

Convenio de Cooperación ANAM – ACP
Monitoreo de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

Formulación de Propuesta Metodológica para la Aplicación del Índice Físico de Integridad en la Cuenca del Canal

INFORME

Enero de 2006

Equipo de trabajo: ACP
Tomás García
Arizmendis S. Montoya

ANAM
Cesar Isaza

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

Introducción	3
A. Objetivo general	
B. Objetivos específicos	

CAPÍTULO II

Revisión bibliográfica	4
A. Zonas de Vida	
B. Degradación Específica	
C. Sedimentos	
D. Pendiente	
E. Geología	
F. Erodabilidad de las Rocas	
G. Cobertura Actual del Proceso Erosivo	
H. Vegetación	

CAPÍTULO III

Metodología	14
A. Expresión Matemática del IFI	

CAPÍTULO IV

Avances y Resultados	16
A. Evaluación, selección del sitio, instalación y operación de la estación hidrométrica en la subcuenca del Río Caño Quebrado.	
B. Resultados del registro de elevaciones, programa de aforos y toma de muestras de sedimentos en la estación Caño Quebrado durante el año 2003.	
C. Características Físicas de las Subcuencas Estudiadas	

CAPÍTULO V

Conclusiones y recomendaciones	44
---------------------------------------	-----------

CAPÍTULO VI

Bibliografía	45
---------------------	-----------

I. INTRODUCCIÓN

La erosión de los suelos, el transporte de sedimentos en ríos y quebradas y la sedimentación de los lagos Alhajuela y Gatún son procesos naturales que ocurren en la Cuenca del Canal; sin embargo, las tasas de erosión, el transporte y la sedimentación se pueden incrementar por encima del proceso natural, debido a actividades humanas como la deforestación, el sobrepastoreo, nuevos sitios de construcción, desarrollo de caminos de penetración, prácticas agrícolas inadecuadas entre otras.

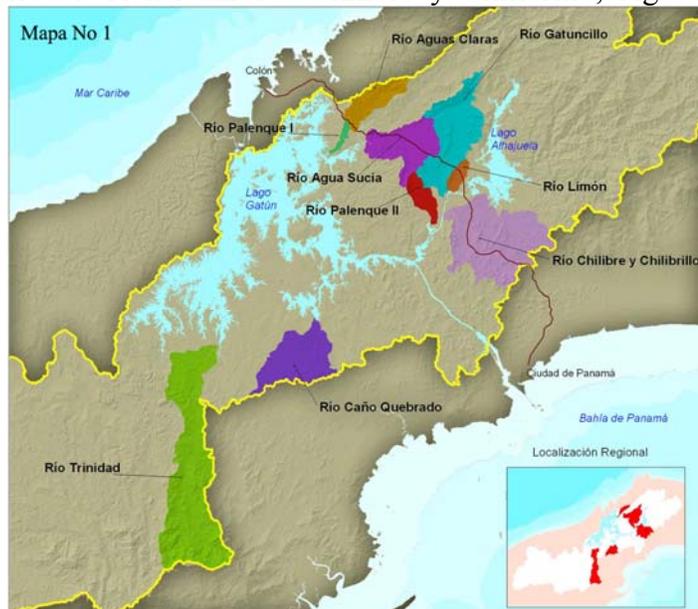
Estas prácticas tienen efectos en la reducción de la capacidad de almacenamiento de agua de los lagos, en la alteración del régimen hidrológico y en la calidad de agua.

El Programa de Monitoreo de la Cuenca del Canal (ANAM-AID-LB) aplicó durante el año 2000 el Diagnóstico Físico Conservacionista, que se traduce en un índice físico denominado IFI, a seis subcuencas principales de la Región Oriental de la Cuenca del Canal. El objetivo fue adecuar la metodología para medir el grado de conservación y/o deterioro de las subcuencas estudiadas, en función a la obtención de un valor crítico o índice de erosión orientado a definir un sistema de alerta ambiental.

Este informe está enfocado en la revisión de esa metodología, y en el desarrollo mejorado de la misma, incorporando la coordinación interinstitucional para su aplicación en la totalidad de las subcuencas de la región oriental que conforman la Cuenca del Canal.

Este esfuerzo contempla tanto la revisión, adecuación y mejoras en la obtención de las variables estudiadas, así como también, el establecimiento de un método indirecto que permita estimar la producción de sedimentos en las subcuencas sin control hidrométrico, como son las subcuencas del Corredor Transistmico: Chilibre y Chilibrillo, Aguas Sucias, Palenque I, Palenque II, Limón, Aguas Claras, Gatuncillo y las subcuencas del sector Oeste: Caño Quebrado y Trinidad, esta última con control hidrométrico. (Mapa 1).

Para tal fin, en la subcuenca del río Caño Quebrado se instaló una estación hidrométrica con la finalidad de medir la producción de sedimentos durante un periodo base mínimo de tres años, y verificar que los resultados estimados a partir del método indirecto, estén dentro de un margen de error aceptable. El método indirecto, para la estimación de la producción de sedimentos en subcuencas sin control hidrométrico, se desarrollará en base a los registros históricos (1998-2004) de las seis subcuencas principales de la Región Oriental de la



Cuenca del Canal y a las características físicas y variables hidrológicas que se identifiquen como factores contribuyentes.

Cumplidas estas tareas, el resultado esperado será contar con una herramienta de análisis y evaluación, además de un sistema de alerta ambiental efectivo, fácil de aplicar y económicamente viable, características que permitirá su aplicación, tanto a la totalidad de la Cuenca del Canal, así como al resto de las cuencas prioritarias del país.

Durante el desarrollo de las actividades se ha avanzado en la revisión y evaluación de las metodologías para cada variable que componen el IFI, en la caracterización física de las subcuencas y en la instalación y operación de la estación hidrométrica del Río Caño Quebrado.

A. Objetivo General

Presentar una propuesta metodológica interinstitucional para la formulación, elaboración y aplicación del IFI, como parte de un sistema de alerta ambiental en la Cuenca del Canal.

B. Objetivos Específicos

1. Desarrollar un método indirecto por medio de la determinación de una relación matemática que permita estimar y extrapolar, con niveles de precisión aceptables, la producción de sedimentos en subcuencas sin control hidrométrico.
2. Validar en el campo la metodología indirecta de estimación de sedimentación, mediante la instalación de instrumentación hidrológica para medir sedimentos suspendidos, y comparar los resultados medidos con los del método indirecto, para definir los niveles de confiabilidad.
3. Evaluar y seleccionar las metodologías más adecuadas en la obtención y desarrollo de parámetros alternos involucrados en la conceptualización original del IFI, de manera que nos permita tener criterios de análisis apropiados a la disponibilidad de información en las subcuencas a estudiar.
4. Aplicar el IFI a las subcuencas del Corredor Transistmico y las del sector oeste de la Región Oriental de la Cuenca del Canal.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El Índice Físico de Integridad evalúa diferentes parámetros físicos de una cuenca con el objeto de estimar el valor crítico del factor erosivo (IFI), indicativo del estado o condición de la cuenca con respecto a la erosión.

Este método utiliza los siguientes 8 parámetros fundamentales:

- Zonas de vida

- Degradación específica
- Sedimentos
- Pendientes
- Geología
- Erodabilidad de las rocas
- Cobertura actual del proceso erosivo
- Vegetación

La degradación específica y el aporte de sedimentos a los cursos de agua son considerados parámetros críticos, tanto por la ausencia de datos en las subcuencas a estudiar (producción de sedimentos) como por las diversas metodologías aplicables para su cálculo (degradación específica).

A continuación se desarrollan las metodologías para la obtención de los ocho parámetros del IFI.

A. Zonas de Vida

Este parámetro define el tipo de vegetación y el índice de protección que la vegetación da al recurso suelo, contra los principales agentes erosivos (lluvia viento y otros). Para su estudio se utilizará el mapa de Zonas de Vida de Panamá desarrollado mediante la clasificación Ecológica Ambiental de Zonas de Vida de I. A. Holdridge, .Esta metodología permite identificar y cartografiar divisiones macro climáticas biológicamente significativas en áreas que carecen de redes de registros meteorológicos, mediante parámetros climáticos de temperatura, precipitación y humedad disponible el cual no está limitado a una simple clasificación bioclimática. Esta misma metodología se utilizara para determinar la consistencia del mapa en las subcuencas estudiadas.

El mapa original de zonas de vida de Panamá escala 1: 500,000 parte de una relación importante entre los factores del hábitat y las comunidades bióticas naturales, el modelo establece una relación cuantitativa entre biotemperatura, precipitación y la variable independiente Evaporación Potencial. En condiciones naturales cada asociación se caracteriza con una unidad vegetal, animal, fisiográfica, y serie de suelos; por definición una asociación dada no puede existir en más de una Zona de Vida.

Verificación de Consistencia del mapa de zonas de vida.

Para esta verificación se utilizaron los datos climáticos de las estaciones meteorológicas de Zanguanga (117), Ciento (38.11), Salamanca (82.32), Maden (79.27) Chico (103.66), Chorro (42.69 m.s.n.m.), Caño (32.93), Gamboa (60.98), Barro Colorado(33.54), Agua Clara (460.06), Colina Imperio (60.98), Alajuela (39.63 msnm) y la biotemperatura promedio anual en base a su altitud sobre el nivel del mar ⁽¹⁾

En el diagrama de zonas de vida las escalas logarítmicas de la biotemperatura aparecen en dos columnas verticales en ambos extremos del diagrama y los intervalos de la escala son 0.5, 1.5 y 10 °C y de 1 °C después de los 10 grados.

En climas secos la biotemperatura tiende de hecho a ser menor,^{1/} cerca del nivel del mar que a unos 200 a 500 mts. de elevación como se muestra en la (Tabla 1).

Tabla 1 Biotemperatura media anual en grados C.

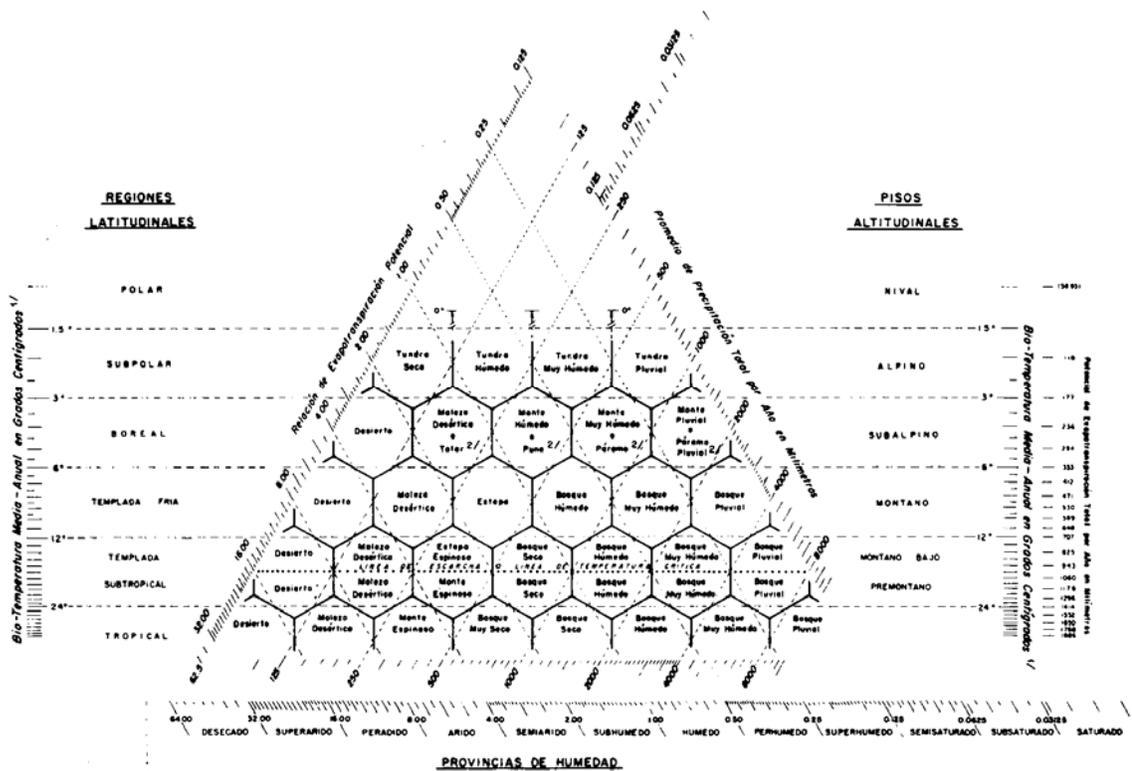
Para verificar las Zona de Vida correspondiente a cada una de las subcuencas estudiadas,

Elevación en metros	ETP/R 1.80 (+/- 1.5°)	ETP/R 0.70 (+/- 1.0°)	ETP/R 0.35 (+/- 0.75°)	ETP/R 0.18 (+/- 0.5°)
0	22.6	24.8	25.6	25.8
100	23.2	25.4	25.8	25.2
200	23.8	26.0	25.2	24.6
300	24.4	25.4	24.6	24.0
400	25.0	24.8	24.0	23.4
500	24.4	24.2	23.4	22.8
600		23.6	22.8	22.2
700		23.0	22.2	21.6
800		22.4	21.6	21.0
900		21.8	21.0	20.4
1000		21.2	20.4	19.8
1100		20.6	19.8	19.2
1200			19.2	18.6
1300			18.6	18.0
1400			18.0	17.4
1500			17.4	16.8
1600			16.8	16.2
1800			15.6	15.0
2000			14.4	13.8
2200			13.2	12.6
2400			12.0	11.4
2600			10.8	10.2
2800			9.6	9.0
3000				7.8
3200				6.6
3400				5.4

⁽¹⁾Debajo de 500 metros de elevación no debe confundirse la biotemperatura media anual (mensual y diaria) con la temperatura media normal del área. Por encima de esta elevación, estos valores tienden a ser iguales.

se trazo una línea horizontal correspondiente a la biotemperatura y otra línea vertical para las escalas de precipitación que están en la base y a la derecha del hexágono (Figura 1). El punto de intersección de estas dos líneas dentro el hexágono, permitió constatar que la zona de

Figura 1. Diagrama para la clasificación de Zonas de Vida, L.R. Holdridge



vida de la subcuenca del río **Caño Quebrado** al igual que la de las otras subcuencas en estudio, concuerda con la señalada en el mapa original de zonas de vida de Panamá.

B. Degradación Específica

Las técnicas y procedimientos para evaluar la erosión hídrica en un territorio persiguen cuantificar las tasas de erosión en una localización puntual o sector real; y además profundizar en la validez de extrapolar espacio-temporalmente dichos valores a otros territorios u otros periodos de tiempos distintos al de las mediciones.

En el desarrollo de métodos para determinar la pérdida de suelos, se han formulado diversas ecuaciones. Inicialmente, desde la consideración de una sola variable independiente, para situaciones locales donde otros factores contribuyentes son casi constantes; hasta la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo de factores múltiples, que es la de mayor uso en la actualidad.

Al igual que en la mayoría de las cuencas hidrográficas del país en la cuenca del Canal de Panamá existe una gran escasez de datos sobre la erosión de suelos. La ausencia de medidas directas sobre el suelo erosionado en periodos históricos, es una limitación frecuente en este tipo de investigación, por lo que en este caso nos hemos visto obligados a utilizar métodos empíricos o paramétricos basados en la utilización de índices de erosión pluvial, entre los que se destacan, el índice de Fournier y el índice de Wischmeier. Ha nivel mundial se han encontrado altas correlaciones entre ambos índices.

El primer índice utilizado en esta investigación fue el desarrollado por Fournier el cual estableció para 96 cuencas fluviales ha nivel mundial una variable que se refiere a la cantidad de sedimentos que aporta anualmente una cuenca y que evalúa la erosión o pérdida de suelos en términos de Degradación Específica (Ds), con base a dos factores que intervienen el proceso de erosión hídrica: la precipitación y el relieve.

En primer termino este efectuó una homogenización empleando el sistema climático de Koeppen analizando 8 variables independientes y encontró que el uso de la relación p^2/P (p^2 representa la precipitación máxima en el mes del año más lluvioso y P es le promedio de precipitación del período en estudio), mostró una mayor correspondencia sin llegar a ser significativa (Los criterios de evaluación fueron el coeficiente de correlación r , y una prueba de t de Student, para los coeficientes de correlación lineal simple) y finalmente considero el factor relieve por medio del **Coefficiente Orográfico** que combina los dos parámetros del relieve que actúan en los procesos erosivos, como son la elevación media de la cuenca y la inclinación característica de las laderas que actúan sobre la energía potencial del agua y energía cinética del flujo de la escorrentía superficial, respectivamente.

