

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

"ESTUDIO MORFOMETRICO DE LA CUENCA DEL RIO MADRE VIEJA

HASTA LA ESTACION PALMIRA"

T E S I S

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD
DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

P O R:

"CRUZ ARNOLDO MORALES MONZON"

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO:

"INGENIERO AGRONOMO"

EN EL GRADO ACADEMICO DE:

"LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS"

Guatemala, noviembre de 1979.

TESIS DE REFERENCIA

NO

**SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA
BIBLIOTECA CENTRAL - USAC.**

R
01
T(392)

Guatemala, 13 noviembre 1979

Dr. Antonio Sandoval
Decano de la Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Guatemala, Ciudad

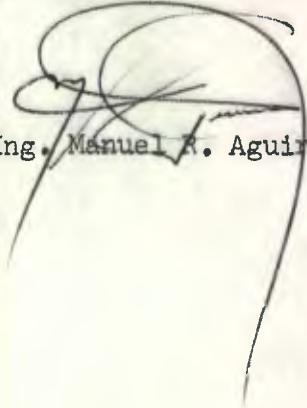
Señor Decano:

Por medio de la presente, informo a usted en base a la designación que se me hiciera para Asesorar al Br. Cruz Arnoldo Morales M., en relación a su trabajo de Tesis, titulado: -- "ESTUDIO MORFOMETRICO DE LA CUENCA DEL RIO MADRE VIEJA HASTA LA ESTACION PALMIRA".

El trabajo antes indicado, ha sido realizado en forma satisfactoria y considero que el mismo, tanto en metodología como en su contenido, constituye un aporte al conocimiento detallado de los Recursos Naturales del país, así como de la influencia de diversos factores en el detrimento de los mismos.

Tomando en cuenta lo anterior, considero que el mismo reúne las condiciones para su aprobación como tesis profesional, requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en el grado Académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



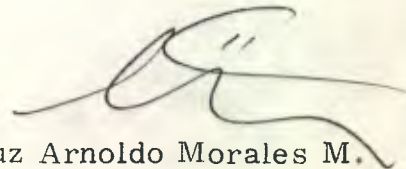
Ing. Manuel R. Aguirre R.

Guatemala, 13 noviembre de 1979

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador.

En cumplimiento a las normas Académicas establecidas por la Universidad de San Carlos de Guatemala, es un alto honor para mí, someter a vuestra consideración, el trabajo de Tesis titulado: "ESTUDIO MORFOMETRICO DE LA CUENCA DEL RIO MADRE VIEJA HASTA LA ESTACION PALMIRA", como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Respetuosamente,



Br. Cruz Arnoldo Morales M.

TESIS QUE DEDICO:

A LA MEMORIA DE MIS PADRES:

CRUZ MORALES CATALAN y
VICENTA MONZON VARGAS.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

LIC. SAUL OSORIO PAZ

JUNTA DIRECTIVA DE LA

"FACULTAD DE AGRONOMIA"

DECANO:..... DR. ANTONIO SANDOVAL S.
VOCAL 1o:..... ING. AGR. RODOLFO ESTRADA G.
VOCAL 3o:..... ING. AGR. RUDY VILLATORO R.
VOCAL 4o:..... P. A. EFRAIN MEDINA G.
VOCAL 5o:..... PROF. EDGAR FRANCO R.
SECRETARIO:..... ING. AGR. CARLOS SALCEDO

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO:

DECANO:..... ING. AGR. RODOLFO ESTRADA G.
EXAMINADOR:..... DR. ANTONIO SANDOVAL S.
EXAMINADOR:..... ING. AGR. SALVADOR CASTILLO
EXAMINADOR:..... ING. AGR. LUIS R. SAMAYOA
SECRETARIO INCIDENTAL:..... ING. AGR. OSCAR GONZÁLEZ H.

AGRADECIMIENTO:

Quiero agradecer profundamente a las siguientes personas que contribuyeron a mi formación y realización de este trabajo:

- A : Mi hermano Rubén Morales, por ser el iniciador en mi formación y mi carrera.
- AL: Ing. Manuel Aguirre R., por el Asesoramiento y revisión del presente trabajo.
- AL: Lic. Manuel Camey, por su valiosa cooperación.
- AL: Br. José M. Flores, Br. Carlos Monroy, por su ayuda y cooperación en el análisis estadístico.
- A : Sra. Gloria Molina, por su dedicación en la realización del trabajo mecanográfico.

ACTO QUE DEDICO A:

MIS PADRES:

Cruz Morales Catalán (Q.E.P.D.)
Vicenta Monzón V. (Q.E.P.D.)

MI ESPOSA:

María Eugenia Guillén de Morales

MIS SUEGROS:

Rodolfo Guillén Paiz
Marina Estela Sempé de Guillén

MIS HERMANOS:

María Teresa, Rubén, Aníbal, María
del Rosario y Germán.

MIS FAMILIARES Y AMIGOS.

EN ESPECIAL A LA FAMILIA:

Gil Castellanos.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA	3
3. MORFOMETRIA	66
3.1 Procedimiento General	6
3.2 Factores Físicos	8
3.2.1 Aspectos Lineales	8
3.2.2 Aspectos de Superficie	11
3.2.3 Aspectos de Relieve	12
4. SECUENCIA DE OPERACIONES Y DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO EMPLEADO	16
4.1 Material Básico Utilizado	16
4.2 Orden y Longitud de las corrientes	16
4.3 Curva Area-distancia y valores asociados	21
4.4 Análisis de la curva área-distancia	22
4.5 Indices de Forma	23
4.6 Aspectos de Relieve	25
4.7 Gráficas	28
5. ANALISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSION.	37
5.1 Geología de la cuenca	37
5.2 Uso actual y Potencial de la cuenca	40
5.3 Síntesis e Interpretación de las condiciones existentes	42

	Página
5.4 Mapas de uso actual y potencial	43
6. CONCLUSIONES	47
7. RECOMENDACIONES	48
8. BIBLIOGRAFIA	50
9. ANEXOS:	
9.1 Anexo "A"	52
9.2 Anexo "B"	56
9.3 Anexo "C"	67

I. INTRODUCCION

Durante los últimos años en nuestro país, se ha venido formando un consenso de la necesidad de conocer el monto, estado y uso eficaz de los recursos naturales renovables, Esto ha venido como un resultado del análisis consciente de algunas personas e Instituciones. Para obtener un resultado satisfactorio, es estrictamente necesario tomar como principio fundamental, el hacer un estudio minucioso de los fenómenos y condiciones que rigen la dinámica de tales valores naturales, como también, la mejor forma de explotarlos para el mejoramiento de las condiciones y medios de vida de los habitantes.

Por otra parte, tomando en cuenta las condiciones dentro de las cuáles la naturaleza ha enmarcado a nuestro país, vemos que se ha tergiversado la vocación real y uso del suelo, ya que de la extensión total del área nacional el mayor porcentaje responde a un uso estrictamente forestal. Esto, en muchos casos no se ha querido tomar en cuenta, dándose como consecuencia, por la orografía misma, el detrimento de uno de los recursos más importantes como lo es el agua, del cual se han hecho estudios limitados para cuantificarlo, usarlo y mantenerlo adecuadamente, desperdiciándose así una de nuestras mejores riquezas.

Al emprender el Estudio Morfométrico de la cuenca del Río Madre Vieja, se pensó que dentro de los objetivos fundamentales a cumplirse sería el contar con un documento que sirva de base para un estudio integral de la cuenca y dar a conocer hasta donde sea posible los valores medios y extremos de los parámetros físicos que rigen el comportamiento de ésta; para el aprovechamiento potencial de los recursos hidráulicos y edafológicos que posee y la mejor forma de empleo en la agricultura, a sabiendas de que el hombre necesita hacer uso del recurso agua existente en la fase del ciclo hidrológico que llega al suelo, tendiendo a mejorar la capacidad de almacenamiento y aprovechamiento del mismo. Todo ello, enmarcado dentro de las limitaciones que se presentaron, ya que de hecho se sabe que las características complejas de los procesos naturales que tienen relación con los fenómenos hidrológicos hacen difícil el tratamiento e interpretación de muchos de los factores físicos mediante un razonamiento deductivo riguroso; porque no siempre es posible partir de una ley básica y determinar con base en ella el resultado que se espera, sino en su lugar, es necesario partir de un conjunto de hechos observados, analizarlos, y con este análisis, establecer las normas sistemáticas que gobiernan tales hechos.

En base en lo anterior e incitados por querer colaborar con un grano de arena para ampliar el conocimiento de las condiciones que ahora restringen el comportamiento de los recursos naturales renovables del país y de la forma como actualmente son utilizados, se realizó este trabajo que trata de indicar las bases de un estudio morfométrico y además, delinear a grandes rasgos la susceptibilidad a la erosión de los suelos de la cuenca, en función de los diversos cultivos existentes, características físicas, etc.

Debido a no contar con un adecuado número de estaciones hidrológicas en la parte cercana de su desembocadura al mar del Río Madre Vieja; se tiene la necesidad de tomar como área de estudio, el área de drenaje correspondiente de la cuenca hasta la estación "Palmira", situada a los $14^{\circ} 26' 50''$ latitud Norte y $91^{\circ} 08' 28''$ longitud Oeste.

II. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA CUENCA

2.1 Geográficas

La cuenca está situada en la parte media de la vertiente del pacífico entre los paralelos $14^{\circ} 49' 10''$ y $14^{\circ} 26' 38''$ de latitud norte y los $89^{\circ} 59' 26''$ y $91^{\circ} 11' 05''$ de longitud Oeste.

Colinda al norte con los montes Cuchumatanes, al Este con la cuenca del Río Coyolate, al Oeste con las cuencas del Lago de Atitlán y del Río Nahualate y al Sur con la parte baja del Río Madre Vieja.

