

APENDICE D

USO DE LA TIERRA Y MANEJO DE LA CUENCA

APENDICE D

USO DE LA TIERRA Y MANEJO DE LA CUENCA

Indice

CAPITULO I	USO ACTUAL DE LA TIERRA	D-1
1.1	Geología	D-1
1.2	Uso de la Tierra	D-3
1.2.1	Metodología.....	D-3
1.2.2	Cobertura del Uso de la Tierra	D-4
1.2.3	Uso de la Tierra y Cuencas.....	D-5
1.3	Categorías de Areas Protegidas en el Area de estudio	D-5
CAPITULO II	EROSION	D-7
2.1	Problemas de erosión en el Area de Estudio y Areas Aledañas	D-7
2.2	Control de la Erosión del Proyecto en Desarrollo	D-7
2.2.1	Proyecto Checua - Fase I.....	D-7
2.2.2	Proyecto Checua - Fase II.....	D-8
2.3	Análisis de Escorrentía de Sedimento	D-9
2.3.1	Tipo de Transporte de Sedimento.....	D-9
2.3.2	Cálculo de Acumulación del Sedimento Anual en la Laguna de Fúquene.	D-11

Lista de Tablas

Tabla D.1.1	Tipos de Usos de la Tierra en Varias Cuencas Hídricas	D-T1
-------------	---	------

Lista de Gráficas

Fig. D.1.1	Mapa Geológico del Area de Estudio	D-F1
Fig. D.1.2	Actual Uso de la Tierra en el Area de Estudio.....	D-F2
Fig. D.1.3	Areas Protegidas	D-F3
Fig. D.2.1	Mapa de Riesgos de Erosión.....	D-F4
Fig. D.2.2	Proyecto Checua	D-F6
Fig. D.2.3	Lugares de Muestreo Para la Distribución del Tamaño de Grano	D-F7
Fig. D.2.4	Curva de Acumulación del Tamaño del Grano en el Lecho de los Ríos Ubaté/ Lenguazaque y de la Laguna de Fúquene.....	D-F8
Fig. D.2.5	Descarga Diaria en 1987.....	D-F9

APPENDICE D USO DE LA TIERRA Y MANEJO DE LA CUENCA

CAPITULO I USO ACTUAL DE LA TIERRA

1.1 Geología

El Area de Estudio está compuesta principalmente por rocas sedimentarias, conformando sinclinales y anticlinales de edad Cretácea orientadas de NE - SW. Las rocas más viejas afloran por la parte oriental del Area de Estudio en los alrededores de Cucunubá. La zona de estudio tiene las siguientes formaciones geológicas:

- (1) Formación Simiti (Kis): conformada por lutitas y limonitas negras con areniscas intercaladas con capas delgadas de lutitas. Esta formación está asociada a la formación de suelos ácidos en relieves quebrados.
- (2) Formación Chiquinquirá (Kichi): conformada por capas de areniscas de grano fino y lutitas negras. Esta formación esta asociada con suelos ácidos de fertilidad baja y texturas que varían de fina a media. Los suelos son superficiales, tienen buen drenaje y tienen una permeabilidad baja. En general, los suelos son propensos a la erosión.
- (3) Formación Simijaca (Kss): conformada por lutitas y limonitas con capas delgadas de areniscas. Esta formación genera una morfología, de pendientes suaves con una retención pobre de humedad y ligeramente ácida. Los suelos son más fértiles que aquellos generados en la Formación Chiquinquirá.
- (4) Formación La Frontera (Ksf): se caracteriza por la presencia de limonitas negras o grises con capas de horsteno, lodolitas y arcillolitas negras. Esta forma pendientes suaves y suelos bien drenados de fertilidad media, retención pobre de humedad y permeabilidad baja.
- (5) Formación Conejo (Kscn): Esta formación incluye lodolitas negras y grises con intercalaciones de limonitas micáceas y areniscas. Los suelos son superficiales, bien drenados y ligeramente ácidos con retención pobre de humedad. La fertilidad es media.
- (6) Formación Arenisca Dura (Ksgd): Esta formación está compuesta por areniscas cuarzosas de grano fino intercalados con arcillolitas. Estas generan algunas de las características más sobresalientes del paisaje en la parte occidental del Area de Estudio, como es la Peña de Mobia en el Valle de Simijaca.
- (7) Formación Plaeners (Ksgpl): Esta formación incluye limonitas silíceas grises intercaladas con capas de arcilla. El paisaje formado por la formación tiende a ser suave.
- (8) Formación La Regadera (Tr): Esta formación está compuesta por cuarzos, de grano fino a medio, comúnmente conglomerado con estratificación cruzada.
- (9) Formación Bogotá (Tb) : está compuesta por lodolita abigarrada y arcillita limosa con lentes de arenisca, generalmente friable, abigarrada, de grano fino a medio; con esporádicos lentes de conglomerado arenoso y capas delgadas de carbón de baja calidad.