Su expresión es $\bar{A} \tan \alpha$, en donde \bar{A} es la elevación media de la cuenca en metros y $\tan \alpha$ la pendiente media de la cuenca. La ecuación final fue:

$\text{Log } D_s = 2.65 \text{ Log } p^2/P + 0.46 \text{ Log } \bar{A} \tan \alpha - 1.56$ que puede expresarse mejor simplificadamente como:

$$\Sigma = 2.65 C + 0.46 M - 1.56$$

Sustituyendo Σ por $\log D_s$, C por $\log p^2/P$ y M por $\log \bar{A} \tan \alpha$, en donde:

Tg.= Coeficiente de Masividad (C.O.) ⁽²⁾.

Posteriormente Arnoldus encontró una relación entre $\sum p^2/P$ y el valor de R de la **Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo** en donde cada incremento de energía de la lluvia puede ser calculada en el sistema métrico mediante la siguiente ecuación:

$$Ec = 890 \log I + 1214$$

Donde:

Ec es la Energía Cinética de la lluvia expresada en **toneladas métricas / Km² y I es su intensidad en mm / hora.**

Las relaciones señaladas nos permiten estimar indirectamente el total de sedimentos derivados de cualquier cuenca de drenaje o vertiente para un periodo concreto. La variable (Ds) se refiere a la cantidad de sedimentos que salen anualmente de una cuenca y es considerada como una variable dependiente. Las necesidades actuales y futuras de información para la gestión de subcuencas en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá y el resto de las cuencas del país se centran en la extrapolación espacio-temporal presente de la información obtenida por métodos directos e indirectos.

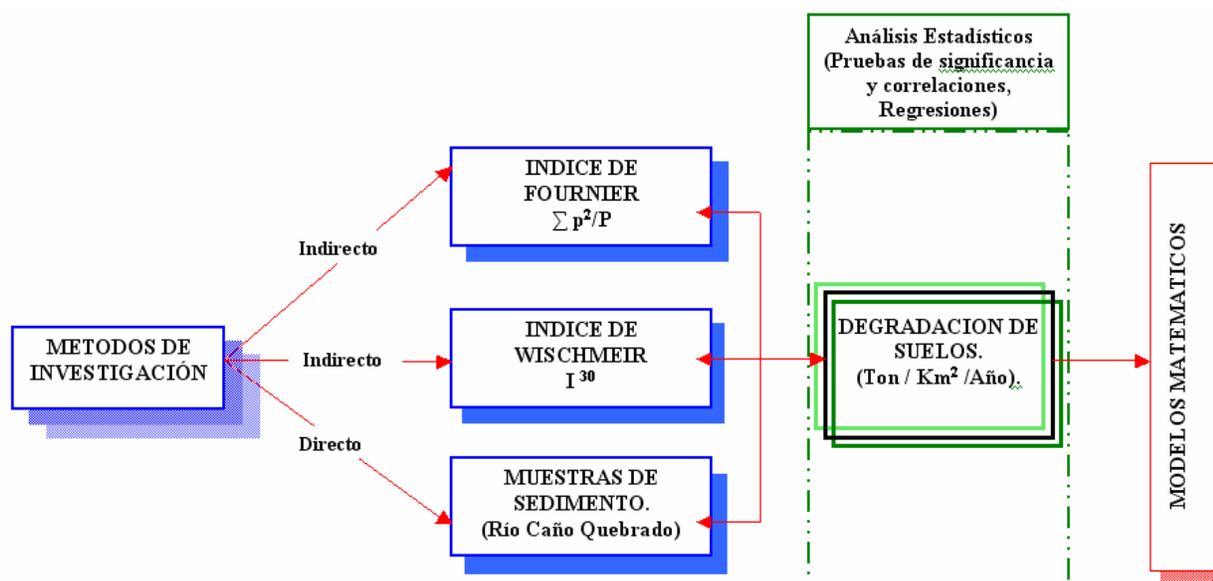
Por falta de información de sedimentos en Caño Quebrado, en esta primera fase de la investigación, se calcula la erosión mediante métodos indirectos por medio del Índice de Fournier a partir de los registros de precipitación y obtener la pérdida de suelos o Degradación Específica (Ds) expresada en **Ton/Km²/año**.

Como la relación entre $\sum p^2/P$ y el valor de R ⁽³⁾ índice de erosión pluvial de la ecuación de Wischmeir muestran ha nivel mundial buena correlación y permite además analizar cualquier serie de datos. Para las estaciones de la cuenca y las sub cuencas piloto se procedió al cálculo de dicha relación utilizando ambas variables.(I30 y $\sum p^2/P$).

Los valores de erosión, de las subcuencas estudiadas, obtenidos mediante los métodos indirectos, en una fase posterior de esta investigación, serán correlacionados y analizados estadísticamente comparándolos con los datos de sedimentos obtenidos directamente de la estación de aforo de río Caño Quebrado. Ver (Figura 2).

La comparación de los valores de erosión obtenidos utilizando estos dos índices correlacionándolos con las mediciones directa nos permite hacer una estimación sobre el grado de fiabilidad de ambos y finalmente dependiendo del nivel de correlación estadística obtenida se podrá remplazara una variable por otra (índice Fournier por el índice de Wischmeier) dependiendo de la disponibilidad de la data y del nivel de conveniencia del usuario.

Figura 2. Esquema para el análisis de la erosión



C. Sedimentos

Los sedimentos es otro de los parámetros claves en la determinación del Índice Físico Conservacionista (IFI). Los sedimentos son materiales fragmentarios originados del desgaste de rocas que son transportados y depositados, por el agua o el viento. Cuando el agente de transporte es el agua, se denomina sedimento fluvial, y el acto de mover o remover los fragmentos de su lugar se llama erosión. De acuerdo a su mecanismo de transporte los sedimentos se clasifican en: sedimentos suspendidos y sedimentos de fondo.

La fuente principal del sedimento fluvial en suspensión es el suelo de la cuenca de drenaje. Los sedimentos suspendidos son principalmente materiales finos derivados de la erosión de tierras altas, cárcavas y planicies de inundación, y por lo tanto son indicadores de la erosión actual de una cuenca.

Para medir la producción de sedimentos de una cuenca se desarrollan tres actividades:

1. Obtención de muestras representativas en campo.

2. Análisis físico de las muestras para determinar la concentración.
3. Procesamiento de los datos de concentración de sedimentos y caudales (líquidos y de sedimentos suspendidos) para la obtención de la producción diaria, mensual y anual.

Las muestras representativas de sedimentos suspendidos se colectan con muestreadores integradores de profundidad, los cuales están diseñados hidrodinámicamente para tomar muestras a una velocidad similar a la de la corriente (Figura 3). Las muestras son tomadas en cuatro verticales de la sección de aforo del río, que representan incrementos iguales de descarga del 25% del caudal total de la sección, y son analizadas individualmente. El promedio de las cuatro muestras se calcula y representa la concentración promedio en la sección.



Figura 3. Muestreador de sedimentos suspendidos US DH59.

También se toma una muestra en una vertical representativa de la velocidad media de la sección que se correlaciona o ajusta a la concentración promedio de la sección, de manera que la mayor parte de las muestras se tomen en una sola vertical.

Para la determinación de la concentración de sedimentos suspendidos, se filtra una muestra previamente pesada a través de un filtro de fibra de vidrio con tamaño de poro de 1 micrómetro (μm), y luego se seca en un horno a una temperatura entre 103 y 105 °C, hasta obtener un peso constante.

El caudal instantáneo de sedimentos suspendidos se obtiene a partir de:

$$Q_s = k * C_{ss} * Q$$

Donde:

Q_s : caudal de sedimentos suspendidos en toneladas por día (ton/día).

K : coeficiente que depende del sistema de unidades utilizado. Es igual a 0.0864 para el sistema internacional.

C_{ss} : concentración instantánea de sedimentos suspendidos en mg/l.

Q : caudal instantáneo en pies cúbicos por segundo (pcs) o metros cúbicos por segundo (m^3/s).

Con la información de caudales líquidos y de sedimentos suspendidos se construye una relación entre ambas variables denominada “Curva de Transporte de Sedimentos”, aplicando expresiones del tipo:

$$(1) Q_s = b_0 * Q^{b_1}$$

$$\ln(Q_s) = \ln(b_0) + b_1 * \ln(Q)$$

$$(2) Q_s = e^{b_0} * Q^{b_1}$$

$$\ln(Q_s) = b_0 + b_1 * \ln(Q)$$

Donde:

b_0 y b_1 son coeficientes, y

\ln : logaritmo natural

A partir de los registros de caudales líquidos y la curva de transporte se obtiene la producción diaria, mensual y anual de sedimentos suspendidos de la subcuenca.

La producción de sedimentos suspendidos en cuencas no medidas se ha estimado en diferentes regiones considerando dos alternativas:

- (1) Se asume que la producción de sedimentos suspendidos es proporcional al área de la cuenca de drenaje de cuencas medidas con características físicas similares.
- (2) Estimando la producción de sedimentos suspendidos desde características de las cuencas de drenaje y variables hidrológicas. Entre las características y variables que se consideran están:
 - Área de drenaje en km^2 (A)
 - Superficie de cobertura boscosa en porcentaje del área total (CB)
 - Superficie agrícola y de ganadería en porcentaje del área total (AG)

- Pendiente promedio del canal principal en porcentaje (S)
- Pendiente promedio de la cuenca en porcentaje (SC)
- Caudal máximo instantáneo para periodo de retorno de 2 años (Q2Tr)
- Caudal máximo instantáneo para periodo de retorno de 10 años (Q10Tr)
- Caudal promedio anual.
- Escurrimiento anual (ESC) o el caudal específico (q)
- Precipitación media anual (P)

A partir de estos parámetros se aplica primeramente el método estadístico de correlación lineal simple y posteriormente el de correlación lineal múltiple a expresiones del tipo:

$$y = a * x_1^b * x_2^c * x_3^d * \dots * x_N^z$$

La transformación logarítmica de esta ecuación representa un modelo lineal:

$$\text{Ln}(y) = \text{Ln}(a) + b \text{Ln}(x_1) + c \text{Ln}(x_2) + d \text{Ln}(x_3) + \dots + z \text{Ln}(x_N)$$

$$Y = A_0 + A_1X_1 + A_2X_2 + A_3X_3 + \dots + A_NX_N$$

En ambos casos se utiliza la relación matemática que presente mejor coeficiente de correlación (r) y menor diferencia entre los valores medidos y estimados.

D. Pendiente

El parámetro utilizado para la caracterización del relieve es la pendiente media. Para su definición se utilizará el modelo de elevación digital de la Cuenca del Canal elaborado sobre la base del sistema de radar IFSAR.

El dominio propuesto para esta variable es igual al utilizado en el método original:

0 – 12%	Suave
12 – 25%	Moderada
25 – 50%	Pronunciada
50 – 75%	Muy Pronunciada
Mayor de 75%	Escarpada

E. Geología

Para la caracterización de este parámetro se utilizará como base el Mapa Geológico de la Cuenca del Canal compilado por S.M Jones en 1950.

F. Erodabilidad de las Rocas

Este parámetro está definido por el tipo de roca dominante en la zona en estudio. Para su caracterización se utilizará como criterio la susceptibilidad de estas a la erosión.

G. Cobertura Actual del Proceso Erosivo

Se utilizará el mismo método establecido en el IFI, donde se estima como criterio base el tipo de cobertura vegetal y las pendientes para cada subcuenca.

H. Vegetación

Se aplicará la misma metodología propuesta en el método original, que es a través de una tabla que define el coeficiente del grado de protección que brinda la vegetación al suelo.

La cobertura vegetal que se tomará como base será la compilada en el Mapa de Cobertura Vegetal de la Cuenca del Canal que se trabaja en el marco del presente convenio.

III. METODOLOGÍA

La determinación del diagnóstico físico conservacionista está dada por la siguiente fórmula:

$$E(f) = Z_v + D + d + P + L + E + e + V$$

Donde:

$E(f)$ = Valor del proceso erosivo actual

Z_v = Zona de vida

D = Degradación específica (erosión potencial)

d = Sedimentos medidos en la estación (erosión actual)

P = Pendiente media de la cuenca o subcuenca

L = Geología de la cuenca o subcuenca

E = Erodabilidad de las rocas

e = Cobertura del proceso actual de erosión

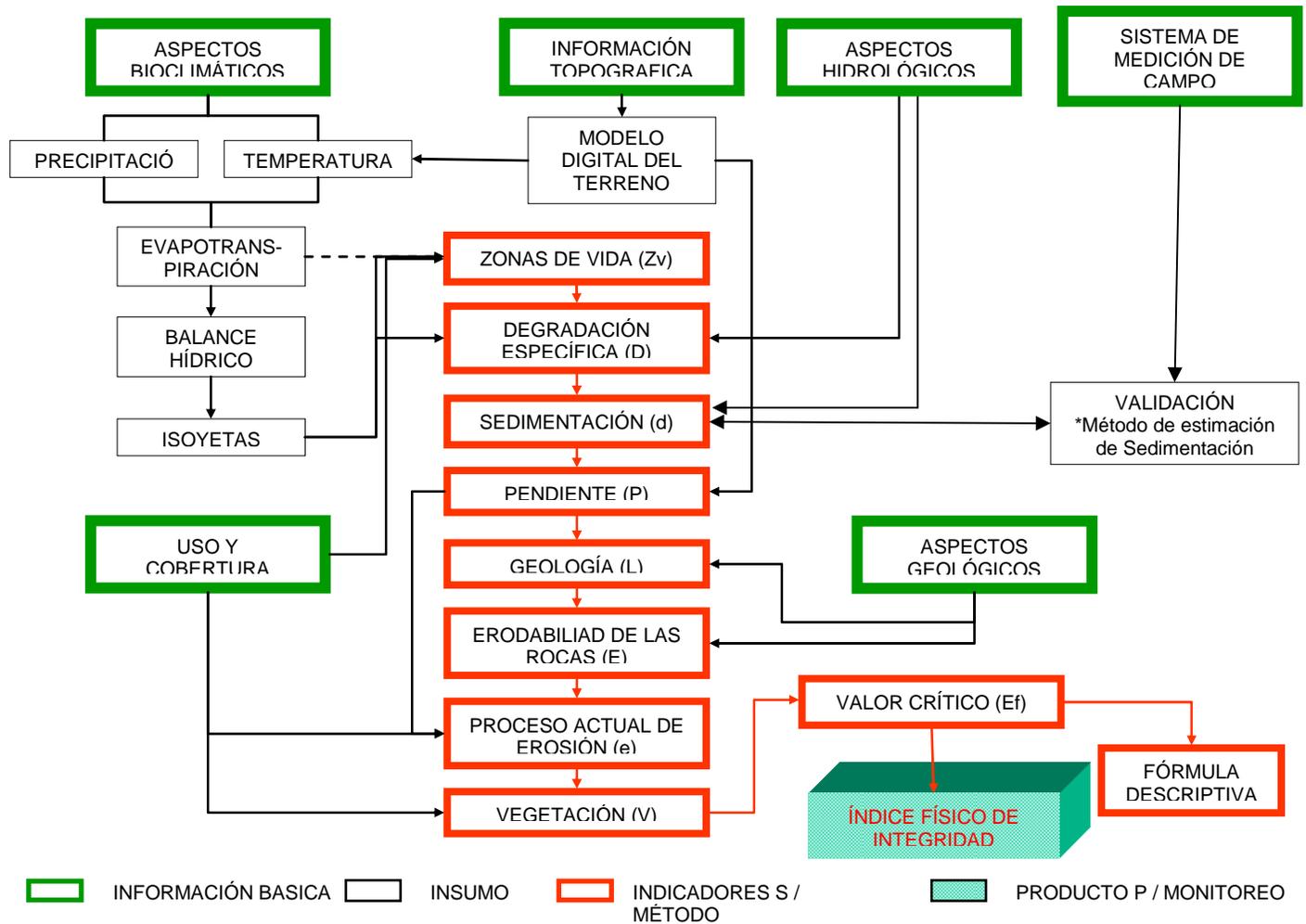
V = Vegetación

La fórmula refleja un análisis cuantitativo de la unidad hidrográfica analizada. En su concepción original el método evalúa la condición física de la cuenca estableciendo valores críticos mínimos y máximo acotados entre 8 y 40. Estos valores representan una cuenca en buenas condiciones y una cuenca degradada, respectivamente, basados en los niveles de degradación.

En la presente propuesta metodológica se han modificado los parámetros de interpretación establecidos por otros con mayor significancia. Así se tiene que se determinarán los valores mínimos y máximos teóricos para cada cuenca o subcuenca, los cuales serán el marco de referencia para definir el nivel de degradación mediante la relación entre los valores mínimo y máximo teóricos con el valor crítico obtenido para cada subcuenca.

En la figura 4 se presenta el diagrama conceptual del diagnóstico físico conservacionista.

Figura 4. DIAGRAMA CONCEPTUAL DEL ÍNDICE FÍSICO DE INTEGRIDAD



IV. AVANCES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Evaluación, selección del sitio, instalación y operación de la estación hidrométrica en la subcuenca del Río Caño Quebrado.

