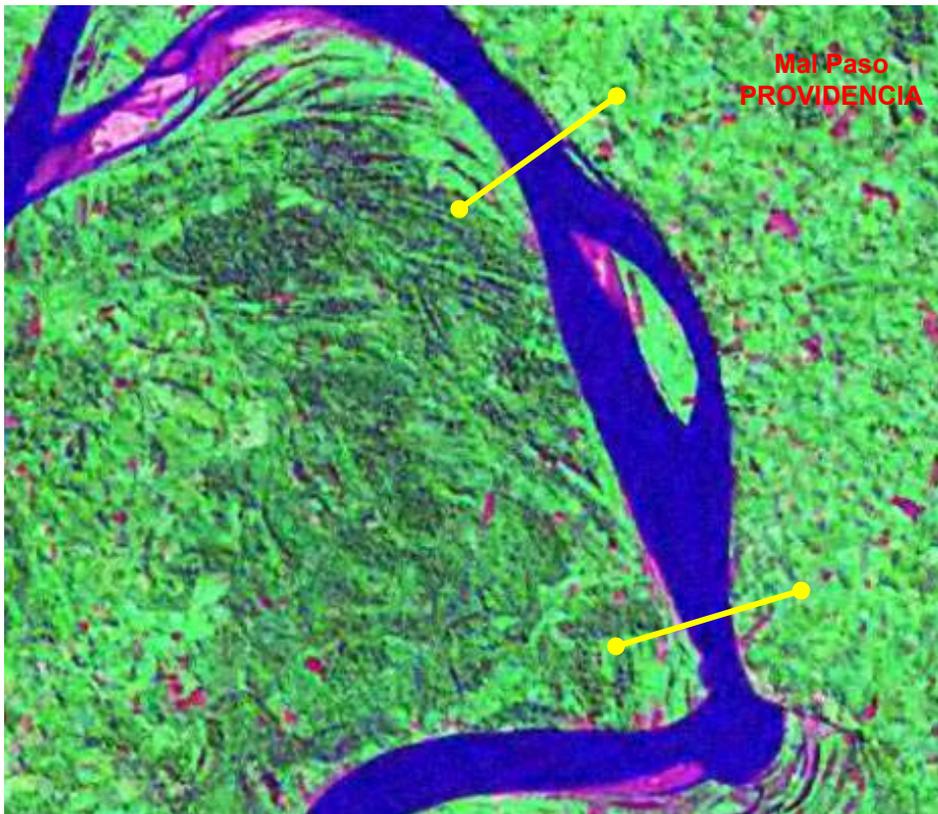


Fig. N° 4.6.2: Mal Paso "Providencia".

Mal Paso 03 (Metrópolis).

Esta ubicado entre las progresivas 192+500 y 197+500, que tiene una extensión de 5000 m. Y un ancho que fluctúa entre los 400 – 850 m, la isla Metrópolis separa el cauce del río en dos partes, el tráfico fluvial en aguas bajas es llevado a cabo por el cauce del lado derecho pues presenta mejores condiciones de navegabilidad. Las riberas derecha se caracteriza por ser de terrenos altos no inundables, la margen izquierda esta conformada por terrenos bajos inundables hasta una cierta distancia tierra adentro se pudo apreciar zonas elevadas, la isla esta conformada por terrenos bajos inundables, ambas riberas y la isla están cubiertas por una espesa vegetación. El principal centro poblado es “Metrópolis” y se encuentra en la margen derecha(ver Fig. N° 4.6.3).

Mal Paso 04 (Oro mina).

Esta ubicado entre las progresivas 187+450 y 190+950, que tiene una extensión de 3500 m. Y un ancho que fluctúa entre los 500 – 800 m. La margen derecha se caracteriza por ser de terrenos bajos inundables, la margen izquierda esta conformada por terrenos bajos inundables hasta una cierta distancia tierra adentro se pudo apreciar zonas elevadas, ambas riberas están cubiertas por una espesa vegetación. El principal centro poblado es “Oro Mina” y se encuentra en la margen derecha (ver Fig. N° 4.6.4).

Mal Paso 05 (Santa María).

Esta ubicado entre las progresivas 174+000 y 183+150, que tiene una extensión de 9150 m. Y un ancho que fluctúa entre los 280 – 800 m, la isla santa María separa el cauce del río en dos partes, el tráfico fluvial en aguas bajas es llevado a cabo por el cauce del lado izquierdo pues presenta mejores condiciones de navegabilidad. Ambas márgenes y la isla se caracterizan por ser de terrenos bajos inundables y están cubiertas por una espesa vegetación. El principal centro poblado es “Santa María” y se encuentra en cauce del lado derecho en la margen derecha, esta poblado esta sobre una zona alta(ver Fig. N° 4.6.5).

Mal Paso 06 (Progreso).

Esta ubicado entre las progresivas 148+500 y 152+000, que tiene una extensión de 3500 m. Y un ancho que fluctúa entre los 320 – 800 m, la isla Progreso separa el cauce del río en dos partes, el tráfico fluvial en aguas bajas es llevado a cabo por el cauce del lado derecho pues presenta mejores condiciones de navegabilidad. Ambas márgenes y la isla se caracterizan por ser de terrenos bajos inundables y están cubiertas por una espesa vegetación. El principal centro poblado es “Progreso” y se encuentra en el margen derecha(ver Fig. N° 4.6.6).

Mal Paso 07 (Santa Cruz).

Esta ubicado entre las progresivas 115+000 y 117+500, que tiene una extensión de 2500 m. y un ancho que fluctúa entre los 320 – 530 m. Ambas márgenes se caracterizan por ser de terrenos bajos inundables y están cubiertas por una espesa vegetación (ver Fig. N° 4.6.7).

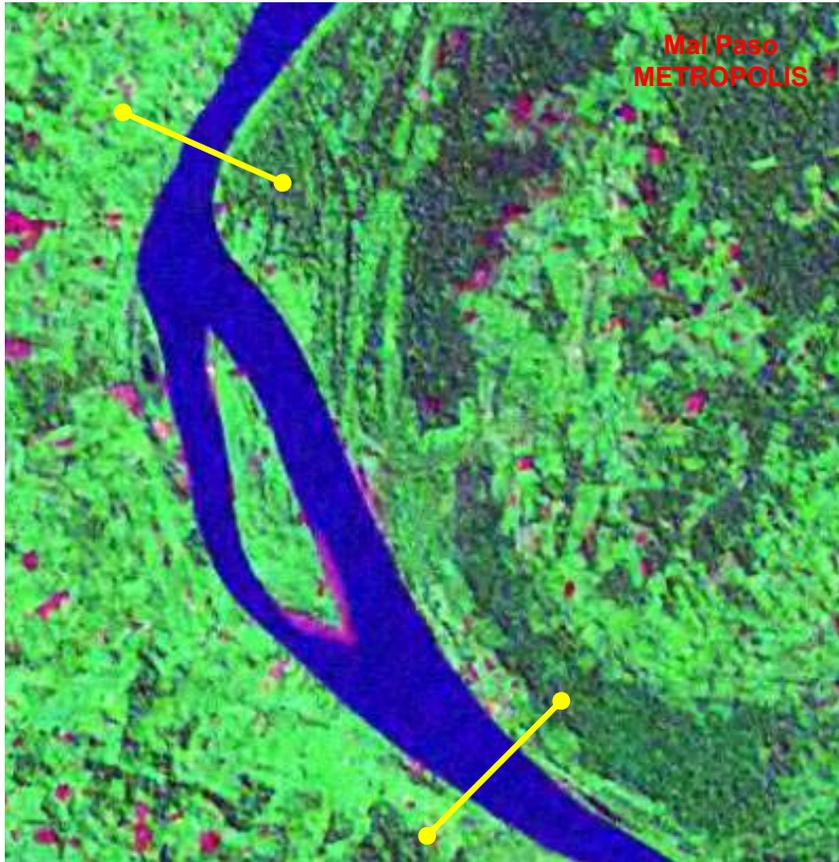


Fig. N° 4.6.3: Mal Paso "Metrópolis".

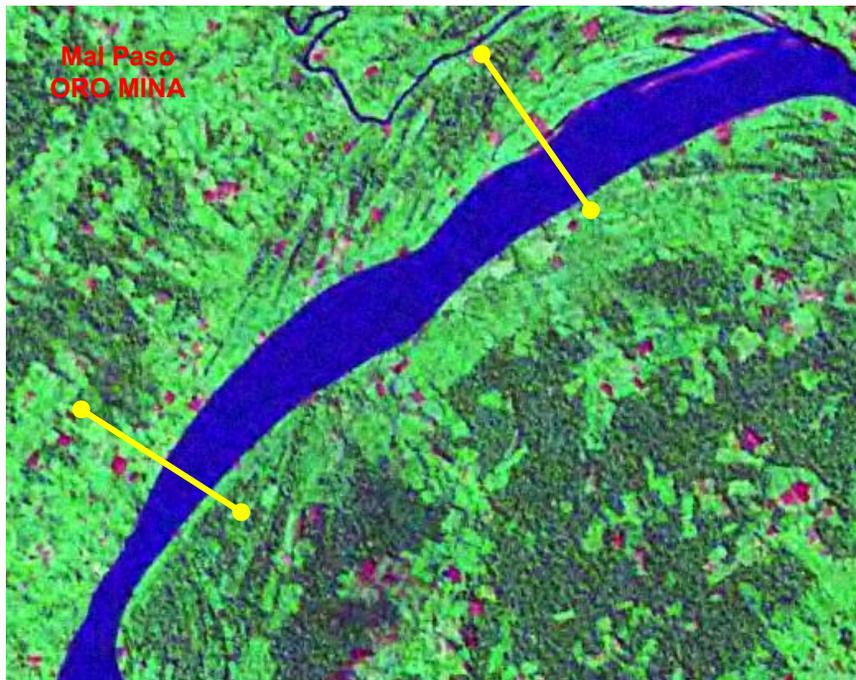


Fig. N° 4.6.4: Mal Paso "Oro Mina".

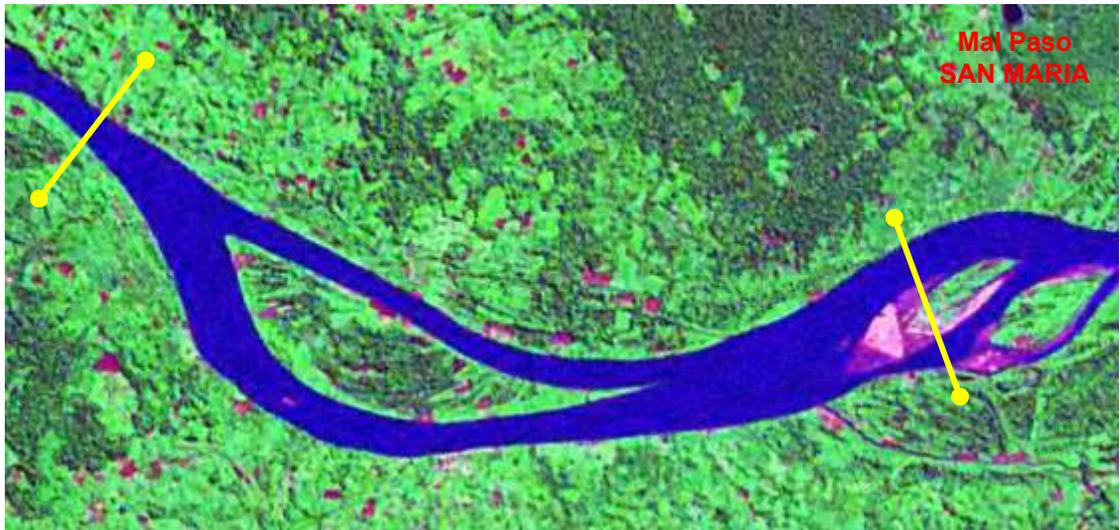


Fig. N° 4.6.5: Mal Paso "Santa Maria".

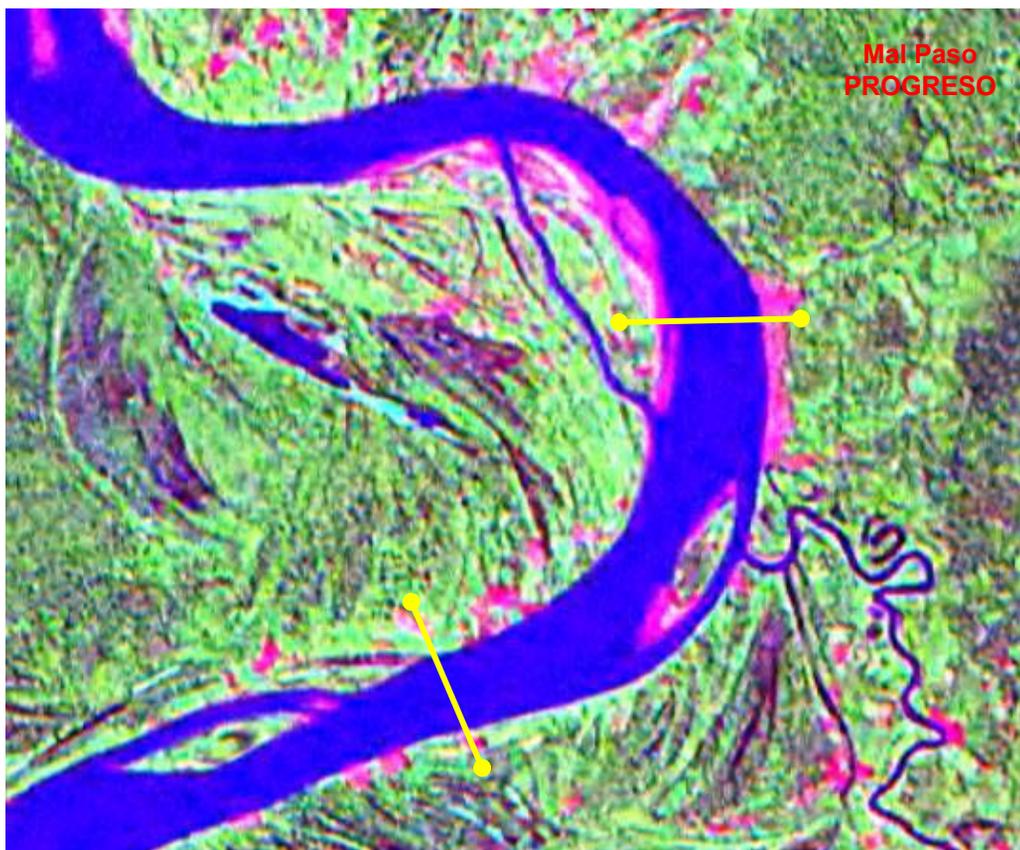


Fig. N° 4.6.6: Mal Paso "Progreso".

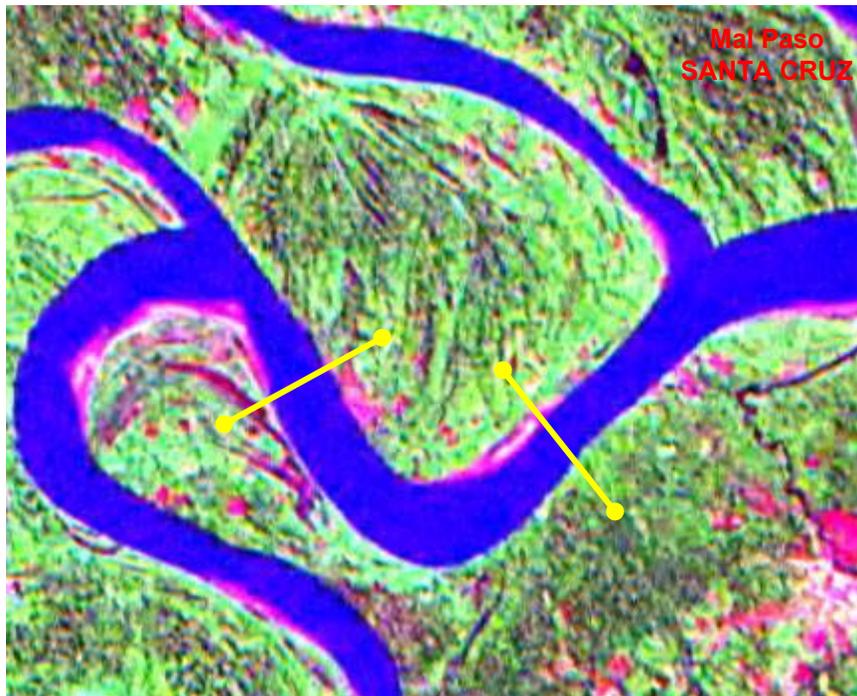


Fig. N° 4.6.7: Mal Paso "Santa Cruz".

4.7.- Estabilidad del Cauce del Río.

En la actualidad, el empleo de las imágenes de satélite es una herramienta clave para la interpretación regional de un área de estudio sea esta litológica o estructural y que conlleva a un estudio más detallado para la determinación de zonas anómalas.

Se ha estudiado el desplazamiento espacial y temporal del río Huallaga en el tramo en estudio, para esto se ha hecho uso de imágenes de los satélites Landsat (TM, ETM+) , de los años 1990, 2000 y 2004.

Para el procesamiento de las imágenes se uso software especializado aplicando diferentes técnicas de procesamiento, primero calibrando la imagen, luego haciendo las correcciones geométricas y radiométricas a fin de obtener un mejor realce de la imagen. Empleando diferentes combinaciones de bandas se ha obtenido la configuración del cauce del río Huallaga de los años 1990 y 2004.

Una vez procesadas las imágenes se procedió a analizar el comportamiento del río Huallaga y los cambios que en el se han producido (meandros, trenzas, cambios en el cauce), esto nos ha permitido clasificar el cauce en tres zonas, las cuales han sido definidas en el ítem 4.5. Los resultados se aprecian en las figuras 4.7.1, 4.7.2, 4.7.3 y 4.7.4.

Las imágenes satelitales Landsat y Radar se analizaron de manera combinada interpretando por un lado los desplazamientos y por otro lado el tipo de estructura geológica dominante, este análisis nos permitió hacer la clasificación descrita en el ítem 4.5. De esta clasificación hemos determinado que las zonas de dificultad para la navegación y que requieren trabajos de dragado están en una zona relativamente estable con desplazamientos que van entre 5-15 m./año, esta zona esta ubicada entre los poblados de Italia y Yurimaguas, en esta zona se ubican los malos pasos Providencia, Metrópolis, Oro Mina y Santa Maria.

La zona superior entre el Km. 0 y 175 , muestra variaciones mayores entre 20 – 50 m./año.