- (10) Formación Guaduas (Kgt): está compuesta por arcillita limosa y arcillas, abigarradas, intercaladas con arenisca. En la parte inferior hacia la parte media frecuentemente se encuentran estratos de carbón.
- (11) Formación Guadalupe Superior (Ksgs): La parte superior esta compuesta por arenisca cuarzosa, dura a friable, de grano medio a grueso. La parte media tiene limolita cuarzosa, silícea, en capas delgadas; y la parte inferior contiene arenisca cuarzosa, generalmente maciza, de grano medio, gris claro.
- (12) Formación Chipaque (Ksc): está compuesta por arcillolitas grises claras a oscuras con capas delgadas de areniscas de grano fino.
- (13) Formación Guadalupe Inferior (Ksgi): La parte superior contiene arcillita limosa y limolita arcillosa, gris clara a gris oscura; la parte media contiene silícea, caolinitica, gris claro, con capas delgadas de limolita; y la parte inferior tiene arenisca cuarzosa, gris claro.
- (14) Arenisca de El Cacho (Tpc): está compuesta por arenisca cuarzosa, de grano grueso a conglomerado, con intercalaciones de arcillolitas rojizas.
- (15) Miembro Arenisca Tierna (Ksgt): está compuesta por areniscas cuarzosas, blancas, macizas, con intercalaciones de lutitas grises.
- (16) Miembros Arenisca de Labor y Los Pinos (Ksgp): está compuesta por lutitas y limolitas negras con intercalaciones de areniscas de pocos centímetros de espesor.
- (17) Formación Tilata (Qtt): está compuesta por arenisca y arena, de grano fino a grueso, blanzusco a rojizo; conglomerado macizo, arenisca conglomerado y grava.
- (18) Aluvión y Coluvión (Qal): está compuesta por arcilla limosa lacustre y fluvial; depósitos glaciales y terraza de material no consolidada.

La cobertura de las formaciones geológicas se muestra abajo. La formación Aluvión y Coluvión (Qal) tiene la más alta cobertura, 28.8%, en el Area de Estudio, seguida por la formación Chiquinquirá (Kichi) con una cobertura del 20.4%.

S.N.	Código de Formación	Area (km ²)	%
1	Formación Simiti (Kis)	15.07	0.9
2	Formación Chiquinquirá (Kichi)	357.84	20.4
3	Formación Simijaca (Kss)	87.51	5.0
4	Formación La Frontera (Ksf)	13.82	0.8
5	Formación Conejo (Kscn)	151.75	8.7
6	Formación Arenisca Dura (Ksgd)	19.81	1.1
7	Formación Plaeners (Ksgpl)	75.05	4.3
8	Formación La Regadera (Tr)	19.13	1.1
9	Formación Bogotá (Tb)	42.13	2.4
10	Formación Guaduas (Ktg)	140.80	8.0
11	Formación Guadalupe Superior (Ksgs)	135.69	7.7
12	Formación Chipaque (Ksc)	98.01	5.6
13	Formación Guadalupe Inferior (Ksgi)	24.49	1.4
14	Arenisca de El Cacho (Tpc)	24.88	1.4
15	Miembro Arenisca Tierna (Ksgt)	7.00	0.4
16	Miembros Arenisca Labor y Los Pinos (Ksgp)	5.51	0.3
17	Formación Tilata (Qtt)	5.62	0.3
18	Aluvión y Coluvión (Qal)	504.07	28.8
19	Laguna	23.82	1.4
Total		1752.00	100.0

La localización de las formaciones geológicas se presenta en la Fig.D.1.1

1.2 Uso de la Tierra

1.2.1 Metodología

Dos (2) mapas están disponibles para el Area de Estudio, un de uso de la tierra y el otro de clasificación de grados de erosión.

El primero fue publicado en el año de 1985, y cubre todo el área administrada por la CAR a una escala de 1:250,000. El uso de la tierra en ese mapa se clasifica en las siguientes siete (7) categorías.

- (1) Zonas de vegetación natural o artificial: Bosque primario y/o secundario, en más del 90 % del área.
- (2) Matorrales y Rastrojo: Caracterizada por vegetación de tipo arbustiva y/o herbácea.
- (3) Pastos en Areas Planas: Existen canales de agua como fuentes de suministro para los pastos. Este es el principal factor distintivo de los pastos de zonas inclinadas.
- (4) Pastos en Laderas: El sistema de riego no existe en esta categoría..
- (5) Zona Agrícola. La tierra que tiene un área mayor utilizada para la producción agrícola.
- (6) Cultivos y Pastos: Tierra en donde las dos actividades: producción agrícola y siembra de pastos se llevan a cabo conjuntamente.
- (7) Zona Urbana: comprende los asentamientos permanentes densamente habitados.