En la Subcuenca del Río Caño Quebrado se instaló [en septiembre de 2002](#) una estación hidrométrica (figura 5), para aplicación del IFI y verificación del modelo de correlación lineal que se desarrolle por medio de datos históricos de sedimentos suspendidos medidos en las 6 subcuencas principales de la CHCP.

Figura 5. Instalación de la estación hidrométrica del Río Caño Quebrado

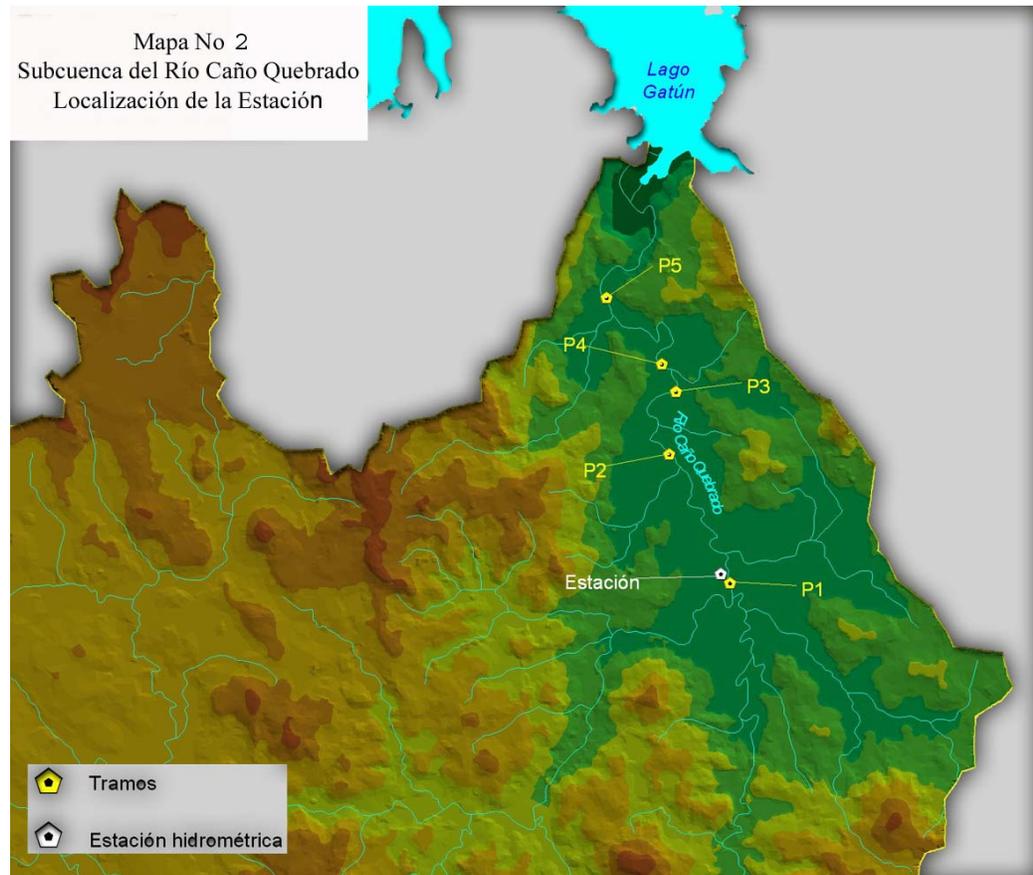


La estación cuenta con sistema de registro y transmisión de elevaciones del río en tiempo real (telemetría).

Para la instalación de la estación se ejecutaron las siguientes actividades:

- Selección en mapa topográfico escala 1:25,000 de cinco tramos que cumplen con requisitos para ubicación de la estación hidrométrica: P1 (629088 E, 995475 N), P2 (628650 E, 996400 N), P3 (628700 E, 996850 N), P4 (628600 E, 997050 N) y P5 (628200 E, 997525 N).
- Realización de cinco giras para evaluar en campo las alternativas de los tramos seleccionados. Los tramos P2 al P5, aunque con buenas

características geométricas, se descartaron por estar bajo la influencia del remanso del Lago Gatún. El tramo seleccionado próximo a P1 se encuentra ubicado a unos 5,0 km aguas arriba de la desembocadura del Río Caño Quebrado en el Lago Gatún (Mapa 2), en el sector oeste de la Provincia de Panamá, Distrito de La Chorrera. Sus coordenadas geográficas en UTM son: 629022 E, 995540 N. Presenta un canal recto bastante uniforme de 251 pies de largo, con un ancho de 53 pies y profundidad máxima de 11 pies en la sección principal (Figura 6).



- Realización de cinco aforos para escoger la sección de aforos y limnimétrica. La velocidad mínima medida para flujos bajos fue de 0.65 pies/s superior a la mínima recomendada de 0.32 pies/s.
- Evaluación de tres alternativas para el registro de niveles y determinación de caudales: (1) vertedero de concreto, (2) pozo amortiguador prefabricado en metal y (3) Limnígrafo de burbujas. Se seleccionó el limnígrafo de burbujas por tener bajo costo, menor impacto ambiental durante su instalación y carácter no permanente.

- Colocación de tres bancos de nivel para el control vertical (elevación) y horizontal (coordenadas).
- Levantamiento topográfico de planta, perfil longitudinal y tres secciones transversal: al inicio y final del tramo y en la sección de aforo y limnimétrica figura 7.
- Instalación de mira que cubre el rango de 118 a 138 pies de elevación.
- Diseño, confección e instalación de un cable vía manual para la realización de aforos y toma de muestras de sedimentos suspendidos.
- Instalación de la siguiente instrumentación: Water Log H350, Escalonador H351-CRD, Encoder Handar, Encoder Sutron 5600-5530, Sutron 8200-A Data Collection Unit, SCADALYNX 50386DATA Collection Unit, Antena Yagi cinco elementos, Panel Solar de 40 Wats, Regulador de voltaje, Batería 12 Volts y cable para sonda multiparametrica de calidad de agua.
- Entrenamiento de un observador con residencia cerca de la estación para la toma de muestras de sedimentos suspendidos y lecturas de mira.
- Ejecución de un programa de aforos, toma de muestras de sedimentos suspendidos y recolección de datos continuos de elevaciones del río (figura 8).

Figura 6. Planta del tramo donde se instalo la estación hidrométrica.

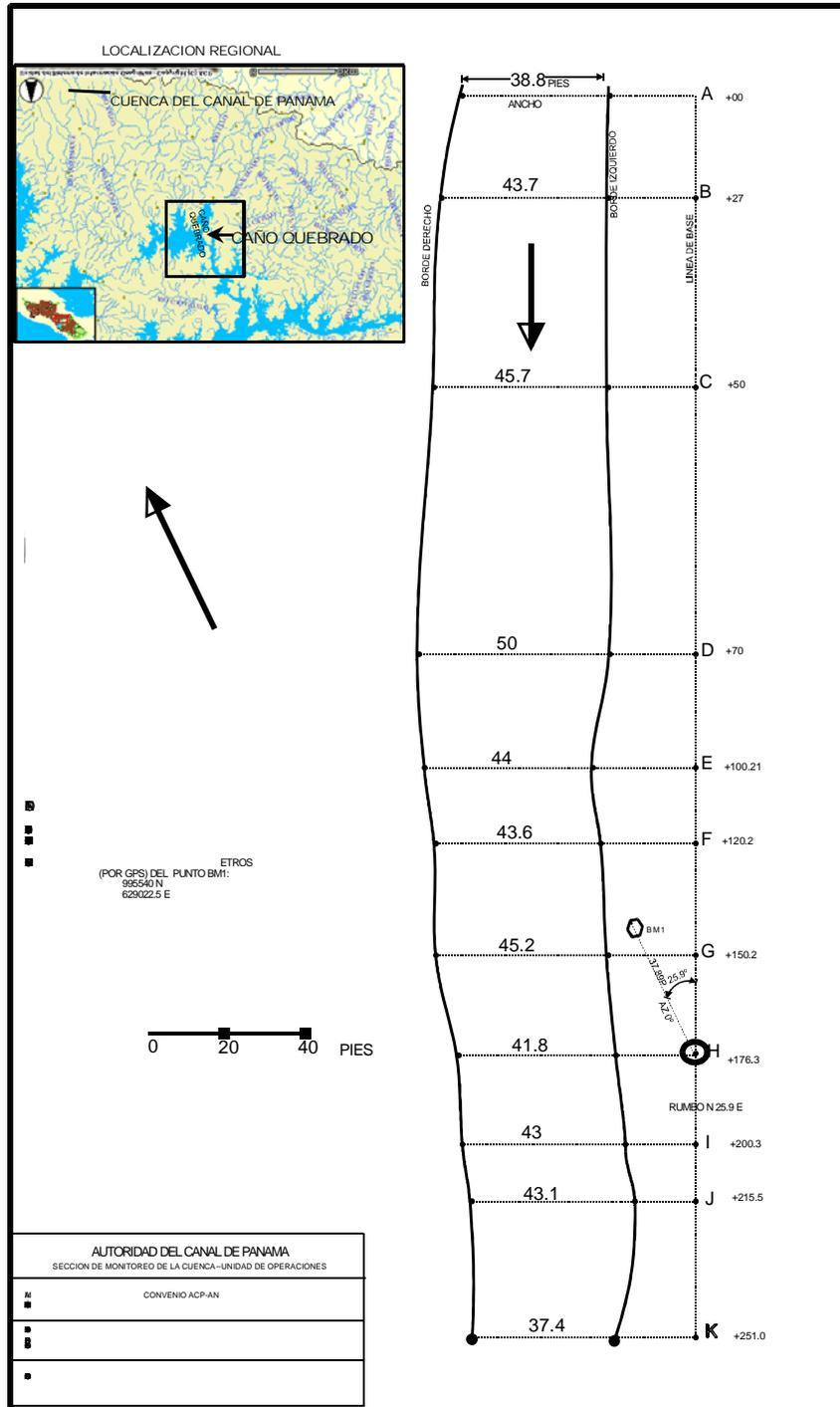


Figura 7. Sección transversal del Río Caño Quebrado en el punto G del tramo seleccionado.

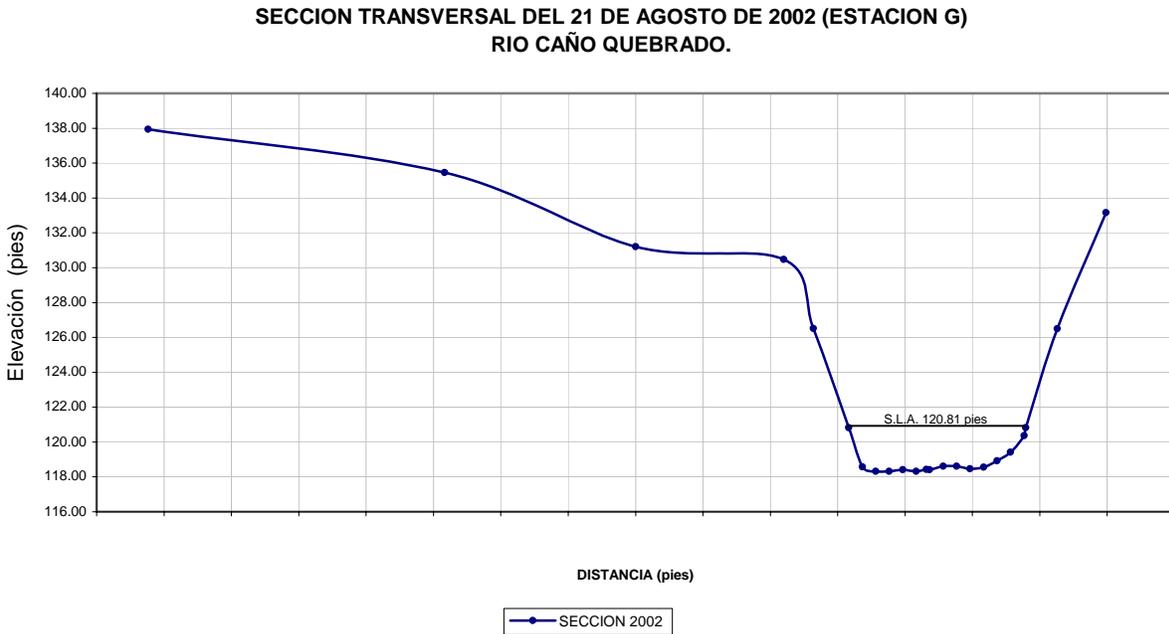
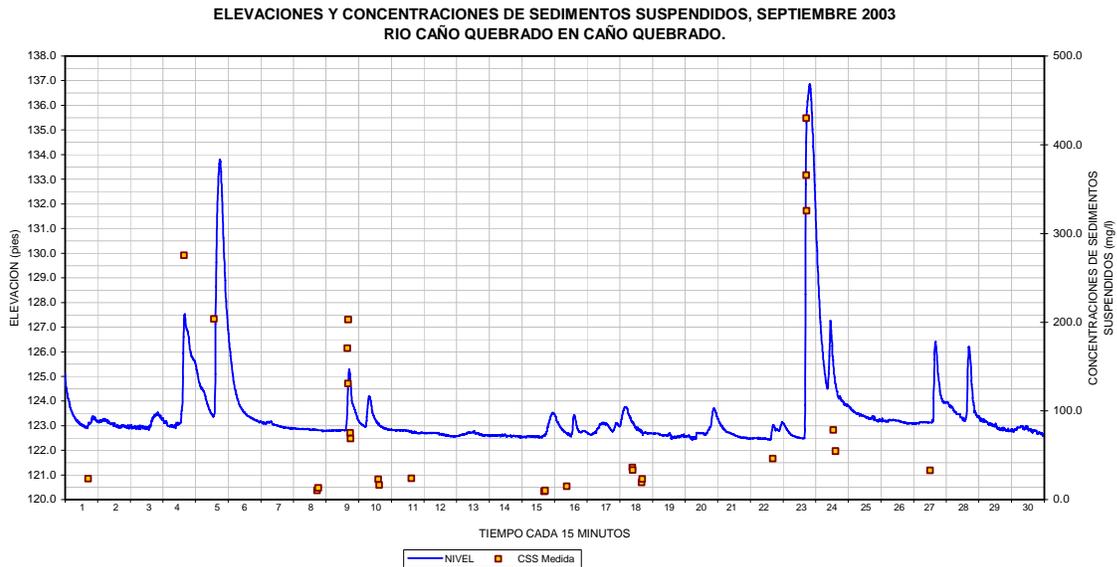


Figura 8. Elevaciones y concentraciones de sedimentos suspendidos registradas en la Estación Hidrométrica del Río Caño Quebrado



B. Resultados del registro de elevaciones, programa de aforos y toma de muestras de sedimentos en la estación Caño Quebrado durante el año 2003 y 2004.

En la subcuenca del río Caño Quebrado se registran de forma continua las elevaciones del río y se realizan mediciones de caudal o aforos, como información previa en la determinación de la producción de sedimentos.

Para verificar, corregir y completar datos faltantes se cuenta como respaldo los datos transmitidos por telemetría, las lecturas de miras de los aforos realizados y las lecturas de la mira por parte del observador residente en la zona. Durante el año 2003 la elevación máxima registrada fue de 137.38 pies (41.87 m) y la mínima de 120.79 pies (36.8 m) y en el 2004 se registró una elevación máxima de 138.14 pies (42.10 m) y mínima de 120.94 pies (36.86 m).

Durante las campañas de aforos del 2003 y 2004 se han realizado 20 aforos que cubren el rango de elevaciones de 120.98 pies a 124.35 pies, correspondientes a los flujos bajos y medios. Estos aforos se revisaron con respecto a las características geométricas (área, ancho, profundidad, perímetro mojado y radio hidráulico) obtenidas de los levantamientos topográficos disponibles de la sección de aforo para el 2003 y 2004 y a las características hidráulicas (velocidad y factor hidráulico). En el rango de elevaciones de 125.00 a 138.00 pies se extrapolaron caudales aplicando el método de Manning y el de Area-Velocidad.