Los vientos predominantes en ésta Zona, son los del sur durante aproximadamente un 90% del año.

2.2 Geológicas

Los materiales de los cuales está formado el suelo de esta cuenca son de las épocas Terciaria y Cuaternaria, tales como: Andesita, Riodacita, Dacita, Tobas, Aluviones y Sedimentos Volcánicos Eólicos (piedra pómez de diferente graduación, color y grado de consolidación, con poleosuelos intercalados, sedimentos volcánicos masivos; de pómez mal clasificada con intercalaciones de sedimentos fluvio-lacustres). Colados de Dacita y Riodacita se encuentran distribuidos en toda la cuenca.

Los suelos de valles no diferenciados, representan áreas de terreno valioso para la agricultura, localizándose generalmente en las partes bajas de la cuenca principalmente.

2.3 Topográficas

La forma de la cuenca del Río Madre Vieja hasta la Estación Palmira, se presenta similar a un embudo alargado y asimétrico que tiene su parte más ancha de 14 Kms. en la parte alta; en su límite con la cuenca del Río Motagua es la Región montañosa y con las cuencas del Río Nahualate y lago de Atitlán, es la Región Volcánica. En su parte media y angosta tiene 6 kilómetros de ancho, luego se ensancha en la parte baja hacia el lado Oeste (que es la Región Volcánica y con las máximas elevaciones) llegando su parte-aguas hasta los volcanes de Atitlán y Tolimán.

La elevación máxima de la cuenca, está al suroeste y es de 3,600 metros, sobre el nivel medio del mar, correspondiendo este punto a la

cúspide del volcán Atitlán.

Entre los principales accidentes geográficos se encuentran: (El orden es norte-sur en sentido vertical, y este-oeste en sentido horizontal; elevaciones en metros, sobre el nivel del mar) Volcán de Atitlán (3,500), Sierra Santa Elena (3,060), cerro Chichoy (2.835) cerro el Calabozo (2831), todos estos puntos situados en los Montes Cuchumatanes.

2.4 Hidrográficas

a) Ríos:

El Río Madre Vieja tiene una longitud desde su nacimiento hasta la Estación Palmira de 52.0 kilómetros; a lo largo de su cauce, recibe 5510 corrientes; el área total de la cuenca (AK) es de 346.15 Km.², lo que significa que la cuenca del Río Madre Vieja hasta la Estación base posee 16 corrientes por cada kilómetro cuadrado de superficie.

Los principales Ríos que tributan sus aguas al Río Madre Vieja son: Río los Tarrales, Río Santa Teresa, Río Quixayá, Río Sululá, Río los Chocoyos, Río Paxulá, Río Suliyá y Río Chimachoy.

b) Lagunas:

En la parte alta de la cuenca, cerca del parte-aguas que la limita con la cuenca del Río Motagua, se encuentra la laguna Chichoy a 2650 msnm con una área tributaria pequeña, lo que determinó su inclusión como área parte de la cuenca en estudio, además de tener drenajes artificiales hechos recientemente.

2.5 Agronómicas

La ocupación agrícola que se le dá a las tierras de la cuenca, persigue dos objetivos, principalmente la producción de comestibles del consumo local tales como: el maíz, frutales, hortalizas, pastos, etc. La cosecha principal es el maíz, cosechado en su mayoría por pequeños agricultores. La metodología empleada para cultivar el maíz, varía en base a la disponibilidad de la tierra, del tipo de suelo, de la densidad de la población y de el declive del terreno.

Otras cosechas importantes por ser cultivos de explotación son: el café, la caña de azúcar, bosques, etc., cultivados básicamente en la parte media y baja de la cuenca, haciendo uso de los suelos con menor pendiente.

2.6 Agrológicas:

La definición de estas características dentro de la cuenca, son como sigue:

- a) En las partes altas, suelos poco profundos sobre materiales volcánicos no cimentados.
- b) En las partes medias, suelos medianamente profundos sobre materiales volcánicos.
- c) En las partes quebradas, suelos poco profundos, débilmente cementados.
- d) En los valles, formados en las partes bajas de las cuencas, se encuentran en su mayoría, suelos aluviales no diferenciados.

2.7 Socioeconómicas:

El área estudiada de la cuenca es una de las menos pobladas de la República, aún cuando en la parte alta las estadísticas digan lo contrario; y es donde existe la necesidad de obtener rendimientos muy altos en las producciones de cultivos dada la forma de tenencia de la tierra. La mayor parte de la población es indígena, habiendo grupos pequeños de origen ladino.

Las comunicaciones y medios de transporte están bien desarrollados. Tiene carreteras asfaltadas y de tierra en buen estado que comunican con todas las zonas. Cuenta con mercados pequeños, propios de cada lugar.

III. MORFOMETRIA

3.1 Procedimiento General

Para el cálculo de los parámetros de los factores físicos del presente trabajo, se seguirá el mismo procedimiento llevado a cabo en los estudios morfométricos de las cuencas de Guatemala, establecido por la Sección de Hidrología aplicada del Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) (7), con el fin de que puedan correlacionarse los resultados a obtenerse y así integrarse al estudio de las condiciones comunes que afectan a las diversas cuencas del país.

Como base fundamental del Estudio, será dar a conocer los parámetros mencionados y las fórmulas usadas para su cálculo, así como las razones teóricas que exponen algunos hidrólogos de la importancia que tienen estos parámetros en el análisis de las características físicas de una cuenca hidrológica.

3.1.1 Localización:

La cuenca del Río Madre Vieja, hasta la Estación Palmira, se encuentra localizada en la Vertiente del Pacífico con drenaje paralelo y hacia el Océano al igual que las demás cuencas, entre los paralelos $14^{\circ} 49' 10''$ y $14^{\circ} 26' 38''$ de latitud norte y los meridianos $89^{\circ} 59' 26''$ y $91^{\circ} 11' 05''$ de longitud Oeste. Se encuentra limitada al norte, por las cadenas montañosas del Río Motagua; al oeste, por las cuencas del Río Nahualate y del Lago de Atitlán y al este, por la cuenca del Río Coyolate.

En base a la finalidad que se persigue en este tipo de estudios, se requiere el uso de una estación hidrométrica base, para poder relacionar las características de los parámetros físicos con las climatológicas y los que se relacionan con los caudales de escorrentía. Por tal motivo en el presente trabajo, se tomó como estación base, "Palmira", la cual se encuentra a 84 kilómetros al norte de la desembocadura del Río en el Océano Pacífico; a $14^{\circ} 26' 50''$ latitud norte y $91^{\circ} 08' 28''$ longitud Oeste y 378 metros sobre el nivel del mar.

La parte estudiada de la cuenca cubre su extensión en territorios de los Departamentos de Sololá, Chimaltenango y Suchitepéquez,

abarcando zonas pertenecientes a los Municipios de Patulul, Pochuta, Patzún, San Antonio Palopó y San Lucas Tolimán.

Para obtener información general de la cuenca, se localiza la estación hidrométrica base o estación de aforo en un mapa a escala pequeña (v.g. 1: 250000) y se delimita la cuenca respectiva por medio de su línea divisoria o parte-aguas, en función de la correlación de las curvas de nivel del mapa.

3.1.2 Obtención del material básico:

Siendo la razón principal de todo estudio el obtener resultados con alto grado de exactitud, será necesario en todo estudio morfométrico contar con documentación fiel que permita determinar los parámetros de la cuenca con cierto grado de aceptabilidad. A continuación se enumera el material básico indispensable y la forma general de proceder en el cálculo:

3.1.2.1 Material básico:

1. Fotografías aéreas recientes y tomadas a baja altura;
2. Mapas topográficos de la mayor escala que existan;
3. Información relativa a la estación hidrométrica base y a otras estaciones dentro de la cuenca o fuera de ella, pero pertenecientes a la misma cuenca.
 - a) Nombre y número;
 - b) Municipio y Departamento donde se localizan;
 - c) Río y cuenca;
 - d) Latitud, longitud y elevación del cero de la escala;
 - e) Tipo de estación (Limnimétrica, Limnigráfica, etc);
 - f) Institución a cuyo cargo está su operación y mantenimiento;
 - g) Fecha a partir de la cual se inició el control y el procesamiento de datos.

3.1.2.2 Procedimiento general del estudio:

1. Ploteo de la estación de aforo en el mapa topográfico a escala grande y delineación de la divisoria o parte-aguas en función del ordenamiento de las curvas de nivel, dejando para el estudio por medio de fotografías aéreas, todos aquellos tramos en los cuales existiera alguna duda.

2. Delineación en el mapa a escala grande (v.g. 1:50000) de todo el drenaje superficial, incluyendo las más pequeñas quebradas, cauces abandonados, cauces artificiales, etc.
3. Calco de la información anterior en un material estable.
4. Medición de los factores físicos en el calco estable, de la forma siguiente:
 - a) Efectuando la medida total de cada factor en la cuenca;
 - b) En ciertos casos, mediante un muestreo estadístico o deduciendo de relaciones conocidas.

3.2 Factores Físicos

Son los principales factores que influyen en la escorrentía de una cuenca, forman uno de los grandes grupos y, los más importantes son los siguientes (5)

- a) Uso actual de la tierra
- b) Tipo y profundidad del suelo
- c) Forma del área de la cuenca
- d) Perfil longitudinal del drenaje principal
- e) Elevación del punto más alejado a la estación-base
- f) Pendiente.
- g) Orientación de la cuenca con respecto al viento predominante
- h) Tipo de red de drenaje
- i) Extensión de drenajes naturales
- j) Drenajes artificiales

Se ha determinado otra serie de factores que influyen en la escorrentía pero que dependen de las características climatológicas relacionadas con la precipitación, los cuales están fuera del objetivo que se persigue en este estudio.