El segundo es el mapa de clasificación de los grados de erosión preparado por el Proyecto Checua entre 1990 y 1993. El mapa que cubre la parte central del área de Estudio (equivalente a un 60% del Area de Estudio) está clasificado en 12 zonas, teniendo en cuenta las condiciones de erosión como se muestra a continuación:

- (1) Zona de Bosque Primario
- (2) Zona de malezas con vegetación (en su mayoría cubierta de pastos)
- (3) Zona de rotación agrícola (pastos y cultivos transitorios) con vegetación escasa con un cubrimiento en un 10%
- (4) Zona fuera de rotación agrícola con pastos entre 30-70%
- (5) Zona de rotación agrícola mixta con un 70% de tierra de pastos
- (6) Zona de pastos mixtos con un 70% de rotación agrícola
- (7) Zona fuera de uso agrícola intersectada en un 70%, zona crítica (cóncava, surcos y zanjas profundas)
- (8) Zona carente de rastrojo pero con 30% de vegetación en cerco de setos (vegetación boscosa diferente a la plantada)
- (9) Zona de rotación agrícola intersectada en un 70% , zona crítica (cóncava, surcos y zanjas profundas)
- (10) Zona de área crítica (cóncava, surcos y zanjas profundas) intersectada en un 70% de zonas de rotación agrícola
- (11) Zona crítica (cóncava, surcos y zanjas profundas)
- (12) Zona de tierras planas (en su mayoría con pastos)

El segundo mapa es comparativamente nuevo y no se identificaron diferencias entre el mapa y la condición de tierra actual. Se considera que éste mapa muestra la actual condición de los grados de erosión.

Sin embargo, el primer mapa es viejo y algunos usos de la tierra ya son diferentes en la actualidad. Entonces, este mapa fue actualizado en las partes no cubiertas por el segundo mapa tanto en la parte superior (sur) e inferior (norte) del Area de Estudio utilizando para el efecto los siguientes elementos: (a) fotos aéreas del periodo 1993 a 1997, con escala de 1:28,000 a 1:44,000; (b) imágenes de satélite del Landsat 5 TM, adquirido el 14 de febrero de 1995 con la combinación de 5: 4: 3 (R: G: B); y (c) reconocimiento de campo.

Finalmente, fue preparado un mapa actual de uso de la tierra integrado para el Area de Estudio teniendo en cuenta el primer mapa actualizado y el segundo mapa.

1.2.2 Cobertura del Uso de la Tierra

El uso de la tierra actualizado por área y categoría en el Area de Estudio se muestra abajo. Se puede ver claramente que el área ocupada por bosques cubre solamente 5.6% del área total estudiada, mientras que el 53% de la tierra esta ocupada por rotación agrícola.

Categoría	Area (km ²)	(%)
Bosque Primario y/o Secundario	96.82	5.6
Rastrojos y Matorrales	72.66	4.1
Pastos en áreas Planas	300.71	17.2
Pastos en laderas	313.77	17.9
Tierra de Rotación Agrícola	929.14	53.0
Lago	29.81	1.7
Area Urbana	9.09	0.5
Total	1752.00	100.0

1.2.3 Uso de la Tierra y Cuencas

En la Tabla D.1.1 se presenta la comparación de los tipos de uso actual de la tierra en varias cuencas. De la tabla se deduce una baja cobertura de bosques en todas las cuencas, teniendo Simijaca la mas alta cobertura boscosa (12.1%) comparada con todas las otras cuencas. Por otro lado, la cobertura agrícola es muy alta llegando a un 80.8% en la cuenca del Río Chiquinquirá. El uso de tierra actual y el límite de la cuenca para el Area de Estudio se presenta en la Fig.D.1.2

1.3 Categorías de Areas Protegidas en el Area de Estudio

En Colombia, la tierra o sus recursos naturales renovables están reservados para organizar o facilitar el servicio público y para el desarrollo de programas de restauración del medio ambiente.

Dentro de las categorías de áreas protegidas, en el área de estudio se encuentran: (1) Areas de Reserva Forestal y (2) Areas de Manejo Especial (Distritos de Manejo Integrado).

(1) Zonas de Reserva Forestal

Son áreas de propiedad privada o pública destinadas al mantenimiento o recuperación de la vegetación nativa protectora. Se clasifican en (a) Areas Forestales Protectoras y (b) Areas Forestales Protectoras-Productoras.

(a) Areas Forestales Protectoras

Su finalidad exclusiva es la protección de suelos, aguas, fauna, flora, la diversidad biológica, los recursos genéticos u otros recursos naturales renovables. Dentro de los usos prohibidos se encuentran los agropecuarios, industriales, urbanísticos, la minería y actividades como la tala, quemas, caza y pesca.