A partir de los caudales medidos y extrapolados se definió la curva de descarga, o relación elevación-caudal con validez en el periodo de 2003 y 2004, (figura 9 y 9a), cuyas ecuaciones son las siguientes:

ECUACIONES DE CURVA DE DESCARGA:			c	n	H
ECUACION # 1	1 ^{er} Seg.	Q1 = 14.0286 (H - 120.36) 1.4511	14.0286	1.4511	120.36 121.20
ECUACION # 2	2 ^{do} Seg.	Q2 = 18.2254 (H - 120.46) 1.6975	18.2254	1.6975	121.20 122.68
ECUACION # 3	3 ^{er} Seg.	Q3 = 40.5610 (H - 120.36) 1.2089	40.5610	1.2089	122.68 123.50
ECUACION # 4	4 ^{to} Seg.	Q4 = 20.7470 (H - 120.36) 1.5099	20.7470	1.5099	123.50 138.00

De los registros de elevación cada 15 minutos y la curva de descarga definida se procesaron los caudales promedios diarios los cuales se muestran en el cuadro 2 y 3 y figura 10 y 11. Para el año 2003 el caudal promedio anual se determinó en 83.1 pie³/s (2.35m³/s) y caudales extremos de 4.11 pie³/s (0.116 m³/s) y 1498 pie³/s (42.4 m³/s), como mínimo diario y máximo instantáneo, respectivamente. El rendimiento hídrico o caudal específico de la subcuenca del río Caño Quebrado se determinó en 35.1 l/s/Km²

(litros por segundo por kilómetro cuadrado). Para el año 2004 resultó un caudal promedio anual de 77.3 pie³/s (2.19 m³/s) y caudales extremos de 6.39 pie³/s (0.181 m³/s) y 1600 pie³/s (45.3 m³/s), como mínimo diario y máximo instantáneo, respectivamente. El caudal específico se determinó en 32.7 l/s/Km².

Figura 9

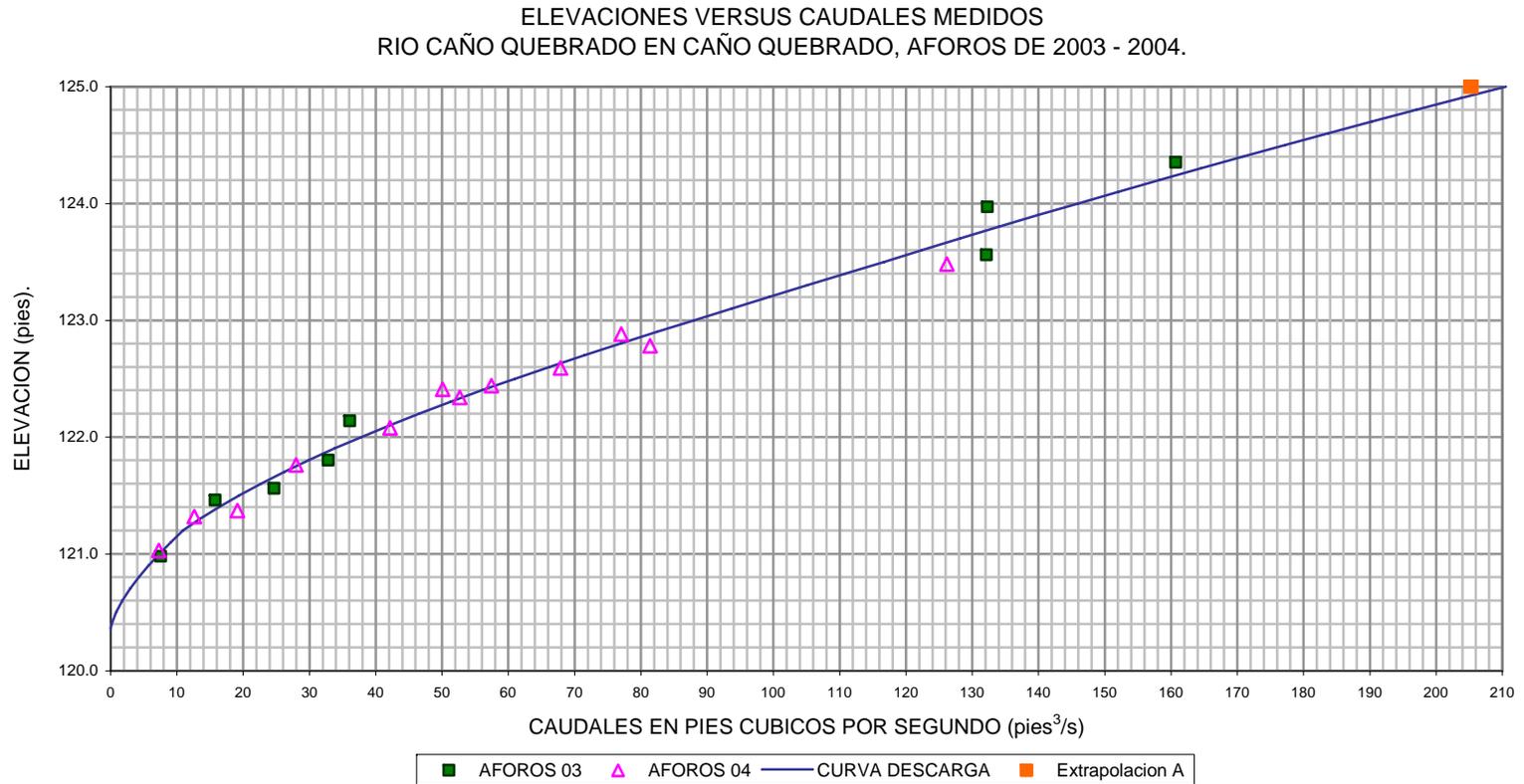
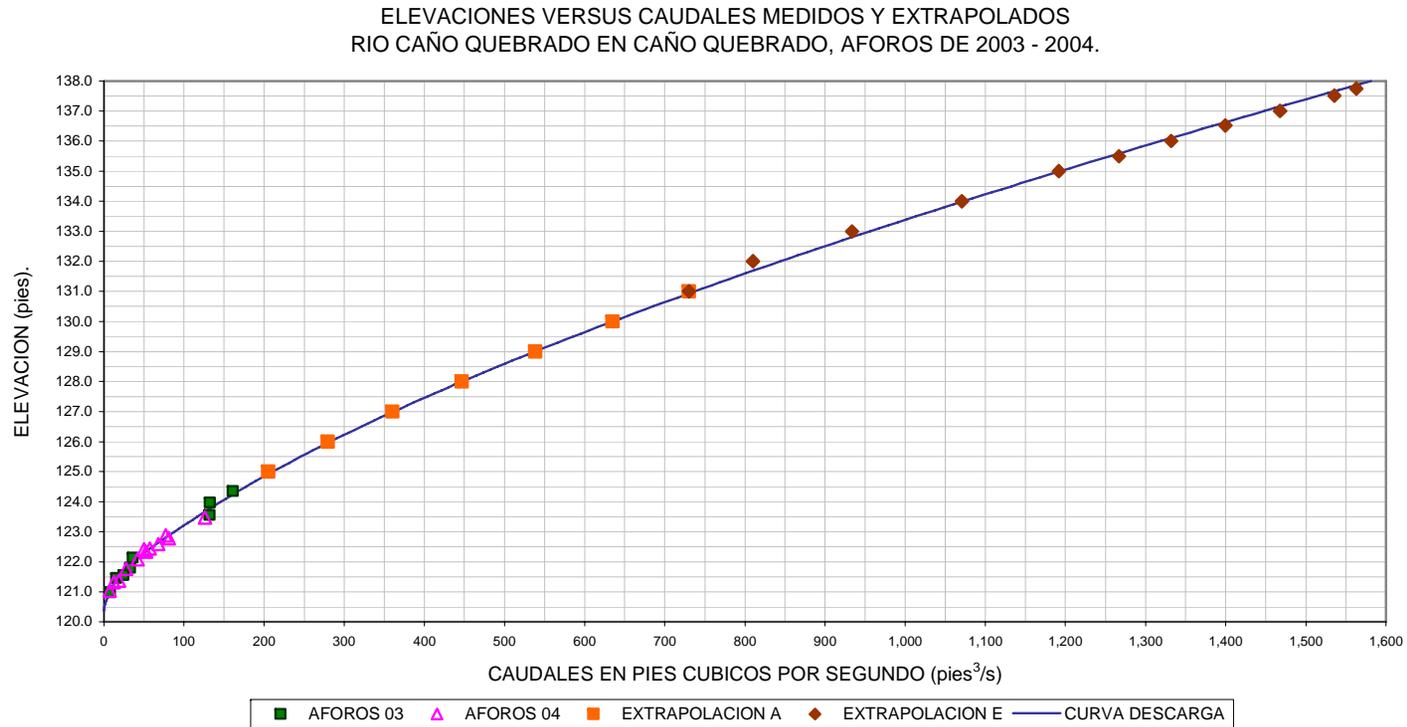


Figura 9ª



Cuadro 2

AUTORIDAD DEL CANAL DE PANAMÁ
Sección de Manejo de Cuenca
Unidad de Operaciones Ambientales
ESTACIÓN CAÑO QUEBRADO EN EL RÍO CAÑO QUEBRADO
Caudales promedios diarios en m³/s

Sensor 0711

Latitud 9° 00' 17" N

Longitud 79° 49' 34" O

Año: 2003

Área de drenaje: 67 km²

Elevación: 39.9 pie

DAY	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	1.18	0.516	0.301	0.143	0.286	0.423	0.609	2.85	3.08	1.88	17.2	5.70
2	1.17	0.524	0.300	0.143	0.214	0.401	0.546	6.95	2.59	1.84	13.0	5.57
3	1.13	0.514	0.296	0.141	0.689	0.312	0.483	6.42	2.65	1.85	8.40	9.37
4	1.07	0.501	0.287	0.142	0.442	0.534	0.582	2.59	5.06	1.89	5.06	3.95
5	1.04	0.481	0.286	0.137	0.265	0.515	0.968	2.29	10.8	2.58	3.98	3.32
6	1.03	0.465	0.276	0.138	0.363	0.442	0.578	2.87	4.08	1.85	3.79	4.35
7	0.981	0.441	0.260	0.150	0.275	0.280	0.685	2.39	2.51	1.64	3.82	26.4
8	0.952	0.428	0.240	0.137	1.41	0.237	1.28	4.51	2.25	1.54	12.0	6.49
9	0.915	0.414	0.227	0.137	0.908	0.371	1.59	4.43	2.93	9.34	3.94	4.70
10	0.918	0.412	0.222	0.153	0.341	0.241	1.79	3.08	2.79	5.58	8.88	4.46
11	0.920	0.503	0.217	0.191	0.271	1.31	1.19	3.70	2.13	2.44	9.73	3.85
12	0.893	0.561	0.216	0.152	0.241	2.24	6.46	4.08	1.95	7.21	4.92	3.40
13	0.862	0.474	0.208	0.140	2.65	2.56	2.40	5.04	1.96	8.12	3.96	3.16
14	0.825	0.449	0.204	0.152	2.11	1.69	1.47	3.46	1.86	4.21	3.58	3.49
15	0.791	0.412	0.204	0.133	0.804	0.940	1.31	2.71	2.10	4.13	3.32	5.67
16	0.784	0.402	0.206	0.140	0.432	0.747	1.23	2.64	2.32	3.82	3.12	3.62
17	0.767	0.401	0.216	0.130	0.328	0.673	1.13	2.70	2.33	4.05	3.37	2.78
18	0.801	0.382	0.208	0.129	5.68	0.736	1.01	3.34	2.57	4.80	4.69	2.68
19	0.769	0.365	0.206	0.116	2.24	0.681	1.00	2.51	1.88	5.10	3.80	2.61
20	0.740	0.361	0.198	0.117	0.920	0.646	1.00	4.67	2.23	3.28	8.99	2.73
21	0.690	0.356	0.194	0.185	0.685	0.869	0.96	4.16	2.00	7.58	6.83	2.75
22	0.680	0.348	0.190	0.374	0.558	0.842	5.57	6.05	1.94	9.83	5.98	2.51
23	0.701	0.332	0.190	0.207	0.585	0.581	2.84	6.48	12.2	8.05	5.33	2.49
24	0.683	0.317	0.184	0.176	0.487	0.539	2.64	2.95	7.27	3.21	2.93	2.28
25	0.651	0.310	0.192	0.164	1.76	0.595	1.68	2.64	3.15	4.42	8.24	2.09
26	0.630	0.303	0.169	0.151	0.691	0.580	10.9	2.49	2.76	7.38	4.12	1.93
27	0.615	0.303	0.169	0.155	0.509	0.563	6.34	4.15	3.83	8.69	3.77	1.86
28	0.599	0.302	0.155	0.222	0.937	2.23	2.19	2.56	3.95	4.79	2.41	1.81
29	0.565		0.152	0.361	0.879	1.26	1.78	2.48	2.49	12.6	4.14	1.74
30	0.537		0.147	0.454	0.545	0.750	2.64	2.48	2.21	6.10	5.90	1.63
31	0.509		0.158		0.436		3.51	5.83		15.7		1.59

Caudales extremos

Mes	Máximos Instantáneos			Mínimos diarios			Caudales Promedios Mensuales		Escorrentía			
	Día	Elevación m	Caudal m ³ /s	Día	Elevación m	Caudal m ³ /s	m ³ /s	l/s/km ²	MMC	mm		
Ene	1	37.23	1.23	31	37.02	0.509	0.819	12.2	2.19	32.8		
Feb	11	37.07	0.662	26	36.94	0.302	0.413	6.17	1.00	14.9		
Mar	1	36.94	0.308	30	36.84	0.147	0.215	3.22	0.577	8.61		
Abr	29	37.14	0.889	19	36.82	0.116	0.176	2.62	0.455	6.80		
May	18	39.52	17.0	2	36.88	0.214	0.933	13.9	2.50	37.3		
Jun	28	38.62	9.53	8	36.90	0.237	0.826	12.3	2.14	32.0		
Jul	26	41.17	34.1	3	37.01	0.483	2.21	32.9	5.91	88.2		
Ago	2	40.10	22.6	5	37.45	2.29	3.73	55.6	10.0	149		
Sep	23	41.71	40.5	14	37.37	1.86	3.39	50.7	8.80	131		
Oct	31	41.79	41.4	8	37.30	1.54	5.34	79.6	14.3	213		
Nov	1	41.48	37.7	28	37.47	2.41	5.97	89.2	15.5	231		
Dic	7	41.87	42.4	31	37.31	1.59	4.22	63.0	11.3	169		
Anual	7	41.87	42.4	19	36.82	0.116	Promedio	2.35	35.1	Total	74.6	1114

Nota: Los caudales en negrita se estimaron por correlación con la estación El Chorro.

Cuadro 3

AUTORIDAD DEL CANAL DE PANAMÁ												
Sección de Manejo de Cuenca												
Unidad de Operaciones												
ESTACIÓN CAÑO QUEBRADO ABAJO EN EL RÍO CAÑO QUEBRADO												
Caudales promedios diarios en m ³ /s												
Sensor 0711										Año: 2004		
Latitud 9° 00' 17" N										Área de drenaje: 67.0 km ²		
Longitud 79° 49' 34" O										Elevación: 32.4 m		
DÍA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	1.45	0.852	0.456	0.234	0.730	2.56	0.956	0.896	2.44	1.41	4.69	2.88
2	1.37	0.831	0.411	0.217	0.515	1.80	0.911	0.855	2.36	1.35	5.04	2.91
3	1.30	0.813	0.394	0.223	0.587	7.83	0.971	2.14	2.20	1.30	7.14	2.86
4	1.26	0.800	0.382	0.216	0.394	3.04	1.34	13.5	2.19	2.33	5.20	2.71
5	1.27	0.775	0.375	0.227	0.384	2.80	1.12	11.6	13.0	2.27	5.01	3.14
6	1.24	0.741	0.380	0.203	0.402	2.04	1.07	2.35	5.16	9.92	4.13	2.74
7	1.19	0.721	0.370	0.204	0.402	1.91	2.86	2.71	2.94	6.23	3.45	2.48
8	1.14	0.703	0.382	0.211	0.326	1.83	5.46	1.70	2.87	2.20	3.73	2.39
9	1.10	0.700	0.366	0.201	0.478	1.70	1.31	1.53	3.48	1.84	4.10	2.32
10	1.09	0.682	0.337	0.211	0.618	1.66	1.08	1.45	2.45	1.67	6.75	5.62
11	1.11	0.661	0.530	0.206	0.439	1.59	1.05	1.44	2.36	1.64	6.51	2.80
12	1.10	0.633	0.497	0.205	0.343	1.56	1.01	2.61	2.19	1.67	4.18	2.07
13	1.06	0.625	0.405	0.192	0.294	1.49	0.955	1.78	2.11	1.63	5.00	2.07
14	1.04	0.634	0.338	0.184	0.285	1.46	2.37	1.39	2.09	2.19	3.61	1.98
15	1.08	0.630	0.324	0.181	5.19	1.43	1.31	2.80	1.98	3.04	3.40	2.15
16	1.03	0.629	0.310	0.185	5.18	1.38	1.05	1.71	2.39	2.14	3.29	4.51
17	1.01	0.578	0.309	0.182	3.59	1.31	1.02	1.45	3.47	1.96	3.09	3.05
18	0.987	0.552	0.299	0.185	3.07	1.29	2.49	1.39	2.39	3.10	4.90	2.37
19	0.986	0.562	0.293	0.188	2.23	1.30	1.42	7.92	1.96	3.81	18.0	2.33
20	0.999	0.523	0.293	0.254	1.88	1.30	1.14	9.94	1.74	2.86	8.46	2.12
21	1.01	0.477	0.282	0.431	2.14	1.19	0.985	3.16	1.70	5.64	4.42	2.02
22	1.34	0.507	0.271	0.350	1.86	1.17	1.99	2.57	2.51	7.84	3.83	2.00
23	1.48	0.520	0.250	0.294	9.8	1.09	2.86	3.38	2.35	11.7	4.40	1.95
24	1.20	0.501	0.255	0.246	9.59	1.07	1.51	5.28	2.02	9.90	4.77	1.88
25	1.05	0.503	0.255	0.968	2.93	1.06	1.09	2.87	2.90	5.12	4.02	1.85
26	1.00	0.495	0.252	0.673	2.24	1.06	1.02	2.32	2.03	9.72	4.60	1.80
27	0.975	0.470	0.252	0.475	1.74	1.05	0.994	2.09	1.59	20.8	3.33	1.75
28	0.941	0.442	0.247	0.349	1.90	1.04	1.49	2.39	1.52	8.62	3.10	1.71
29	0.917	0.444	0.252	0.293	1.84	1.06	1.09	8.33	1.48	7.59	3.04	1.67
30	0.895		0.256	0.268	1.41	0.983	0.977	6.37	1.45	4.98	2.98	1.64
31	0.878		0.242		1.37		0.941	2.75		5.89		1.65