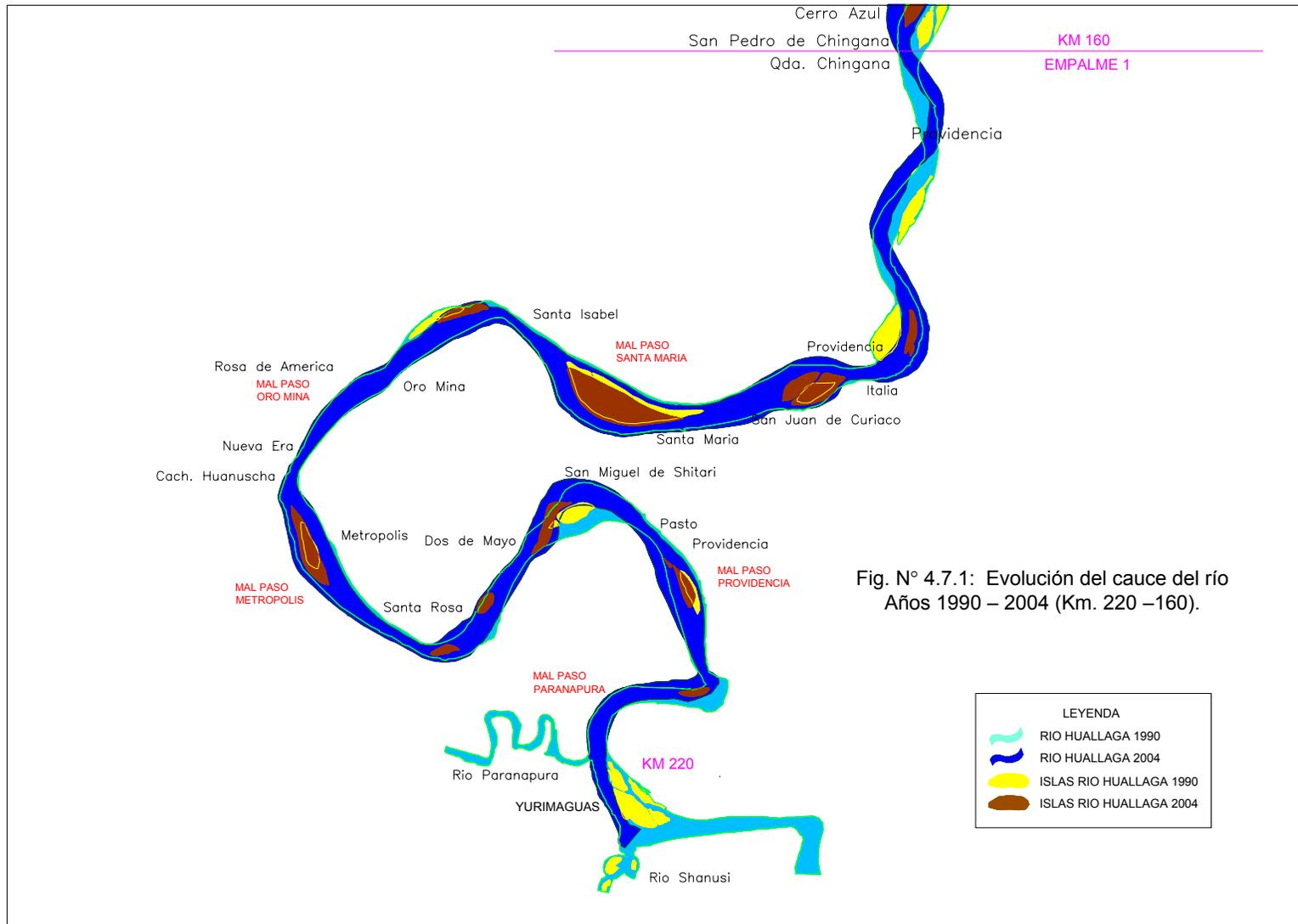
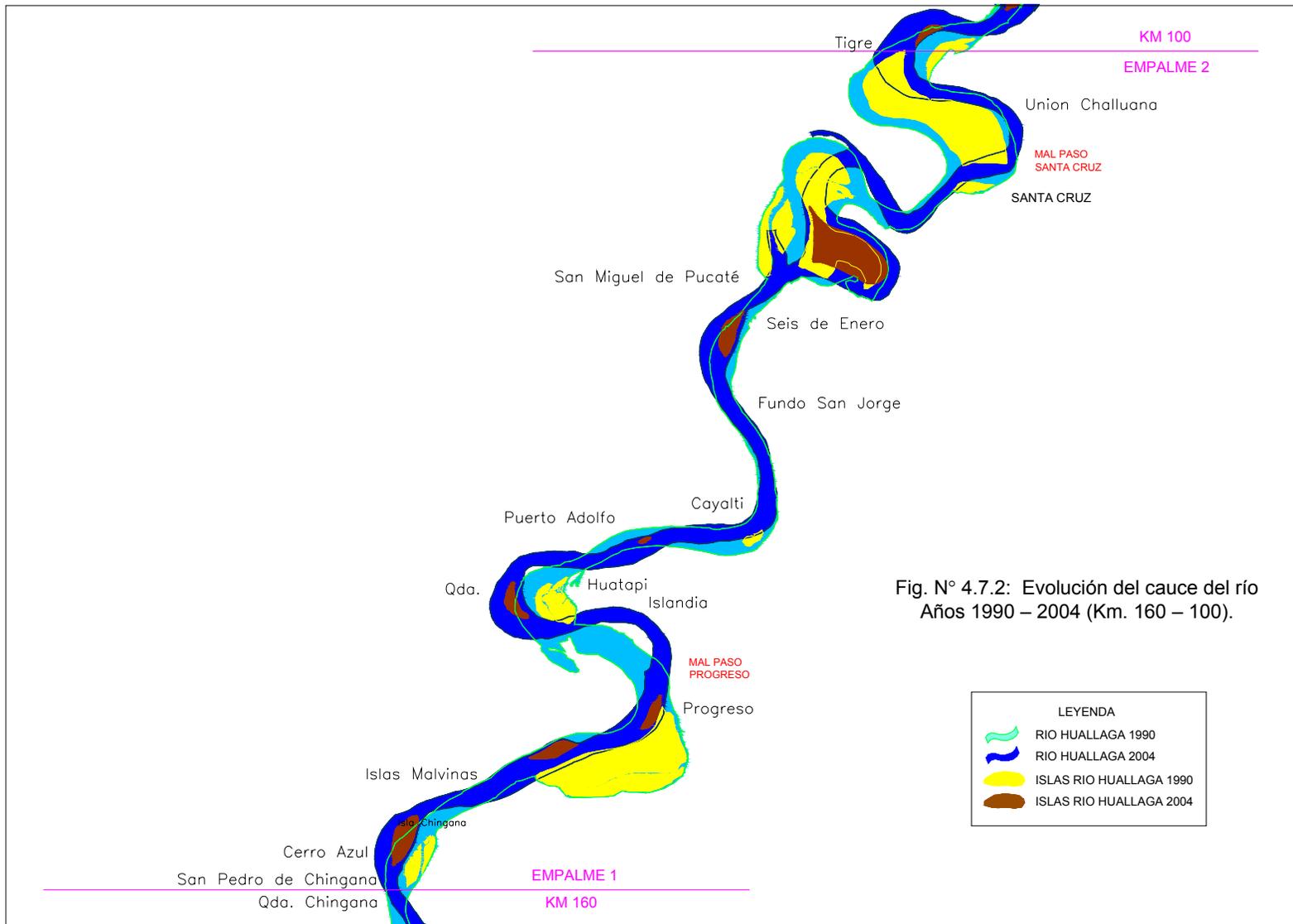
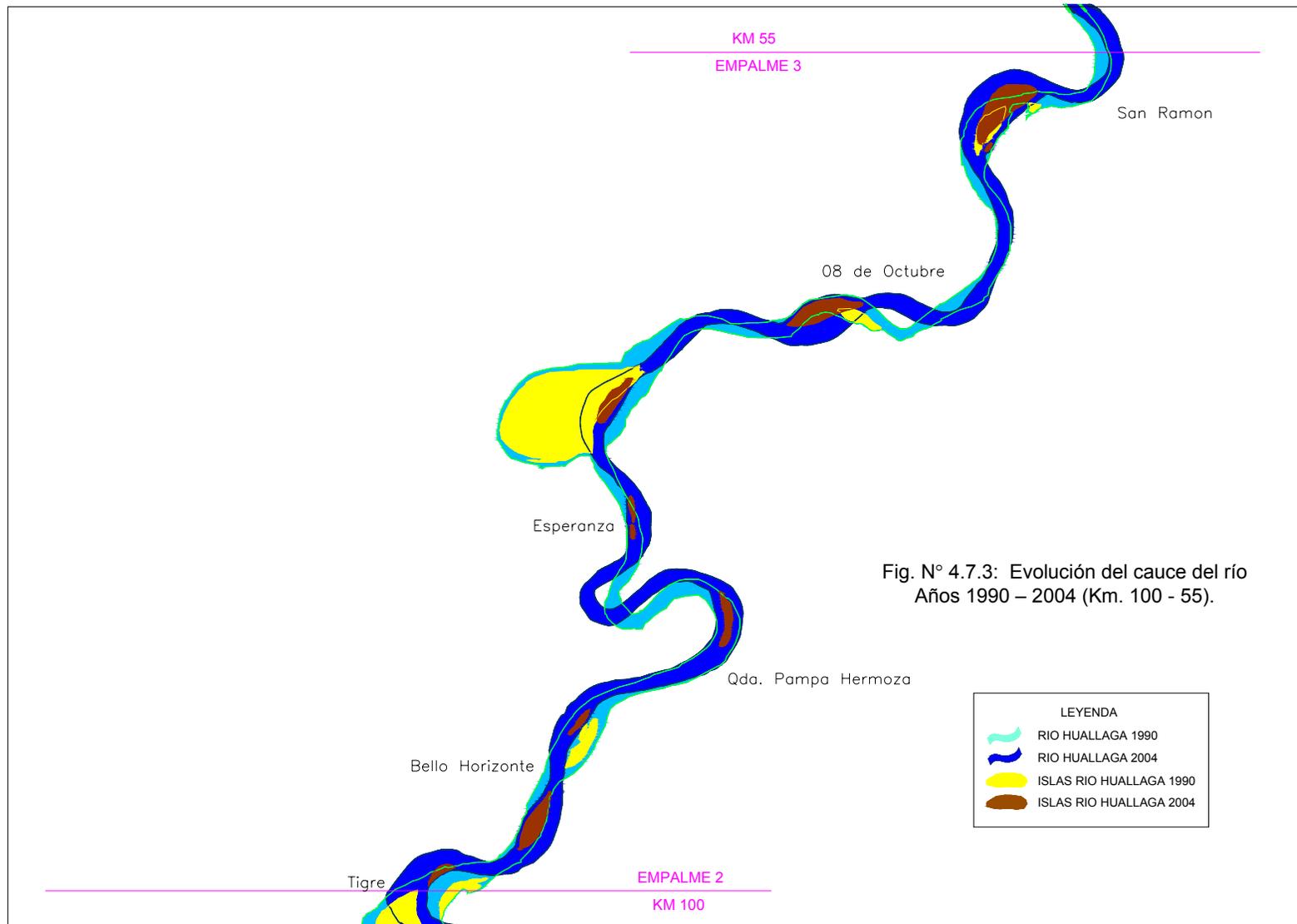
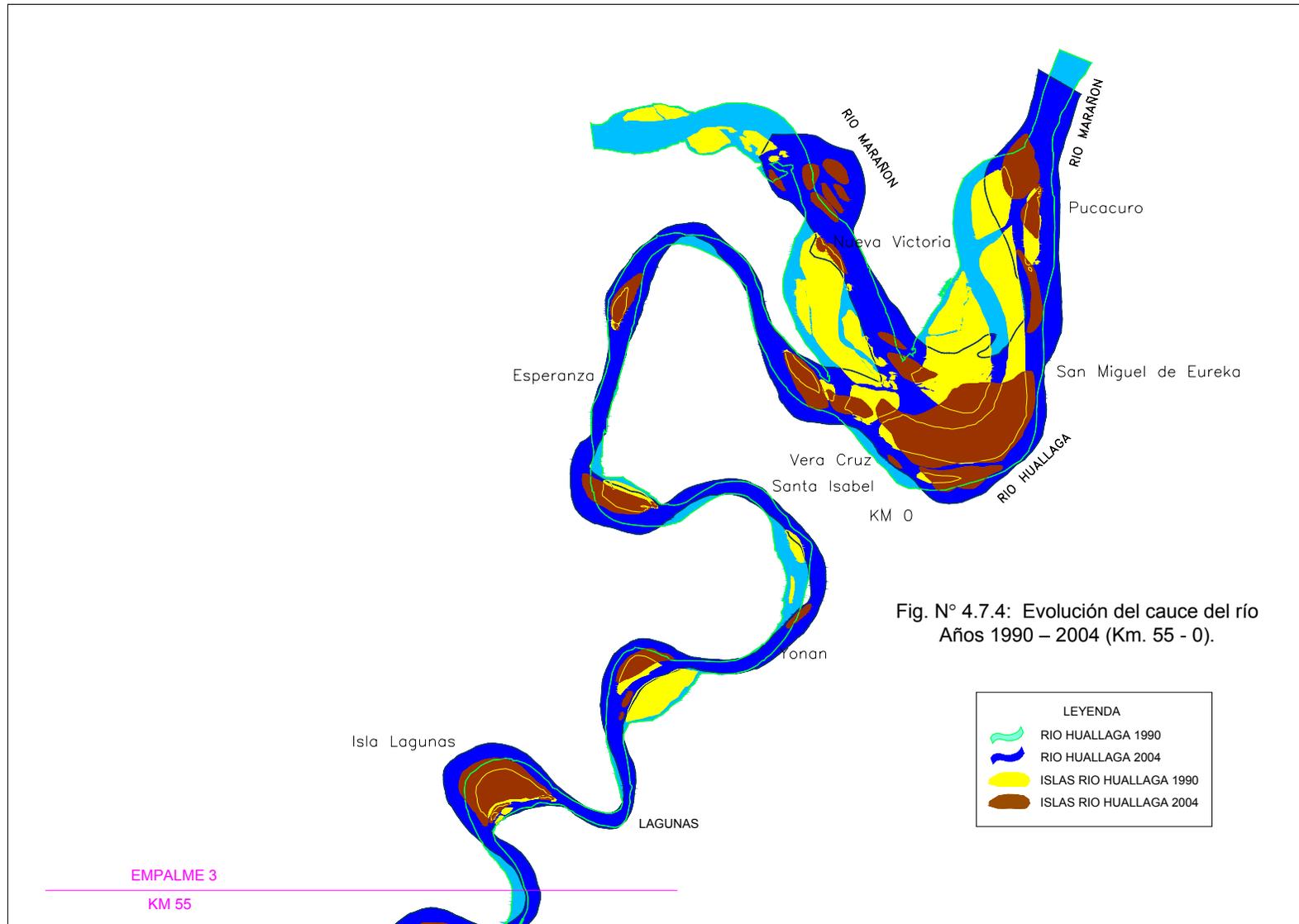


Fig. N° 4.7.1: Evolución del cauce del río Años 1990 – 2004 (Km. 220 –160).







5. LAS PALIZADAS.

La Amazonía del Perú se caracteriza por la extraordinaria variedad de especies vegetales que tiene, la gran variedad de organismos vegetales es una característica predominante en toda la región. Esto da como resultado que al producirse erosión de áreas con rica cobertura vegetal, toda esta materia vegetal caiga sobre el flujo de agua formando masas flotantes compactas que se trasladan aguas abajo, este fenómeno es conocido con el nombre genérico de “palizada”. Los procesos erosivos son considerados los agentes más importantes de la generación de las palizadas. Ver Fig N° 5.1



Fig. N° 5.1: Palizadas presentes en el Río Huallaga

5.1-Causas de la Presencia de las Palizadas.

5.1.1. Las actividades Agrícolas.

- Como ya se ha manifestado la variación del Nivel de río entre las épocas de vaciante y creciente alcanza gran magnitud, esta variación descubre en las épocas de vaciantes inmensas áreas de terreno, cuyas características de suelo húmedo con depósitos aluviales de fértil limo, incentiva que los pobladores de los alrededores utilicen estas zonas para sus actividades agrícolas.
- Desde la aparición de estas áreas hasta cuando se inicia las crecientes nuevamente hay un periodo entre 4 y 6 meses, en que este suelo es utilizado. Durante el periodo de siembra, el periodo de desarrollo y durante la cosecha el ser humano trabaja intensamente el área, dejando a su paso grandes cantidades de desechos vegetales, ramas, troncos, etc.

- Cuando el nivel de río comienza a subir estos desechos son transportados aguas abajo, en primera instancia se transporta los materiales de menor peso, luego de acuerdo al incremento del caudal se llegan a transportar troncos de grandes dimensiones. La época en que comienzan a bajar las palizadas es en los meses de noviembre y diciembre.
- El intenso transporte de material flotante alcanza su mayor magnitud cuando el río se acerca a su máximo nivel.

5.1.2. La Capacidad Erosiva del Río.

- El suelo de las riberas de los ríos de la Amazonía Baja en la mayoría de lugares está compuesto por: arcilla, limo y arenas. Si las riberas son de material cohesivo (arcilla) será muy difícil que se produzca una erosión considerable, pues este material compacto es muy resistente. Si las riberas son de material no cohesivo (arena y limo) será fácilmente erosionable. En muchas ocasiones la cobertura vegetal que tienen las riberas de los ríos hace que el proceso sea más lento.
- Se puede observar muy comúnmente cuando se navega por los ríos de la Amazonía, que inmensos árboles que componen la cobertura vegetal de esta región caen al río, como efecto del proceso erosivo de las riberas del cauce por la fuerza de la corriente del río, siendo transportados aguas abajo.
- Durante el periodo que dura una creciente, el proceso de erosión puede avanzar cientos de metros en una u otra dirección, durante este proceso toneladas de materia vegetal son llevadas por el río. Este fenómeno constituye el principal aporte de material vegetal al río.

5.1.3. El Aporte de Vegetación y de Palizadas de las Lagunas.

- Durante el periodo de vaciante los lagos que existen a lo largo de la trayectoria de los ríos, prácticamente no tienen comunicación con éstos. Durante este periodo se acumulan ingentes cantidades de vegetación flotante y todo tipo de restos de vegetales.
- Debido a la falta de circulación de flujos de aguas frescas, en estas zonas se desarrollan plantas acuáticas de diverso tipo, originando la presencia de una alfombra verde de gran dimensión.
- Cuando el nivel de las aguas sube, estos lagos se comunican con el cauce principal del río y estas inmensas alfombras verdes empiezan a aparecer en los ríos, transportándose aguas abajo.

5.2. La Palizada como Elemento Inestabilizador

Las palizadas están consideradas entre los fenómenos más perturbadores e inoportunos en la operatividad de las infraestructuras portuarias y en el mantenimiento de la señalización que se construyen en los ríos de la Amazonía.

Los Puertos Fluviales de la Amazonía Peruana (Iquitos, Pucallpa, Yurimaguas, etc.) están constituidos por pontones metálicos que están diseñadas para su flotabilidad, la superficie sumergida es mínima. Esta infraestructura esta sostenida mediante cables que están fijos en tierra y también están unidos a muertos en el fondo del río.

Ocurren en los periodos de creciente es en estas circunstancias que las palizadas aparecen en grandes cantidades acumulándose contra los pontones y enredándose en los cables, también se acumulan sobre boyas de señalización, acumulándose de tal manera que la fuerza dinámica es considerable y generando grandes tensiones sobre los elementos de anclaje. Las masas de los troncos acumulados pueden llegar a pesar cientos de toneladas. Ningún cable de anclaje está diseñado para soportar tales presiones.

La mezcla de troncos y vegetales de todo tipo es muy difícil de retirar pues se enredan y el retiro se hace de una manera lenta y trabajosa y muchas veces hay que emplear embarcaciones y/o grúas para poder retirarlas.

Cuando hay demasiada palizada se perturba el tráfico de las embarcaciones (motonaves, empujadores, barcas, etc.), obligando a paradas frecuentes para limpieza del sistema de propulsión. En casos extremos la tripulación se ve obligada a amarrar en la margen del río y sacar manualmente los palos de las hélices.

La palizada no es eventual ni esporádica, es permanentemente y es máxima en los periodos de crecientes extremas.

5.3. Medidas Preventivas contra las Palizadas.

Como evitar que las palizadas dejen inoperativo un Terminal Fluvial. Como se explicó líneas arriba la acumulación de palizada se da aguas arriba de la estructura metálica, si llegase a acumularse demasiada palizada los cables tensores del pontón no soportarían esta carga y se romperían, pues no están diseñados para soportar tales cargas.

La mejor manera de prevenir esto es retirando los materiales acumulados (troncos) de manera oportuna, esto quiere decir que siempre debe haber personal destinado a esa labor, los cuales deben contar con las herramientas necesarias (motosierras, embarcaciones de gran potencia, etc.) que permita tener despejada el área de interés de estos restos vegetales. Obviamente esto implica costos adicionales en la operatividad de un terminal fluvial, pero hasta el momento es la única solución viable

5.4. Capacidad de Transporte de Palizadas.

Es muy difícil determinar de manera cuantitativa la cantidad de palizada que transportan los ríos amazónicos, en el ítem 5.1 se ha explicado cuales son los factores que ocasionan la presencia de palizadas, se puede observar que esta es aleatoria en su mayor parte debido a que el cauce del río es cambiante, son tantas las variables que ocasionan la presencia de las palizadas y restos de vegetales en los ríos que esta es difícil de cuantificar. En vista de que es prácticamente imposible en la actualidad determinar la capacidad de transporte de palizadas, se ha procedido a elaborar un cuadro que determina de manera cualitativa la cantidad de palizadas que traen los principales ríos amazónicos peruanos, solo se hace con fines de tener una idea de las diferencias que existen:

Tabla 5.1: Análisis Cualitativo de la Capacidad de transporte de Palizadas

| RIO | CAUDAL MAX. (m3/seg.) | PENDIENTE (cm/Km.) | TIPO DE CURSO | TRANSPORTE DE PALIZADAS |
|---------------|--------------------------|-----------------------|------------------|----------------------------|
| Amazonas | 55,000 | 5 | Anastomoso | ALTO |
| Ucayali | 22,000 | 5 | meándrico | ALTO |
| Marañon | 30,000 | 8 | Meándrico | MEDIO |
| Huallaga | 10,000 | 10 | meándrico | BAJO - MEDIO |
| Madre de Dios | 20,000 | 15 | Meándrico | BAJO - MEDIO |

..

5.5. Antecedentes de los efectos de la Palizada.

Como antecedente registrados los efectos de la palizada en las obras podemos mencionar los siguientes:

- En la anterior ubicación del Puerto de Yurimaguas en el río Parapapura cerca de la confluencia con el río Huallaga, en varias oportunidades el pontón móvil estuvo a punto de colapsar por la gran acumulación de palizadas, siendo este el factor fundamental que obligó a reubicar este terminal
- En el Puerto de Pucallpa, en el río Ucayali, en Marzo de 1984 se acumuló tal cantidad de palizada que estuvo a punto de llevarse aguas abajo prácticamente todos los pontones instalados, fue necesario suspender todas las actividades portuarias hasta retirar toda la palizada acumulada.
- En el Puerto Mazan, ubicado en la margen derecha del río Napo, el año 1998, se rompió uno de los cables tensores trasladando aguas abajo uno de los pontones.

6. NAVEGABILIDAD DEL RIO HUALLAGA EN LA ZONA DE ESTUDIO

6.1.- Introducción.

El río Huallaga es utilizado para la navegación comercial hace mucho tiempo en una región donde los medios de transporte son escasos, siendo la única ligación de la región con las ciudades de Saramirza, Iquitos, Pucallpa, etc. A través de los ríos Marañón, Ucayali, Amazonas y demás afluentes que posibilita el comercio internacional con los países limítrofes y la ligación marítima para el restante del mundo.

Por el río transitaban, hasta hace poco tiempo, gran cantidad de embarcaciones moviéndose de Yurimaguas hacia otros puertos de la Cuenca. Se transportaban volúmenes considerables de productos agrícolas producidos en su área de influencia directa y, en sentido inverso, moviendo productos industrializados, en especial, cemento y bebidas, para la Provincia de Alto Amazonas.

Por el tramo de río en estudio, también se transporta la mayor parte de los derivados de petróleo consumidos en la región, que viene de las refinerías localizadas aguas abajo. La energía eléctrica distribuida en la área depende, básicamente, del transporte fluvial.