(b) Areas Forestales Protectoras - Productoras

Su finalidad es proteger los suelos y demás recursos naturales; pero la zona puede ser objeto de usos productivos, sujetos al mantenimiento del efecto protector. Las actividades ya mencionadas en el numeral (a) también están prohibidas.

(2) Distritos de Manejo Integrado

Son áreas de protección y reserva que, con base en criterios de desarrollo sostenible,

permiten ordenar, planificar y regular el uso y manejo de los recursos naturales renovables y las actividades económicas que allí se desarrollan. En estas áreas se prohíbe el uso de la ganadería y la agricultura mecanizada, la recreación masiva, parcelaciones con fines de construcción de vivienda campestre, la minería y la extracción de materiales para la construcción.

En el Area de Estudio hay cuatro (4) zonas declaradas de reserva y una (1) en proceso de ser declarada zona de reserva, según se enumera abajo. (ver fig. D.1.3).

Nombre	Cuenca	Municipio	Area (ha.)	Categoría	Resolución
El Robledal	Laguna Fúquene	Guachetá y Raquira	400	Area de Reserva Forestal Protectora	Res. 64 del 31-03-82
Páramo de Rabanal	Laguna Fúquene	Guachetá – Ráquira y Lenguzaque	2,681	Area de Reserva Forestal Protectora	Res. 158 del 30-12-92
Juaitoque	Laguna de Cucunuba	Cucunubá	400	Distrito de Manejo Integrado	Acuerdo 01 del 01-21-98
Páramo de Telecom y Merchan	R. Suárez	Saboyá	1,857	Area de Reserva Forestal Protectora	Acuerdo 15 de 1999
Páramo de Guerrero, Guargua y Laguna Verde	R. Bogotá y Laguna Fúquene	Tausa, Carmen de Carupa, Cogua y Zipaquirá	23,573	Distrito de Manejo Integrado	En proceso de declaración

CAPITULO II EROSION

2.1 Problemas de Erosión en el Area de Estudio y Areas Aledañas

La CAR analizó las potenciales áreas de erosión severa en su jurisdicción a comienzos de los años ochenta. La siguiente tabla muestra las 7 clases de erosión (Fig.D.2.1).

- (1) Erosión nula
- (2) Erosión Pluvial (por caída de lluvia)
- (3) Erosión por escurrimiento sub-superficial
- (4) Erosión por escurrimiento superficial (erosión por desprendimiento)
- (5) Erosión por remociones en masa (movimientos o desprendimientos masivos de tierras)
- (6) Erosión por disolución química (acción de las aguas de infiltración en rocas carbonatadas)
- (7) Afloramientos rocosos bajo diferentes procesos erosivos

Cada clase de erosión muestra el cálculo de degradación de los suelos (grado de erosión y suministro de sedimentos) y las características del medio físico (litología y suelos, topografía o relieve, clima y cobertura vegetal).

En general, fuera de estas clases de erosión: (4) por escurrimiento superficial y (5) por movimiento en masa existe la posibilidad de arrastre masivo de sedimentos y el transporte de este a áreas aguas abajo. En el Area de Estudio se encontraron áreas seriamente amenazadas por la erosión por escurrimiento superficial. Estas áreas se encontraron aguas arriba del Río Ubate, Q. Bautista, aguas arriba del Río Lenguazaque, Q. Mina/Q. Honda, estos sedimentos son descargados a la Laguna de Fúquene y a otros ríos que posteriormente desembocan a la Laguna Cucunubá. Además, se encontraron áreas de erosión severa ocasionada por escurrimiento superficial a lo largo del Río Susa, cuyo flujo descarga aguas debajo de la Laguna de Fúquene

En las áreas vecinas, ubicadas aguas arriba del Río Checua, en el afluente izquierdo del Río Bogotá se encontraron áreas con alta susceptibilidad a la erosión por escurrimiento superficial.

2.2 Control de la Erosión del Proyecto en Desarrollo

2.2.1 Proyecto Checua - Fase I

En 1982 la CAR inició este proyecto con el fin de controlar la erosión generada aguas arriba del Río Checua (Valle de Nemocón), el cual había afectado los canales de irrigación del Río Bogotá y el abastecimiento de agua para Santafé de Bogotá tomada del Río Bogotá. La erosión se vio influenciada por factores humanos, con su inadecuada explotación agropecuaria y minera disparó un proceso erosivo que se vio favorecido por las condiciones naturales de la cuenca.

A finales de 1984 se acordó que GTZ y KfW darían ayuda técnica y financiera a la CAR para montar el Proyecto Checua. Los trabajos se concentraron en la recuperación de 17.000 has. de zonas erosionadas del proyecto. Los trabajos iniciales del proyecto se concentraron en la necesidad de estabilizar la cuenca mediante principios básicos como la disminución de la velocidad del agua y el aumento de la capacidad de retención, con el objeto de generar condiciones más favorables para el establecimiento de una vegetación protectora y permanente. Entre estas obras se construyeron diques, pocetas, muros, banquetas y siembra de árboles con especies nativas, los cuales se efectuaron con la participación de la población campesina. Sumado a lo anterior, a los agricultores se les dio asistencia social integral y agrícola.