Caudales extremos												
Mes	Máximos instantáneos			Mínimos diarios			Caudales promedios Mensuales		Escorrentía			
	Día	Elevación m	Caudal m ³ /s	Día	Elevación m	Caudal m ³ /s	m ³ /s	l/s/km ²	MMC	mm		
Ene	23	37.33	1.71	31	37.13	0.878	1.11	16.6	2.98	44.5		
Feb	1	37.13	0.871	28	36.99	0.442	0.621	9.27	1.56	23.2		
Mar	11	37.06	0.624	31	36.90	0.242	0.331	4.94	0.887	13.2		
Abr	25	37.55	2.83	15	36.86	0.181	0.282	4.21	0.731	10.9		
May	23	41.71	40.4	14	36.93	0.285	2.07	30.9	5.54	82.8		
Jun	3	40.81	30.0	30	37.16	0.983	1.74	25.9	4.50	67.1		
Jul	8	39.47	16.5	2	37.14	0.911	1.48	22.1	3.96	59.1		
Ago	4	41.95	43.4	2	37.13	0.855	3.63	54.2	9.73	145		
Sep	5	42.11	45.3	30	37.28	1.45	2.71	40.5	7.03	105		
Oct	27			3	37.24	1.30	4.91	73.3	13.2	196		
Nov	19	40.71	28.9	30	37.58	2.98	4.94	73.7	12.8	191		
Dic	10	39.50	16.9	30	37.32	1.64	2.43	36.3	6.52	97		
Anual	5	42.11	45.3	15	36.86	0.181	Promedio	2.19	32.7	Total	69.4	1036

Nota: Los caudales en negrita se estimaron por correlación con la estación El Chorro.

Figura 10

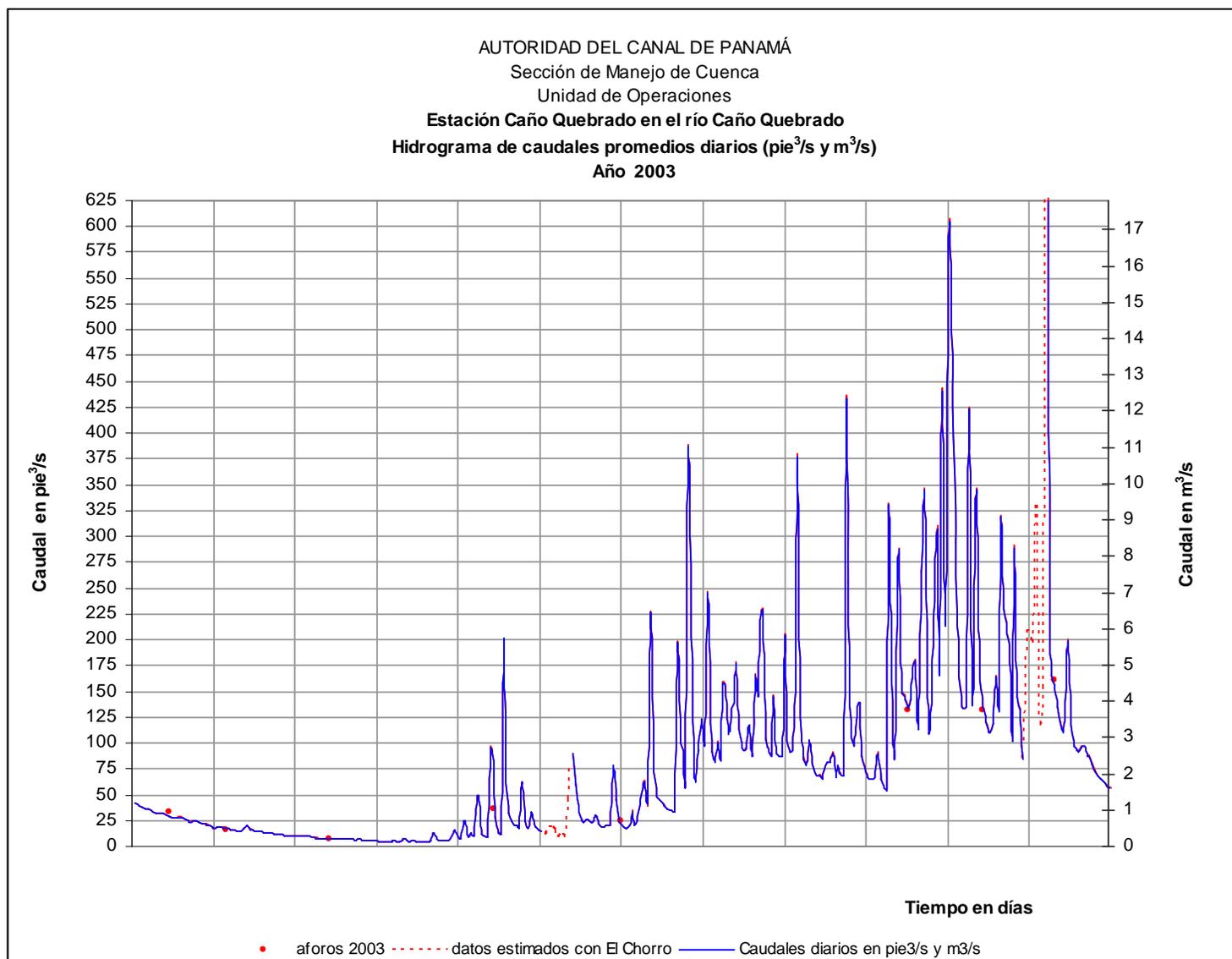
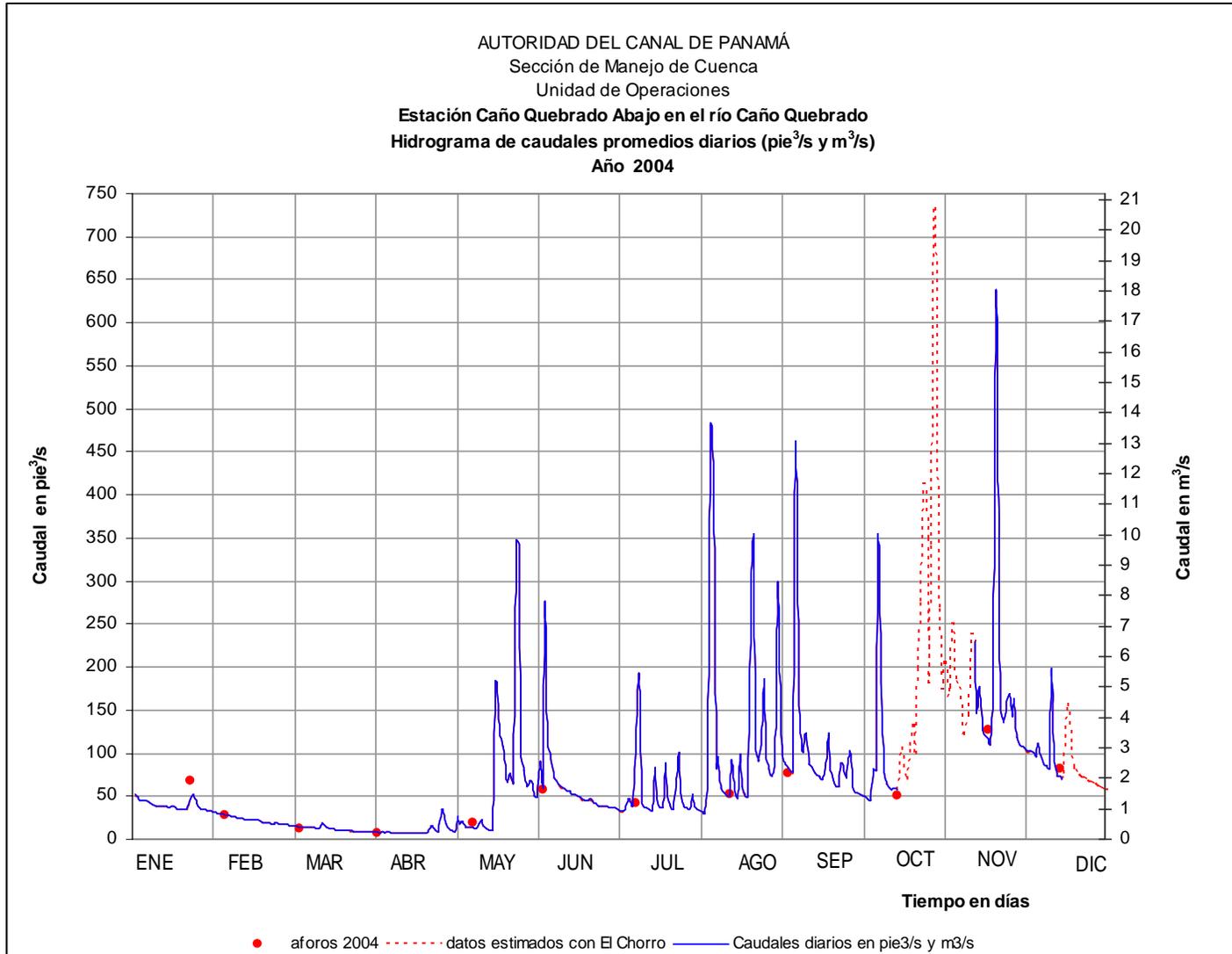


Figura 11



Durante el desarrollo del Programa de Sedimentos Suspendidos para el periodo 2003-2004 se tomaron 100 muestras entre las elevaciones de 120.84 pies (36.82 m) y 135.46 pies (41.29 m) con concentraciones que variaron entre 2.6 y 429.8 mg/l. Para cada una de las muestras tomadas, sobre la base de la fecha y hora de muestreo, se determino la elevación y correspondiente caudal líquido instantáneo, de manera de obtener el caudal sólido instantáneo (Q_s) y la relación entre ambas variables o curva de transporte de sedimentos (figura 12) de acuerdo a la ecuación de tipo potencial definida en C. Por medio de estas ecuaciones y los caudales líquidos procesados cada 15 minutos (fig 13) se obtuvo la producción anual de sedimentos en $t/año/Km^2$. Para el año 2003 se determino que la subcuenca del Río caño Quebrado tiene una producción anual de sedimentos de 115 $t/año/km^2$ (Cuadro 4 y 5).

A partir del programa de sedimentos suspendidos que se lleva a cabo en la 6 subcuencas principales de la Región Oriental de la CHCP se obtuvieron también las relaciones caudal líquido-caudal sólido y la producción anual de sedimentos para el periodo 1998-2004. De estos resultados se observo una aceptable correlación entre la producción anual de sedimentos y el rendimiento hídrico o caudal específico. Esta correlación se ajusto mejor para el promedio aritmético de estas dos variables para el periodo 1998-2004. En el caso de la estación Caño Quebrado se determino un factor de ajuste para homogenizar los resultados de la producción de sedimentos al periodo común de 1998-2004. El modelo de correlación lineal simple determinado (fig 14) permite estimar la producción de sedimentos suspendidos en subcuencas sin control hidrométrico de la CHCP.

En la estación Caño Quebrado se continuara con el programa de aforos, toma de muestras de sedimentos suspendidos, registro y revisión de elevaciones, actualización de curva de descarga, procesamiento de caudales y seguimiento de la relación caudal líquido – caudal sólido o curva de transporte de sedimentos.

Cuadro 4

ESTACION CAÑO QUEBRADO EN EL RIO CAÑO QUEBRADO
Concentraciones de Sedimentos Suspendidos (mg/l) y Caudales Sólidos Promedios Diarios (t/d)