6.2.- Condiciones Generales de Navegabilidad.

El tramo del Huallaga desde el Marañón hasta el puerto Yurimaguas es navegable normalmente por las embarcaciones mencionadas durante la mayor parte del año teniendo restricciones en los denominados malos pasos en la época de estiaje en la cual los tirantes no son suficientes para una navegación sin restricciones. La navegación se da normalmente de día y de noche. A continuación se enumeran las principales dificultades existentes en la hidrovía para la navegación segura y eficiente:

- Cambios en las posiciones de los canales, (debidos a desplazamientos del cauce por movimiento de los bancos de arenas),
- Curvas muy cerradas (sobretudo difíciles para los convoyes),
- Falta total de señalización en los malos pasos (en especial en las noches muy oscuras o con mal tiempo),
- Altas velocidades de las aguas (difíciles cuando son transversales a las rotas).
- Riesgos con las palizadas (que pueden causar danos a los buques, timones, hélices y motores en las épocas de creciente de las aguas) y
- Restricciones debido a la poca profundidad.

Esta última dificultad es la de mayor importancia porque puede obligar a navegar con poca carga debido al calado reducido, puede llegar al extremo de interrumpirse el tráfico fluvial por varios días, provocando esto un gran aumento de los costos de transporte.

Los malos pasos, donde son mayores las dificultades, son relativamente fijos y bien conocidos por los prácticos del río. De estos pasos, los más importantes son:

- Mal Paso de Islandia o Progreso en el Km 211,5
- Mal Paso de Santa María en el Km 195
- Mal Paso de Oro Mina en el Km 189
- Mal Paso de Parapapura en Km 116

Una publicación del SERVICIO DE HIDROGRAFÍA Y NAVEGACIÓN DE LA AMAZONIA presenta la localización de estos pasos, en el presente estudio se ha realizado levantamiento batimétricos de detalle de cada mal paso, los cuales se pueden apreciar en los planos (ver Anexos, VOLUMEN I).

Otros malos pasos que presentan dificultades menores son:

- Santa Cruz (Km218),
- Metrópolis (Km179) y
- Providencia (Km150).

Normalmente el paso más crítico, por la profundidad reducida, es el mal paso de Santa María. En este tramo la navegación es interrumpida, en general, antes que los otros malos pasos. La curva es muy fuerte y los grandes convoyes son obligados a maniobras para hacer la curva. En aguas medias no hay todavía necesidad de desmembramientos de las barcasas y de los remolcadores, esto si es necesario hacerlo en aguas bajas.

6.3.- Tipo de naves y movimiento de carga.

La tabla 6.1 resume el movimiento que hay en el puerto de Yurimaguas de propiedad de ENAPU S.A. y de los embarcaderos informales de la zona, en los últimos 5 años. Se nota una reducción en el movimiento del puerto, por lo menos en parte, debida a las malas condiciones de navegabilidad del río y de la poca confiabilidad del transporte fluvial tal y como se encuentra en la actualidad.

**Tabla 6.1: Movimiento de Naves y Carga por Tonelada
Periodo 2000 - 2004**

| AÑO | Núm. DE NAVES | TONELAJE | | |
|----------------------------------|---------------|----------|----------|----------------|
| | | EMBARQUE | DESCARGA | TOTAL |
| EMBARCADEROS INFORMALES | | | | |
| 2000 | 564 | 102.401 | 45.933 | 148.334 |
| 2001 | 477 | 94.801 | 29.890 | 124.691 |
| 2002 | 488 | 96.098 | 35.150 | 131.249 |
| 2003 | 654 | 107.538 | 32.071 | 139.609 |
| 2004 (*) | 516 | 91.529 | 40.304 | 131.833 |
| TERMINAL PORTUARIO | | | | |
| 2000 | 444 | 92.805 | 25.880 | 118.686 |
| 2001 | 394 | 83.898 | 28.240 | 112.138 |
| 2002 | 339 | 76.292 | 27.626 | 103.918 |
| 2003 | 189 | 61.759 | 24.066 | 85.824 |
| 2004 (*) | 74 | 32.755 | 23.159 | 55.914 |
| MOVIMIENTO TOTAL DE CARGA | | | | |
| 2000 | 1.008 | 195.206 | 71.813 | 267.019 |
| 2001 | 871 | 178.699 | 58.130 | 236.829 |
| 2002 | 827 | 172.390 | 62.776 | 235.166 |
| 2003 | 843 | 169.296 | 56.137 | 225.433 |
| 2004 (*) | 590 | 124.284 | 63.463 | 187.747 |

(*) Proyectado a Diciembre
Fuente: ENAPU S.A. y Jefatura Zonal de Transporte Acuático

Según los datos recolectados en el río Huallaga navegaron en los últimos 5 años, un promedio de 800 buques por año, con un máximo de 1008 en 2000 y mínimo de 590, en el 2004.

La Tabla 6.2 presenta el movimiento de carga, por tipo de producto, del Puerto de Yurimaguas, en los años del 2.000 al 2.004.

ESTUDIO DE LA NAVEGABILIDAD DEL RIO HUALLAGA EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE YURIMAGUAS Y LA CONFLUENCIA CON EL RIO MARAÑÓN

Tabla 6.2: Movimiento de Carga por Tipo de Producto (Toneladas)

| | AÑO : 2000 | | AÑO : 2001 | | AÑO : 2002 | | AÑO : 2003 | | AÑO : 2004 | |
|----------------------------------|--------------------|--------------|--------------------|-------------|--------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
| | TOTAL | % | TOTAL | % | TOTAL | % | TOTAL | % | TOTAL | % |
| CABOTAJE DESCARGA | | | | | | | | | | |
| TOTAL DE DESCARGA | 25.080,228 | 21,3 | 27.622,504 | 24,5 | 27.967,944 | 27,0 | 24.065,604 | 28,0 | 21.127,065 | 42 |
| Cajas botellas llenas de Cerveza | 17.706,492 | 70,6 | 16.524,696 | 59,8 | 20.844,874 | 74,5 | 21.072,146 | 87,6 | 20.767,886 | 98,3 |
| Mercadería General (1) | 2.878,954 | 11,5 | 1.343,888 | 4,9 | 1.356,403 | 4,8 | 512,835 | 2,1 | 279,970 | 1,3 |
| Cemento | 2.425,432 | 9,7 | 6.253,450 | 22,6 | 2.374,602 | 8,5 | 1.301,180 | 5,4 | | |
| Pescado seco salado | 805,906 | 3,2 | 1.459,703 | 5,3 | 3.008,830 | 10,8 | 1.148,433 | 4,8 | 79,209 | 0,4 |
| Madera | 357,705 | 1,4 | 479,840 | 1,7 | | | | | | |
| Azúcar | 307,680 | 1,2 | 381,110 | 2,5 | | | | | | |
| Alimentos varios | 178,926 | 0,7 | 681,064 | 1,4 | 350,185 | 1,3 | 31,010 | 0,1 | | |
| Gaseosas | 166,730 | 0,7 | 164,755 | 0,6 | 33,050 | 0,1 | | | | |
| Arroz | 166,686 | 0,7 | 44,020 | 0,2 | | | | | | |
| Productos Lácteos | 74,437 | 0,3 | 11,460 | 0,0 | | | | | | |
| Aceite y otros | 11,280 | 0,0 | 239,848 | 0,9 | | | | | | |
| Botellas vacías de gaseosa | | | 38,670 | 0,1 | | | | | | |
| TOTAL DE EMBARQUE | 92.805,452 | 78,7 | 84.953,240 | 75,5 | 75.430,342 | 73,0 | 61.758,658 | 72,0 | 29.043,927 | 57,9 |
| Cemento | 31.195,466 | 33,6 | 25.968,180 | 30,6 | 24.491,536 | 32,5 | 24.927,612 | 40,4 | 16.305,726 | 56,1 |
| Arroz Pilado | 17.589,712 | 19,0 | 18.621,290 | 21,9 | 13.689,310 | 18,1 | 10.782,288 | 17,5 | 92,000 | 0,3 |
| Maíz | 10.708,498 | 11,5 | 11.191,830 | 13,2 | 7.366,290 | 9,8 | 4.367,730 | 7,1 | 10,870 | 0,0 |
| Cajas botellas vacías de Cerveza | 9.554,956 | 10,3 | 9.610,056 | 11,3 | 12.151,718 | 16,1 | 11.344,527 | 18,4 | 10.570,033 | 36,4 |
| Mercadería General (1) | 8.845,143 | 9,5 | 3.483,921 | 4,1 | 3.146,267 | 4,2 | 3.618,452 | 5,9 | 2.065,298 | 7,1 |
| Alimentos | 5.910,928 | 6,4 | 9.691,944 | 11,4 | 8.667,490 | 11,5 | 4.647,195 | 7,5 | | |
| Sal | 4.354,615 | 4,7 | 3.334,085 | 3,9 | 2.169,945 | 2,9 | 1.000,914 | 1,6 | | |
| Productos Lácteos | 1.387,964 | 1,5 | 666,918 | 0,8 | 870,235 | 1,2 | 1.069,940 | 1,7 | | |
| Madera | 603,480 | 0,7 | 161,280 | 0,2 | | | | | | |
| Azúcar | 1.406,100 | 1,5 | 801,890 | 0,9 | 2.308,680 | 3,1 | | | | |
| Gaseosas | 1.131,165 | 1,2 | 917,503 | 1,1 | 568,871 | 0,8 | | | | |
| Botellas vacías de gaseosa | 117,425 | 0,1 | 206,801 | 0,2 | | | | | | |
| Productos Nestle | | | 238,492 | 0,3 | | | | | | |
| Productos Varios | | | 59,050 | 0,1 | | | | | | |
| TOTAL ANUAL | 117.885,680 | 100,0 | 112.575,744 | - | 103.398,286 | 100,0 | 85.824,262 | 100,0 | 50.170,992 | 100,0 |

(1) Carga considerada no específica

Fuente: Empresa Nacional de Puertos S.A. - Terminal Portuario de Yurimaguas

Las cantidades, tipos y dimensiones principales (máximas, medianas y mínimas) de las embarcaciones que hicieran el transporte de estas cargas, son presentados en la tabla 6.3.

Tabla 6.3: Características de las Embarcaciones que Transitan por el Río Huallaga

| TIPO DE EMBARCACIÓN | NUM. | ESLORA (m) | | | MANGA (m) | | | CALADO (m) | | |
|---------------------|------|------------|------|------|-----------|------|-----|------------|-----|-----|
| | | MEDIA | MÁX | MÍN | MEDIA | MÁX | MÍN | MEDIA | MÁX | MÍN |
| BARCAZAS | 29 | 42,5 | 62,0 | 15,3 | 10,0 | 12,7 | 2,2 | 1,9 | 2,9 | 1,2 |
| REMORCADORES | 11 | 17,9 | 20,0 | 14,2 | 6,3 | 7,6 | 5,5 | 1,6 | 1,8 | 1,2 |
| MOTONAVES | 28 | 41,5 | 57,0 | 23,2 | 7,5 | 11,8 | 5,8 | 1,4 | 1,9 | 0,9 |

Los mayores convoyes tienen 3 barcazas en línea, con eslora total de 200,5 m, y 12 m de manga.

6.4.- Profundidades Disponibles y Calados para la Navegación.

Con base en los levantamientos batimétricos hechos en los Malos Pasos, se concluyó que, de una forma aproximada, a la lectura de 126,0m en la regla del Puerto de Yurimaguas corresponde una profundidad de cerca de 0,8m en los canales de navegación de los Malos Pasos cercanos a la estación limnimétrica.

Para una estimativa simplificada de las profundidades disponibles en condiciones naturales del tramo del río considerado, fue admitida esta aproximación que, evidentemente, es muy simplificada, una vez que ha innumerables factores que hacen que no haya una relación segura entre las variaciones de las profundidades críticas y de los niveles de agua en una estación distante. Uno de éstos factores, que sin dudas es importante en el río Huallaga, pero que todavía no ha informaciones seguras, es el “auto - dragado” que hace una erosión adicional en el fondo del cauce cuando los niveles de agua son bajos.

Con base en esta hipotes, y lo análisis de los niveles de agua registrados en la estación de Yurimaguas en los últimos 5 años, se estimó los números de días de interrupción de la navegación por falta de profundidad en los pasos. Se consideró por lo tanto una margen de 0,30m por seguridad.

La tabla 6.4 presenta los números de días, en cada año, de tráfico interrumpido para los calados de 4, 6, 8 y 10 pies.

Tabla 6.4: Numero de días de Interrupción Posible de Tráfico en Función de los Calados (de 01/01/97 Hasta 31/12/04)

| LECTURAS EN LA REGLA DE YURIMAGUAS (m) | 126,7 | 127,3 | 127,9 | 128,5 |
|---|-------------|-------------|--------------|--------------|
| CALADOS (pies) | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 1997 | 1 | 45 | 75 | 101 |
| 1998 | | 37 | 88 | 118 |
| 1999 | 16 | 31 | 44 | 63 |
| 2000 | | | 6 | 37 |
| 2001 | | 5 | 45 | 61 |
| 2002 | | | 9 | 63 |
| 2003 | 21 | 50 | 70 | 77 |
| 2004 | 8 | 18 | 23 | 35 |
| Totales | 46 | 186 | 360 | 555 |
| DÍAS /AÑO (MED.) | 6 | 23 | 45 | 69 |
| % del tiempo total | 1,6% | 6,4% | 12,3% | 19,0% |

Todas las posibles interrupciones de la navegación, en los 8 años, hasta el calado de 10 pies, serían en el intervalo de 10 de Junio a 23 de Noviembre. Las interrupciones para el calado de 8 pies serían de 07 de Julio y 28 de Octubre y de 4 pies, de 20 de Junio a 29 de Agosto.

En principio, se puede navegar, con el río en condiciones naturales, en creciente, con 10 pies de calado (3,0m), durante, en los meses de Diciembre a Mayo (cerca de 6 meses). En los meses de vaciante, de Julio a Septiembre, puede haber restricciones para los calados de 4pies (1,2m), sobretodo del promedio de Julio hasta el final de Agosto.

6.5.- Principales restricciones para la Navegación Segura.

Actualmente las condiciones de navegabilidad del río Huallaga desde Yurimaguas hasta su confluencia con el río Huallaga se encuentran limitadas por las variaciones de su cauce, el régimen de niveles de sus aguas, presencia de bancos de arena, canales de navegación estrechos y meándricos; presencia de palizadas, además de fuerte correntada en algunos tramos; características muy peculiares que han limitado el desarrollo del transporte fluvial.

El río Huallaga es navegable de manera natural en la mayor parte de su extensión, de los estudios realizados se ha llegado a la conclusión que existen restricciones para la navegación en los Malos Pasos, existen otras restricciones como son las palizadas, correntadas, etc. Pero el parámetro mas importante para una navegación es el tirante disponible, si no disponemos de una profundidad mínima la navegación se vuelve dificultosa y costosa.

En los estudios de Hidráulica Fluvial se identificaron preliminarmente 07 malos pasos los cuales son:

- Mal Paso 01 (Paranapura):
- Mal Paso 02 (Providencia).
- Mal Paso 03 (Metrópolis).
- Mal Paso 04 (Oro mina).
- Mal Paso 05 (Santa María).
- Mal Paso 06 (Progreso).
- Mal Paso 07 (Santa Cruz).

Luego se analizaron diversas alternativas para el canal de navegación, quedando finalmente el canal de navegación para la motonave, con un calado mínimo de 4 pies. Se procedió luego a determinar los volúmenes de dragado para el canal de diseño, esto se puede observar en la Tabla siguiente:

Tabla 6.5
Volúmenes de Dragado para las dos Alternativas
Motonave y Convoy

| NUM. | MAL PASO | km | ALT. 1 - MOTONAVE | | ALT. 2 - CONVOY | |
|--------------|-------------|-------|-------------------|---------------|------------------|----------------|
| | | | APERTURA | O | APERTURA | MANTENIMIENTO |
| 1 | PARANAPURA | 218.0 | 0 | 0 | 100 | 100 |
| 2 | PROVIDENCIA | 211.5 | 82,100 | 20,600 | 314,300 | 78,600 |
| 3 | METROPOLIS | 195.0 | 40,000 | 10,000 | 131,800 | 33,000 |
| 4 | ORO MINA | 189.0 | 60,500 | 15,200 | 186,600 | 46,700 |
| 5 | SANTA MARIA | 179.0 | 156,200 | 39,100 | 441,500 | 110,400 |
| 6 | PROGRESO | 150.0 | 0 | 0 | 100 | 100 |
| 7 | SANTA CRUZ | 116.0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | | | 338,800 | 84,900 | 1,074,400 | 268,900 |

Nota: Los volúmenes están en m³.

De donde obtenemos que solo es necesario dragar 04 malos pasos los cuales son:

Mal Paso 02 (Providencia): Esta ubicado entre las progresivas 209+500 y 213+700, tiene una extensión de 4200 m. Y un ancho que fluctúa entre los 200 – 950 m. (ver Fig. N° 4.4.6).

Mal Paso 03 (Metrópolis): Esta ubicado entre las progresivas 192+500 y 197+500, tiene una extensión de 5000 m. Y un ancho que fluctúa entre los 400 – 850 m (ver Fig. N° 4.4.7).

Mal Paso 04 (Oro mina): Esta ubicado entre las progresivas 187+450 y 190+950, tiene una extensión de 3500 m. Y un ancho que fluctúa entre los 500 – 800 m. (ver Fig. N° 4.4.8).

Mal Paso 05 (Santa María): Esta ubicado entre las progresivas 174+000 y 183+150, tiene una extensión de 9150 m. Y un ancho que fluctúa entre los 280 – 800 m. (ver Fig. N° 4.4.9).

Adicionalmente se instalaran ayudas para la navegación, lo que facilitara al navegante la determinación de su posición en el río, y le advierten de los peligros para la navegación. La posibilidad de ubicarse dentro de un cauce de aguas limitadas, como es un río, le permite determinar con exactitud su posición relativa a las márgenes y a

los puntos notables de las riberas, su velocidad, y las posibles restricciones para su navegación. En épocas de creciente, aumenta la seguridad y en épocas de estiaje aumentan las dificultades, llegando inclusive a no ser transitable la hidrovía por embarcaciones comerciales.

Cuando se navega en aguas limitadas, como es un río, es necesario posicionarse teniendo en cuenta los elementos visuales, y aquellos que no son posibles ver como es el lecho del río. Para posicionarse el navegante visualiza puntos notables en su derrota (isla, costa, puentes, etc.) y las señales instaladas a tal fin, como balizas terrestres y boyas. Sin embargo, el conocimiento de la zona por parte del navegante no puede sustituirse, y es un elemento siempre presente en la navegación.

Mismo el navegante teniendo a disposición radar, navegador satelital, ecosonda y buenas señales, es muy importante tener presente que los pasos del Río Huallaga cambian constantemente su conformación, apareciendo en pocos meses nuevos bancos que obligan a los navegantes a buscar nuevos caminos alternativos para navegar.

Es así que este conocimiento de los canales, bancos, y demás elementos restrictivos de la navegación, se va aprendiendo con el tiempo y con la continua navegación, elemento éste imprescindible para poder comandar un buque en los malos pasos del río. Se ha podido comprobar que los navegantes del río no usan las cartas de navegación, navegan de memoria, y conocen también de memoria la posición de las señales existentes, y las que ya no están.

En el Huallaga el uso de radar, GPS y ecosonda siempre será limitado a pocas embarcaciones o solo a los convoyes que tienen éstos equipamientos normalmente a bordo.

Por lo tanto, es importante recordar que las señales de margen y las boyas, representan solamente una parte de las ayudas a para la navegación y que la ubicación de las mismas representa la situación en el momento en que es instalada, y deberá recorrerse y modificarse su posición cada vez que cambien las condiciones del río. Para mayor detalle ver el VOLUMEN IV.

6.6- Canal navegable propuesto.

Fueron hechas dos alternativas de proyectos de canal de navegación, uno para embarcaciones motonaves (Alternativa 1) Y otro para convoyes (Alternativa 2)

Se concluyó que la primera opción era la mas viable, el análisis completo de la selección del canal navegable se puede apreciar en el VOLUMEN VI. En el gráfico que se presenta a continuación se puede apreciar una parte del canal navegable del mal paso "Metrópolis". En el anexo "PLANOS" del "VOLUMEN II" se pueden apreciar con detalle los canales de navegación de las dos alternativas propuestas (motonave y convoy).