3.2.1 Aspectos Lineales

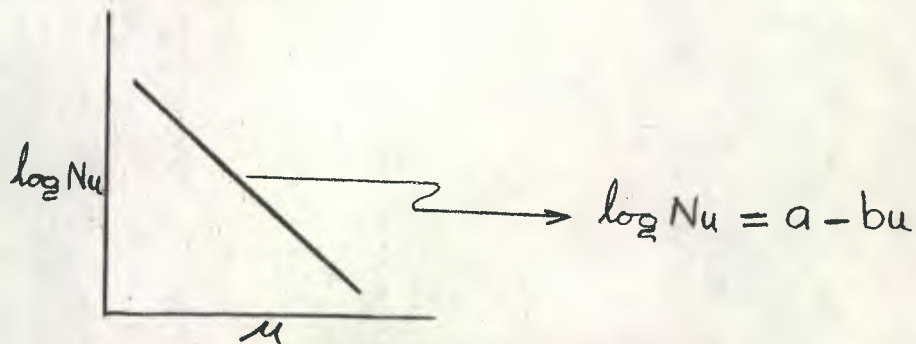
Los aspectos lineales son dos:

- a) Orden de las corrientes, y

- b) Longitud de las mismas, de los cuales se deducen los parámetros relacionados con ellos.

3.2.1.1 Orden de las corrientes

- a) Designación del orden (ver punto 4.2)
- b) Tabulación "u" (número de orden) -Nu (número de corrientes de ese orden)
- c) Ploteo de la gráfica (Log. Nu) -u



- d) Cálculo del radio de bifurcación promedio.

Rb : Relación promedio entre el número de corrientes de un orden dado y el del orden superior siguiente:

Rb : Antilog b

- e) Número total de corrientes de todos los órdenes en la cuenca de orden K.

$$\sum_1^K N_u = (R_b^K - 1) / (R_b - 1)$$

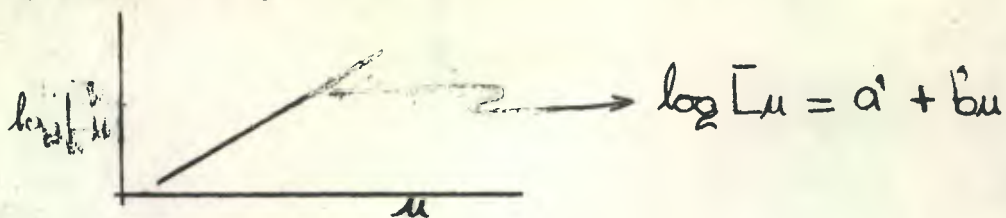
3.2.1.2 Longitud de las corrientes

- a) Longitud promedio de las corrientes de orden "u" en Kms.

$$\bar{L}_u = \sum_1^N L_u / N_u$$

$\sum_1^N L_u$ = Longitud acumulada de las corrientes de orden "u".

b) Ploteo de la gráfica (Log. \bar{L}_u) -u.



c) Radio de longitud.

$$Rl = \frac{\bar{L}_u}{\bar{L}(u-1)} = \text{antilog } b'$$

d) Longitud acumulada de todas las corrientes, en Kms.

$$\sum_1^k \sum_1^N L_u = \frac{Rl b^k - 1}{Rl b - 1} \bar{L} R b^{k-1}$$

$$Rl b = \frac{R_1}{R b}$$

e) L : Longitud, desde la estación a la divisoria, del cauce principal (i, e, el que drene mayor área), en Kms.

f) L' : Longitud, desde la estación a la divisoria, del cauce más largo, en Kms.

g) Lca: Distancia, medida sobre el cauce principal desde la estación al centroide de la cuenca, en Kms.

h) L'ca: Distancia, medida sobre el cauce más largo, desde la estación al centroide de la cuenca en Kms.

i) Ln: Longitud, medida a partir de la estación, correspondiente a un punto "n" a lo largo del cauce principal, en Kms.

- j) $L'n$: Longitud, medida a partir de la estación, correspondiente a un punto "n" a lo largo del cauce más largo, en Kms.
- k) n : Punto sobre el cauce más largo, correspondiente al 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 85, 90 y 100 por ciento de L ó L' así como aquellos puntos en que estos reciben el primer afluente de cada orden.
- l) P_k : Perímetro de la cuenca de orden k, en Kms.
- m) Longitud promedio del flujo superficial, en Mts.

$$\bar{L}_g = 1/2 D_k \times 1000$$

D_k = Densidad del drenaje, en Km/Km.².

3.2.2 Aspectos de superficie

1) Area:

- a) A_k : área total de la cuenca de orden K en Kms.²
- b) A_n : área de drenaje, medida hasta cada uno de los puntos "n", en Kms.²
- c) Area sobre determinados valores de elevación en Kms.²

2) Forma:

a) Factor de forma:

$$1/R_f = L^2/A_k \text{ ó } L^2/A_k$$

b) Relación circular

$$R_c = A_k/A_c$$

A_c = Area de un círculo de perímetro igual a P_k , en Km.².

c) Radio de elongación

$$R_e = D_c/L \text{ ó } D_c/L^2$$

D_c = Diámetro de un círculo área igual a A_k , en Kms.

3) Densidad de drenaje, en Km/Km.²

$$D_k = \frac{\sum_1^K \sum_1^N L_{\mu}}{A_k}$$

$\sum_1^K \sum_1^N L_{\mu}$ = Longitud acumulada de todas las corrientes de de todos los órdenes.

4) Constante de mantenimiento de la cuenca de orden K, en Km.²/Km.

$$C_k = 1/D_k$$

5) Frecuencia de las corrientes de la cuenca de orden K, en No. de corrientes/Km.²

$$F_k = \sum_1^K N_{\mu}/A_k$$

3.2.3 Aspectos de relieve

1) Valores de elevación:

a) E_{max} : Máxima elevación en la cuenca, en Mts. sobre el nivel medio del mar.

b) E_{min} : Mínima elevación en la cuenca, en Mts. sobre el nivel medio del mar.

c) $E_{max P}$: Máxima elevación en el perímetro de la cuenca en Mts. sobre el nivel medio del mar.

d) \bar{E} : Elevación promedio de la cuenca, en Mts. sobre el nivel medio del mar.

e) Curva hipsométrica: La línea que une los puntos ploteados con

los valores del área, sobre determinada elevación (en porcentaje de A_k), y los valores de elevación respectivos (en Mts. sobre el nivel medio de mar).

- 2) Curva área-distancia: la línea que une los puntos ploteados con los valores de A_n (en porcentaje de A_k), y los respectivos puntos "n" (en porcentaje de L ó L').
- 3) Perfil: La línea que une los puntos ploteados con los valores de elevación de cada punto "n" (en Mts. sobre el nivel medio del mar) y los respectivos puntos "n" (en porcentaje de L ó L').
- 4) Pendientes

- a) Pendiente equivalente: la pendiente de una corriente uniforme equivalente, de igual longitud que el cauce principal (o el cauce más largo) y de equivalente tiempo de corrimiento, en Mts/Kms.

$$S_{st} = \left[\frac{n}{\sum (1/\sqrt{S_i})} \right]^2 \times 1000.$$

n: número de tramos o incrementos iguales en que se dividió la longitud del cauce principal (ó el cauce más largo).

S_i : Pendiente de cada tramo, en Mts/Mts.

- b) Pendiente 85 - 10% : la pendiente entre los puntos situados a distancias del 85 y del 10% de L ó de L' , en Mts/Kms.
- c) Distribución de las pendientes del terreno en la cuenca, determinada mediante muestreo sistemático al azar con un sólo origen aleatorio.

Estadísticas:

Promedio:

$$\bar{X} = \sum X/n$$

Desviación Standard:

$$S = \sqrt{\frac{\sum X^2}{n} - \left(\frac{\sum X}{n}\right)^2} \times \sqrt{\frac{n}{n-1}}$$

CV : Coeficiente de variación

$$C_v = S/\bar{X}$$

n : número de puntos muestrales

d) \bar{S}_g : Pendiente media del terreno en Mts/Km.

$$\bar{S}_g = \frac{\Delta z_1 h_1 / a_1 + \Delta z_2 h_2 / a_2 + \dots + \Delta z_n h_n / a_n}{a_1 + a_2 + \dots + a_n}$$

$$\bar{S}_g = \frac{\Delta z L_i}{A}$$

Az : Intervalo de las curvas de nivel consideradas en Mts.

Li : Longitud total dentro de la cuenca, de las curvas de nivel considerados, en Kms.

A : Area total de la cuenca en Kms.²

e) Gradiente media del terreno, en grados

$$\bar{\Theta}_g = t_g^{-1} \bar{S}_g$$

5) Coeficientes

a) Rh : Coeficiente de relieve

$$R_h = \frac{\Delta H}{1000L} \quad \text{ó}$$
$$\frac{\Delta H}{1000L}$$

Δh : Diferencia de elevación entre el punto correspondiente a la estación de aforo y el punto más alto de perímetro de cuenca, en Mts.

b) Coeficiente de robustez: $\frac{\Delta H \times D_k}{1000}$

IV. SECUENCIA DE OPERACIONES Y DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO EMPLEADO

4.1 Material básico utilizado

4.1.1 La cuenca se trazó inicialmente en los mapas a escala 1:250,000-hojas ND 15 -8-, según la clasificación que sigue el Instituto Geográfico Nacional para obtener la cobertura fotográfica. Todas las mediciones del estudio se efectuaron utilizando las hojas 1959 I, 1959 II, 1960 III, 2060 III, del mapa a escala 1: 250,000 del mismo Instituto Geográfico Nacional de Guatemala.