LATITUD 9° 17' 52" N		LONGITUD 79° 43' 41" O		Año: 2003		Área de Drenaje: 67 km ²						
DIA	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO	
	mg/l	t/d	mg/l	t/d	mg/l	t/d	mg/l	t/d	mg/l	t/d	mg/l	t/d
1	17.3	1.76	8.2	0.364	6.6	0.171	6.2	0.077	6.6	0.163	6.8	0.248
2	17.1	1.73	8.2	0.373	6.6	0.171	6.2	0.077	6.4	0.119	6.7	0.233
3	16.6	1.61	8.1	0.359	6.6	0.168	6.2	0.076	25.4	1.48	6.6	0.178
4	15.8	1.47	7.9	0.342	6.6	0.163	6.2	0.076	10.5	0.415	8.4	0.386
5	15.4	1.38	7.6	0.316	6.6	0.162	6.2	0.074	6.5	0.149	8.1	0.360
6	15.3	1.36	7.4	0.298	6.5	0.156	6.2	0.074	6.7	0.209	7.0	0.269
7	14.6	1.24	7.0	0.268	6.5	0.147	6.3	0.081	6.5	0.156	6.5	0.158
8	14.2	1.17	6.9	0.254	6.5	0.134	6.2	0.074	40.8	4.90	6.5	0.132
9	13.7	1.08	6.7	0.241	6.4	0.127	6.2	0.074	16.7	1.33	6.7	0.215
10	13.7	1.09	6.7	0.240	6.4	0.123	6.3	0.082	6.7	0.197	6.5	0.135
11	13.7	1.09	8.3	0.359	6.4	0.121	6.4	0.105	6.5	0.153	18.9	2.14
12	13.4	1.03	8.8	0.426	6.4	0.120	6.3	0.082	6.5	0.135	49.6	12.4
13	12.9	0.964	7.5	0.308	6.4	0.115	6.2	0.075	61.4	13.8	50.6	11.1
14	12.5	0.889	7.2	0.277	6.4	0.113	6.3	0.082	34.4	6.35	26.2	3.87
15	12.0	0.817	6.7	0.240	6.4	0.113	6.2	0.071	13.4	0.943	14.1	1.15
16	11.9	0.805	6.7	0.233	6.4	0.116	6.2	0.075	7.1	0.266	11.4	0.738
17	11.6	0.771	6.7	0.233	6.4	0.125	6.2	0.070	6.6	0.188	10.4	0.602
18	12.1	0.837	6.7	0.221	6.4	0.121	6.2	0.069	134.4	65.4	11.3	0.718
19	11.7	0.776	6.7	0.211	6.4	0.111	6.1	0.062	37.4	7.37	10.5	0.617
20	11.3	0.721	6.7	0.208	6.4	0.110	6.1	0.062	14.0	1.12	10.0	0.557
21	10.6	0.630	6.7	0.205	6.4	0.110	6.4	0.101	10.5	0.624	15.0	1.12
22	10.4	0.612	6.7	0.200	6.4	0.110	6.9	0.224	8.7	0.421	12.8	0.937
23	10.7	0.650	6.6	0.190	6.4	0.110	6.4	0.115	9.1	0.461	9.1	0.456
24	10.5	0.618	6.6	0.181	6.4	0.110	6.3	0.096	7.7	0.326	8.5	0.394
25	10.0	0.564	6.6	0.177	6.4	0.110	6.3	0.089	34.7	5.24	9.2	0.475
26	9.7	0.530	6.6	0.173	6.4	0.110	6.3	0.082	10.9	0.657	9.0	0.453
27	9.5	0.506	6.6	0.173	6.4	0.110	6.3	0.083	8.0	0.354	8.8	0.428
28	9.3	0.481	6.6	0.172	6.4	0.110	6.4	0.124	19.1	1.53	63.6	12.1
29	8.8	0.431			6.4	0.109	8.8	0.269	14.0	1.07	20.4	2.25
30	8.4	0.391			6.4	0.101	7.9	0.313	8.6	0.407	11.4	0.739
31	8.0	0.352			6.3	0.090			7.0	0.264		
Total		28.4		7.24		3.86		3.01		116		55.6
DIA	JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
	mg/l	t/d	mg/l	t/d	mg/l	t/d	mg/l	t/d	mg/l	t/d	mg/l	t/d
1	9.5	0.503	39.6	9.73	44.0	11.8	26.4	4.29	245.5	371	89.0	43.3
2	8.6	0.405	177.7	104	35.4	7.95	25.8	4.09	202.6	228	80.8	39.0
3	7.6	0.319	115.7	65.7	36.4	8.30	26.0	4.18	134.8	98.1	128.5	104
4	9.8	0.485	35.4	7.94	85.6	37.1	27.2	4.38	67.3	29.7	52.0	17.8
5	15.8	1.33	31.6	6.25	202.2	187	36.3	8.11	52.3	18.0	44.2	12.7
6	9.0	0.452	38.8	9.58	62.6	22.5	26.2	4.19	49.9	16.3	58.6	21.9
7	11.7	0.681	33.0	6.85	34.4	7.50	23.2	3.29	50.8	16.8	337.1	765
8	18.9	2.09	67.6	26.2	31.0	6.01	22.0	2.93	221.1	230	90.5	51.5
9	30.5	4.13	65.3	24.9	44.8	11.3	229.3	182	52.1	17.8	60.5	24.6
10	27.4	4.29	43.0	11.5	39.3	9.47	87.0	42.7	186.8	140	57.9	22.3
11	17.9	1.85	58.7	18.6	29.5	5.43	35.0	7.45	154.8	132	50.7	16.9
12	123.9	68.7	56.3	19.8	27.2	4.58	197.0	121	64.6	27.6	45.2	13.3
13	35.8	7.51	72.9	31.9	27.4	4.63	149.0	105	52.0	17.8	42.2	11.5
14	21.1	2.68	46.7	14.0	26.1	4.21	62.6	23.1	47.4	14.7	48.0	14.4
15	18.9	2.14	36.9	8.67	30.4	5.47	60.9	21.5	44.2	12.7	90.7	44.1
16	17.9	1.89	36.0	8.19	32.8	6.60	55.8	18.6	41.8	11.3	51.1	16.2
17	16.6	1.63	37.1	8.68	32.3	6.48	65.5	22.8	45.7	13.2	37.6	9.05
18	15.0	1.31	48.3	13.9	36.6	8.14	70.4	29.3	68.9	27.8	36.4	8.42
19	14.8	1.27	34.3	7.45	26.4	4.30	68.1	30.0	52.7	17.4	35.4	7.98
20	14.9	1.29	92.8	36.8	32.3	6.19	44.7	12.7	214.6	166	37.2	8.79
21	14.4	1.20	65.7	24.1	28.6	4.98	158.2	102	95.5	56.7	37.7	8.95
22	173.0	82.3	146.1	74.6	27.6	4.60	163.9	138	90.5	46.1	34.2	7.41
23	44.9	11.2	105.4	60.3	338.4	351	138.7	98.7	84.9	39.7	34.1	7.33
24	38.3	8.72	39.8	10.2	118.6	76.5	43.0	11.9	39.5	10.0	31.6	6.25
25	24.4	3.55	35.9	8.19	42.5	11.6	73.5	28.0	159.0	112	28.9	5.22
26	280.7	261	34.0	7.32	37.4	8.92	135.7	85.8	59.3	21.2	27.0	4.52
27	119.6	67.1	61.1	21.9	59.0	19.5	114.5	85.8	56.4	18.6	26.1	4.19
28	30.8	5.84	35.1	7.78	57.3	19.6	69.5	29.2	33.0	6.87	25.4	3.97
29	25.0	3.85	34.3	7.33	34.4	7.41	271.2	292	76.6	26.6	24.6	3.70
30	51.3	11.6	34.0	7.32	30.6	5.84	88.6	46.9	97.1	50.4	23.1	3.25
31	50.3	15.3	143.6	71.9			308.2	409			22.7	3.12
Total		577		742		875		1980		1994		1311
Total Anual:			7693 t/año				Producción Anual:		115 t/año/km²			
			Concentración de Sedimentos Suspendidos (mg/l)									
			Mínimo Diario:	6.1	Promedio Anual:	103.6						
			Máximo Diario:	338.4	Máxima Instantánea:	448.1						

Cuadro 5

ESTACION CAÑO QUEBRADO EN EL RIO CAÑO QUEBRADO
Concentraciones de Sedimentos Suspendidos (mg/l) y Caudales Sólidos Promedios Diarios (t/d)

LATITUD 9° 00' 17" N		LONGITUD 79° 49' 34" O		Año: 2004		Área de Drenaje: 67 km ²						
DIA	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO	
	mg/l	t/d	mg/l	t/d	mg/l	t/d	mg/l	t/d	mg/l	t/d	mg/l	t/d
1	20.8	2.61	12.8	0.943	7.3	0.286	6.5	0.131	34.3	2.16	36.1	8.00
2	19.8	2.34	12.5	0.899	6.8	0.240	6.4	0.121	9.6	0.426	25.4	3.94
3	18.8	2.12	12.3	0.862	6.7	0.229	6.4	0.124	9.3	0.471	200.9	136
4	18.3	1.99	12.1	0.837	6.7	0.221	6.4	0.120	6.8	0.230	44.1	11.6
5	18.5	2.03	11.7	0.786	6.7	0.217	6.4	0.127	6.7	0.223	45.7	11.1
6	18.0	1.92	11.3	0.721	6.7	0.220	6.4	0.112	6.9	0.239	28.4	5.01
7	17.4	1.79	11.0	0.686	6.7	0.214	6.4	0.113	6.8	0.236	26.7	4.41
8	16.7	1.66	10.7	0.652	6.7	0.221	6.4	0.117	6.6	0.187	25.7	4.06
9	16.2	1.54	10.7	0.648	6.7	0.211	6.4	0.111	8.6	0.356	24.0	3.53
10	16.0	1.50	10.5	0.616	6.6	0.194	6.4	0.117	9.8	0.525	23.4	3.35
11	16.2	1.55	10.2	0.580	8.4	0.387	6.4	0.114	7.2	0.273	22.6	3.12
12	16.1	1.53	9.8	0.535	7.9	0.338	6.4	0.113	6.6	0.197	22.2	2.99
13	15.7	1.44	9.7	0.522	6.8	0.238	6.4	0.105	6.6	0.167	21.3	2.74
14	15.4	1.38	9.8	0.536	6.6	0.194	6.4	0.101	6.6	0.162	20.9	2.64
15	16.0	1.49	9.7	0.530	6.6	0.185	6.3	0.099	212.7	95.4	20.6	2.54
16	15.3	1.37	9.7	0.528	6.6	0.177	6.4	0.101	100.8	45.1	19.9	2.37
17	14.9	1.29	9.0	0.450	6.6	0.176	6.3	0.100	58.5	18.2	18.9	2.13
18	14.6	1.25	8.6	0.412	6.6	0.170	6.4	0.101	49.5	13.1	18.7	2.08
19	14.6	1.25	8.8	0.427	6.6	0.166	6.4	0.103	32.6	6.27	18.8	2.11
20	14.8	1.28	8.2	0.372	6.6	0.166	6.5	0.143	27.7	4.50	18.9	2.14
21	14.9	1.30	7.6	0.312	6.6	0.160	7.2	0.269	42.0	7.78	17.4	1.79
22	19.5	2.24	8.0	0.350	6.5	0.153	6.7	0.201	27.9	4.49	17.1	1.72
23	21.3	2.72	8.2	0.367	6.5	0.140	6.6	0.167	353.5	300	16.0	1.50
24	17.5	1.80	7.9	0.342	6.5	0.143	6.5	0.138	205.7	170	15.8	1.46
25	15.5	1.41	7.9	0.345	6.5	0.143	26.0	2.17	41.2	10.4	15.6	1.43
26	14.8	1.29	7.8	0.334	6.5	0.142	12.1	0.705	31.2	6.05	15.6	1.43
27	14.5	1.22	7.5	0.302	6.5	0.141	7.7	0.315	24.6	3.68	15.5	1.41
28	14.0	1.14	7.0	0.269	6.5	0.138	6.7	0.201	26.8	4.40	15.3	1.38
29	13.7	1.09	7.1	0.272	6.5	0.141	6.6	0.166	26.1	4.15	15.6	1.42
30	13.4	1.04			6.5	0.144	6.5	0.151	20.4	2.48	14.6	1.24
31	13.2	1.00			6.5	0.136			19.8	2.34		
Total		49.6		15.4		6.03		6.76		704		231
DIA	JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
	mg/l	t/d	mg/l	t/d	mg/l	t/d	mg/l	t/d	mg/l	t/d	mg/l	t/d
1	14.2	1.17	13.4	1.04	33.4	7.06	20.3	2.47	60.6	24.6	38.8	9.67
2	13.6	1.07	12.8	0.949	32.3	6.59	19.5	2.27	64.5	28.1	39.2	9.87
3	14.5	1.22	59.3	11.0	30.4	5.79	18.8	2.10	88.5	54.6	38.6	9.53
4	21.2	2.45	382.4	445	30.3	5.72	37.4	7.53	66.5	29.9	36.7	8.59
5	16.5	1.60	233.3	234	349.4	434	42.5	8.32	64.2	27.8	43.2	11.7
6	15.7	1.45	33.2	6.75	85.6	38.2	236.0	202	53.9	19.2	37.3	8.83
7	89.7	22.1	39.6	9.28	39.6	10.1	130.1	70.0	45.8	13.7	33.8	7.23
8	124.6	58.8	24.0	3.52	38.9	9.66	30.5	5.79	49.2	15.9	32.8	6.78
9	19.1	2.17	21.9	2.89	47.7	14.4	25.8	4.10	53.6	19.0	31.9	6.42
10	15.9	1.48	20.8	2.60	33.5	7.08	23.7	3.43	84.1	48.9	118.9	57.8
11	15.4	1.40	20.6	2.56	32.4	6.61	23.2	3.29	89.0	50.1	41.3	10.0
12	14.9	1.30	57.6	13.0	30.2	5.71	23.6	3.40	54.8	19.8	28.7	5.14
13	14.2	1.17	27.8	4.28	29.2	5.32	22.6	3.10	67.9	29.4	28.7	5.13
14	44.5	9.10	20.0	2.41	28.9	5.21	30.2	5.70	47.6	14.9	27.6	4.72
15	19.5	2.22	45.0	10.9	27.7	4.74	40.6	10.6	45.1	13.2	29.8	5.53
16	15.5	1.40	24.6	3.64	33.5	6.89	29.6	5.46	43.7	12.4	58.2	22.7
17	15.1	1.33	20.8	2.62	52.3	15.7	27.3	4.63	41.3	11.0	41.0	10.8
18	54.5	11.7	20.0	2.41	33.2	6.85	41.3	11.0	71.2	30.1	32.5	6.65
19	21.3	2.62	233.3	160	27.3	4.63	49.8	16.3	237.6	369	31.9	6.41
20	16.7	1.64	147.4	127	24.5	3.67	38.5	9.52	122.5	89.6	29.3	5.37
21	14.6	1.24	44.1	12.0	24.1	3.54	71.4	34.8	57.4	21.9	28.1	4.90
22	31.9	5.48	35.7	7.93	40.7	8.82	96.5	65.4	50.5	16.7	27.8	4.81
23	77.7	19.2	65.9	19.2	32.9	6.68	138.5	140	64.9	24.7	27.3	4.60
24	25.6	3.33	82.4	37.6	28.1	4.92	119.1	102	65.8	27.1	26.4	4.29
25	16.0	1.50	39.1	9.68	44.8	11.2	65.5	29.0	55.8	19.4	26.0	4.17
26	15.1	1.33	31.9	6.39	31.8	6.19	117.2	98.4	60.9	24.2	25.3	3.95
27	14.7	1.27	28.9	5.21	22.6	3.11	234.2	421	44.3	12.8	24.6	3.70
28	25.6	3.28	32.8	6.77	21.6	2.82	105.0	78.1	41.5 m	11.1	24.1	3.56
29	16.4	1.53	199.8	144	21.4	2.77	93.6	61.4	40.7	10.7	23.6	3.39
30	14.5	1.23	114.9	63.3	20.8	2.61	63.9	27.5	40.1	10.3	23.3	3.30
31	14.0	1.14	37.3	8.85			74.4	37.8			23.3	3.31
Total		168		1366		656		1475		1100		263
Total Anual:			6041 t/año				Producción Anual:		90 t/año/km²			
			Concentración de Sedimentos Suspendidos (mg/l)				Promedio Anual:					
			Mínimo Diario:	6.3			Máximo Anual:	87.1				
			Máximo Diario:	382.4			Máxima Instantánea	475.9				