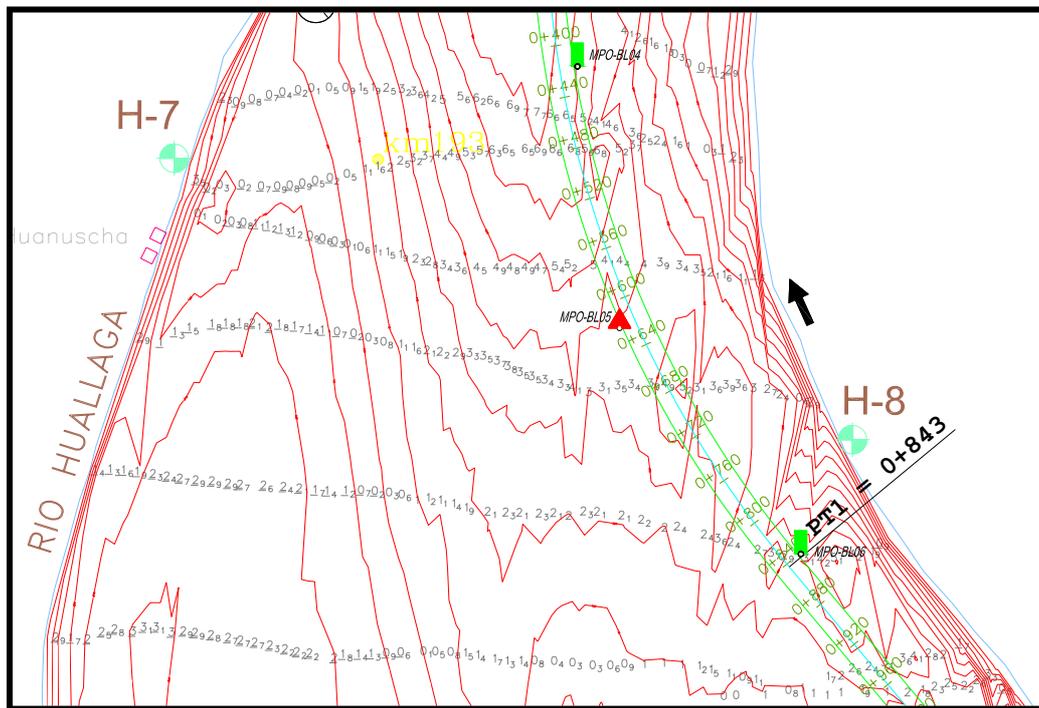


Fig. N° 6.1: Canal de Navegación del mal paso "Metrópolis"

6.7- Descripción de la Ruta de Navegación.

6.7.1- Generalidades.

De acuerdo con los estudios del **CONSORCIO**, las embarcaciones fluviales deberán navegar por el Río Huallaga, desde Yurimaguas hasta su confluencia con el río Marañón, la flota naviera considerada esta compuesta por convoyes y motonaves. Los convoyes tipo previstos, tendrán hasta 4 barcazas, dos a dos, con eslora máxima de 120m, manga máxima de 24m y calado máximo de 2,40m. Las motonaves tipo tendrán 50m, 10m y 2,1m respectivamente de eslora, manga y calados máximos. La capacidad máxima de los convoyes será de 4,100 TM y de las motonaves será 620 TM de carga.

El proyecto de mejoramiento de la hidrovía fue realizado considerando dos alternativas: **Alternativa 1** para navegación solamente de motonaves y **Alternativa 2** para navegación de motonaves y convoyes. En las dos alternativas son previstas la habilitación de canales a través de los malos pasos. Los malos pasos en los que sean necesarios habilitar canales mediante dragados y los malos pasos que tengan profundidad suficiente para la nave de diseño, pero son muy sinuosos o angostos, serán señalizados con boyas ciegas, boyas luminosas y por balizas en las riberas.

En la : **Alternativa 1**, los canales dragados tendrán un ancho de 22m en la solera del canal y un talud 1:3 en los lados. En la : **Alternativa 2**, los canales dragados tendrán un ancho de 53m en la solera del canal y un talud 1:3 en los lados.

Con las obras y la señalización proyectada, será garantizada la navegación diurna y nocturna prácticamente todos los días en todos los años, con calados de 1,2m, correspondiendo a tirantes de agua mínimos de 1,5m. En los canales de navegación debidamente señalizados no serán permitidos ni cruces ni adelantamientos de embarcaciones

La ruta de navegación tiene una extensión de 220 km, y tiene cerca de 30 Km. de canales señalizados, para la navegación diurna y nocturna. En la **Alternativa 1** que es la seleccionada existirán aproximadamente 25 Km. de canales dragados en 4 malos pasos.

6.7.2- Descripción de la Ruta.

A continuación se presenta una descripción de la ruta de navegación para la **Alternativa 1**, la cual ha sido dividida en sub-tramos, las progresivas comienzan en la Boca Huallaga (Km. 0) y terminan en el Puerto de Yurimaguas (Km. 220).

Del Km 220 al Km 148

En este tramo, con 32 km de extensión, están los 6 malos pasos más críticos de todo el tramo navegable del Río Huallaga, debido a que se encuentran las menores profundidades de todo el recorrido. Todos estos pasos serán señalizados y 4 de los mismos serán mejorados por dragados.

De Yurimaguas (Km 220), la ruta sigue por el medio del río hasta un kilómetro río abajo, entrando al **Mal Paso Parapapura (Km 219)** con cauce rocoso, y extensión de cerca de 2,2 km. En este mal paso, el canal natural será señalizado por 6 balizas de margen (una baliza de “acciones a emprender” y dos balizas de “inicio del canal”, en cada uno de los extremos del canal), 4 boyas lumínicas (2 verdes y 2 rojas, en las entradas del canal y 12 boyas ciegas (6 verdes y 6 rojas). Luego de cruzar el canal señalizado (Km. 216,0) se prosigue cerca de la margen derecha, en una fuerte curva, hasta la entrada al canal dragado en el **Mal Paso de Providencia (Km. 213,5)** con cerca de 3 km. Este mal paso, con una gran isla a estribor, tiene cauce arenoso, será mejorado por un canal dragado de 22 m. de ancho en la base y señalizado por 4 balizas de margen, 4 boyas lumínicas (2 verdes y 2 rojas, en las entradas del canal) y 19 boyas ciegas (10 verdes y 9 rojas).

Al salir del Mal Paso Providencia, la ruta cruza lentamente el cauce hacia la margen derecha, siguiendo, en la curva, cerca de la misma, hasta el Km 205 donde en el extremo de una isla, cruza el río, navegando por la margen izquierda hasta el Km 199 donde avanza para el centro del río hasta el **Mal Paso Metrópolis (Km. 198,0)**, con canal dragado de 22m en la base y una extensión de cerca de 4,5km. Este mal paso será señalizado por 6 balizas de margen (una baliza de “acciones a emprender” y dos balizas de “inicio del canal”, en cada uno de los extremos del canal), 4 boyas lumínicas (2 verdes y 2 rojas, en las entradas del canal) y 12 boyas ciegas (6 verdes y 6 rojas).

Saliendo del Mal Paso Metrópolis, (Km. 192,8) la ruta sigue por la margen izquierda hasta el canal dragado y señalizado del **Mal Paso Oro Mina (Km. 191)**, con cauce arenoso, 3,5 km de largo y ancho mínimo de 22m, señalizado por 6 balizas de margen (una baliza de “acciones a emprender” y dos balizas de “inicio del canal”, en cada uno de los extremos del canal), 4 boyas lumínicas (2 verdes y 2 rojas, en las entradas del canal) y 16 boyas ciegas (8 verdes y 8 rojas).

Después de la salida del Paso Oro Minas (km187,7), sigue la ruta por el medio del río, buscando la margen derecha en el Km. 185, donde hace una curva y cruza el cauce en el km183,6, para entrar por la margen izquierda, a el canal dragado y señalizado del **Mal Paso Santa María (Km 183)**, el más grande de todos los malos pasos del río Huallaga, con poco más de 9 Km. de largo. Este canal tendrá 22m de ancho en la base, la ruta será por a estribor de la Isla Santa María y otras islas, hasta el km 174. Será señalizado por 6 balizas de margen (una baliza de “acciones a emprender” y dos balizas de “inicio del canal”, en cada uno de los extremos del canal), 4 boyas lumínicas (2 verdes y 2 rojas, en los extremos del canal) y 43 boyas ciegas (21 verdes y 22 rojas).

Del final de la curva del Paso Santa María (Km. 174,0) la ruta sigue cerca de la orilla izquierda, y atraviesa el río en una larga extensión, para llegar a la margen derecha en el Km. 171,0 donde sigue la curva cerca la margen cóncava para atravesar de nuevo hacia la izquierda, en la próxima curva (Km. 166,5).

Del Km. 171 al Km. 157, el Huallaga es ancho y sin problemas, siendo la ruta siempre cerca de las orillas cóncavas de las curvas reversas, con cruces suaves en los tramos de inflexión. En el Km156, cerca de la localidad de Islas Malvinas, la ruta tiene una inflexión bruta, cruzando de la margen izquierda hacia la derecha. Esta zona es una de las mas difíciles del tramo, pero, sin embargo, no tiene mayores riesgos, por ser el cauce arenoso entre bancos de arena de una y de otra margen,

En el km152 se ingresa al **Mal Paso Progreso (Km152)**, con canal dragado en arena, de 22 m de ancho en la base y 3,5 Km de largo, que llega hasta el Km. 147. Será señalizado por 6 balizas de margen (una baliza de “acciones a emprender” y dos balizas de “inicio del canal”, en cada uno de los extremos del canal), 4 boyas lumínicas (2 verdes y 2 rojas, en las entradas del canal) y 15 boyas ciegas (7 verdes y 8 rojas)..

Del Km. 148 al Km. 90

Este tramo, de 58 Km., en toda su extensión, tiene un solo mal paso, el denominado Santa Cruz, que presenta profundidades suficientes pero el canal navegable es sinuoso y poco ancho, con una fuerte curvatura, que hace difícil el paso de las embarcaciones. Por estos motivos, este paso será señalizado pero no necesita de dragado. (En el tramo hay también algunas otras curvas difíciles para los convoyes, en aguas bajas).

En el Km. 148,0, un poco aguas abajo de la salida del paso Santa Cruz, la ruta sigue la ribera derecha, en la curva cóncava, atravesando el río en el Km145, en dirección a la margen cóncava de la próxima curva. En el Km. 140, cruza hacia la margen derecha, hasta el Km 139,0 en donde los bancos de arena de la margen izquierda obligan que la ruta se mantiene cerca de la otra margen. En el Km. 137,0 son los bancos de arena de la margen derecha que desvían la ruta hacia la otra margen, obligando un cruce no común en un tramo recto.

Aguas abajo, en casi todos los vértices de curvas, hay islas importantes, que hacen la formación de dos canales, siendo el de navegación el que esta más cerca de la orilla cóncava. No en tanto, en el km 124,0, la ruta toma el canal secundario por causa de las pequeñas profundidades en el canal principal. La entrada arriba de este canal secundario es de difícil acceso, pudiendo causar muchas dificultades en aguas bajas

para los convoyes. Este es la zona mas difícil del recorrido, no solo por la curva brusca, además por tener la ruta principal de difícil identificación entre las islas.

Poco después del pasaje por el canal secundario, del Km 124 al km 121, la ruta de navegación toma por la margen izquierda hasta la entrada señalizada del canal natural del mal **Paso Santa Cruz (Km. 117,6)**, con una fuerte curva a izquierda, y el canal natural de navegación por el centro del río, por ser el cauce resistente en la orilla derecha. Este paso será señalizado por 6 balizas de margen (una baliza de “acciones a emprender” y dos balizas de “inicio del canal”, en cada uno de los extremos del canal), 4 boyas lumínicas (2 verdes y 2 rojas, en las entradas del canal) y 11 boyas ciegas (5 verdes y 6 rojas).

A la salida del mal paso (Km. 115,0), después de la fuerte curva, la ruta sigue en línea recta por el medio del río, hasta cerca de la margen izquierda, en el Km. 112,5, en donde cruza el río para seguir por la margen derecha.

Aguas abajo, en el Km. 108,0, el río se presenta muy ancho y el canal de navegación queda muy cerca de la margen izquierda, con una conformación atípica en la curva.

Del Km. 104 hasta el Km. 90,0 no hay ningún problema en la ruta de navegación, que sigue siempre la conformación típica de los ríos de cauce móvil, o sea, próximo a las curvas cóncavas y con cruces suaves en las inflexiones entre las curvas.

Del Km. 90 al Km. 0

Este tramo final del río Huallaga, con 90 Km., presenta buenas condiciones de navegación siendo posible navegar, en aguas bajas, por el medio del río. Hay sin embargo, algunas zonas con muchas islas, en donde la ruta más favorable no es bien definida y otras con bancos de arena que imponen desvíos bruscos en tramos rectos. La curva más crítica para los grandes convoyes esta en este tramo. En esta curva, casi siempre, los convoyes de barcazas tienen que separarse, para el paso de las barcazas uno por uno..

En el Km. 88,0 se presenta una curva crítica, con 2,2 km de extensión y 180° de ángulo central. Muchas veces los convoyes tienen que separarse, para el paso de las barcazas uno por uno para el paso por esta curva. La ruta sigue muy cerca de la margen izquierda y atraviesa el cauce, después de la curva, en el Km. 85 hacia la margen derecha para salir fuera de los bancos y pequeñas islas del otro lado del río.

La ruta sigue entre la isla y la margen izquierda con una travesía junto a la margen desviándose de los bancos de arena. Hacia aguas abajo del Km. 74, la ruta de navegación sigue normalmente por el centro del río, con aproximación, en aguas bajas, hacia las orillas cóncavas de las curvas y por los canales más anchos entre las islas.

Las curvas del Km. 62 y 53 pueden ser cortadas por el canal secundario, en aguas altas y medianas, con disminución de cerca de 4 km de recorrido. En el tramo recto del río, entre los Km. 25 y 22, la ruta es sinuosa, por los bancos de arena alternados en las riberas. En el Km. 22,5 hay una travesía muy brusca con pasaje difícil, por entre los bancos de la desembocadura del Río Aipena. Estos bancos son poco estables, y pueden traer dificultades para el paso de los convoyes en ciertas épocas.

Aguas Abajo del Km. 12 empiezan las grandes islas y bancos de arena de la confluencia con el Marañón. En el Km. 12,5 la ruta cruza el cauce hacia la margen derecha y sigue próxima a la orilla hasta el Km. 9,0 donde cruza de nuevo el río hacia la ribera de la gran isla de la confluencia. En el Km. 7,0 vuelve para el medio del canal principal (sur) hasta el Marañón.

En aguas medianas y altas las embarcaciones que van hacia la dirección de Iquitos pueden seguir otros canales de la confluencia para disminuir el recorrido.

6.7.3- Planos de Navegación.

Los planos LBRN-01/25-REV1 a LBRN-25/25-REV1 representan la ruta de navegación del Río Huallaga, desde Yurimaguas a la Confluencia con el Río Marañón, para la Alternativa 1 (Motonaves). Estos planos fueron preparados tomando en cuenta los levantamientos hechos por la **MARINA DEL PERÚ plasmados en la carta de practicaje**, y sobre la base de los levantamientos batimétricos generales y detallados realizados por el **CONSORCIO HIDROVIA HUALLAGA**.

6.8- Principales Puertos Fluviales en la Ruta de Navegación

a) Puerto de Yurimaguas.

Según sus características técnicas, el puerto de Yurimaguas es de tipo flotante, el mismo que cuenta con facilidades de atraque, almacenaje y equipos para el manipuleo de carga para los requerimientos actuales.

Actualmente el gobierno está tomando acciones para adecuarlo a las exigencias del intenso tráfico que existirá en el lugar. Al igual que el acceso fluvial, en temporada de vaciante presenta restricciones de profundidad para el acceso de las naves.

En temporada de creciente que ocurre con la presencia de lluvias, el tráfico fluvial se normaliza, permitiendo el ingreso de barcazas con calado de 3 metros; pero estas mismas lluvias que favorecen la navegación, entorpecen el tránsito en la carretera Tarapoto – Yurimaguas, dilatando los tiempos de espera a las embarcaciones acoderadas en el Puerto de Yurimaguas, de ahí la importancia de asfaltar este tramo carretero.

Si bien el transporte aéreo es un modo importante en el desarrollo económico de la región, su contribución al transporte de mercancías no es significativo por sus altos costos.

La profundidad actual en el tramo fluvial está todavía muy por debajo de los niveles que serán requeridos a breve plazo; es por eso la necesidad de mejorar la navegabilidad permanente para adecuarlo a las condiciones requeridas para las embarcaciones de mayor tamaño que se desplazan normalmente durante todo el año por los ríos Marañón y Amazonas.

Aun cuando el transporte fluvial constituye el principal medio para desplazar los grandes volúmenes de carga y pasajeros en la Amazonía, anteriormente el apoyo a la navegación fluvial era nulo. De ahí la importancia de las acciones que ahora está tomando el gobierno peruano, dentro de la iniciativa para la Integración de las Infraestructuras de Transportes de la Región de Sudamérica (IIRSA), priorizando la

realización de estos estudios e inversiones para evitar que los factores mencionados no resulten barreras que ahoguen o dificulten este trafico tan esencial.



Fig. N° 6.2: Puerto de Yurimaguas

b) Puerto de Iquitos.

La ciudad de Iquitos está situada en la margen izquierda del Amazonas, con algo más de 500,000 habitantes, entre las desembocaduras de los ríos Itaya y Nanay.

El puerto de Iquitos en realidad es un puerto de lanchonaje. Desde el 10 de diciembre de 1997 en que el río Amazonas cambió su curso dividiendo la Isla Padre en dos y dejando al puerto con su Terminal Fluvial dentro de casi una laguna a la cual se accede por un estrecho canal mediante barcazas fluviales, por lo que los buques oceánicos ya no pueden ingresar y están obligados a fondear en el río Amazonas, a más o menos dos millas de distancia; descargando y embarcando íntegramente sus cargamentos de/a barcazas fluviales.

En temporada de vaciante, las rampas para el ingreso y salida de camiones del terminal portuario de Iquitos presentan una gradiente muy pronunciada para su normal desplazamiento.

Las barcazas fluviales con 4 pies de calado pueden ingresar al puerto de Iquitos durante todo el año y las que tienen 8 pies de calado, solamente en creciente o reduciendo sus cargamentos en vaciante.

Las barcazas que reciben los cargamentos para la ciudad de Iquitos ingresan a la laguna del puerto y descargan por el Terminal Fluvial. Las barcazas con cargamentos para otros destinos del interior del Perú, incluyendo los campamentos petroleros, zarpan directamente de Iquitos.



Fig. N° 4.6.1: Mal Paso "Paranapura".

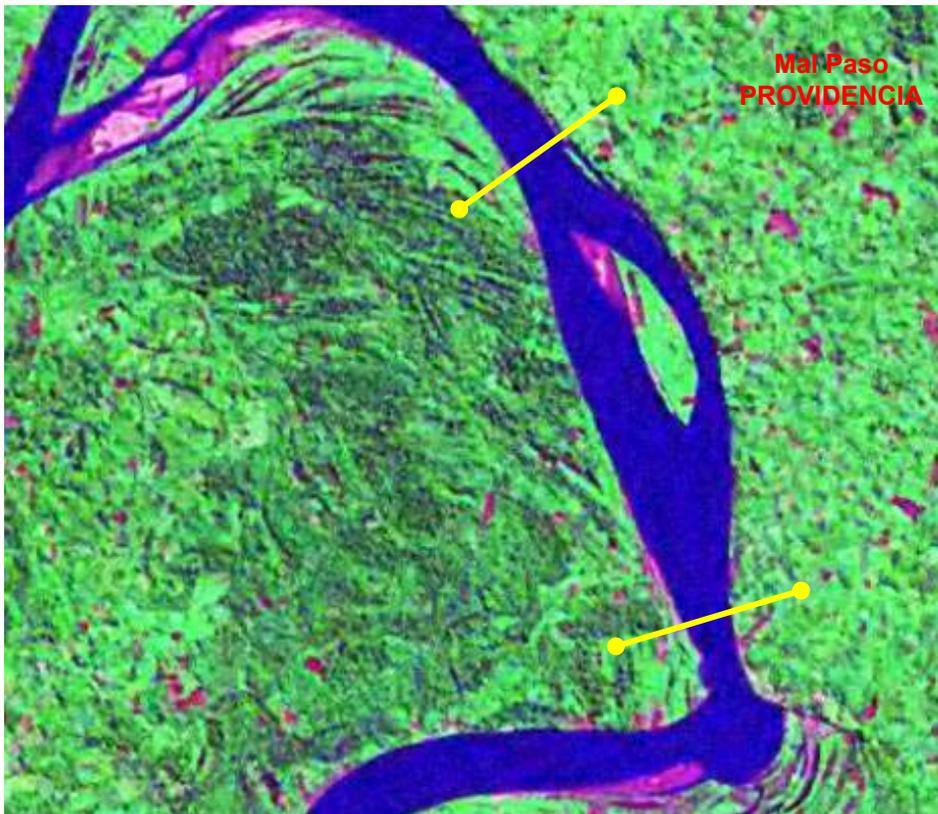


Fig. N° 4.6.2: Mal Paso "Providencia".



Fig. N° 6.3: Puerto de Iquitos

7. MODELO MATEMÁTICO BIDIMENSIONAL HIDRODINAMICO Y DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Se ha efectuado un modelamiento hidráulico del río Huallaga, en los tramos requeridos (malos pasos), con el fin de conocer la distribución de velocidades, los niveles y los procesos de erosión-sedimentación presentes, esto ha sido de vital importancia y nos ha permitido conocer el comportamiento del lecho del río en las zonas en donde se van a realizar los trabajos de dragado con el fin de aumentar el tirante del canal de navegación.

El objetivo de aplicar la modelación matemática es calcular los volúmenes sedimentados anuales después del dragado inicial del mal paso y en consecuencia, la evolución de las profundidades durante ese período. Para esto se uso un software altamente especializado, que se detalla a continuación.

7.1.- Surface Water Modeling System (SMS).

SMS es un software de pre y post-procesamiento para el modelamiento y análisis de flujo a superficie libre (ríos, canales, estuarios, etc.). Incluye modelos unidimensionales y bidimensionales, soporta modelos de diferencias finitas y elementos finitos. A continuación se hará una descripción de los módulos que se van a utilizar en el presente trabajo:

- RMA, modelo bidimensional hidrodinámico y de transporte de contaminantes,
- SED2D, modelo bidimensional de transporte y decantación de sedimentos,

Estos modelos pueden simular sistemas de canales, ríos sinuosos, puertos, bahías, estuarios, humedales, llanuras de inundación irregulares, y otras situaciones de flujo complejas. En el modelo desarrollado se calculo en cada nodo de la grilla:

- La elevación de la superficie de agua
- Velocidad de flujo
- Erosión y sedimentación del lecho

Este se hizo tanto en el cauce como en cada nodo de la malla de diferencias y elementos finitos desarrollada. Los resultados obtenidos del análisis se muestran gráficamente en la parte final de este capítulo.