Debido a los buenos resultados de la fase I, la influencia del proyecto se extendió en el año de 1989 a las cuencas de los ríos Suta (11,200 ha.), Ubaté (22,800 ha.) y Laguna de Cucunubá (9,200 ha.), cubriendo un área total de 43.200 ha. El Proyecto Checua fase I terminó de manera exitosa en 1995. El siguiente cuadro resume los trabajos del proyecto tanto en la Fase I como en la Fase II (Fig. D.2.2)

Etapa	Trabajos Estructurales				Vegetación	
	Banquetas (km)	Pocetas (miles m ³)	Muros Revisar Embalse (m ³)	Trinchos (m ³)	Siembra Semillas (Miles hoyos)	Plantación (Miles)
Stage I	2,620	1,605	5,416	36,479	4,134	5,212
Stage II	8,129	584	46	0	1,020	201
Total	10,749	2,189	5,462	36,479	5,154	5,413

2.2.2 Proyecto Checua - Fase II

El mayor desarrollo de las actividades produjo la extensión del proyecto Checua II en 1995 y se planeó completarlo en 2004. El cubrimiento actual es de 125.000 hectáreas, incluyendo los municipios de Simijaca, Susa, Fúquene, Guachetá, Ráquira, Ubaté, San Miguel de Sema, Lenguazaque y Carmen de Carupa.

Durante esta Fase se realizó el mapa de clasificación del uso de la tierra, en donde se delimitaron las áreas más susceptibles a la erosión, como se menciona en la Sección 1.2 sobre Uso de la Tierra. Luego, identificando la causa de esa lamentable condición en una ubicación particular, se extendió la ayuda técnica y económica para controlar la erosión del suelo en dos formas, por ejemplo, curativa y preventiva. Este proyecto se considera muy exitoso en este aspecto. A continuación se presenta la siguiente tabla que muestra los trabajos ejecutados (1996-1998) y planeados para 1999.

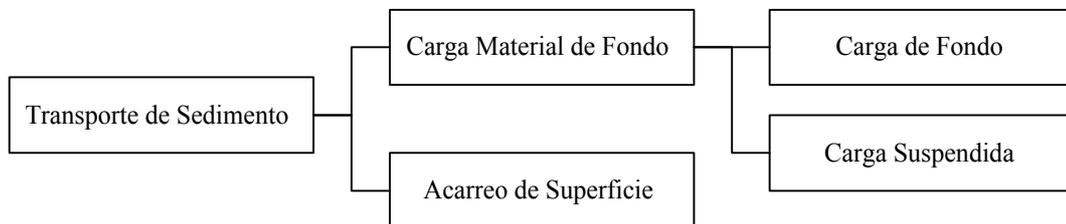
Año	Trabajos Estructurales			Vegetación	
	Banquetas (km)	Pocetas (m ³)	Reservorios (m ³)	Siembra Semillas (Miles hoyos)	Plantación (Miles)
1996	1,470	24,000	-	2,115,000	125,000
1997	920	20,085	204,250	1,300,000	110,000
1998	328		308,500	-	195,000
1999	190		90,000		

2.3 Análisis de Escorrentía de Sedimento

2.3.1 Tipo de Transporte de Sedimento

Los sedimentos fluviales en tránsito están clasificados como carga material de fondo y acarreo de superficie de acuerdo con su origen. La carga material de fondo también se clasifica como carga suspendida de acuerdo con sus mecanismos de transporte. Como resultado, todos los sedimentos que se encuentran en tránsito a través de inundaciones se clasifican en tres (3) componentes, así: carga de fondo, carga material de fondo suspendida (en adelante llamada “carga suspendida”) y acarreo de superficie.

El transporte de sedimentos depositados en la Laguna de Fúquene se clasifica en tres (3) categorías: El volumen de sedimento de los tres (3) componentes anteriores se calcula según lo descrito a continuación.



(1) Carga de Fondo

La carga de fondo es transportada hacia abajo por rodamiento o por deslizamiento sobre la superficie del lecho del río. El modo real de movimiento varía dependiendo de la tasa de transporte determinada por el balance de esfuerzo cortante del caudal de avenida y la fuerza de corte crítica del grano mismo.