4.1.2 Las fotografías aéreas utilizadas fueron de la serie "vuelos especiales D.G.C. Hunting 1962", tomadas a 20,000 pies sobre el nivel del mar con una escala aproximada de 1: 34,000.

4.2 Orden y Longitud de las Corrientes

Ya con el material listo, tal como se indica en el párrafo 3.1.2.2 del inciso 1 al 3, se procedió a la designación del orden de las corrientes, para lo cual se adoptó el criterio de Horton (14), que dice que una corriente de primer orden: es aquella que no tiene tributarios; de segundo orden: la generada por la unión de dos corrientes de primer orden, y así sucesivamente hasta llegar a la corriente de orden K, o sea la última considerada, que en este caso fué de séptimo orden.

Siguiendo el mismo criterio adoptado en trabajos anteriores por el INSIVUMEH (1), se consideró que cada corriente de determinado orden se prolonga sobre una de orden inferior, tomando entre las dos que la formaron, aquella que drene mayor área. Así por ejemplo la corriente de séptimo orden, se prolonga sobre la de sexto orden cuya área tributaria sea mayor; luego se prolonga sobre una de las dos de quinto orden que generaron a la de sexto, siguiendo el mismo criterio y continuando así hasta prolongarse sobre una de primer orden. La de séptimo orden va pues, desde la divisoria hasta la estación de aforo.

Cuando una corriente de orden cualquiera desemboca en otra de orden superior, no altera el orden de ésta, En base a este último criterio se pudo determinar que la cuenca por su localización geográfica y origen geológico presenta varias corrientes de sexto orden, procedentes de los volcanes Atitlán y Tolimán, los cuales son de sexto recorrido y desembocadura sobre la de séptimo orden en la parte baja; no siendo así en la parte alta donde al hacer la determinación en las dos corrientes de sexto orden para determinar cuál drenaba más área para prolongar la de séptimo orden, hubo necesidad de precisar que la de mayor área de drenaje era la más larga, por lo que no hubo necesidad de obtener valores de parámetros para ambas alternativas (lo cual habría sido necesario en caso hubiese sucedido lo contrario) de: la del canal más importante y la de la corriente más larga, en donde la longitud fuera un factor que se tomara cuenta para el cálculo.

Por ser muy laboriosa la determinación del número de corrientes de cada uno de los órdenes, sobre todo cuando el orden de la cuenca es muy elevado, se decidió efectuar el conteo únicamente de las corrientes de primer, quinto, sexto y séptimo orden, obteniéndose el número de las corrientes de los demás órdenes mediante la aplicación de la "Ley de los números de las corrientes de Horton"(14). Así coloreando las corrientes de cada orden de distinto color, a fin de facilitar el trabajo, se procedió al conteo de las corrientes de primer, quinto, sexto y séptimo orden, ploteándose a partir de estos valores de gráfica "U: f (log. Nu)" (gráfica 3).

De la gráfica se obtuvieron los valores para las ordenes segundo, tercero y cuarto (ver cuadro No. 1).

ORDEN μ	N_{μ}	L_{μ} (Km)
1	4689	1049.55
2	654	537.30
3	151	262.75
4	26	129.75
5	8	94.00
6	1	13.75
7	1	52.00
$\Sigma = 5510$		2139.10

Bajo el mismo criterio, con curvímetro se midieron las longitudes acumuladas de las corrientes de dichos ordenes, para calcular las respectivas "longitudes promedio" y trazar la gráfica "U : f (log. Lu)". De dicha gráfica se obtuvieron entonces, las longitudes promedio de las corrientes de segundo, tercer y cuarto orden (ver cuadro No. 2).

$$\bar{L}_u = \frac{L_u}{N_u}$$

$$\sum_1^K \sum_1^N L_u = 85.542 \text{ Kms.}$$

Lu : Longitud acumulada de corrientes de orden u.

Nu : No. de corrientes de orden u.

\bar{L}_u : Longitud promedio de corrientes de orden u.

\bar{L}_u	L_u/N_u	\bar{L}_u
\bar{L}_1	1049.55/4689	0.224
\bar{L}_2	537.30/654	0.822
\bar{L}_3	262.75/131	2.006
\bar{L}_4	129.75/26	4.990
\bar{L}_5	94.00/8	11.750
\bar{L}_6	13.75/1	13.750
\bar{L}_7	52.00/1	52.000
	$\Sigma =$	85.542

No. 2

"La ley de los números de las corrientes", fué postulada por Horton, en base a una observación que lo condujo a determinar que los radios de Bifurcación dentro de una cuenca tienden a ser de la misma magnitud, generalmente, valores entre 2 y 4, con un valor promedio de 3.5.

O sea, con ello estimó la conveniencia de clasificar las corrientes de

Bajo el mismo criterio, con curvímetro se midieron las longitudes acumuladas de las corrientes de dichos ordenes, para calcular las respectivas "longitudes promedio" y trazar la gráfica "U : f (log. Lu)". De dicha gráfica se obtuvieron entonces, las longitudes promedio de las corrientes de segundo, tercer y cuarto orden (ver cuadro No.2).

$$\bar{L}_u = \frac{L_u}{N_u}$$

$$\sum_1^K \sum_1^N L_u = 85.542 \text{ Kms.}$$

Lu : Longitud acumulada de corrientes de orden u.

Nu : No. de corrientes de orden u.

\bar{L}_u : Longitud promedio de corrientes de orden u.

\bar{L}_u	L_u/N_u	\bar{L}_u
\bar{L}_1	7049.55/4689	0.224
\bar{L}_2	537.30/654	0.822
\bar{L}_3	262.75/131	2.006
\bar{L}_4	129.75/26	4.990
\bar{L}_5	94.00/8	11.750
\bar{L}_6	13.75/1	13.750
\bar{L}_7	52.00/1	52.000
	Σ	\equiv 85.542

No. 2

"La ley de los números de las corrientes", fué postulada por Horton, en base a una observación que lo condujo a determinar que los radios de Bifurcación dentro de una cuenca tienden a ser de la misma magnitud, generalmente, valores entre 2 y 4, con un valor promedio de 3.5.

O sea, con ello estimó la conveniencia de clasificar las corrientes de

acuerdo con el número de bifurcaciones de los afluentes, con lo que se tiene, que el Radio de Bifurcación(Rb), es un parámetro que nos dá la relación entre las corrientes; definido como: la relación entre el número de corrientes de un orden dado y el del orden superior siguiente. Según Strahler (5) los radios de Bifurcación oscilan entre 3.0 y 5.0 para vertientes en las cuales las estructuras geológicas no deforman el patron de drenaje. El valor mínimo teórico de 2.0 raramente se presenta bajo condiciones normales.

Debido a que el Radio de Bifurcación es una propiedad de dimensión y los sistemas de drenaje en materiales homogéneos, tienden a presentar similitudes geométricas, no es sorprendente que el Rb muestre sólo pequeñas variaciones de región a región. Radios de Bifurcación altos se pueden encontrar en regiones de estratos de roca de alto declive, donde los valles se estrechan y son confinados entre las lomas. Estos valores de Rb son considerados anormales.

En la figura A se muestra el caso explicado de Rb alto; la figura B con Rb igual a 4 es la considerada normal, y la figura C representa una cuenca redonda con un Rb aproximado al mismo.



Rb : 17
Fig. A



Rb: 4
Fig. B



Rb : 225
Fig. C

Los efectos de las variaciones de Rb sobre los caudales máximos en una curva de Caudal-tiempo o Hidrograma, suponiendo las precipitaciones y otros parámetros constantes, son mostrados en la siguiente figura, según sugerencias de algunos hidrólogos:

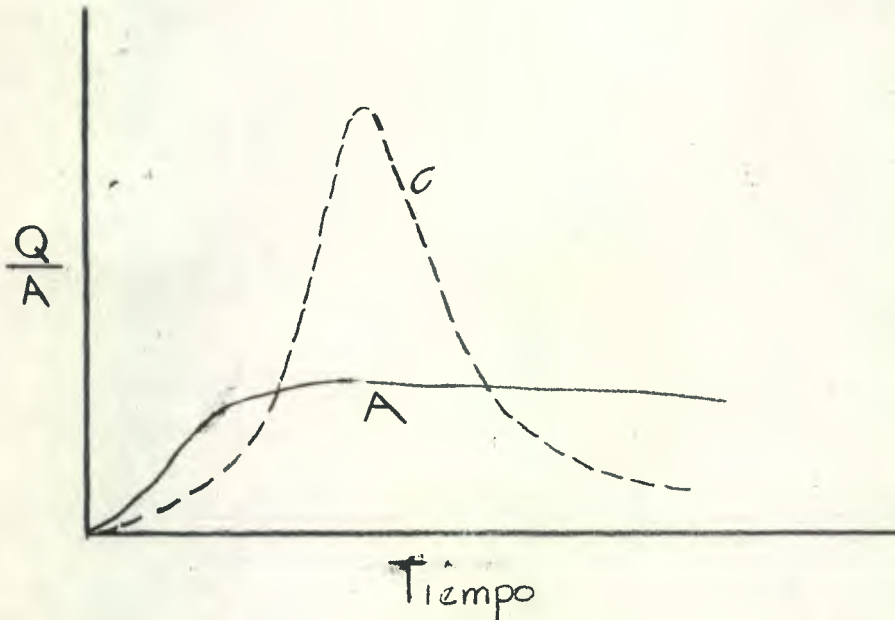


FIGURA D. -

Mientras las cuencas alargadas con alto Rb producen una baja pero extensa corriente, las cuencas redondas con bajo Rb producirán hidrogramas con picos agudos.