7.2. El Módulo RMA

El módulo RMA proporciona una interfase gráfica a los sistemas de análisis RMA2 y RMA4 que nos permite asignar las condiciones de borde y los parámetros de análisis.

7.2.1. RMA2 es un modelo numérico (elementos finitos) hidrodinámico bidimensional de flujo a superficie libre. Este software permite modelar las elevaciones superficiales y los componentes horizontales de velocidad para flujo subcrítico. RMA2 computa la solución por elementos finitos de la ecuación de Navier-Stokes bidimensional para flujo turbulento.

$$\begin{aligned}
 & h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \\
 & + gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{gun^2}{(1.486h^{1/6})^2} + (u^2 + v^2)^{1/2} \\
 & - \zeta V_a^2 \cos \psi - 2h\omega v \sin \phi = 0
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 & h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \\
 & + gh \left(\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{gvn^2}{(1.486h^{1/6})^2} + (u^2 + v^2)^{1/2} \\
 & - \zeta V_a^2 \sin \psi + 2h\omega v \sin \phi = 0
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

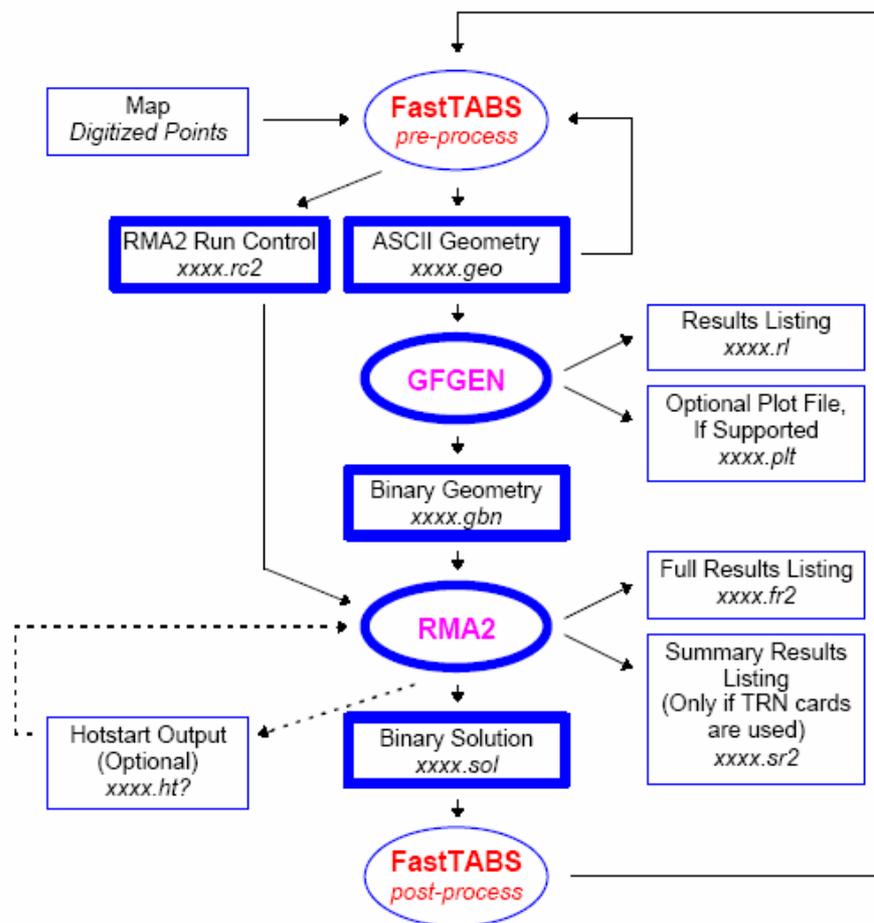
$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0
 \tag{3}$$

Donde:

- h = Profundidad
- u, v = Velocidades en las direcciones cartesianas
- x, y, t = Coordenadas cartesianas y tiempo
- ρ = Densidad del fluido
- E = Coeficiente de viscosidad de Eddy
- g = Aceleración de la Gravedad
- n = Coeficiente de Manning
- ω = Rotación angular de la tierra
- ϕ = Latitud local

La fricción se calcula con la ecuación de Manning o de Chezy, y los coeficientes de la viscosidad de Eddy se utilizan para definir las características de la turbulencia.

El diagrama de flujo que se muestra a continuación ilustra el proceso de modelamiento del modulo RMA2. Las fronteras son requeridas (con negritas) y los demás elementos son opcionales:



7.3. El Módulo SED2D

El módulo SED2D ha sido utilizado en conjunto con el sistema de análisis RMA2 para modelar el transporte de sedimentos. Ha sido necesario una corrida preliminar del RMA2 para usar el módulo SED2D para determinar las condiciones de flujo iniciales para el modelo.

Luego, mientras se corre el análisis SED2D, la erosión y decantación de sedimentos en el lecho altera las elevaciones del lecho y el tipo de material de lecho de la malla batimétrica de elementos finitos.

Para el análisis SED2D, el tipo de material de lecho puede ser especificado como arcilla o arena. En el caso de la arcilla los parámetros de importancia son esfuerzo cortante, densidad seca, velocidad de erosión, los cuales pueden ser especificados por capas. Para nuestro caso el lecho es de arena y son importantes la granulometría, factor de forma, gravedad específica. Son importantes también la concentración inicial de sedimentos, la velocidad de caída de las partículas. Además puede indicarse la densidad y temperatura del agua.

Los procesos básicos de transporte de sedimentos se agrupan en: Erosión, entrainment, transporte y deposición

7.3.1. Bases Teóricas:

Las derivaciones de las formulación básica en elementos finitos es presentada en Ariathurai (1974) y Ariathurai ,MacArthur, y Krone (1977). Se agrupan de la siguiente manera:

- a) Concentración de sedimentos en suspensión usando la ecuación de convección – difusión
- b) Tensiones de Corte en el fondo (bed shear stress)
- c) Disponibilidad de Material de la cama (Bed source quantity)
- d) Modelo de fondo (bed model)

A continuación detallamos cada uno de los modelos matemáticos que nos permiten calcular el transporte de sedimentos

a) **Ecuación de Convección - Difusión**: La ecuación básica de convección – difusión fue presentada por MacArthur y Krone (1977),

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \alpha_1 C + \alpha_2$$

Donde:

- C = Concentración
- u, v = Velocidades en las direcciones cartesianas
- x, y, t = Coordenadas cartesianas y tiempo
- ρ = Densidad del fluido
- D_x, D_y = Coeficientes de difusión en las direcciones cartesianas
- α_1, α_2 = Coeficientes de concentración de equilibrio

Esta ecuación es formulada en elementos finitos usando la función de forma cuadrática N :

$$\sum_{ne=1}^{NE} \iint_{D_{ne}} \left[N_j \left\{ Q + u \frac{\partial \hat{C}}{\partial x} + v \frac{\partial \hat{C}}{\partial y} - \alpha_1 \hat{C} \right\} + \frac{\partial N_j}{\partial x} D_x \frac{\partial \hat{C}}{\partial x} + \frac{\partial N_j}{\partial y} D_y \frac{\partial \hat{C}}{\partial y} \right] dx dy + \sum_{i=1}^{NL} \int_{\zeta} N_j q_i^s d\zeta = 0$$

Donde:

- NE = Numero Total de elementos
- N = Función de forma cuadrática
- \hat{C} = Concentración aprox. en los elementos evaluados con la función de forma
- NL = Numero total de segmentos limites
- ζ = Coordenadas locales

Esta ecuación también la podemos expresar de la siguiente forma:

$$[T] \frac{\partial \{C\}}{\partial t} + [K] \{C\} - \{F\} = 0$$

Donde cada elemento de la malla de cálculo aporta términos a la matriz global

$$[T] = \iint_D [N]^T [N] dx dy ;$$

$$[K] = \iint_D \left[K_j \left\{ u \frac{\partial \hat{C}}{\partial x} + v \frac{\partial \hat{C}}{\partial y} - \alpha_1 \hat{C} \right\} + \frac{\partial N_j}{\partial x} D_x \frac{\partial \hat{C}}{\partial x} + \frac{\partial N_j}{\partial y} D_y \frac{\partial \hat{C}}{\partial y} \right] dx dy$$

(La matriz de coeficientes de sistema);

$$\{F\} = -\iint_D [N]^T \{\alpha_2\} dx dy + \int_{\zeta} [N]^T \{q\} d\zeta$$

Aplicando el esquema de Crank-Nicholson, donde θ es un coeficiente implícito de la ecuación, donde n esta referida al presente y $n+1$ al siguiente paso de tiempo y Dt es el intervalo de tiempo.

$$\left\{ \frac{[T]}{\Delta t} + \theta [K]^{n+1} \right\} \{C\}^{n+1} = \left\{ \frac{[T]}{\Delta t} - (1 - \theta) [K]^n \right\} \{C\}^n + \theta \{F\}^{n+1} + (1 - \theta) \{F\}^n$$

b) Tensiones de Corte en el fondo (Bed shear stress): Hay diversas opciones disponibles para el calculo de las tensiones de corte de fondo (cama), usando:

$$\tau_b = \rho (u^*)^2$$

Donde:

ρ = Densidad

u^* = Velocidad de corte (Shear velocity)

Se presentaran las mas importantes:

b.1) Perfil de Velocidad Promedio

$$\frac{\bar{u}}{u^*} = 5.75 \log \left(3.32 \frac{u^* D}{\nu} \right)$$

La cuál es aplicable por debajo del 15 % de la capa límite cuándo:

$$\frac{u^* D}{\nu} > 30$$

Donde:

D = Profundidad
 \bar{u} = Velocidad media
 ν = Viscosidad cinemática

b.2) Ecuación de tensiones de corte de Manning

$$u^* = \frac{\sqrt{g} \bar{u} n}{CME D^{1/6}}$$

Donde:

g = Aceleración de la Gravedad
 n = Coeficiente de Manning
 CME = Coeficiente (1.0 para el SI, 1.486 para el sistema ingles)

b.3) Ecuación de Jonsson para las tensiones de corte de superficie (fondo plano) causados por ondas (waves) y corrientes

$$u^* = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{f_w u_{om} + f_c \bar{u}}{u_{om} + \bar{u}} \right) \left(\bar{u} + \frac{u_{om}}{2} \right)}$$

Donde:

f_w = Coeficiente de tensión de cizallamiento para ondas (waves)
 u_{om} = Velocidad orbital máxima de onda (waves)
 f_c = Coeficiente de tensión de cizallamiento para corrientes
 u^* = Velocidad de corte (Shear velocity)
 \bar{u} = Velocidad media

b.4) Ecuación de Bijker para la tensión de corte total causado por ondas (waves) y corrientes

$$u^* = \sqrt{\frac{1}{2} f_c \bar{u}^2 + \frac{1}{4} f_w u_{om}^2}$$

Para mas información sobre las ecuaciones de tensiones de corte (shear stress) ver McAnally y Thomas (1980).

c) **Disponibilidad de Material del lecho (Bed source)**: Tiene la forma $S = \alpha_1.C + \alpha_2$ para deposición y erosión de arenas y arcillas. Los coeficientes de α dependen de la calidad del sedimento.:

Para transporte de arena, el suministro de sedimento de la cama es controlado por el potencial de transporte de la circulación y disponibilidad del material en la cama.

$$S = \frac{C_{eq} - C}{t_c}$$

Donde:

- S = Bed source
- C_{eq} = Concentración de equilibrio (transporte potencial)
- C = Concentración de sedimentos en la columna de agua
- t_c = Tiempo característico para hacer efectivo la transición

Hay muchas relaciones de transporte para calcular C_{eq} . La fórmula de Ackers - White (1973) ha sido adoptada en este modelo porque demostró una buena performance en las pruebas (White, Milli, y Crabbe 1975; Swart 1976) y porque es razonablemente simple. El transporte potencial está relacionado con los parámetros de flujo y sedimento.

El tiempo característico t_c es subjetivo. Debe ser la cantidad del tiempo requerido para que la concentración en el campo de flujo cambie de C a C_{eq} .

En el caso de deposición, t_c está relacionado con la velocidad. Se ha adoptado las siguientes expresiones:

$$t_c = \text{larger of } \left\{ \begin{array}{l} C_d \frac{D}{V_s} \\ \text{or} \\ DT \end{array} \right.$$

Donde:

- t_c = Tiempo característico
- C_d = Coeficiente para deposición
- D = Profundidad
- V_s = Velocidad de la partícula de sedimento
- DT = Intervalo de tiempo computacional

En el caso de fregado (scour), no hay un parámetro simple a emplear. Es usada la siguiente expresión.

$$t_c = \text{larger of } \left\{ \begin{array}{l} C_e \frac{D}{\bar{u}} \\ \text{or} \\ DT \end{array} \right.$$

Donde:

- t_c = Tiempo característico
- C_e = Coeficiente para entrainment
- D = Profundidad
- \bar{u} = Velocidad media

Para el transporte de arcilla, las tasas de deposición de la cama de arcilla son calculados con la ecuación de Krone (1962)

$$S = \begin{cases} -\frac{2V_s}{D} C \left(1 - \frac{\tau}{\tau_d}\right) & \text{for } C < C_c \\ -\frac{2V_k}{D} C^{5/3} \left(1 - \frac{\tau}{\tau_d}\right) & \text{for } C > C_c \end{cases}$$

Donde:

- S = Bed source
- τ = Esfuerzo cortante en la cama (bed shear stress)
- τ_d = Esfuerzo cortante critico para deposición
- C_c = Concentración critica (300 mg./lt.)

Las tasas de erosión son calculadas por una simplificación de Partheniades (1962) los resultados son partícula por partícula de erosión. Los términos son los siguientes:

$$S = \frac{P}{D} \left(\frac{\tau}{\tau_e} - 1 \right)$$

Donde:

- P = Tasa de erosión constante
- τ_e = Esfuerzo cortante critico para erosión

Cuando las tensiones de cizallamiento de fondo son altas, entonces esto causa el colapso de la capa de fondo (cama), la erosión esta escrita en los siguientes términos:

$$S = \frac{T_L \rho_L}{D \Delta t} \quad \text{for } \tau > \tau_s$$

Donde:

- T_L = Grosor de la capa fallida
- ρ_L = Densidad de la capa fallida
- Δt = Intervalo de tiempo desde que ocurrió la falla
- τ_s = Esfuerzo cortante (bulk shear strength) de la capa de fondo

d) Modelo de Fondo (Bed Model): Los términos de la fuente de lavado (sink source) están en la ecuación de convección - difusión, en donde están ligados a la elevación, composición y características de la cama.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \alpha_1 C + \alpha_2$$

Sand Beds, Las camas de arena son consideradas de grosor finito de sedimento, debajo esta una superficie no erosionable. El sedimento es añadido o retirado de la cama en tasas calculadas en cada paso de tiempo. La tasa de flujo de masa de la cama es convertida a tasas volumétricas que cambian con los parámetros de porosidad de la cama

Clay Beds, Las camas de arcilla son tratados como una secuencia de capas. Cada capa tiene sus propias características, las cuales son las siguientes:

- Grosor.
- Densidad.
- Edad.
- Fuerza de cizallamiento en grandes cantidades (Bulk shear strength).
- Tipo.

En adición, el tipo de capa especifica una lista secundaria de características:

- Esfuerzo cortante critico para erosión.
- Tasa de erosión constante.
- Coeficiente de consolidación.
- Arcilla o arena.

Nuevos depósitos de arcilla forma capas que aumentan el grosor inicial especificado y luego se incrementa la densidad al aumentar la sobrecarga de presión y la edad. SED2D permite modelar la consolidación como consecuencia de nuevas acumulaciones de sedimentos y por el paso del tiempo

$$\rho = \rho_f - (\rho_f - \rho_i)e^{-\beta t}$$

Donde:

ρ = Variación de la densidad con el tiempo

ρ_e = Densidad de referencia en el tiempo limite

ρ_f = Densidad final

t_0 = Tiempo de inicio

t_e = Tiempo de referencia limite

t = Tiempo

β = Coeficiente de consolidación

El coeficiente de consolidación β se calcula de la siguiente ecuación:

$$\beta = -\frac{1}{t_e} \ln \left[1 - \frac{\rho_e - \rho_i}{\rho_f - \rho_i} \right]$$

Las Fuerza de cizallamiento en grandes cantidades (Bulk shear strength) esta relacionada con la densidad mediante la siguiente expresión.:

$$\frac{QS_e}{QS_i} = \left(\frac{\rho_e}{\rho_i} \right)^\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{\ln(QS_i) - \ln(QS_e)}{\ln(\rho_i) - \ln(\rho_e)}$$

7.4. Requerimientos de Datos o Parámetros de Entrada.

7.4.1. Geometría.

A) Imágenes Satelitales

Han sido usadas imágenes satelitales, con el fin de definir las riberas del río, para esto se han usado imágenes satelitales LandSat, para mayor detalle ver el VOLUMEN I.

B) Topografía y Batimetría

Han sido usados los datos recopilados en el levantamiento topográfico y Batimétrico de los malos pasos, hay que tener en cuenta que en las zonas mas criticas la resolución de la información recolectada ha sido mayor para poder efectuar una simulación de buena calidad. A continuación se detallaron los criterios usados para definir los malos pasos:

Malos Pasos en la Zona de Proyecto.

El río Huallaga es navegable de manera natural en la mayor parte de su extensión, de los estudios realizados en los trabajos de campo se ha llegado a la conclusión que solo existen problemas de calado en algunos lugares, estos tienen una extensión relativamente corta comparada con la longitud total del río, a estos lugares se les denomina Malos Pasos.

En los estudios de Hidráulica Fluvial se identificaron preliminarmente 07 malos pasos los cuales son:

- Mal Paso 01 (Paranapura):
- Mal Paso 02 (Providencia).
- Mal Paso 03 (Metrópolis).
- Mal Paso 04 (Oro mina).
- Mal Paso 05 (Santa María).
- Mal Paso 06 (Progreso).
- Mal Paso 07 (Santa Cruz).

Luego se analizaron diversas alternativas para el canal de navegación, quedando finalmente el canal de navegación para la motonave, con un calado mínimo de 4 pies. Para esto se analizaron las persistencias anuales de los niveles de agua medios diarios que permitieron determinar, en cada año, el número de días del año en que no son alcanzadas las profundidades necesarias para que pueda pasar una embarcación con 4 pies de calado.

Esto quiere decir que si se ha dragado un canal con una profundidad suficiente para una embarcación con 4 pies de calado, referido a la persistencia de 10% del año, la obra garantiza estadísticamente como mínimo, el pasaje de la embarcación el 90% del año, en cualquier año de un período de 10 años.

Se procedió luego a determinar los volúmenes de dragado para el canal de diseño, esto se puede observar en la Tabla siguiente:

Tabla 7.1
Volúmenes de Dragado para las dos Alternativas
Motonave y Convoy

| NUM. | MAL PASO | km | ALT. 1 - MOTONAVE | | ALT. 2 - CONVOY | |
|--------------|-------------|-------|-------------------|---------------|------------------|----------------|
| | | | APERTURA | O | APERTURA | MANTENIMIENTO |
| 1 | PARANAPURA | 218.0 | 0 | 0 | 100 | 100 |
| 2 | PROVIDENCIA | 211.5 | 82,100 | 20,600 | 314,300 | 78,600 |
| 3 | METROPOLIS | 195.0 | 40,000 | 10,000 | 131,800 | 33,000 |
| 4 | ORO MINA | 189.0 | 60,500 | 15,200 | 186,600 | 46,700 |
| 5 | SANTA MARIA | 179.0 | 156,200 | 39,100 | 441,500 | 110,400 |
| 6 | PROGRESO | 150.0 | 0 | 0 | 100 | 100 |
| 7 | SANTA CRUZ | 116.0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | | | 338,800 | 84,900 | 1,074,400 | 268,900 |

Nota: Los volúmenes están en m³.

De donde obtenemos que solo es necesario dragar 04 malos pasos los cuales son:

Mal Paso 02 (Providencia): Esta ubicado entre las progresivas 209+500 y 213+700, tiene una extensión de 4200 m. Y un ancho que fluctúa entre los 200 – 950 m. (ver Fig. N° 4.4.6).

Mal Paso 03 (Metrópolis): Esta ubicado entre las progresivas 192+500 y 197+500, tiene una extensión de 5000 m. Y un ancho que fluctúa entre los 400 – 850 m (ver Fig. N° 4.4.7).

Mal Paso 04 (Oro mina): Esta ubicado entre las progresivas 187+450 y 190+950, tiene una extensión de 3500 m. Y un ancho que fluctúa entre los 500 – 800 m. (ver Fig. N° 4.4.8).

Mal Paso 05 (Santa María): Esta ubicado entre las progresivas 174+000 y 183+150, tiene una extensión de 9150 m. Y un ancho que fluctúa entre los 280 – 800 m. (ver Fig. N° 4.4.9).

Como puede observarse de estos 04 malos pasos, 03 son lugares en donde hay bifurcaciones debido a islas que separan el cauce del río en dos partes, lo que da lugar a una reducción de la capacidad de transporte, debido a la disminución de los caudales específicos; esto se traduce en una acumulación de material en el mal paso.