Hasta este momento, las ecuaciones de carga de fondo han sido propuestas en base a los exámenes analíticos de dimensión e información experimental. Entre ellas, las ecuaciones de Sato, Kikkawa & Ashida empleadas en este estudio ya que esta ecuación se aplica en una gran cantidad de taludes de lechos de río desde un lecho escarpado de abanico aluvial hasta un lecho suave de planicie de inundación. La ecuación se muestra a continuación.

$$q_{Bi} = f(d_i) U_*^3 / (\sigma / \rho - 1) g_* \quad * F(\tau_o / \tau_{ci})$$

Donde q_{Bi} es la escorrentía del sedimento por unidad del ancho del río por la unidad de tiempo por tamaño de partícula d_i de sedimento, σ es la densidad de la partícula de sedimento, g es la aceleración gravitacional, d_i es la densidad del agua, τ_o es el esfuerzo cortante crítico del caudal para sedimentos importantes en tamaño de mezclas de gravilla, τ_{ci} es el esfuerzo cortante crítico del caudal para partículas de sedimento de tamaño d_i , U_* es la velocidad de corte y $f(d_i)$ es la proporción de tamaño d_i de partículas del sedimento en mezcla de gravilla y $F(\tau_o / \tau_{ci})$ es función de τ_o / τ_{ci} .

En relación con la velocidad de corte para tamaños importantes de partículas de

sedimentos, se utiliza la ecuación de Iwagaki. La ecuación es formulada para un lecho uniforme con un tamaño principal (d) de mezcla de grava como se expresa a continuación.

$$\begin{aligned}
 d \geq 0.303 \text{ cm} & : U_*c^2 = 80.9 d \\
 0.118 \leq d < 0.303 \text{ cm} & : U_*c^2 = 134.6 d^{31/22} \\
 0.0565 \leq d < 0.118 \text{ cm} & : U_*c^2 = 55.0 d \\
 0.0065 \leq d < 0.0565 \text{ cm} & : U_*c^2 = 8.41 d^{11/32} \\
 d < 0.0065 \text{ cm} & : U_*c^2 = 226 d
 \end{aligned}$$

Sobre el lecho de grava mixta, las partículas de mayor tamaño se mueven fácilmente porque están expuestas al flujo del agua sobre la superficie del lecho. Por lo tanto, la ecuación modificada de Egiazaroff se utiliza para calcular el esfuerzo cortante crítico de partículas individuales sobre el lecho de mezcla de grava después del cálculo de la velocidad de corte U_*c^2 para el diámetro principal mediante la utilización de la ecuación de Iwagaki. La ecuación se muestra a continuación.

$$\begin{aligned}
 d_i/d_m \geq 0.4 : \quad \tau_{*ci} &= \tau_{*cm} \left\{ \log_{10} 19 / \log_{10} (19 \times d_i/d_m) \right\}^2 (d_i/d_m) \\
 d_i/d_m < 0.4 : \quad \tau_{*ci} &= 0.85 \tau_{*cm}
 \end{aligned}$$

Donde d_i es el diámetro de las partículas individuales de mezcla de grava, d_m significa el diámetro de mezcla de grava, τ_{*ci} es el esfuerzo cortante crítico no dimensional de la partícula con un diámetro (d_i), τ_{*cm} es el esfuerzo cortante no dimensional de la partícula con un diámetro principal (d_m) [$\tau_{*cm} = U_*c^2 / \{(\sigma/\rho - 1)gd\}$]

(2) Carga Suspendida

La carga suspendida se transporta hacia abajo, flotando en las aguas del río. Esta no hace contacto con el lecho del río todo el tiempo. Su fuerza de sedimentación es menor que el componente superior de fuerza de turbulencia del agua del río. El tamaño de la carga suspendida está en un rango mas alto que la carga de lavado. Esta incluye la arena del curso del río.

La ecuación de Ashida y Michiue se adopta por la misma razón mencionada anteriormente. La ecuación se menciona a continuación:

$$Q_s = f(d_i) C_B \left[\left\{ 1 + U_* / (\kappa U_0) \right\}^{\Lambda_1 + \Lambda_2} U_* / (\kappa U_0) \right] Q$$

$$\text{Aquí, } \Lambda_1 = \left\{ a / (h-a) \right\}^z \int_{a/h}^1 \left\{ (1/\eta) - 1 \right\}^z d\eta$$

$$\Lambda_2 = \left\{ a / (h-a) \right\}^z \int_{a/h}^1 \ln \eta \left\{ (1/\eta) - 1 \right\}^z d\eta$$

$$\eta = Z/h$$

$$Z = w_0 / (1.2 \kappa U_*)$$

Donde Q_s es la descarga de sedimento por tiempo, C_B es la concentración de sedimento a una altura de $[a]$ sobre la superficie del lecho y la función κ es la constante Karman, Λ_1 y Λ_2 son parámetros de concentración de distribución, h es la profundidad del flujo y w_0 es la velocidad final de asentamiento de las partículas de sedimento.

(3) Carga Lavada

La carga lavada es mas fina en tamaño comparada con la carga suspendida. En la Cuenca de la Laguna de Fúquene la carga lavada se erosiona en las zonas montañosas que no se hallan cubiertas de vegetación y se deposita en la Laguna de Fúquene después del transporte sin que haya deposición sobre los lechos de los ríos.