Tomando el antilogaritmo de la pendiente (b) de la gráfica $U: f(\log. Nu)$ se obtuvo el Radio de Bifurcación Promedio, Rb que fué igual a 4.00630. Para verificar se calcularon los valores de $Nu/N(U - 1)$, con lo que se obtuvo el promedio igual 4.9084. Según el conteo, la suma total de corrientes de todos los órdenes, fué de 5510; y al aplicar la relación de Horton (14) del párrafo 3.2.1.1 inciso "e" se obtuvieron los resultados de 17562.013 corrientes con el Rb : 4.9084, y 5510 corrientes con RB: 4.00630, el primer valor tiene un error muy alto comparándolo con el número de corrientes contadas directamente, de donde se

adoptó el valor de R_b calculado con el antilogaritmo de la pendiente de la gráfica " $U : f (\log. Nu)$ ". (ver gráfica 3).

El antilogaritmo de la pendiente (b') de la gráfica " $U : f (\log. Lu)$ ", dió un valor de Radio de Longitud R_l , igual 2.30814. Este mismo R_l calculado como el promedio de los valores de $Lu/L (U-1)$, dió un valor de 2.6507. Según la medida directa con el curvímetro, la longitud total de todas las corrientes de todos los órdenes fué 2139.10 Kms.. Aplicando la relación de Horton (14) del párrafo 3.2.1.2 inciso "e" se obtuvieron los resultados de 17562.013 corrientes con el $R_b : 4.9084$, y 5510 corrientes con $R_b : 4.00630$, el primer valor tiene un error muy alto comparándolo con el número de corrientes contadas directamente, de donde se adoptó el valor de R_b calculado con el antilogaritmo de la pendiente de la gráfica " $U : f (\log. Nu)$ ". (Ver gráfica 3).

El antilogaritmo de la pendiente (b') de la gráfica " $U : f (\log. Lu)$ ", dió un valor de Radio de Longitud R_l , igual 2.30814. Este mismo R_l calculado como el promedio de los valores de $Lu/L (U-1)$, dió un valor de 2.6507. Según la medida directa con el curvímetro, la longitud total de todas las corrientes de todos los órdenes fué 2139.10 Kms. Aplicando la relación de Horton (14) del párrafo 3.2.1.2 inciso "d", con un valor de R_l igual a 2.6507 y un valor de R_b igual 4.00630, se obtuvo una longitud de 2585.386678 que comparada con la medida directamente con el curvímetro, dió un error de 17.26% de donde se adoptó el R_l igual a 2.30814.

4.3 CURVA AREA-DISTANCIA Y VALORES ASOCIADOS

El primer paso fué la identificación de la corriente más importante o sea, aquella que drena la mayor área. Dada la forma muy particular de la cuenca, dicha determinación no fué muy dificultosa en la parte baja, no siendo así en la parte alta donde sí hubo necesidad de auxilio del planímetro polar y del curvímetro, bajo el criterio de medir el área de drenaje y longitud de las dos corrientes en estudio, con lo cual se determinó que la corriente principal nace en el Municipio de Patzún, Departamento de Chimaltenango, en el lugar denominado el Calaboso.

Bajo el mismo criterio, se midió con curvímetro la longitud del cauce principal, desde la estación de aforo hasta la divisoria de la cuenca, siendo de 52.0 Kms. el total.

El siguiente paso fué la determinación de los puntos "n" (ver párrafo 3.2.1.2 inciso "k"), sobre el cauce principal y la medida de Ln (ver párrafo 3.2.1.2 inciso "l") sobre el cauce para dichos puntos. Luego se obtuvieron el área total de la cuenca y las áreas de drenaje correspondientes a cada uno de estos puntos (An), fraccionándose el área total y obteniéndose los valores deseados agrupándose estas fracciones. Tanto el área total, cuyo valor fué de 346.15 Kms.², como el área de las fracciones, fué obtenida con planímetro polar, ya que se consideró que la exactitud que se lograría en la obtención de tales valores por métodos fotogramétricos (identificando puntos a lo largo de las divisorias y obteniendo las coordenadas de las mismas), no justificaría el enorme volumen de trabajo que tal cosa implicaría. El planímetro polar utilizado para la medida de áreas permite una lectura directa de un décimo de centímetro cuadrado, pudiendo, aproximarse hasta el centésimo.

La curva área-distancia, se obtuvo ploteando en el eje de las abscisas los correspondientes valores de Ln (ver párrafo 3.2.1.2 inciso "b"), en porcentaje del área total de la cuenca, y en el eje de las abscisas los correspondientes valores de Ln (ver párrafo 3.2.1.2 inciso "i") en porcentaje de L. (ver gráfica No.4).

4.4 Análisis de la curva

Como puede apreciarse en la gráfica, las áreas de Drenaje correspondientes a los puntos "n" distribuidos equitativamente en % de la longitud del cauce principal, no son proporcionales a las magnitudes de las longitudes Ln.

En la parte alta de la cuenca, o sea, la del mayor recubrimiento montañoso, el área de drenaje que corresponde al punto ("n") del 80% de la longitud del cauce principal es el 10.92% ((37.7937 Km.²) del área total medida, donde en 10.40 Kms. sobre el afluente se observa la mayor pendiente promedio con un valor de 9.58%.

Así mismo, puede observarse, que el área de drenaje correspondiente a la longitud enmarcada entre los puntos del 60% y 70% de la longitud total, es la mayor área tributaria de la cuenca, o sea, el 35.81% (123.948 Km²)

del total, con una pendiente promedio del 2.36% en 10.40 Kms. de recorrido; también entre los puntos del 30% al 60% de la longitud total, el área de drenaje es del 18.67% del total de la cuenca con una pendiente promedio del 5.56%; mientras que el área correspondiente a la longitud desde la estación base hasta el punto (n) del 30% (119.768 Km²) de la superficie total de la cuenca con pendiente promedio sobre el afluente del 3.00%.

En base a lo anterior, es de esperarse que para un aguacero determinado, cuya cobertura sea el área total de la cuenca para un tiempo x, la curva de crecida a obtenerse en la Estación Palmira, para ese tiempo, sea influida en el caudal tributado por ese 35.81% del área total de la cuenca.

4.5 Indices de forma y Otros Aspectos de Relieve

Como anteriormente se dijo que para una misma superficie y para un mismo aguacero, el hidrograma en la salida (exutorio) de una cuenca de forma muy concentrada (en hemiciclo por ejemplo) será muy diferente al de una cuenca muy alargada. Esto requiere entonces la definición de índices de forma de la cuenca para su posterior comparación con otras, y la definición de crecidos para un mismo aguacero. El índice de compacidad de Gravelius es igual a la relación:

$$K : \frac{\text{Perímetro de la cuenca: } P}{\text{Perímetro del círculo de área equivalente}}$$

es decir, si A es el área de la cuenca:

$$K : \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} : \frac{0.28}{1} \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Con este criterio se procedió a medir con curvímetro el perímetro de la cuenca, el cual dió un valor de 121.25 Kms. tomando en cuenta todos y cada una de las quebradas y ondulaciones de la línea divisoria de la cuenca.

Se calculó el inverso del Factor de Forma $1/R_f$, que no es más que la relación entre el cuadrado de la distancia, medida sobre el cauce principal desde la estación base al centroide de la cuenca en Kms., y el área total de la cuenca. El valor obtenido para la cuenca fué $1/R_f : 2.15894$.

Posteriormente se calculó el valor del área del círculo (A_c) cuyo perímetro fuera igual al de la cuenca (P_k), ya que conjuntamente con el área de la cuenca sirva para obtener la relación circular R_c (cociente del área de la cuenca y el área de un círculo con perímetro igual al de la cuenca). Los valores fueron $A_c : 1169.9104 \text{ K}^2$, y $R_c : 0.29588$. Así mismo, se calculó el valor del diámetro del círculo cuya área fuera igual al área de la cuenca, para relacionarlo con la longitud del cauce principal y obtener el Radio de Elongación R_e , (cociente entre el diámetro de dicho círculo D_c y la longitud del cauce principal y/o el más largo), con lo cual se obtuvo los valores que fueron: $D_c : 20.9936 \text{ Kms.}$, $R_e : 0.4037$.

Para los estudios de crecidas y mantenimiento de una cuenca, es necesario ~~calcular~~ calcular la densidad de drenaje (D_k) de la cuenca vertiente, lo cual se define como la longitud media de la red hidrográfica por Km.² de la superficie A_k de dicha cuenca; o sea, la relación entre la longitud total de todas las corrientes, de todos los órdenes y el área total de la cuenca. Para este caso se tomó el valor de longitud, calculado por medición directa con el curvímetro y se obtuvo el valor $D_k : 6.180 \text{ Km/Km}^2$.

La longitud promedio del flujo superficial \bar{L}_g , o sea el inverso del doble de la densidad de drenaje, fué de 80.91 mts. La constante de mantenimiento C_k , que se define con el área promedio de la cuenca cubierta por Km. de longitud de la red hidrográfica, se obtuvo sacando el inverso de la densidad de drenaje, dando un valor de $0.162 \text{ Km.}^2/\text{Km.}$ La frecuencia de drenaje F_k , definida como el número promedio de corrientes de la red hidrográfica existente por unidad de área, se obtuvo dividiendo la suma total de fluentes de todos los órdenes entre el área de la cuenca, siendo su valor de $16 \text{ corrientes por Km.}^2$.

4.6 Aspectos de Relieve

Para este aspecto se obtuvo del mapa topográfico a escala 1: 50,000 los siguientes valores: Elevación máxima dentro de la cuenca : 2782.0 Mts. sobre el nivel medio del mar; elevación mínima dentro de la cuenca (la cual coincidió con la elevación de la estación de aforo), : 378 mts. sobre el nivel medio del mar; este valor fué interpolado; elevación máxima en el perímetro de la cuenca: 3535 mts. sobre el nivel medio del mar; elevación de los puntos "n" en el cauce principal, la elevación de estos puntos, es la de la superficie del Rfo, según indican las curvas de nivel del mapa topográfico.