El modelo SED2D contempla los distintos procesos sedimentológicos explicados en párrafos anteriores. Este modelo fue empleado para la determinación de la sedimentación en los pasos que serán dragados, con el objeto de calcular los volúmenes de dragado de mantenimiento anual necesarios.

En el estudio geomorfológico (ver Capítulo 4.5) se llego a clasificar el río en tres sub-tramos de características semejantes:

1. Primer Subtramo (ZONA A1), entre el Km. 0 (Boca Huallaga) y el Km 120 (aguas arriba de Santa Cruz), con gran influencia del comportamiento hidrológico del Río Marañon. (ver Fig. N° 4.4.2 y 4.4.3)

2. Segundo Subtramo (ZONA A2), entre lo Km120 hasta un poco aguas arriba del Paso de Progreso, se caracteriza por un falso delta en el cual la influencia del Río Marañon no es permanente (solamente por ocasión de las grandes crecidas). (ver Fig. N° 4.4.2).

3. Tercer Subtramo (ZONA B), tiene inicio un poco aguas arriba del paso de Progreso yendo hasta la ciudad de Yurimaguas, el río Huallaga pasa a evolucionar arriba de terrenos un poco mas elevados en medio de colinas bastante suaves. El Río evoluciona sobre sus propios sedimentos, en tiempos pasados, atingiendo cierta estabilidad en el tramo. Su apoyo sobre las riberas más resistentes de las colinas (ver Fig. N° 4.4.2 y 4.4.4). No se notan meandros vivos en el tramo (lagunas en media luna). En los tramos rectilíneos y anchos, como en el paso de Santa Maria, se ve la formación de campos de dunas de fondo que caracterizan los malos pasos.

Como se puede observar los 04 malos pasos que impiden la navegación sin restricciones en épocas de aguas bajas se encuentran en la ZONA B,

Debido a que los cuatro malos pasos se encuentran muy cerca uno del otro, prácticamente se ven afectados por el mismo caudal no habiendo una variación mayor entre estos debido a la inexistencia de afluentes importantes en este tramo (ver capítulo siguiente 7.4.2.). De los análisis granulométricos se ha determinado que tienen una granulometría media similar como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 7.2
Granulometría del Lecho del Río en los Malos Pasos de Interés

| NUM. | MAL PASO | PTO MUESTREO | d10 | d15 | d50 | d85 | d90 |
|----------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2 | PROVIDENCIA | 3 | 0.15 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.41 |
| 3 | METROPOLIS | 2 | 0.11 | 0.12 | 0.27 | 0.40 | 0.41 |
| 4 | ORO MINA | 2 | 0.11 | 0.13 | 0.23 | 0.40 | 0.41 |
| 4 | ORO MINA | 3 | 0.20 | 0.21 | 0.30 | 0.41 | 0.42 |
| 5 | SANTA MARIA | 1 | 0.20 | 0.21 | 0.31 | 0.45 | 0.50 |
| 5 | SANTA MARIA | 3 | 0.16 | 0.20 | 0.31 | 0.41 | 0.42 |
| Media | | | 0.16 | 0.18 | 0.29 | 0.41 | 0.43 |
| Desviacion Estandar | | | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.04 |

Los análisis granulométricas se pueden apreciar en el capítulo 3.2.1.4 y las curvas en los anexos.

Una vez analizadas todos estos parámetros se llevo a la conclusión que era necesario aplicar el modelo a un solo Mal Paso representativo y posteriormente aplicar los resultados obtenidos para calcular el volumen de mantenimiento en los demás malos pasos. El Mal Paso tomado como representativo es "METRÓPOLIS" (ver Fig. Nro. 7.1).

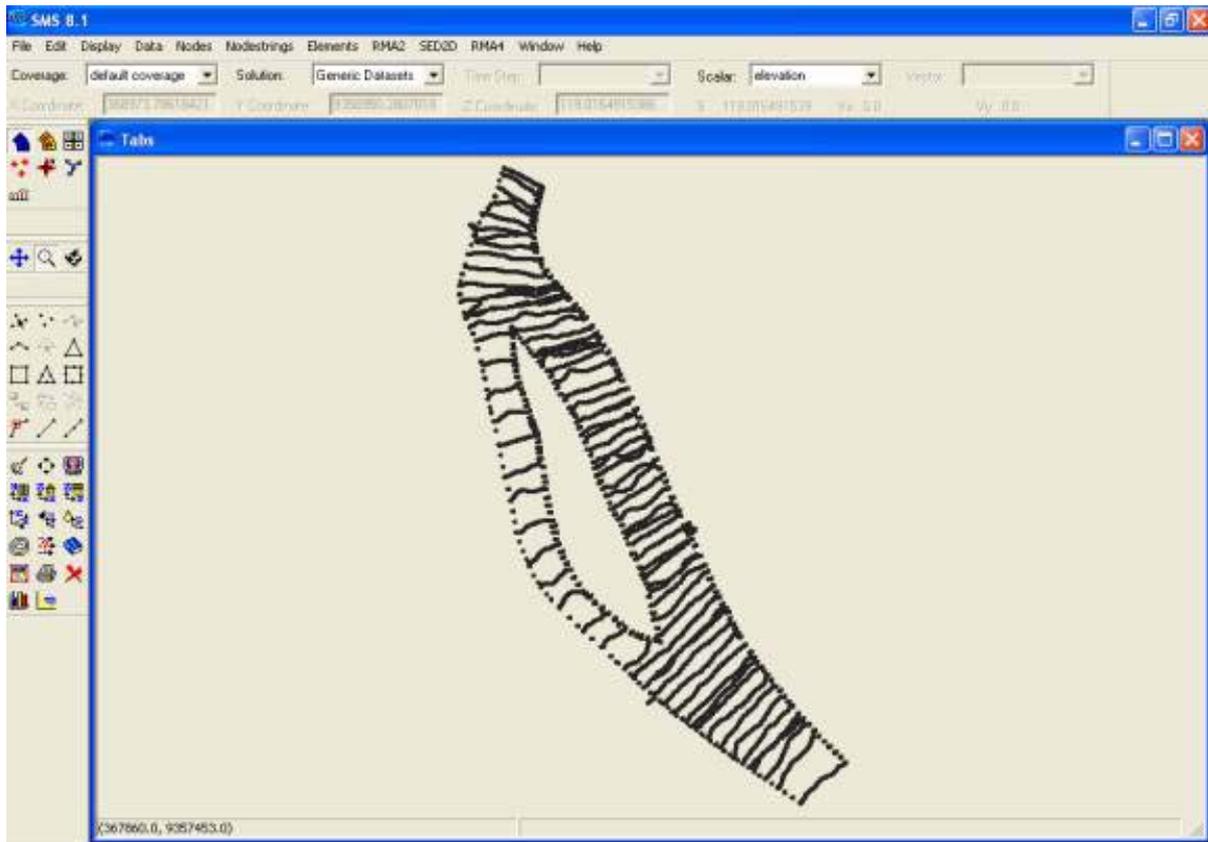


Figura 7.1: Batimetría y Topografía del Mal Paso “Metropolis”



Figura 7.2: Canal de Navegación para Motonave “Metropolis”

7.4.2. Hidrodinámica.

A) Pendientes Hidráulicas

Se instalaron 04 estaciones limnimétricas, estas cubren una extensión de 220 Km. Las estaciones son las siguientes:

- Estación Limnimétrica "Yurimaguas" (Km. 220)
- Estación Limnimétrica "Oro Mina" (Km. 189)
- Estación Limnimétrica "Progreso" (Km. 150)
- Estación Limnimétrica "Lagunas" (Km. 47)

Los kilometrajes empiezan desde Boca Huallaga (confluencia con el Marañon) hacia aguas arriba. Es de destacar que en el tramo de nuestro interés (Yurimaguas – Progreso) las pendientes solo dependen de los caudales propios, de origen pluvial.

El análisis de las pendientes observadas muestran que, para las condiciones de observación (ver tabla 2.1.7), las pendientes son relativamente bajas y poco variables en la extensión de 220km. La pendiente media para las condiciones descritas anteriormente son:

Tramo Yurimaguas – Oro Mina: 8.46 **cm/km**.

Tramo Oro Mina - Progreso: 10.23 **cm/km**.

Tramo Progreso – Lagunas: 8.56 **cm/km**.

B) Hidrogramas

Para calcular el caudal que circula por cada mal paso tenemos que tomar un solo nivel de referencia, debido a que Yurimaguas es la que cuenta con mayor cantidad de información, se procedió a calcular el caudal que tuvo la estación Yurimaguas el día 08 de Diciembre (ver Fig. 2.2.6):

$$Q(\text{Yurimaguas})_{08 \text{ dic}} = 3800 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Esto se hizo con el fin de comparar los caudales medidos pero tomando como referencia el nivel del mismo día.

**Tabla 7.3 Resumen de los Caudales Medidos
Diciembre 2004**

| Estación | Fecha | Lecturas (m) | Área (m ²) | Velocidad Media (m/s) | Caudal (m ³ /s) |
|------------|----------|--------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|
| YURIMAGUAS | 10/12/04 | 129.48 | 2.981 | 1,14 | 3.386 |
| PROGRESSO | 08/12/04 | 123,64 | 3.807 | 1,11 | 4.233 |
| LAGUNAS | 04/12/04 | 115.34 | 3.211 | 1,63 | 5.220 |

Entonces para el 08 de Diciembre:

$$Q_{\text{Yurimaguas}} - Q_{\text{Progreso}} = 433 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Como se puede apreciar este caudal tan solo representa el 11% del caudal de Yurimaguas, esto se debe a que no hay ningún afluente de importancia en este tramo, debiendo su mayor aporte al área de drenaje.

Hidrogramas de Cálculo.

Para la explotación del modelo se utilizó el hidrograma medio mensual, que fue obtenido con las alturas medias mensuales de la serie y las curvas H-Q. Este hidrograma tiene efectos sedimentológicos representativos de condiciones medias a través de varios años.

Debido a que el Mal Paso “METRÓPOLIS” no está ubicado en estaciones con registro de escala, se realizó una interpolación desde la estación de Yurimaguas ubicada aguas arriba, determinándose las alturas medias mensuales de la serie, interpoladas en el paso.

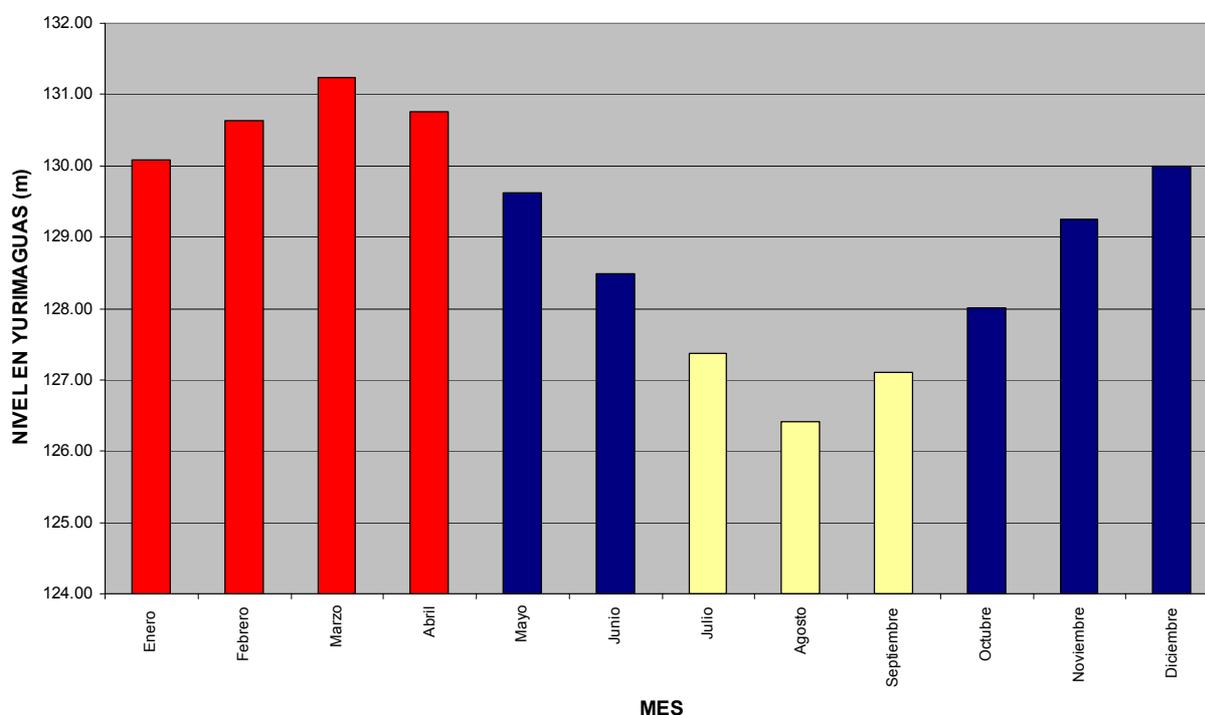


Figura 7.3 : Hidrograma Medio Mensual (Yurimaguas).

Posteriormente a cada escalón de altura se le asignó un caudal, calculado con la curva de descarga más cercana disponible, que en nuestro caso fue la de Yurimaguas. Es de destacar que los malos pasos se encuentran muy cerca uno del otro y prácticamente se ven afectados por el mismo caudal debido a la inexistencia de afluentes importantes en este tramo. La curvas H-Q para cada mal paso serian:

$$\text{Mal paso 02 "Providencia": } Q = \left(\frac{H}{107.209} \right)^{44.887}$$

$$\text{Mal paso 03 "Metrópolis": } Q = \left(\frac{H}{106.885} \right)^{44.771}$$

Mal paso 04 "Oro Mina": $Q = \left(\frac{H}{105.636} \right)^{44.322}$

Mal paso 05 "Santa Maria": $Q = \left(\frac{H}{104.073} \right)^{43.762}$

C) Elevación de la Superficie del Agua

Una vez obtenida la curva altura caudal del mal paso METRÓPOLIS con los datos de Yurimaguas, se procedió a determinar los niveles de la superficie del agua en la salida del modelo, tomando como base la pendiente hidráulica media entre Yurimaguas y Oro Mina obteniéndose de esta manera los niveles:

Tabla 7.4 Resumen del Calculo de los Niveles a la Salida

| Mes | Dias | Qcalc. | Malos Pasos | | | |
|------------|------|---------|-------------|------------|----------|-------------|
| | | m3/seg. | Providencia | Metropolis | Oro Mina | Santa Maria |
| Enero | 31 | 4384.11 | 129.06 | 128.69 | 127.49 | 125.70 |
| Febrero | 28 | 5300.46 | 129.60 | 129.23 | 128.03 | 126.24 |
| Marzo | 31 | 6522.52 | 130.20 | 129.83 | 128.63 | 126.84 |
| Abril | 30 | 5519.46 | 129.72 | 129.35 | 128.15 | 126.36 |
| Mayo | 31 | 3731.25 | 128.59 | 128.23 | 127.02 | 125.23 |
| Junio | 30 | 2512.10 | 127.46 | 127.10 | 125.90 | 124.11 |
| Julio | 31 | 1684.23 | 126.33 | 125.97 | 124.77 | 122.97 |
| Agosto | 31 | 1199.84 | 125.38 | 125.02 | 123.81 | 122.02 |
| Septiembre | 30 | 1531.67 | 126.07 | 125.70 | 124.50 | 122.71 |
| Octubre | 31 | 2118.28 | 126.98 | 126.61 | 125.41 | 123.62 |
| Noviembre | 30 | 3266.12 | 128.21 | 127.84 | 126.64 | 124.85 |
| Diciembre | 30 | 4257.33 | 128.97 | 128.60 | 127.40 | 125.61 |

D) Velocidad y Corrientes:

Se han utilizado los datos recopilados en campo, de las velocidades superficiales y de las líneas de corriente para poder calibrar el modelo. (ver PLANO MCME-05 en ANEXOS del VOLUMEN I)

7.4.3. Transporte de Sedimentos.

A) Sedimentos de Fondo

De los análisis granulométricos se ha determinado que los malos pasos PROVIDENCIA, METRÓPOLIS, ORO MINA y SANTA MARIA tienen una granulometría media similar como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 7.5 Granulometría del Lecho del Río en los Malos Pasos de Interés

| NUM. | MAL PASO | PTO MUESTREO | d10 | d15 | d50 | d85 | d90 |
|---------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2 | PROVIDENCIA | 3 | 0.15 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.41 |
| 3 | METROPOLIS | 2 | 0.11 | 0.12 | 0.27 | 0.40 | 0.41 |
| 4 | ORO MINA | 2 | 0.11 | 0.13 | 0.23 | 0.40 | 0.41 |
| 4 | ORO MINA | 3 | 0.20 | 0.21 | 0.30 | 0.41 | 0.42 |
| 5 | SANTA MARIA | 1 | 0.20 | 0.21 | 0.31 | 0.45 | 0.50 |
| 5 | SANTA MARIA | 3 | 0.16 | 0.20 | 0.31 | 0.41 | 0.42 |
| Media | | | 0.16 | 0.18 | 0.29 | 0.41 | 0.43 |
| Desviacion Estandar | | | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.04 |

Los análisis granulométricos se pueden apreciar en el capítulo 3.2.1.4 y las curvas en el VOLUMEN IV

B) Sedimentos en Suspensión

Como se explico líneas arriba, los cuatro malos pasos que son de nuestro interés se encuentran muy cerca uno del otro, prácticamente se ven afectados por el mismo caudal no habiendo una variación mayor entre estos debido a la inexistencia de afluentes importantes en este tramo. De los resultados de las mediciones de transporte de sedimentos en suspensión (ver TABLA 7.6 y 7.7) se puede observar que las concentraciones en Yurimaguas y Progreso son similares. Los análisis de los muestreos se pueden apreciar en el capítulo 3.1.1.4.

Tabla 7.6: Resumen de las Mediciones de Transporte de Sedimentos en Suspensión (Diciembre 2004)

| SECCIONES | FECHAS | CAUDALES LÍQUIDOS | CONCENT. MEDIA EN LA SECCIÓN | CAUDALES SÓLIDOS | |
|------------|-----------|-------------------|------------------------------|------------------|------------|
| | | m3 / seg. | gr / lit | TM/día | m3/día |
| YURIMAGUAS | 10-Dic-04 | 3,386.64 | 0.162 | 47,302.01 | 36,954.69 |
| PROGRESO | 8-Dic-04 | 4,233.16 | 0.198 | 72,266.97 | 56,458.57 |
| LAGUNAS | 4-Dic-04 | 5,220.19 | 0.531 | 239,670.31 | 187,242.43 |

Tabla 7.7: Resumen de las Mediciones de Transporte de Sedimentos en Suspensión (Marzo 2004)

| SECCIONES | FECHAS | CAUDALES LÍQUIDOS | CONCENT. MEDIA EN LA SECCIÓN | CAUDALES SÓLIDOS | |
|------------|-----------|-------------------|------------------------------|------------------|-----------|
| | | m3 / seg. | gr / lit | TM/día | m3/día |
| YURIMAGUAS | 11-Mar-05 | 4,245.33 | 0.174 | 63,672.74 | 49,744.33 |
| PROGRESO | 12-Mar-05 | 4,541.54 | 0.282 | 110,473.17 | 86,307.17 |
| LAGUNAS | 12-Mar-05 | 5,303.52 | 0.208 | 95,267.24 | 74,427.53 |

Por lo tanto se han usado para la simulación los valores de las concentraciones en Yurimaguas.

7.4.3. Otros Parámetros.

A) Coefficiente de Rugosidad de Manning "n"

Tomando en cuenta los resultados de las mediciones efectuadas en el río Huallaga por la DHN, en el periodo de 31/11/85 a 13/10/86, se ha tomado el valor de 0.028 para el coeficiente de rugosidad de Manning, este valor corresponde a la sección maestra 20-20H, en esta sección se realizaron 12 mediciones de caudales por correntómetro, una vez obtenidos los caudales se procedió a calcular el coeficiente de rugosidad.

Este coeficiente de rugosidad se usara para el modelo en la zona seleccionada, consideramos que representa muy bien las características de rugosidad del cauce en el tramo en estudio, además se compara favorablemente con valores conocidos en ríos similares.

B) Viscosidad de Eddy

El modelo RMA2 utiliza el Método Estándar para la viscosidad de Eddy. Un valor conservador de la viscosidad de Eddy es 30 considerando que el coeficiente de rugosidad es 0.028.

Hay que tener en cuenta que los resultados de la modelación son afectados por ambos parámetros “rugosidad” y “coeficiente de viscosidad”. Conseguir una buena calibración depende de asignar correctamente los valores de estos parámetros, por ejemplo si disminuimos los valores del coeficiente de viscosidad de eddy provocaremos un incremento de las velocidades y por consiguiente una disminución del nivel del agua. Este coeficiente tiene un efecto mayor cuando hay gradientes de velocidad longitudinales grandes.

C) Densidad y Temperatura del Agua

Para la densidad del agua se tomo el valor de 1000 Kg./m³, este parámetro es prácticamente constante, debido a la ausencia de estratificaciones por la poca profundidad.

La temperatura superficial del agua del río en el área de estudio registró una variación relativamente estrecha, entre 23.1 y 24 °C, con un promedio de 23.6 °C, tomándose este valor como dato de ingreso para el modelo (ver Tabla N° 4.5.3.1 en el VOLUMEN IV) En el Grafico siguiente se observan los datos recopilados.