En vista del mecanismo de transporte, la carga lavada del material del lecho no se puede calcular a partir del procedimiento de transporte, pero en general la carga lavada se puede expresar como sigue:

$$Q_w = \alpha Q$$

Donde, Q_w es la carga lavada por tiempo y tanto α como β son constantes las cuales deberían ser determinadas a partir de la observación del campo.

2.3.2 Cálculo de Acumulación del Sedimento Anual en la Laguna de Fúquene.

(1) Distribución del tamaño del grano

El estudio del material del lecho incluyendo muestreo y pruebas de laboratorio se llevó a cabo en dos(2) puntos en el Río Ubaté (QR-1, QR-3), un (1) punto en el Río Lenguazaque (QR-2), y cuatro (4) puntos en la Laguna de Fúquene (QL-1, QL-2, QL-3 y QL-4) tal como se muestra en la figura D.2.3

La curva de acumulación del tamaño de grano de estos puntos se muestra en la Fig. D.2.4 de lo cual se puede concluir los siguiente:

En los dos puntos del río Ubaté, la arena ocupa casi el 83% y los materiales restantes del lecho del río están compuestos de limo. En el Río Lenguazaque, el tamaño del grano es mas fino que el del Río Ubaté y el componente de arena ocupa el 75%. De la distribución del tamaño del grano en el Río Ubaté, el tamaño de la carga lavada se puede definir como mas fina que 0.04 mm lo cual representa menos del 10% en el lecho del río.

En la Laguna de Fúquene en los dos (2) puntos cerca de el Río Ubaté, el componente de carga lavada es menor al 30% y el de arena ocupa más del 70%. En el desagüe de la Laguna de Fúquene y al este de la Isla Santuario el tamaño del grano es mas fino y el componente de la carga lavada ocupa el 40% y el 60% respectivamente. A juzgar por el tamaño del grano de los materiales del lecho de la laguna, el sedimento transportado por la carga suspendida y del lecho, es un componente importante de los sedimentos de la Laguna como también del componente de carga lavada.

(2) Observación del Sedimento y Ecuación Carga Lavada

La continua observación del sedimento (concentración SS y su tamaño de grano) fue llevada a cabo por el Equipo de Estudio los días 12 y 13 de mayo de 1999 en el punto QR-3 (El Colorado). Los resultados de la observación se tabulan a continuación. Basados en estos resultados se establece la siguiente ecuación para carga de lavado asumiendo que la constante β es 2.0 y la densidad de partículas como 2.6 g/cm³.

$$Q_w = 4.7192 \times 10^{-6} Q^2$$

Fecha	Tiempo	Descarga (m ³ /s)	SS Concentración (mg/L)	Porcentaje de grano entre 0.038 mm y 0.4 mm
05/12/1999	13:10	1.43	20	
	15:20		22	
	18:07	1.58	21	
	19:07		22	100
	20:07		24	
	21:07		19	100
	05/13/1999	05:00		37
07:00			37	
09:00			38	26.3
11:00		(1.63)*	33	
13:00			47	
14:20			14	
15:46			47	
	16:11		32	

Nota : descarga en mayo 13 12:00

(3) Promedio Anual del Volumen de Sedimentación en la Laguna de Fúquene.

(a) Descarga Diaria en Promedio Hidrológico Anual

El promedio hidrológico anual necesita ser seleccionado para calcular el volumen promedio anual de sedimentación en la Laguna de Fúquene. El promedio hidrológico anual se determina de la descarga media principal. Fig. D.2.5 muestra una serie de descarga media anual de 18 años desde 1967 a 1988 excluyendo cuatro (4) años desde 1979 hasta 1982. Falta mucha información al respecto.

De las series de la descarga media anual, año 1987, se selecciona el promedio hidrológico anual.