Posteriormente, se trazó el perfil longitudinal (ver gráfica No. 4), ploteando en el eje de las ordenadas la elevación de cada punto "n", en Mts. sobre el nivel medio del mar, y en el eje de las abscisas los valores de Ln, en porcentaje de la longitud del cauce principal.

Se realizó también, el cálculo de las áreas encima de valores dados de elevación. Para ello, y de acuerdo con las elevaciones máxima y mínima de la cuenca y a la configuración del terreno, se procedió a medir las áreas de cada franja confinada entre dos curvas de nivel índice (cuya elevación es múltiplo de 100), coloreando cada franja, de distinto color, con el fin de facilitar el trabajo. Las áreas fueron medidas con planímetro polar; se acumularon luego estos valores, obteniéndose las áreas sobre determinada elevación, las cuales fueron expresadas como porcentaje del área total. Ploteando estos valores en el eje de las abscisas y las respectivas elevaciones en el eje de las ordenadas, se obtuvo la Curva Hipsométrica. Midiendo con planímetro polar el área bajo esta curva y dividiendo entre 100, se

obtuvo la elevación media entre los límites de "elevación máxima" y "elevación mínima". Sumándole a este valor medio, la elevación de la estación de aforo, o sea, la mínima, se obtiene la elevación media de la cuenca en metros sobre el nivel medio del mar, y que es igual a 1324.25 Mts.

La pendiente de un cauce uniforme equivalente Sst (de igual longitud y equivalente tiempo de corrimiento) al cauce principal, fué calculada como se indica en el párrafo 3.2.3 Inciso 4 a. Para el efecto, el cauce fué dividido en 10 segmentos iguales. El valor obtenido fué Sst: 37.25 Mts./Kms.

La pendiente 85-10% se obtuvo dividiendo la diferencia de elevación entre los puntos situados a distancias del 85 y del 10% de L, entre la distancia horizontal que la separa, medida a lo largo del curso del Rfo. Dicho valor fué de 38.68 Mt/Km.

Luego se calculó el coeficiente de relieve Rh (ver párrafo 3.2.3 Inciso 5.a), para lo cual se obtuvo previamente, la diferencia de elevación entre el punto más alto del perímetro de la cuenca y el punto correspondiente a la estación de aforo (obtenidos del mapa 1: 50,000), cuyo valor es de 3157.0 Mts., con lo que el coeficiente de relieve obtenido, tiene un valor de 0.0607115.

El coeficiente de robustez, o sea el producto de la diferencia de elevación (mencionada en el párrafo anterior) reducida a Kms., y la densidad de drenaje, dió un valor de 19.51.

Posteriormente se procedió al cálculo de la pendiente media de la cuenca \bar{S}_g , mediante el método de Horton (5) (ver párrafo 3.2.3 inciso 4.d). Dando un valor de 437.354 Mts./Km. Las curvas de nivel que se tomaron en consideración, fueron las curvas índices del mapa topográfico a escala 1: 50,000, cuyo intervalo es de 100 Mts. La Longitud total de estas curvas dentro de la cuenca, fué de 1513.90 Kms., medida con curvímetro. El gradiente medio de la cuenca, ó

sea el ángulo cuyo atangente equivale a la pendiente media, es de: $23^{\circ} 37' 21''$.

Para obtener la distribución de las pendientes del terreno, se usó la cuadrícula del mapa topográfico a escala 1: 50, 000, tomando una muestra del 10% de las intersecciones de dicha cuadrícula sobre la cuenca y midiendo la pendiente del terreno (a escala sobre el mapa), en cada uno de dichos puntos. Estos puntos muestrales se obtuvieron mediante un muestreo sistemático al azar, con un solo origen aleatorio, utilizando para ello, una tabla de números aleatorios que indicaron las intersecciones de las cuadrículas. En total se usaron, 35 puntos muestrales, obteniéndose los siguientes resultados: un rango de 954.70 Mts. por Km., un promedio aritmético de 509.7 Mts/Km., una desviación Standard de 313.1 Mts/Km. y un coeficiente de variación de 0.6142. Se hizo una distribución de frecuencia (en forma absoluta y relativa) tomando un intervalo de clase constante e igual a 160 Mts./Km., obteniéndose una distribución monomodal. Las clases fueron:







CLASES		N	%
0.0453	0.2053	8	22.86
0.2053	0.3653	3	8.57
0.3653	0.5253	9	25.71
0.5253	0.6853	1	2.86
0.6853	0.8453	11	31.46
0.8453	1.0053	3	8.57

Con estos valores, se construyó el Histograma (ver gráfica No. 6).

DIAGRAMAS DE LOCALIZACION

GRAFICA No 2

REFERENCIAS :

-  DIVISORIA DE LA CUENCA
-  RIO
-  CAMINO
-  ESTACION LIMNIGRAFICA
-  ESTACION LIMNIMETRICA
-  POBLACION

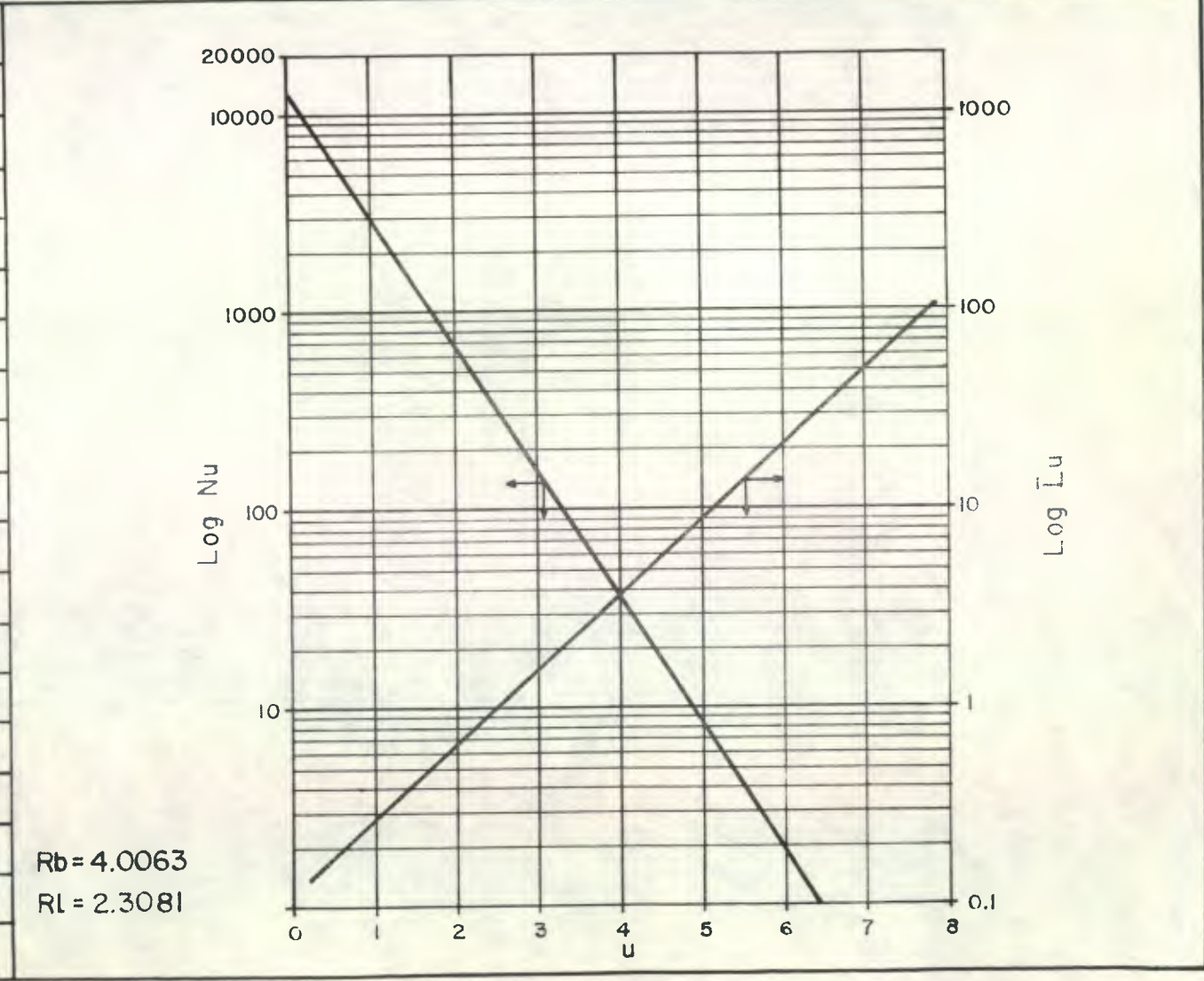


ESTUDIO MORFOMETRICO DE CUENCAS

ESTACION: PALMIRA
RIO: MADRE VIEJA

GRAFICA No 3

u	Nu	\bar{L}_u (km)
1	4689	1049.55
2	654	537.30
3	131	262.75
4	26	129.75
5	8	94.00
6	1	13.75
7	1	52.00
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		



$$\sum_1^k Nu = 5510.00$$

$$\sum_1^k Nu \text{ (formula)} = 17562.01324$$

$$\sum_1^k \sum_1^N Lu \text{ (formula)} = 2585.3867$$

DESCRIPCION

- u = ORDEN DE LAS CORRIENTES
- Nu = NUMERO DE CORRIENTES DE ORDEN u
- \bar{L}_u = LONGITUD MEDIA DE LAS CORRIENTES DE ORDEN u = $\sum^N L_u / N_u$
- $\sum^N L_u$ = LONGITUD ACUMULADA DE LAS CORRIENTES DE ORDEN u
- $\sum^K N_u$ = NUMERO TOTAL DE CORRIENTES DE TODOS LOS ORDENES EN LA CUENCA DE ORDEN K.
- $\sum^K N_u$ (fórmula) = $(Rb^K - 1) / (Rb - 1)$
- Rb = RADIO DE DIFURCACION PROMEDIO = $N_u / N(u+1)$ = Antilog b
- b = PENDIENTE DE LA CURVA $\log N_u - u$
- $\sum^K \sum^N L_u$ (fórmula) = $\bar{L}_u Rb^K (Rb - 1) / (Rb - 1)$
 $R_{LB} = R_L / R_b$
- R_L = RADIO DE LONGITUD = $\bar{L}_u / \bar{L}(u-1)$ = Antilog b'
- b' = PENDIENTE DE LA CURVA $\log \bar{L}_u - u$
- $\sum^K \sum^N L_u$ = LONGITUD ACUMULADA DE TODAS LAS CORRIENTES