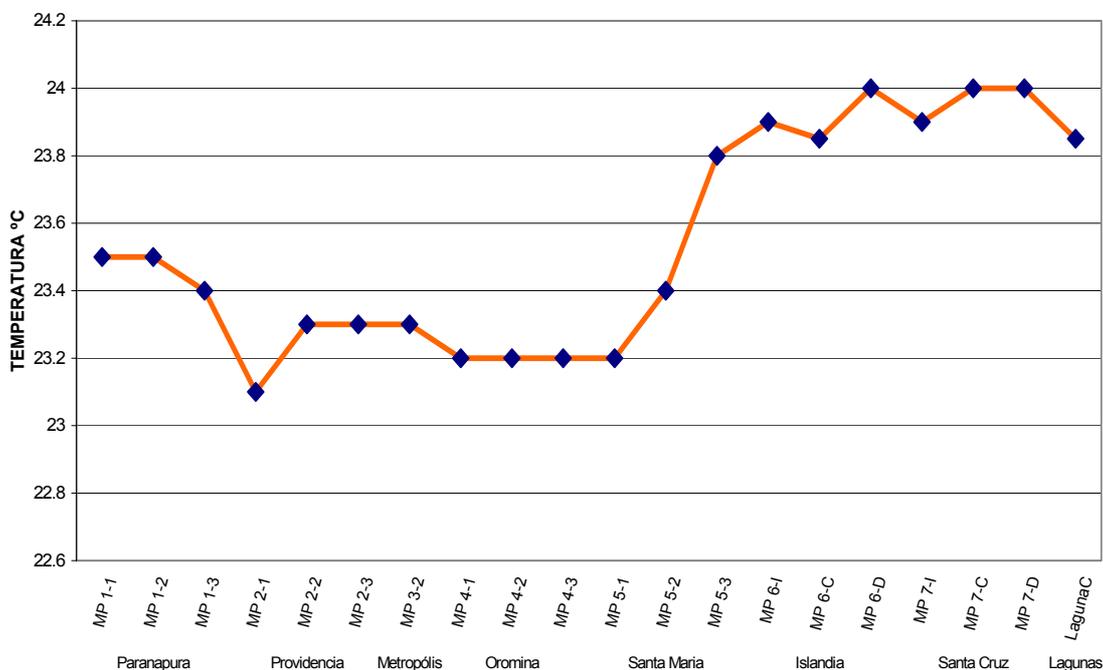


FIGURA 7.4: REGISTRO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA DEL RIO HUALLAGA DICIEMBRE 2004

7.4.4. Consideraciones Adicionales.

Factores más influyentes en la sedimentación en los pasos de navegación

Estudios realizados en ríos de similares características revelan que los siguientes factores influyen en los cálculos de sedimentación:

- Variaciones en la distribución de corriente: Esto evidencia la importancia de medir sistemáticamente a través del tiempo la distribución de corriente en el paso.
- Tamaño de los sedimentos del lecho: Los resultados obtenidos muestran una variación menor. Ello tiene una explicación, por cuanto la variación en la tasa de transporte debida a cambios en el tamaño de sedimentos influye tanto en la sección de ingreso como en la sección de salida de cada subtramo, haciendo que las variaciones de flujo neto, y por lo tanto el balance de sedimentos, no se altere sustancialmente.
- Cambios en el estado hidrométrico del río: Las variaciones de los volúmenes de mantenimiento producidas por esta variable, además de ser importantes, suman con igual signo su influencia en todos los pasos.

Es importante destacar que las variables influyentes deben evaluarse en forma global sobre todo el tramo, ya que si bien en algunos Malos Pasos estos parámetros son subestimados, en otros son sobrestimados y por lo tanto en la sumatoria de los volúmenes de mantenimiento de todos los Pasos se producen compensaciones que atenúan los errores totales.

Otro punto a tener en cuenta y que consideramos el mas importante, es la falta de información, pues la que existente abarca solo pocos años, por lo tanto no se pueden discriminar los efectos de años húmedos y años secos. La experiencia nos indica que los años húmedos generan un mayor volumen de mantenimiento llegando inclusive a duplicarse o triplicarse los volúmenes de dragado en comparación con los volúmenes de años medios.

Durante los años con crecidas extraordinarias, la sedimentación es importante, aunque también lo es el nivel de agua, pero los mayores problemas para la navegación se presentan cuando el río baja rápidamente sus niveles con un fondo elevado, en estas circunstancias se presenta una situación crítica ya que se presentan importantes volúmenes de dragado a ser removidos en poco tiempo. Todas estas consideraciones se han tenido en cuenta a la hora de dimensionar los equipos de dragado.

En los años secos o de estiajes pronunciados, los volúmenes de mantenimiento se reducen notablemente debido a la tendencia del río a encauzarse en su thalweg, coincidente con el canal de navegación y en consecuencia mantener el canal autodragado en forma natural.

En síntesis, las variaciones morfológicas e hidráulicas, y el estado hidrológico del río son las variables que más influyen en el volumen de mantenimiento anual de la ruta.

7.5. Resultados Obtenidos

Hidrodinámica.

Los resultados del modelo numérico nos permite concluir que este es capaz de simular de manera adecuada los flujos a superficie libre, las velocidades encontradas están en acuerdo con las mediciones hechas en campo, los niveles del agua concuerdan satisfactoriamente. (ver gráficos y videos)

Transporte de Sedimentos.

Los volúmenes de mantenimiento para cada mal paso han sido extrapolados en base a la simulación obtenida en el Mal Paso "Providencia" y se presentan a continuación .

Tabla 7.8: Calculo del Volumen de Mantenimiento del Canal de Navegación para Motonave

| MAL PASO | Km. | ALT. 1 - MOTONAVE | |
|-------------|-------|-------------------|---------------|
| | | APERTURA | MANTENIMIENTO |
| PROVIDENCIA | 211.5 | 82,100 | 17,786 |
| METROPOLIS | 195.0 | 40,000 | 8,634 |
| ORO MINA | 189.0 | 60,500 | 13,124 |
| SANTA MARIA | 179.0 | 156,200 | 33,759 |
| TOTAL | | 338,800 | 73,303 |

Para el mantenimiento de la hidrovia se ha asumido un volumen de mantenimiento del 25% que es igual a 84,900 m³ al año, notamos que el volumen obtenido en la simulación concuerda satisfactoriamente con el volumen de mantenimiento asumido. Por lo tanto concluimos que los valores asumidos son correctos.

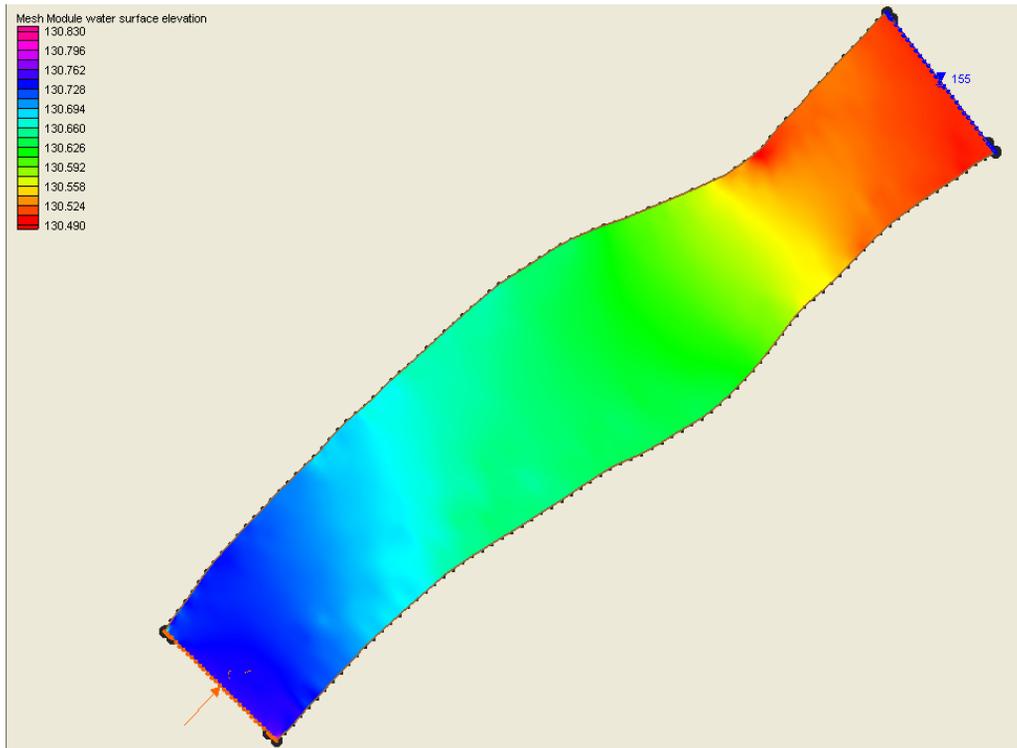


Fig. N° 7.4.1: Elevación de la Superficie del Agua (Oro Mina)

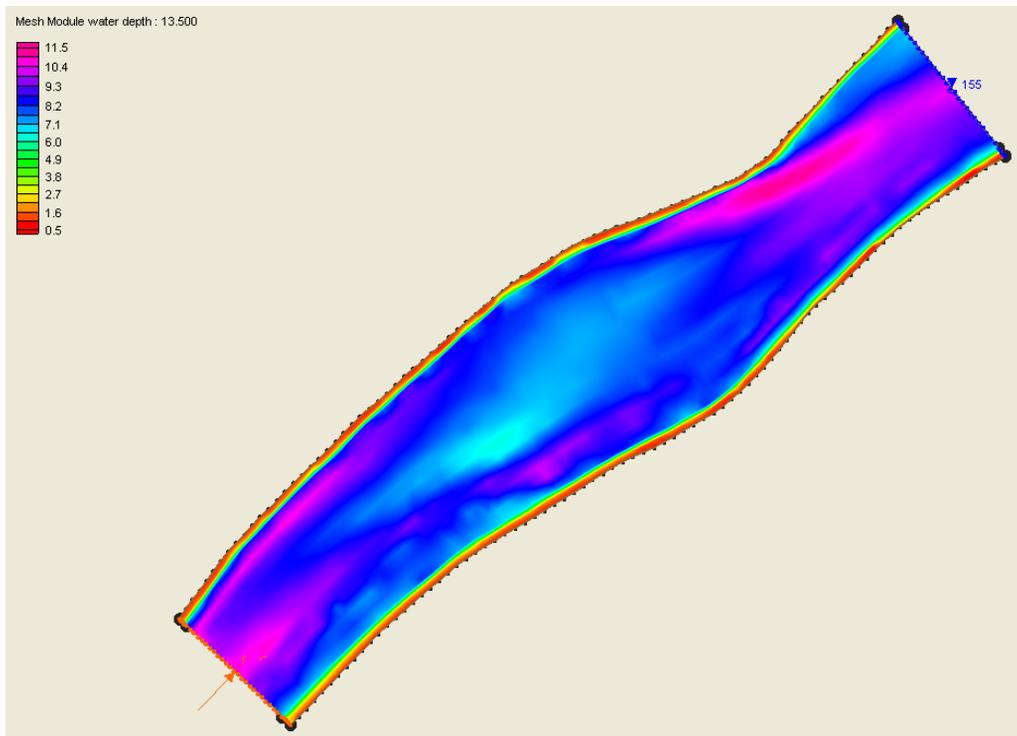


Fig. N° 7.4.2: Profundidades del Agua (Oro Mina)

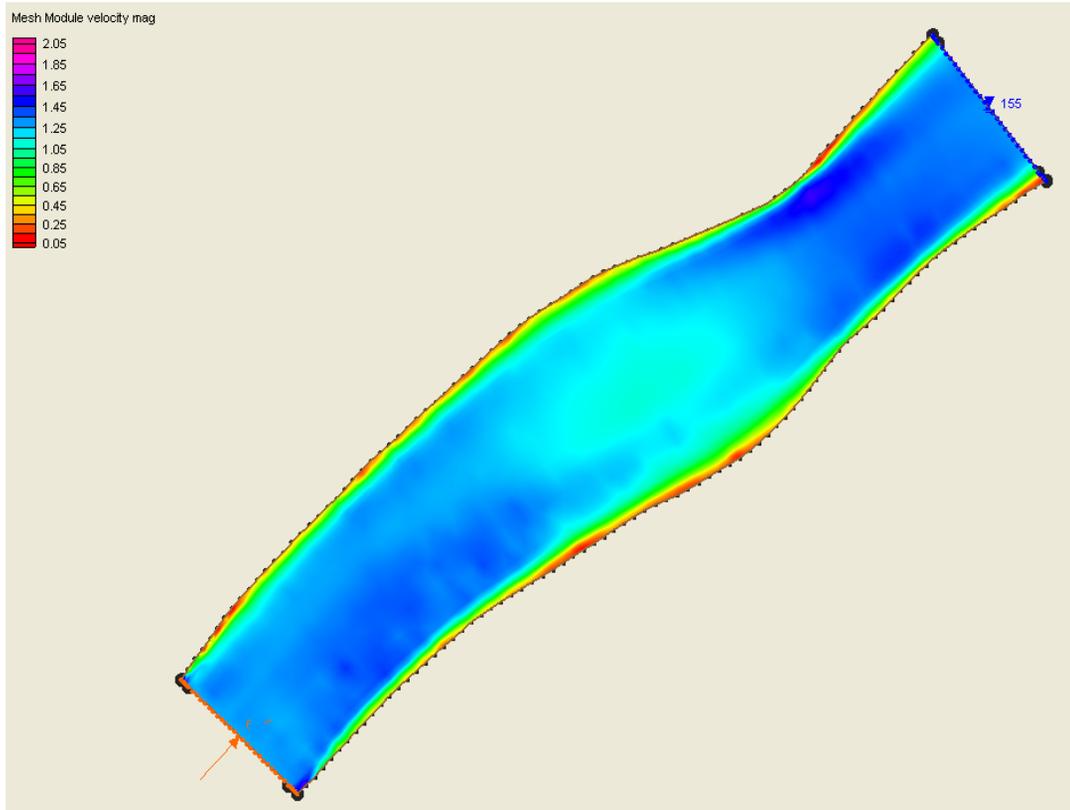


Fig. N° 7.4.3: Distribución de Velocidades (Oro Mina)

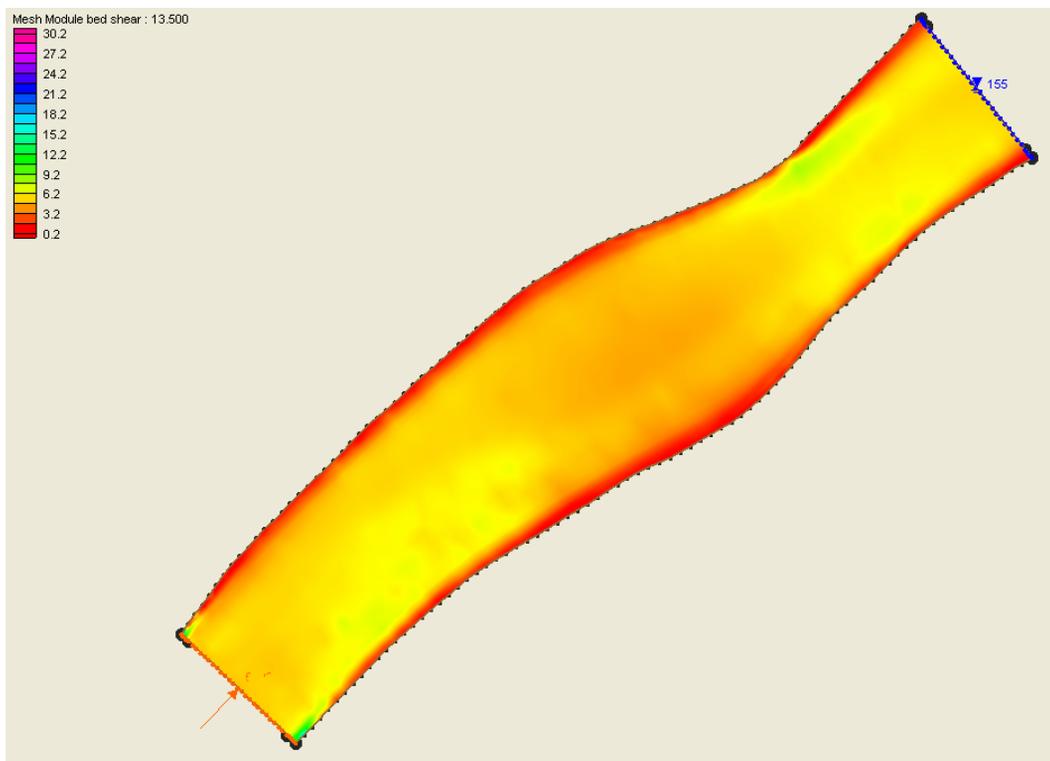


Fig. N° 7.4.4: Esfuerzo Cortante (Oro Mina)

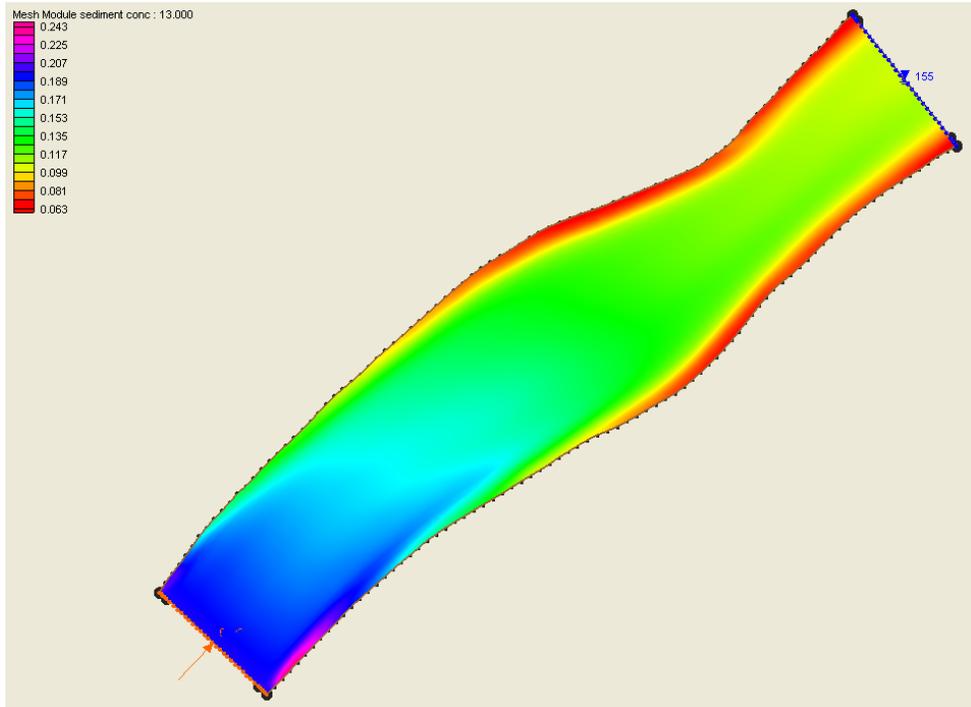


Fig. N° 7.4.5: Concentración De Sedimentos (Oro Mina)

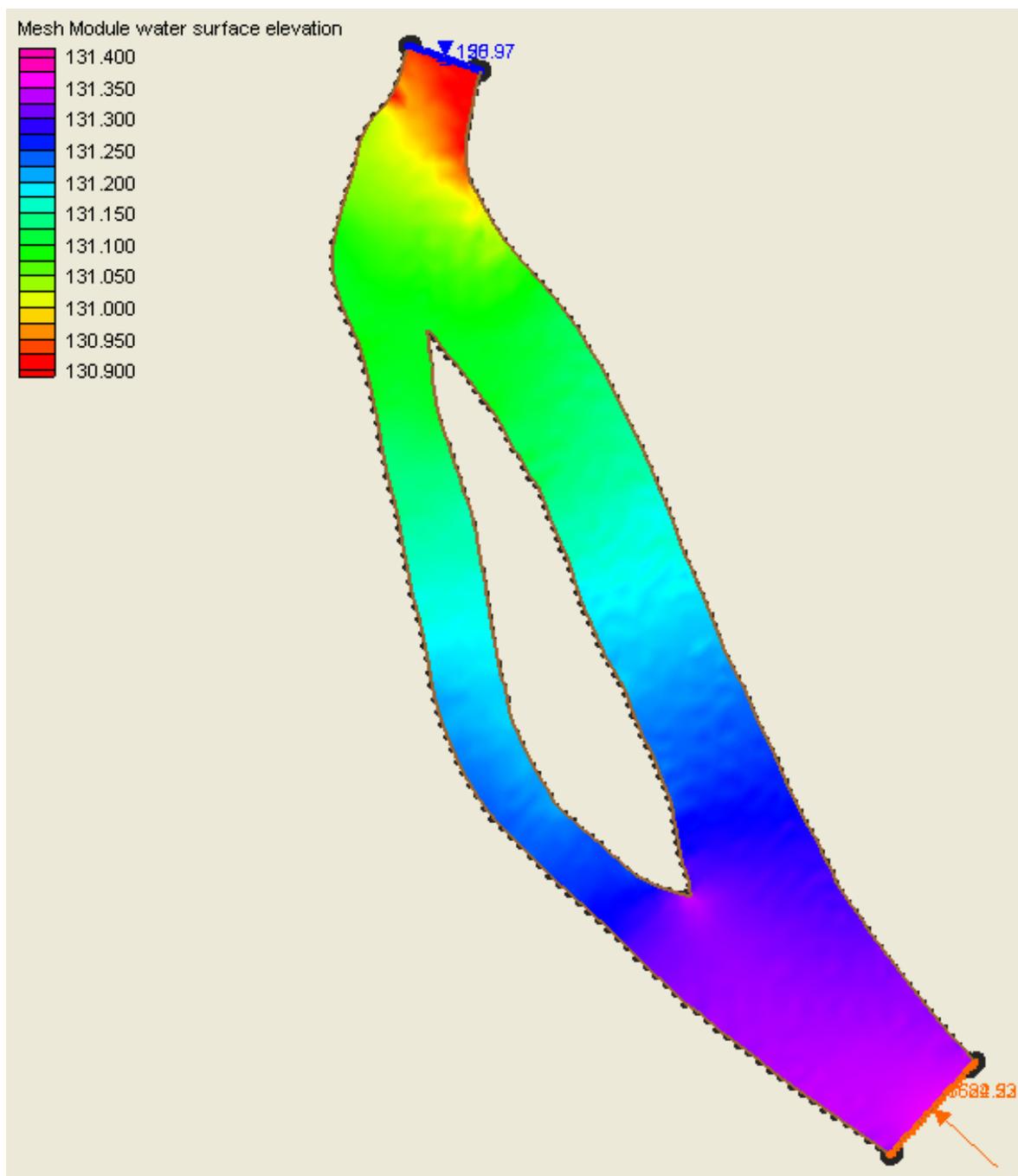


Fig. N° 7.4.6: Elevación de la Superficie del Agua (Metropolis)