Figura 12

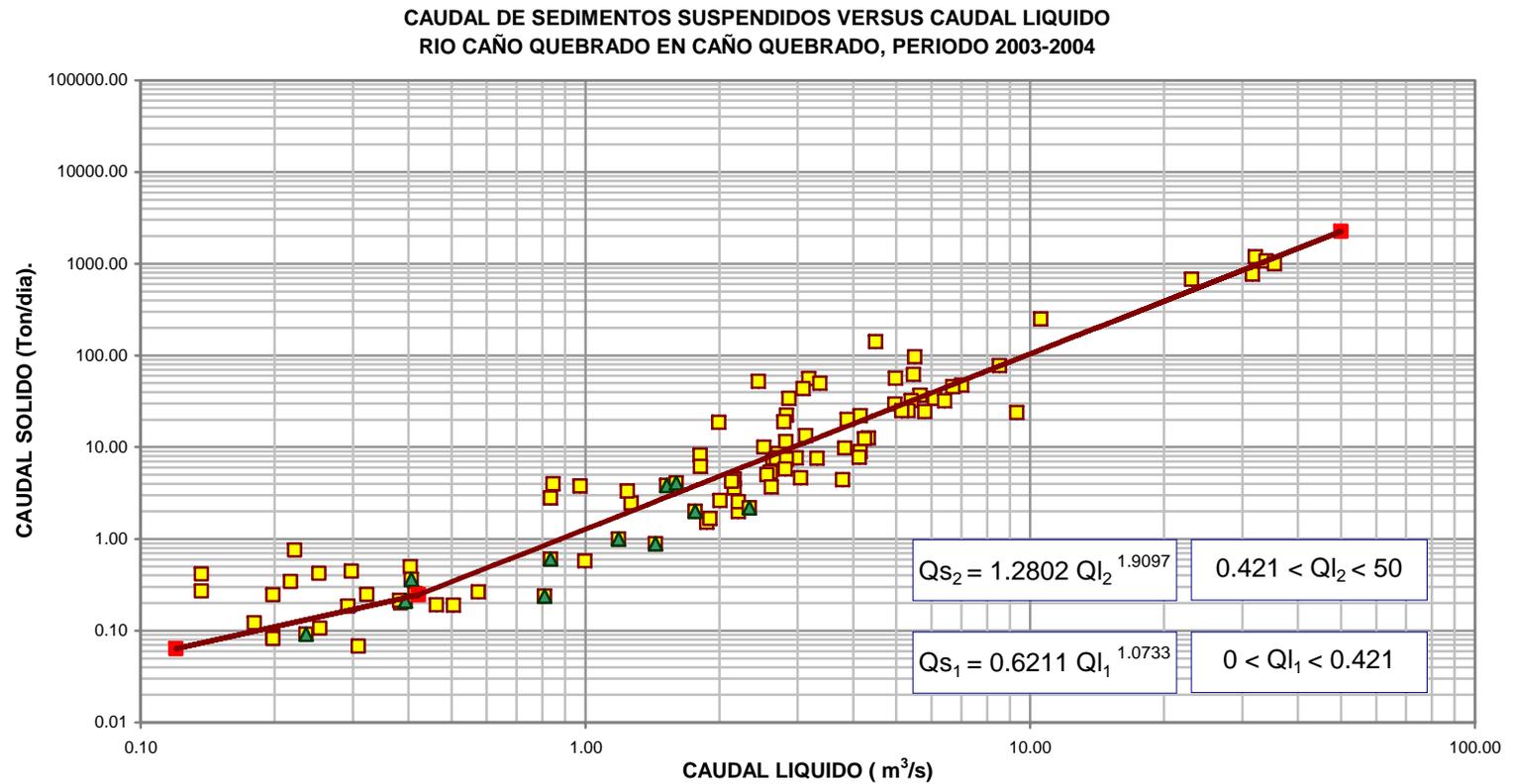


Figura 13

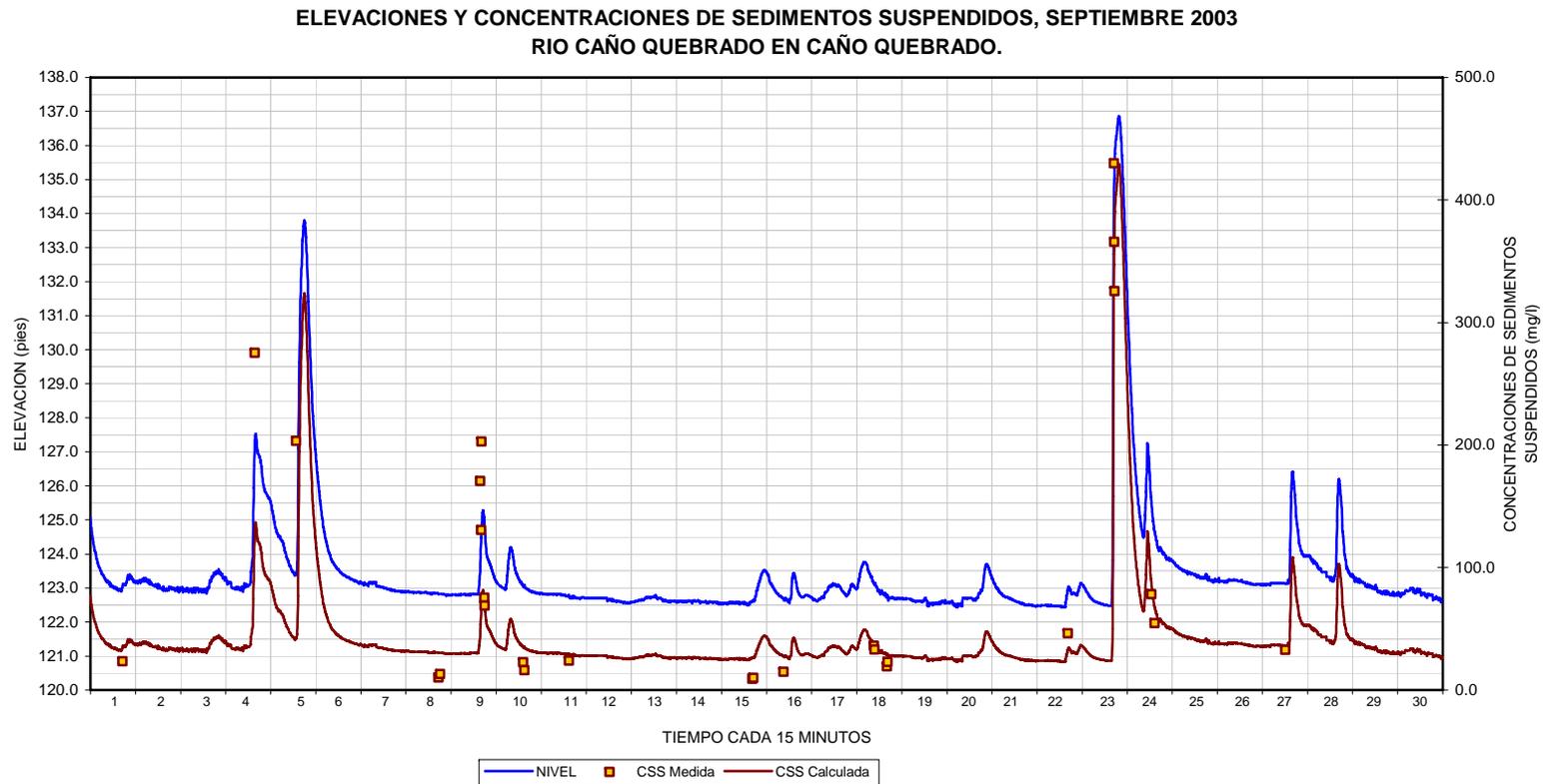
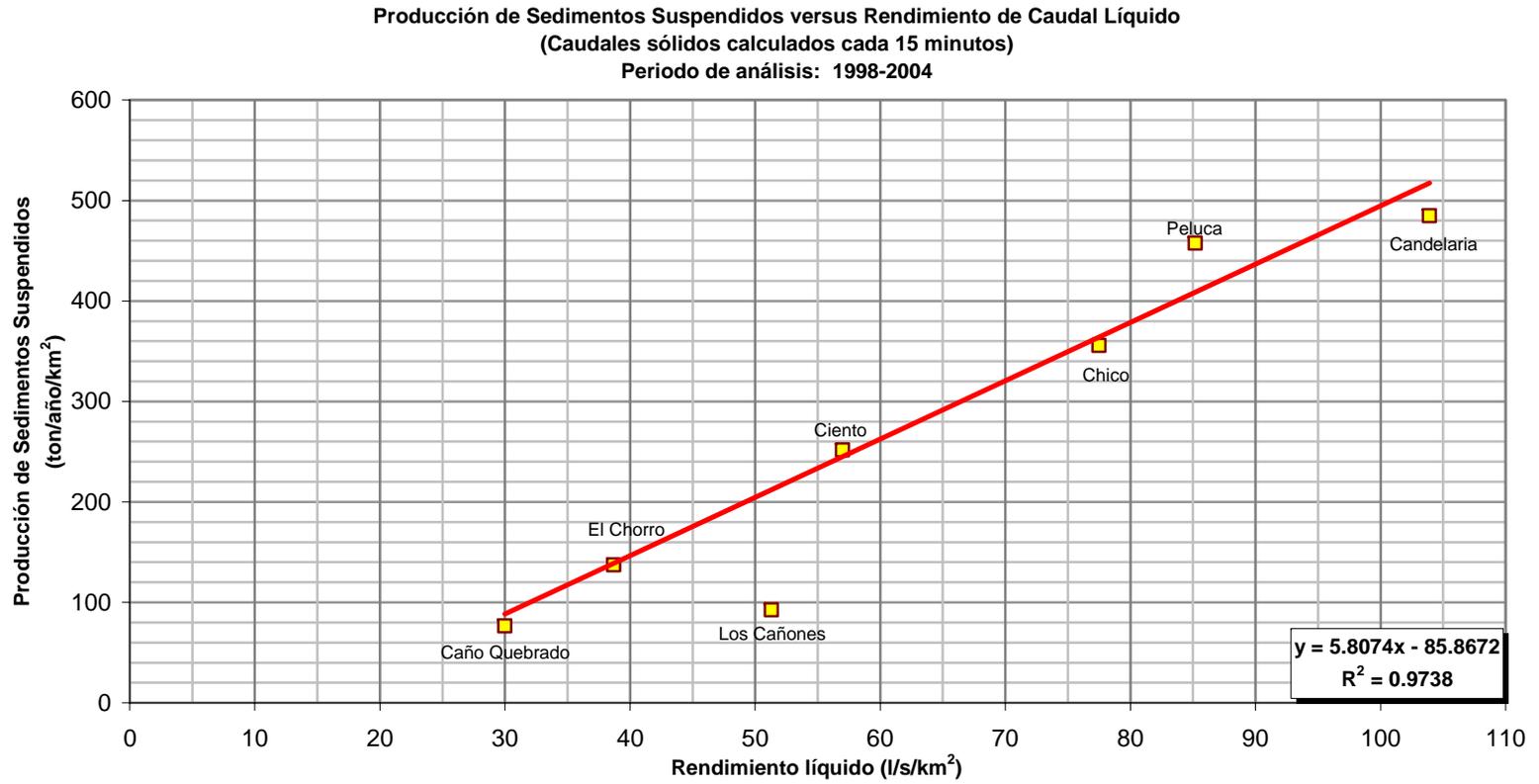


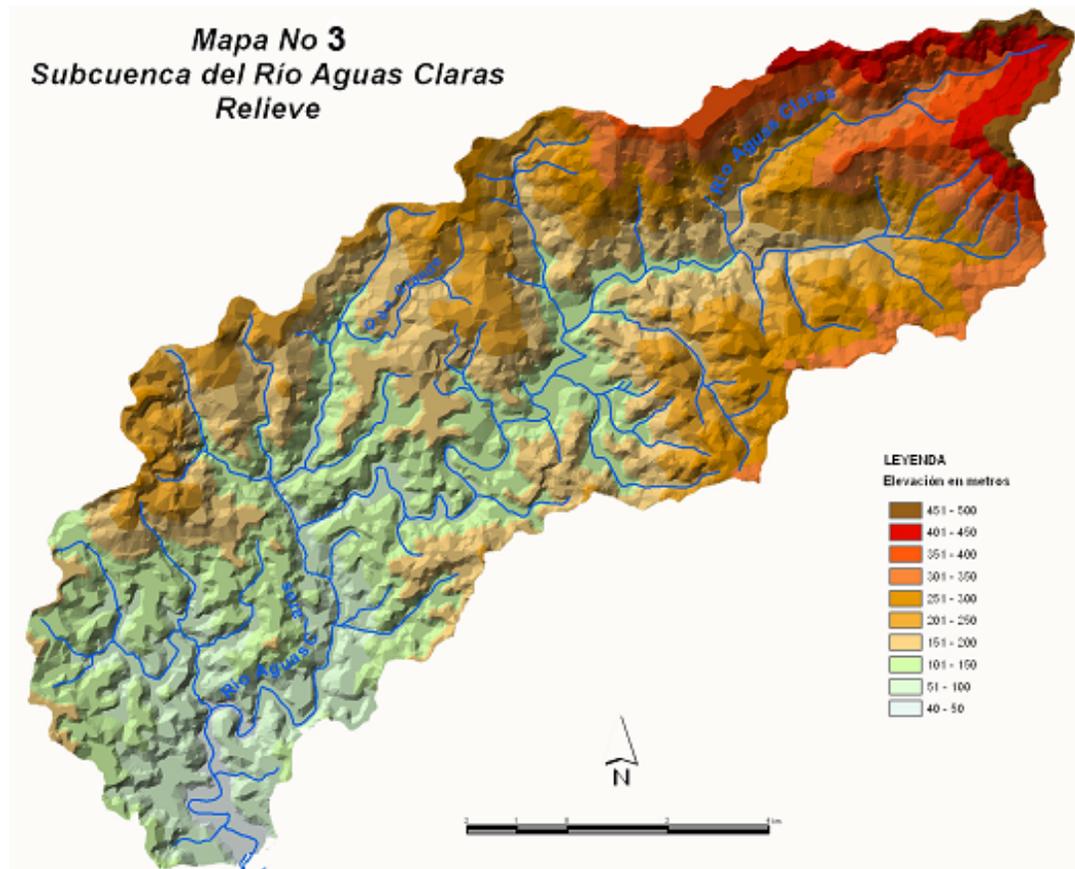
Figura 14



C. Características Físicas de las Subcuencas

Subcuenca del río Aguas Claras

La subcuenca del río Aguas Claras se localiza al norte de la región oriental de la Cuenca del Canal, pertenece al sistema hidrológico del lago Gatún. Ocupa una superficie de 34,56 km². Presenta un relieve de montañas bajas y cerros altos. Su río principal es el Aguas Claras que nace a 440 msnm. y tiene una longitud hasta la desembocadura de 18,72 km con un curso que va de norte a sur. El tipo de drenaje es dendrítico y posee una densidad de drenaje de 2.13 km/km².

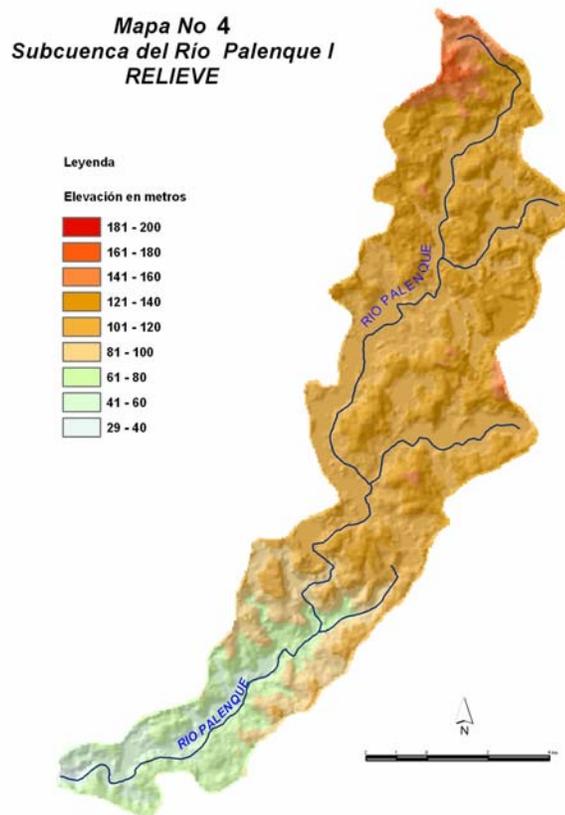


Según el orden de las corrientes, está presenta ordenes de 1 a 5. La relación de bifurcación más alta se encuentra entre los ordenes 1y 2.

Subcuenca del río Aguas Claras		
Orden de la Corriente	Número de Segmentos	Relación de Bifurcación
1	408	
		2.34
2	174	
		1.67
3	104	
		1.55
4	67	
		2.09
5	32	

Subcuenca del río Palenque I

La subcuenca del río Palenque I se encuentra al extremo norte de la región oriental de la Cuenca del Canal y pertenece al sistema hidrológico del lago Gatún. Tiene una superficie de 4,68 km² donde predominan los cerros bajos y colinas. El río Palenque I nace a



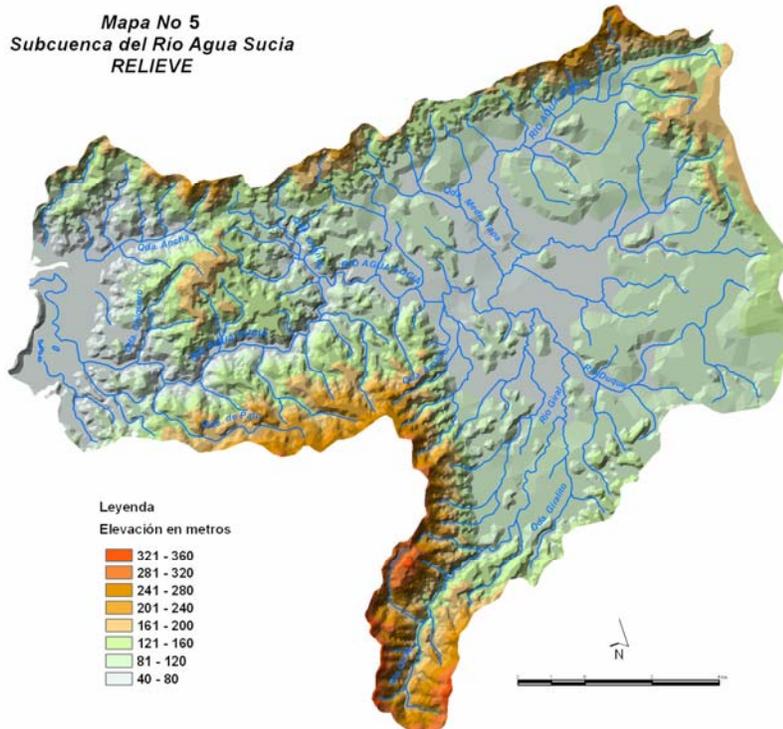
151,55 msnm, desplazándose en dirección norte sur. Su longitud hasta la desembocadura es de 7,49 km. El patrón de drenaje es dendrítico con una densidad de 2.22 km/km².

La subcuenca del río Palenque I presenta ordenes de las corrientes que van de 1 a 5, y la relación de bifurcación más alta se ubica entre los ordenes 2 y 3.

Subcuenca del río Palenque I		
Orden de la Corriente	Número de Segmentos	Relación de Bifurcación
1	252	
		2.1
2	120	
		2.66
3	45	
		2.25
4	20	
		0.34
5	59	

Subcuenca del Río Aguas Sucias

La subcuenca del río Aguas Sucias se ubica al norte de la región oriental de la Cuenca del Canal, y forma parte del sistema hidrológico del lago Gatún. Esta subcuenca se



caracteriza por un relieve de cerros bajos y colinas. Su área de drenaje es de 61.22 km². El cauce principal es el río Aguas Sucias que nace a 165.01 msnm, su longitud hasta la desembocadura es de 19.33 km y corre en dirección noreste. El tipo de drenaje es dendrítico y la densidad del drenaje es de 2.54 km/km².

Esta subcuenca presenta orden de ríos de 1 a 5 con una relación de bifurcación alta entre los ordenes 3 y 4.