ESCALAS DE TRABAJO

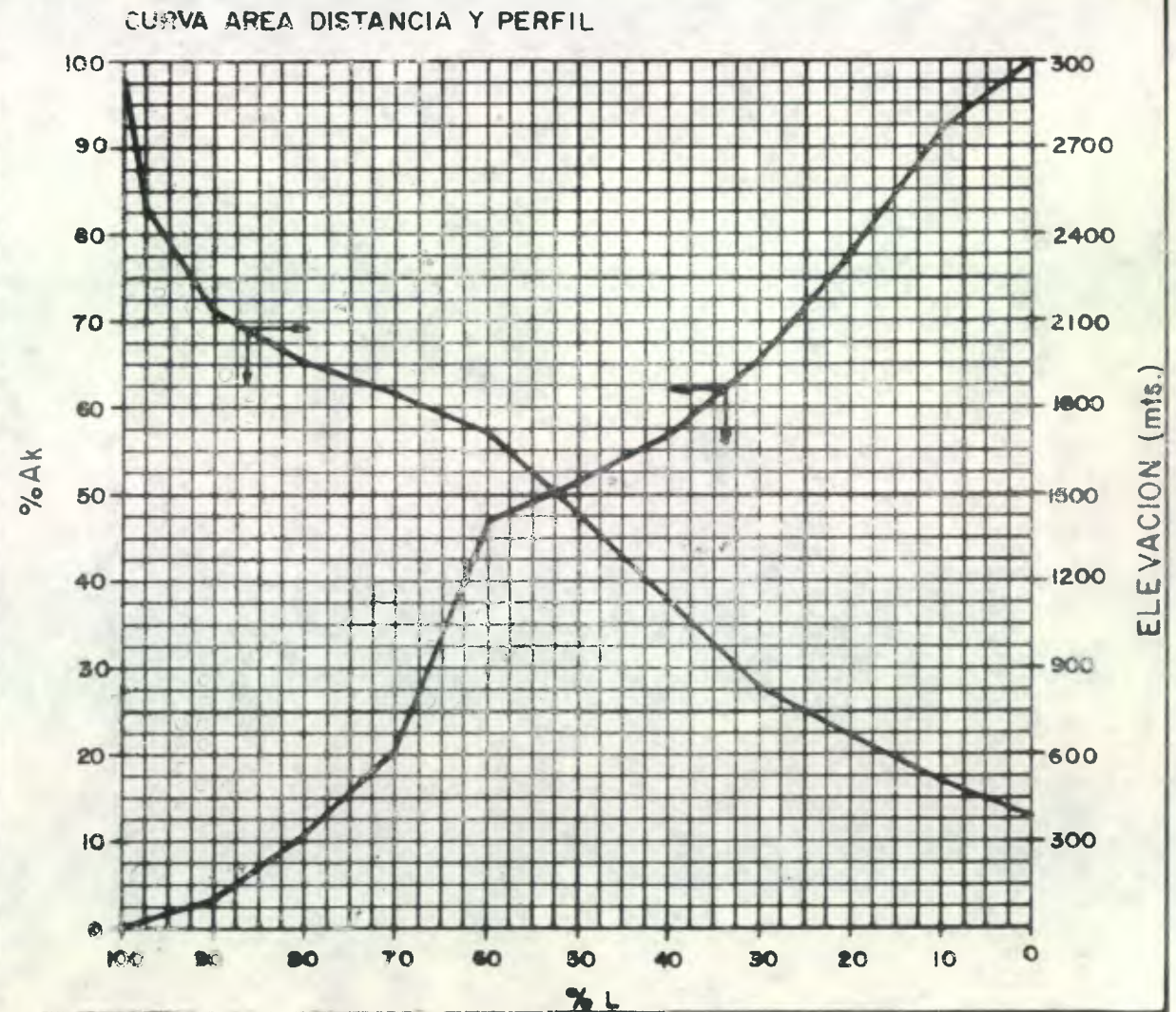
FOTOGRAFIAS AEREAS				MAPAS
SERIE	FECHA DE TOMA	ALTURA	ESCALA APROXIMADA	ESCALA
VUELOS ESPECIALES D.G.C. HUNTING 1962	1962	20,000 PIES	1:34,000	1:250,000 HOJA ND 15-7
				1:50,000 HOJA ND 15-8 HOJA 1959 - I HOJA 1959 - II HOJA 1966 - II HOJA 2060 - III

ESTUDIO MORFOMETRICO DE CUENCAS

ESTACION: PALMIRA
RIO: MADRE VIEJA

GRAFICA No 4

Ln		ELEV. n	An	
%L	Km	MTS. SNM	Km	%Ak
10	5.20	615.38	318.0133	91.87
20	10.40	672.00	268.8582	77.67
30	15.60	840.00	226.3762	65.00
40	20.80	1020.00	186.6321	56.81
50	26.00	1437.80	170.5868	51.57
60	31.20	1708.00	161.7417	46.73
70	36.40	1844.35	70.8772	20.48
80	41.60	1953.85	37.7937	10.92
85	44.20	2024.00	30.5042	8.81
90	46.80	2134.00	11.8752	3.43
100=L	52.00	2940.00	0.0000	0.00
PUNTO DONDE RECIBE EL PRIMER AFLUENTE DEL ORDEN INDICADO				
1 (99.62)	51.80	2840.00	0.1246	0.04
2 (96.17)	51.05	2515.00	1.0092	0.29
3 (93.85)	48.80	2247.00	6.4162	1.85
4 (83.85)	43.60	2134.00	30.6108	8.84
5 (75.77)	39.40	1897.00	67.7499	19.57
6 (66.67)	34.20	1798.00	151.7209	43.83
7			346.1500	100.00
8				
9				
10				
11				
12				
13				



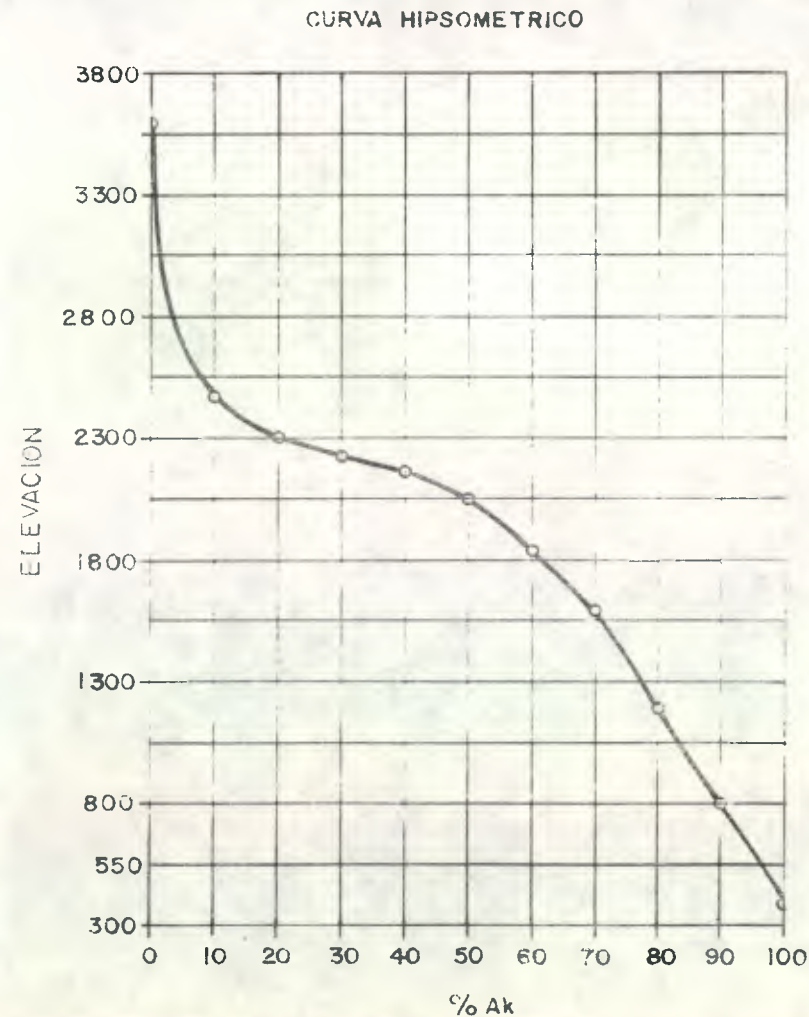
ESTUDIO MORFOMETRICO DE CUENCAS

ESTACION: PALMIRA

RIO: MADRE VIEJA

GRAFICA No 5

ELEVACION MTS. S.N.M.	AREA SOBRE LA ELEV. DADA	
	Km	%AK
300	346.1500	100.00
400	345.7741	99.89
500	340.8624	98.47
600	332.0163	95.92
700	326.4230	94.30
800	316.9003	91.55
900	307.5730	88.86
1000	298.7019	86.29
1100	289.9561	83.77
1200	282.0873	81.49
1300	271.8629	78.54
1400	262.0646	75.71
1500	250.8378	72.47
1600	239.4106	69.16
1700	228.3091	65.96
1800	217.1701	62.74
1900	202.7357	58.57
2000	180.9086	52.26
2100	152.3607	44.02
2200	122.2752	35.32
2300	65.7392	18.99
2400	41.1831	11.90
2500	27.1698	7.85
2600	17.8451	5.16
2700	10.8534	3.14