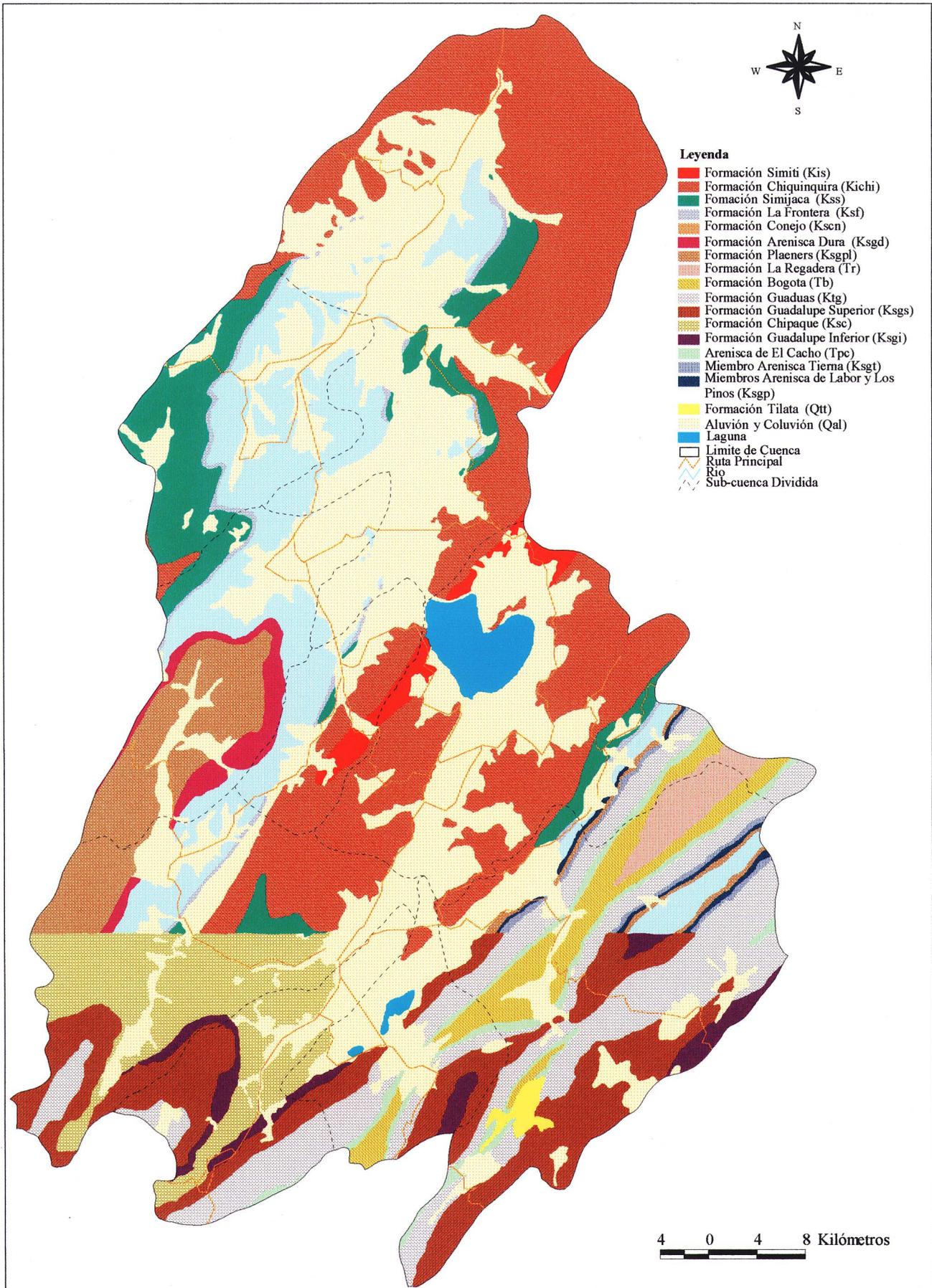
(b) Sedimento Anual de Escorrentía en el punto QR-3

La escorrentía anual de sedimento en el punto QR-3 se obtiene primeramente de las ecuaciones de carga de cabecera, carga suspendida, y carga de lavado ya mencionada, dando 365 de descarga diaria en 1987, como se muestra en la Fig. D.2.5. El promedio de escorrentía anual de sedimento en QR-3 da un total de 11.699 m³, así: carga de cabecera de 11 m³, carga suspendida de 8.048 m³ y carga de lavado de 3.640 m³.

(c) Promedio Anual de Volumen de Sedimentación en la Laguna de Fúquene

Podría decirse que la mayoría de la escorrentía de sedimento en QR-3 fluye y se deposita en la Laguna, juzgando por la corta distancia entre QR-3 y la Laguna y el pequeño tamaño del grano mencionado anteriormente. Más aún, el sedimento es transportado desde la cuenca restante 269.8 Km. además de la cuenca del Río Ubaté (área de la cuenca: 722.4 Km²) y su escorrentía de sedimento podría ser calculada en proporción al área de captación de la cuenca restante hasta la cuenca del Río Ubaté.

El promedio anual de escorrentía de sedimento en la Laguna es de 16,068 m³, lo que equivale a 1.37 veces en el punto QR-3, y un promedio anual de profundidad de deposición calculada en 1.6 mm utilizando un área de sedimentación de 3.000 ha. (un promedio de agua superficial de 1940 y 1999) y una porosidad de 0.67, la cual se calcula del contenido del agua medida en 4 puntos en la Laguna.



EL ESTUDIO SOBRE
 PLAN DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL REGIONAL
 PARA LA CUENCA DE LA LAGUNA DE FUQUENE

Fig. D.1.1 Mapa Geológico del Area de Estudio

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)