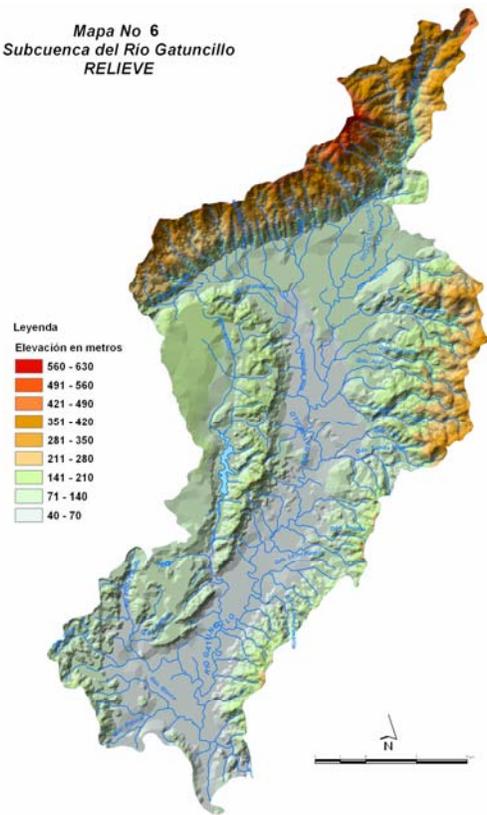
Subcuenca del río Agua Sucia		
Orden de la Corriente	Número de Segmentos	Relación de Bifurcación
1	339	
		2.10
2	161	
		1.64
3	98	
		2.51
4	39	
		0.90
5	43	

Subcuenca del río Gatuncillo

La subcuenca del río Gatuncillo se localiza al noreste de la región oriental de la Cuenca del Canal, formando parte del sistema hidrológico del lago Gatún. Su relieve lo forman cerros bajos, colinas y llanuras en la zona central del curso medio y bajo del río. Las Montañas altas, medias y cerros altos los encontramos en las periferias de la subcuenca principalmente en el curso medio y alto. Su área de drenaje es de 89,51 km². El río principal es el Gatuncillo que nace en la Sierra Maestra a 430,34 msnm. Este fluye en dirección norte sur y tiene una longitud hasta su desembocadura en el río Chagres de 29,04 km. La densidad del drenaje es de 2,58 km/km² y el patrón paralelo.

Esta subcuenca presenta ordenes de 1 a 5 con una mayor relación de bifurcación entre los ordenes 1 y 2.

Mapa No 6
Subcuenca del Río Gatuncillo
RELIEVE

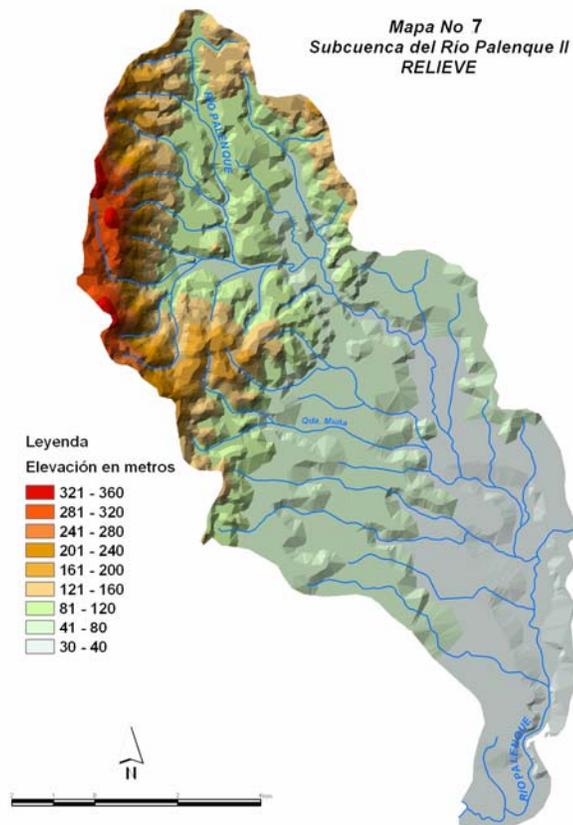


Subcuenca del río Gatuncillo		
Orden de la Corriente	Número de Segmentos	Relación de Bifurcación
1	429	
		2.39
2	179	
		2.03
3	88	
		1.57
4	56	
		0.82
5	68	

Subcuenca del río Palenque II

La subcuenca del río Palenque II está situada al noreste de la región oriental de la Cuenca del Canal. Su área de drenaje es de 18,04 km². Su relieve se caracteriza por Cerros bajos, colinas y llanuras en el curso medio y bajo. Y montañas medias y bajas en el curso alto.

El curso principal es el río Palenque II, que nace a 131.24 msnm y sigue un curso en



dirección norte sur con una longitud de 11,90 km. La densidad de drenaje es de 3.06 km/km²

Esta subcuenca presenta corrientes con ordenes de 1 a 5, con una mayor relación de bifurcación entre los ordenes 3 y 4.

Subcuenca del río Palenque II		
Orden de la Corriente	Número de Segmento	Relación de Bifurcación
1	188	
		2.38
2	79	
		1.79
3	44	
		4.4
4	10	
		0.24
5	41	

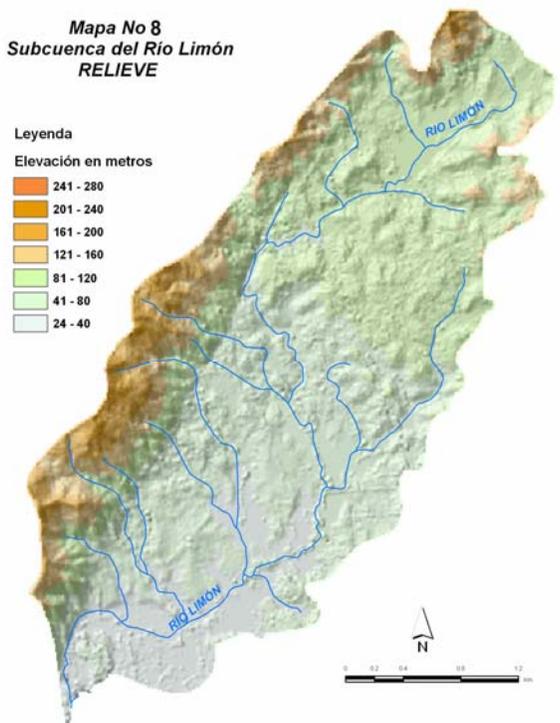
Subcuenca del río Limón

La subcuenca del río Limón se localiza en la parte este de la región oriental. Ocupa una superficie de 9.43 km². El relieve predominante es de colinas y llanuras en la parte este y de Montañas bajas y cerros altos en su extremo oeste desde el curso bajo hasta el curso alto.

El río principal es el Limón, que nace a 97.9 msnm. Este río sigue un curso norte – sur hasta su desembocadura, con una longitud de 7.90 km. Su densidad de drenaje es de 2.44 km/km².

El orden de las corrientes va de 1 a 6, con la mayor relación de bifurcación entre los ordenes 5 y 6.

Mapa No 8
Subcuenca del Río Limón
RELIEVE

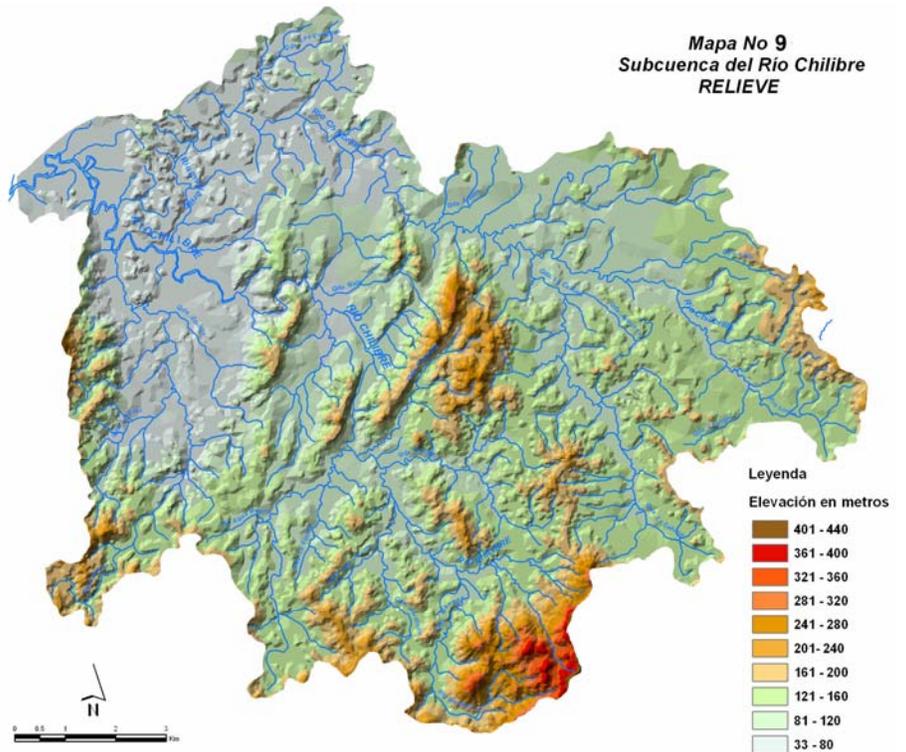


Subcuenca del río Limón		
Orden de las Corrientes	Número de Segmentos	Relación de Bifurcación
1	503	
		1.98
2	253	
		2.45
3	103	
		1.71
4	60	
		1.20
5	50	
		2.63
6	19	

Subcuenca del Río Chilibre

La subcuenca del río Chilibre está ubicada al sureste de la región oriental de la Cuenca del Canal. Presenta un relieve formado por cerros bajos y colinas. Su área de drenaje, hasta la desembocadura, es de 140.84 km². El río principal es el río Chilibre que nace 415 msnm y se desplaza en dirección norte con una longitud total de 26.15 km. Su tipo de drenaje es dendrítico y su densidad es de 2.49 km/km².

Otros cursos de aguas importantes son el río Chilibrillo, Agua Buena y Cabuya, además de las quebradas La Cabima, Pedernal y Quebrada Ancha.



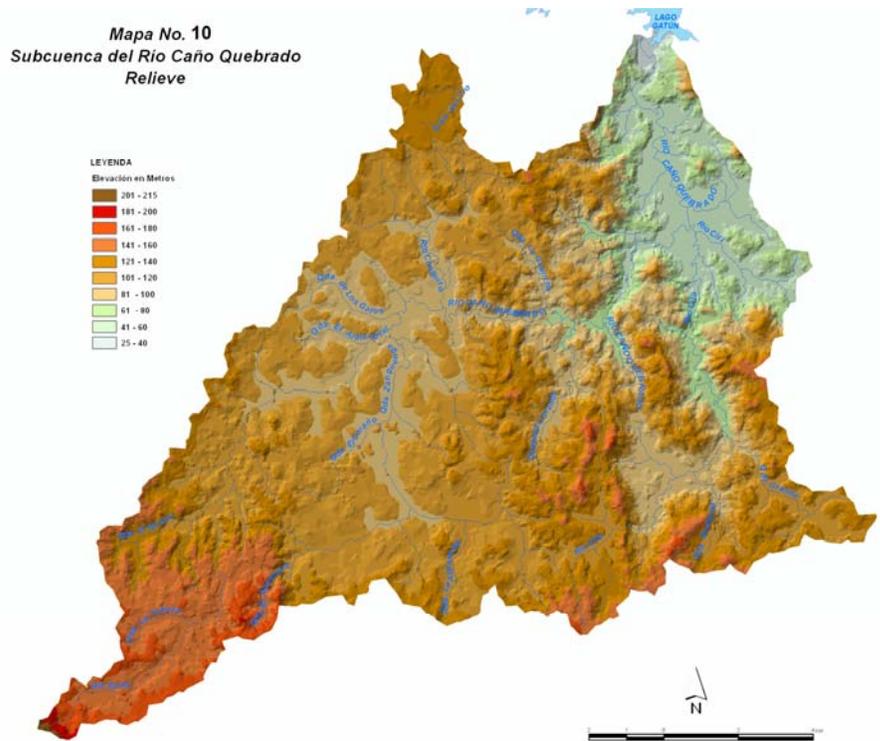
Esta subcuenca presenta ríos de orden del 1 al 6 y la relación de bifurcación más alta la encontramos entre los ordenes 5 y 6.

Subcuenca del río Chilibre		
Orden de la Corriente	Número de Segmentos	Relación de Bifurcación
1	783	
		2.05
2	381	
		2.25
3	169	
		1.32
4	128	
		1.60
5	80	
		10
6	8	

Subcuenca del Río Caño Quebrado

La Subcuenca del Río Caño Quebrado está ubicada en el sector Oeste de la región oriental de la Cuenca del Canal y forma parte del sistema hidrológico del Lago Gatún.

Presenta un relieve formado por cerros bajos y colinas, con elevaciones que van de los 10 msnm a 210 msnm (Mapa 2), con pendientes suaves en el 95% de su superficie y moderadas en el 5% restante. Su área de drenaje, hasta la desembocadura, es de 75.85 km². El río principal es el Caño Quebrado que nace a 166 msnm y se desplaza en dirección noreste con una longitud total de 22.20 km. El tipo de drenaje es dendrítico y su densidad es de 3.18 km/km².



Según el orden de las corrientes (Mapa 4), definido por el método de Strahler (1957), la Subcuenca del Río Caño Quebrado presenta ordenes de 1 al 5. La relación de bifurcación más alta la encontramos entre los ordenes 4 y 5 .

Subcuenca del Río Caño Quebrado		
Orden de la Corriente	Número de Segmentos	Relación de Bifurcación
1	524	
		1.79
2	293	
		2.04
3	143	
		1.41
4	101	
		1.60
5	63	

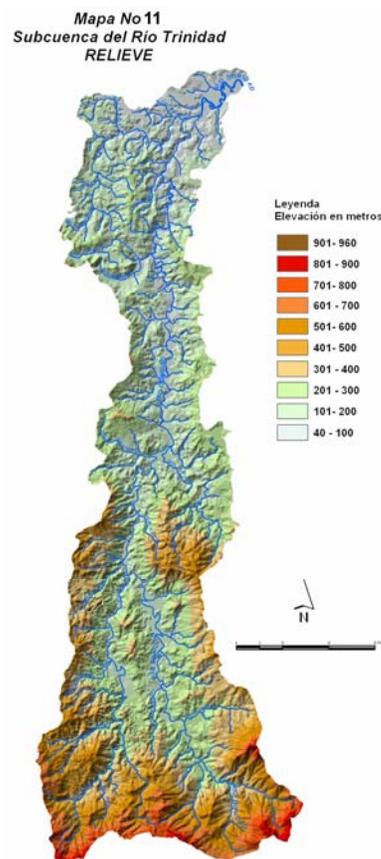
Subcuenca del río Trinidad

La subcuenca del río Trinidad se localiza en el extremo sureste de la región oriental de la Cuenca del Canal. Ocupa una superficie de 198.67 km². Su relieve es de montañas con cerros altos en la mayor parte del curso medio y alto y cerros bajos y colinas en el curso bajo del río.

El río principal es el río Trinidad que nace a 640.00 msnm. se desplaza en dirección sur-norte

Con una longitud hasta su desembocadura de 53.6 km. El patrón de drenaje es de tipo paralelo con una densidad de 1.54 km/km².

Esta subcuenca cuenta con ordenes de 1 a 6, con mayores relaciones de bifurcación entre los ordenes 3 y 4.



Subcuenca del río Trinidad		
Orden de las Corrientes	Número de Segmentos	Relación de Bifurcación
1	1974	
		2.19
2	899	
		1.92
3	468	
		2.38
4	165	
		1.96
5	84	
		0.61
6	136	

V. CONCLUSIONES

Durante el presente período de trabajo tenemos los siguientes avances:

1. Formación del grupo técnico ACP- ANAM para la formulación de la propuesta metodológica del Índice Físico de Integridad (IFI).
2. Revisión y presentación de la propuesta metodológica para el IFI, con énfasis en la revisión y adecuación de cada uno de los parámetros involucrados en su estimación, y de manera particular en la determinación de la relación matemática que permita estimar y extrapolar, con niveles aceptables, la producción de sedimentos en las subcuencas no controladas.
3. Realización de los estudios de factibilidad y giras de campo para la instalación de la estación hidrométrica en el Río Caño Quebrado, concluyéndose su instalación y registrándose datos desde enero del 2003 hasta la fecha.
4. Caracterización física de las subcuencas estudiadas.
5. Establecimiento de un programa regular de medición de caudal (aforo) y toma de muestras de sedimentos suspendidos que permiten la evaluación del recurso hídrico en la subcuenca del Río Caño Quebrado.
6. Determinación de un modelo de correlación lineal simple que permite estimar la producción de sedimentos suspendidos en subcuencas sin control hidrométrico en la región oriental de la CHCP.

VI. BIBLIOGRAFÍA

1. WMO-No. 519, Manual on Stream Gauging Volume I, Fieldwork. (1980)
2. WMO-No. 519, manual on Stream Gauging Volume II, Computation of Discharge. (1980).
3. Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, Manual de Instrucciones de Hidrometría, publicación No. 49.
4. Harold P. Guy and Vernon W. Norman, Field Methods for Measurement of Fluvial Sediment, Techniques of Water-Resources Investigations of The United States Geological Survey (1982).
5. WMO-No. 686, Manual on Operational Methods for the Measurement of Sediment Transport. (1989)
6. George Porterfield, Computation of Fluvial-Sediment Discharge, Techniques of Water-Resources Investigations of The United States Geological Survey