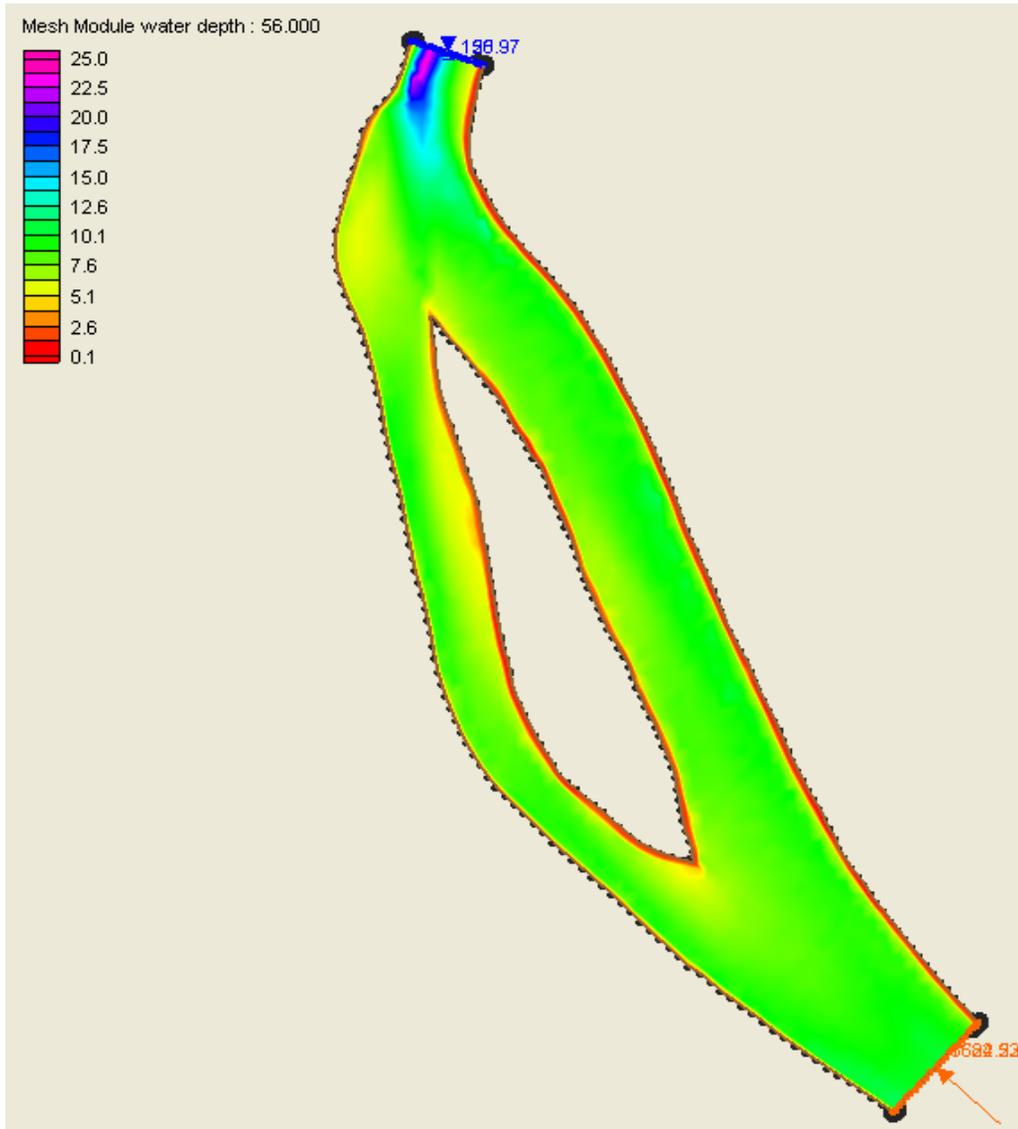


Fig. N° 7.4.7: Profundidades del Agua (Metrópolis)

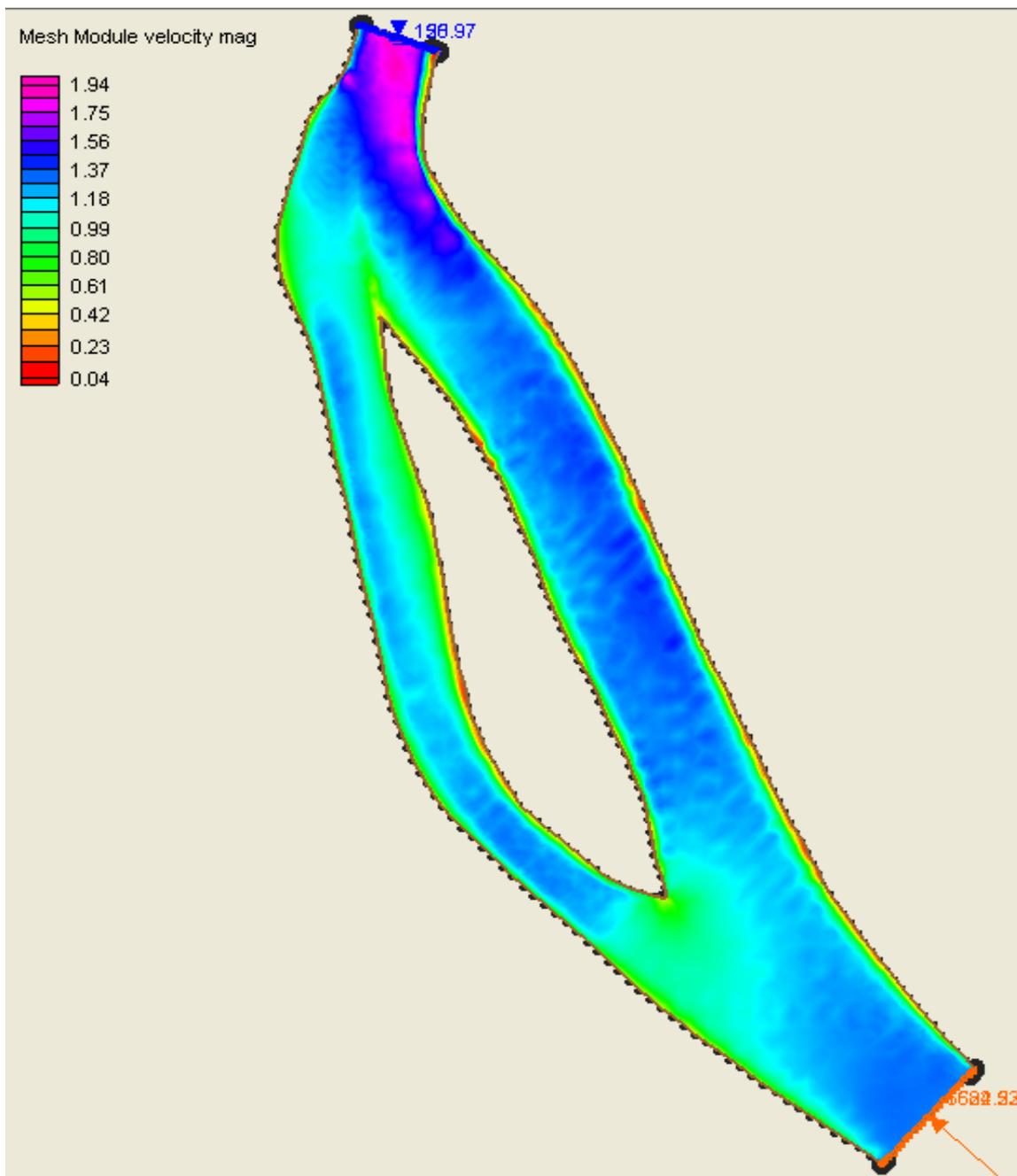


Fig. N° 7.4.8: Distribución de Velocidades (Metrópolis)

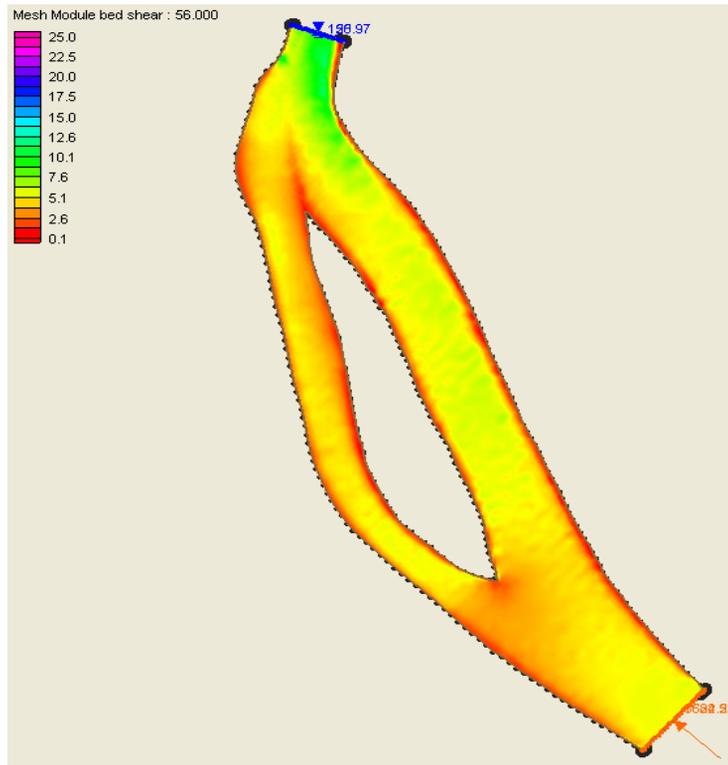


Fig. N° 7.4.9: Esfuerzo Cortante (Metrópolis)

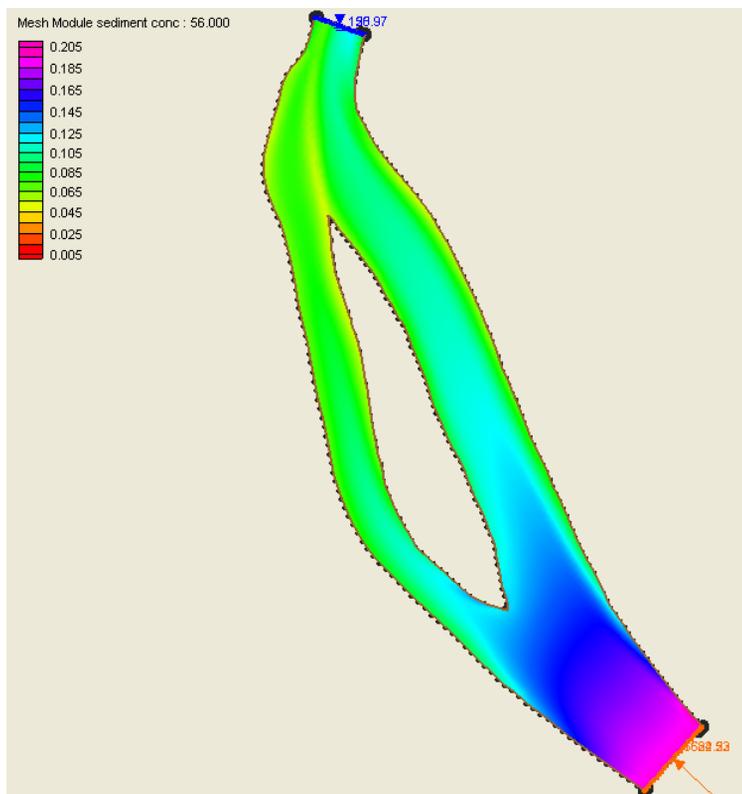


Fig. N° 7.4.10: Concentraciones de Sedimento (Metrópolis)

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.

1) Las variaciones en el nivel de agua (tirante) en Yurimaguas son mayores que en el río Marañon, esto se debe a que la cuenca hidrográfica del río Marañon es mas grande que la del Huallaga. Las épocas de creciente y vaciante del río Huallaga son en Marzo y Agosto respectivamente y en el Marañon son en Mayo y Septiembre, se puede apreciar un desfase aproximado de un mes entre ambos ríos. Por lo tanto cuando el río Huallaga tiene un nivel menor que el Marañon ocurre un represamiento presentándose un efecto de remanso con la consiguiente disminución de velocidades y un mayor proceso de sedimentación en el Huallaga. El otro caso sería, niveles mayores por parte del río Huallaga y menores por parte de Marañon, se presentara un efecto inverso es decir una aceleración del flujo, con el consiguiente aumento en los procesos erosivos. En la practica ningún estado es predominante pues están en constante cambio.

2) Para los estudios de navegabilidad fue adoptado el nivel de agua definido por el análisis estadístico de la serie de observaciones de los niveles entre el 01/01/97 y el 31/12/04 (8 años) en las estaciones de San Regis (Río Marañon) y Yurimaguas (Río Huallaga). Se adopto como criterio la persistencia anual del 10% del año, con un período de recurrencia de 10 años.

3) Con los datos de aforos obtenidos de estudios anteriores fue posible calibrar una curva H-Q en la zona de Yurimaguas. Para obtener una curva H-Q de las demás zonas de interés (Progreso y Lagunas) será necesario seguir con los aforos hasta obtener suficientes datos. Es de recalcar la importancia de esta curva H-Q pues nos indica la relación existente entre niveles y caudales.

En los trabajos de campo se hicieron dos campañas de aforos, una en Diciembre del 2004 y otra en Marzo del 2005, las mediciones de caudal se efectuaron en tres secciones (Yurimaguas, Progreso y Lagunas), obteniéndose caudales que fluctúan entre 3400 – 5300 m³/seg. siendo menores los valores en Yurimaguas y mayores en Lagunas, gran parte de esa diferencia en los caudales se debe a la escorrentía directa de las sub-cuencas, pues los afluentes existentes son muy pequeños y no aportan mucho caudal al cauce principal.

4) Las mediciones de corrientes se efectuaron en los malos pasos, la líneas de corriente obtenidas tienen entre 2 – 5 km. de longitud y las velocidades encontradas fluctúan entre 1 – 2 m/seg. Es de recalcar que el año hidrológico 2005 ha sido un año seco, los niveles presentados han sido muy bajos en comparación con otros años, es de estimarse entonces que en un año húmedo estas velocidades sean mayores.

5) Las pendientes hidráulicas del río Huallaga varían en sus diferentes tramos, con los caudales propios y con los niveles del río Marañon. Las pendientes medias en el periodo 01 Dic. 2004 – 19 Mar. 2005 son:

Tramos Yurimaguas – Oro Mina: 7.18 cm/Km.
Tramos Oro Mina - Progreso: 10.52 cm/Km.
Tramos Progreso - Lagunas: 7.93 cm/Km.

Hay que tener en cuenta que el periodo de observaciones en este Estudio es muy corto y los puntos de observación de los niveles de agua están muy distantes uno de otro.

6) Se calcularon los principales parámetros hidráulicos usándose para esto los datos recopilados en campo. Como era de esperarse los valores del radio hidráulico son similares al tirante medio y si calculamos la profundidad hidráulica veremos que los valores también coinciden, esto se debe a las características geométricas de la sección del río el cual es muy ancho y tiene poca profundidad por lo tanto su relación de aspecto es muy grande. Al calcular el número de Froude el cual nos indica el tipo de régimen (subcrítico, crítico o supercrítico), nos da un valor muy bajo el cual nos indica claramente que nos encontramos en un río de régimen subcrítico, esto se debe a su baja pendiente, parámetro que también sufre variaciones según el régimen hidrológico en que nos encontremos.

7) Las mediciones de sedimentos en suspensión y de fondo (arrastre) se hicieron de manera simultánea con los aforos, obteniéndose concentraciones medias de sedimentos que fluctúan entre 0.16 – 0.50 gr/lit. siendo menores los valores en Yurimaguas y mayores en Lagunas. Sobre la composición del sedimento de arrastre se ha encontrado que en Yurimaguas predomina la arena media y fina con un porcentaje bajo de arena gruesa (11%), en progreso también predomina la arena media y fina pero con un porcentaje algo mayor de arena gruesa (22%), finalmente en Lagunas también predomina la arena media y fina pero aquí el porcentaje de arena gruesa llega hasta el 43% el cual se encuentra en la zona más profunda del canal central.

El crecimiento de la descarga en suspensión y de fondo (arrastre) no es lineal en el tramo dado las características distintas de los 3 diferentes tramos morfológicos del área del estudio. El transporte sólido total en Yurimaguas es del orden de 130,000 Ton./día en el Km. 220, pasando a 200,000. Ton./día en la sección de Progreso (Km. 152) y a 350,000 Ton./día en Lagunas (Km. 47).

Recomendaciones.

Se recomienda hacer un monitoreo de la hidrovia Huallaga, la cual debe constar de los siguientes elementos:

1) Plan de implementación, operación y mantenimiento de estaciones hidrométricas en el tramo Yurimaguas – Boca Huallaga: Los análisis hidrológicos realizados, muestran que de las tres estaciones instaladas por el CONSORCIO, por lo menos dos deben ser mantenidas para el futuro de manera a que se pueda tener tres series representativas para las estadísticas de persistencia de niveles de agua en el tramo, las estaciones seleccionadas están ubicadas en las localidades de Progreso y Lagunas, adicionalmente recomendamos instalar 3 estaciones adicionales, pues se pudo verificar que la pendiente hidráulica en el tramo presenta variaciones importantes en el trayecto y en el tiempo. Se ha escogido las localidades de Santa María, Santa Cruz y la zona de Boca Huallaga; para instalar las nuevas estaciones, se deberán escoger los lugares más propicios dentro de las áreas indicadas.

Comentario: Solo con series históricas más largas será posible obtener un mejor conocimiento del comportamiento hidráulico en el tramo del río objeto del estudio; la elaboración de estadísticas de los niveles de agua más confiables, permitirá determinar con más precisión los niveles de rasante de la solera de los canales a ser

dragados, y por lo tanto se optimizaran los volúmenes de dragado requeridos en los malos pasos críticos. Asimismo al mejorar el conocimiento a lo largo de la Hidrovia, permitirá racionalizar la programación de los calados posibles y por consiguiente la capacidad de carga de las naves.

Las mediciones de caudales, las cuales nos permiten determinar la curva $H - Q$ que es sumamente importante para determinar las relaciones entre el nivel del río y los caudales. Cabe mencionar que para la navegación, la información mas importante son los niveles pues estos determinan los calados de las naves que pueden navegar.

Por lo tanto se recomienda mantener una sola estación de aforos en Yurimaguas, con mediciones de caudales. Adicionalmente se deberán realizar toma de muestras de sedimentos en suspensión y de material de fondo del cauce en cada campaña de aforo. Los aforos líquidos y sólidos deberán realizarse cada 2 meses, se aprovechara esta campañas para hacer las inspecciones respectivas en las estaciones limnimétricas. Esto nos permitirá contar con una curva $H - Q$ confiable y también con una relación entre el caudal y el transporte de sedimentos totales.

2) Levantamiento Batimétrico del río en la Zona de Proyecto: Con la finalidad de conocer las variaciones del fondo del cauce a lo largo del año, se recomienda realizar un levantamiento Batimétrico anual, en la época de aguas altas, el que analizado con los levantamientos que se hagan en aguas bajas para la ejecución y control de los trabajos de dragado previsto permitirá conocer el patrón de variación del cauce del río, definiendo el fenómeno denominado auto dragado, que ocurre al bajar las aguas, de esta manera se permitirá en el futuro optimizar los periodos apropiados para realizar los trabajos de Dragado. Estos levantamiento incluyen:

- Levantamiento Batimétrico General: Se realizara el levantamiento del cauce del río Huallaga en el tramo Yurimaguas – Boca Huallaga, mediante secciones cada 250 m. Esto nos permitirá tener una idea general de la conformación del cauce del río y delimitar los malos pasos existentes, así como los bajos que podrían aparecer en la ruta de navegación.
- Levantamiento del Eje del Canal Navegable: Sobre la base del levantamiento batimétrico general, y con la ayuda de un práctico experimentado de la zona, se trazara la trayectoria del eje del canal navegable, luego se procederá a hacer un levantamiento batimétrico del eje trazado, el cual se levantara de forma continua.
- Levantamiento Batimétrico Detallado: Se realizara el levantamiento detallado de los malos pasos identificados previamente, para esto se levantarán secciones cada 100 m. Esto nos permitirá evaluar el cambio de la conformación de los malos pasos y la evolución de estos.