ESTUDIO MORFOMETRICO DE CUENCAS

ESTACION: PALMIRA
RIO: MADRE VIEJA

ELEVACION MTS. S.N.M.	AREA SOBRE LA ELEV. DADA	
	Km ²	%Ak
2800	9.5157	1.57
2900	3.3606	0.97
3000	1.7192	0.50
3100	0.7919	0.23
3200	0.4461	0.13
3300	0.2261	0.07
3400	0.0852	0.02
3500	0.0076	0.002
3600	0.0000	0.000

DESCRIPCION

A_k = AREA TOTAL DE LA CUENCA DE ORDEN K
E = ELEVACION PROMEDIO DE LA CUENCA = AREA BAJO LA CURVA MIPSOMETRICA

ESTUDIO MORFOMETRICO DE CUENCAS

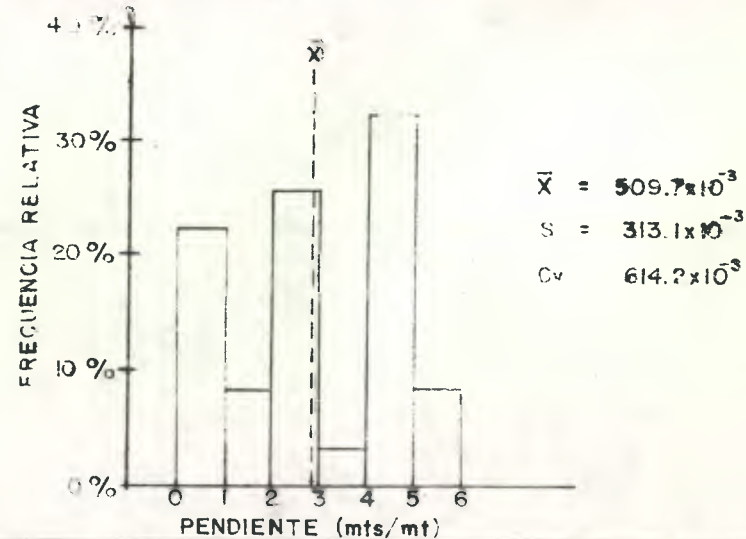
ESTACION: PALMIRA
RIO: MADRE VIEJA

GRAFICA No 6

CUENCA DE ORDEN K = 7

AK = 346.15 Kms. ²	Rb = 4.00630955
PK = 121.35 Kms.	Rc = 2.308140402
Lcc = 27.3371 Kms.	E _{max} = 2782.00 MSNM
L = 52.00 Kms.	E _{min} = 378.00 MSN
L ² = 747.3170 Km. ²	E = 946.25 MSNM
1/Rf = 2.15894	E _{maxP} = 3535.0 MSNM
Ac = 1169.9104 Kms. ²	Sst = 3725.0 mt/km
Rc = 0.30	S _{es-c} = 38.68 mt/km
Dc = 20.9936 Kms	S _g = 437.354 x 10 ⁻³ mt/mt
Re = 0.40	θ _g = 23° 37' 21"
DK = 6.180 Km/Km ²	ΔH = 3157.00 mts
Ck = 0.162 Km ² /Km	Rh = 0.060712
Fk = 15.9179 Corrientes/km ²	ΔH/Dk = 19.51026
L _g = 80.91 mts.	

DISTRIBUCION DE LAS PENDIENTES DEL TERRENO DE LA CUENCA



ESCALAS DE TRABAJO

FOTOGRAFIAS AEREAS				MAPAS
SERIE	FECHA DE TOMA	ALTURA	ESCALA APROXIMADA	ESCALA
VUELOS ESPECIALES DGC HUNTING 1962	1962	2000 PIES	1:34,000	1:250,000 1:50,000 HOJA ND 15 - 7 HOJA ND 15 - 8 HOJA 1950 - I HOJA 1950 - II HOJA 1960 II HOJA 2060 III

DESCRIPCION

- A_k = AREA TOTAL DE LA CUENCA DE ORDEN k , EN KMS^2
 P_k = PERIMETRO DE LA CUENCA DE ORDEN k , EN KMS .
 L_{ca} = DISTANCIA, MEDIDA SOBRE EL CAUCE PRINCIPAL, DESDE LA ESTACION AL CENTROIDE DE LA CUENCA, OBTENIDA MEDIANTE LA DIVISION DEL INTEGRAL DE LA CURVA AREA-DISTANCIA ENTRE EL AREA TOTAL, EN KMS .
 L'_{ca} = DISTANCIA MEDIDA SOBRE EL CAUCE MAS LARGO DESDE LA ESTACION AL CENTROIDE DE LA CUENCA.
 L = LONGITUD, DESDE LA ESTACION A LA DIVISORIA, DEL CAUCE PRINCIPAL, EN KMS .
 L' = LONGITUD, DESDE LA ESTACION A LA DIVISORIA, DEL CAUCE MAS LARGO, EN KMS .
 I/R_f = FACTOR DE FORMA = L^2/A_k o L'^2/A_k
 A_c = AREA DE UN CIRCULO DE PERIMETRO IGUAL A P_k , EN KMS^2 .
 R_c = RELACION CIRCULAR = A_k/A_c
 D_c = DIAMETRO DE UN CIRCULO DE AREA IGUAL A A_k , EN KMS .
 R_e = RADIO DE ELONGACION = D_c/L o D_c/L'
 D_k = DENSIDAD DEL DRENAJE DE LA CUENCA DE ORDEN k , = $\sum_i \sum_j L_{ij}/A_k$, EN KM/KM^2 .
 $\sum_i \sum_j L_{ij}$ = LONGITUD ACUMULADA DE TODAS LAS CORRIENTES.
 C_k = CONSTANTE DE MANTENIMIENTO DE LA CUENCA DE ORDEN k , = $1/D_k$, EN KM^2/KM .
 F_k = FRECUENCIA DE LAS CORRIENTES DE LA CUENCA DE ORDEN k , = $\sum_i N_{ij}/A_k$, EN NO DE CORRIENTES/ KM^2 .
 $\sum_i N_{ij}$ = NUMERO TOTAL DE CORRIENTES DE TODOS LOS ORDENES QUE HAY DENTRO DE LA CUENCA DE ORDEN k .
 R_b = RADIO DE BIFURCACION PROMEDIO: RELACION PROMEDIO ENTRE EL NUMERO DE CORRIENTES DE UN ORDEN DADO Y EL ORDEN SUPERIOR SIGUIENTE.
 R_l = RADIO DE LONGITUD: RELACION ENTRE LA LONGITUD PROMEDIO DE LAS CORRIENTES DE UN ORDEN DADO Y LA DEL ORDEN INFERIOR ANTERIOR.
 E_{max} = MAXIMA ELEVACION EN LA CUENCA, EN MTS . S. N. MEDIO DEL MAR.
 E_{min} = MINIMA ELEVACION EN LA CUENCA, EN MTS . S. N. MEDIO DEL MAR.
 \bar{E} = ELEVACION PROMEDIO DE LA CUENCA, EN MTS . S. N. MEDIO DEL MAR = AREA BAJO LA CURVA HIPSOMETRICA / 100
 E_{maxP} = MAXIMA ELEVACION EN EL PERIMETRO DE LA CUENCA, EN MTS . S. N. MEDIO DEL MAR.
 S_{st} = PENDIENTE EQUIVALENTE: LA PENDIENTE DE UNA CORRIENTE EQUIVALENTE DE IGUAL LONGITUD QUE EL CAUCE PRINCIPAL Y DE EQUIVALENTE TIEMPO DE CORRIMIENTO EN MTS . POR KM = $(n / \sum \frac{1}{\sqrt{S_i}})^2 \times 1000$
 n = NUMERO DE TRAMOS O INCREMENTOS IGUALES EN QUE SE DIVIDIO LA LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL
 S_i = PENDIENTE DE CADA TRAMO, EN MTS/MT
 S'_{st} = PENDIENTE EQUIVALENTE, CORRESPONDIENTE AL CAUCE MAS LARGO.
 S_{85-10} = PENDIENTE 85-10% LA PENDIENTE ENTRE LOS PUNTOS SITUADOS A DISTANCIAS DEL 85 Y DEL 10% DE LA LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL, MEDIDA A PARTIR DE LA ESTACION, EN MTS POR KM .
 S'_{85-10} = PENDIENTE 85-10%, CORRESPONDIENTE AL CAUCE MAS LARGO.
 \bar{S}_g = PENDIENTE MEDIA DEL TERRENO, EN MTS / KM = $\Delta Z \cdot L_i / A$
 ΔZ = INTERVALO DE LAS CURVAS DE NIVEL INDICES, EN MTS .
 L_i = LONGITUD TOTAL DE LAS CURVAS DE NIVEL INDICES DENTRO DE LA CUENCA, EN KMS .
 A = AREA TOTAL DE LA CUENCA, EN KM^2
 $\bar{\theta}_g$ = GRADIENTE MEDIA DEL TERRENO, EN GRADOS, = $tg^{-1}(\bar{S}_g / 1000)$
 ΔH = DIFERENCIA DE ELEVACION ENTRE EL PUNTO CORRESPONDIENTE A LA ESTACION DE AFORO Y EL PUNTO MAS ALTO DEL PERIMETRO DE LA CUENCA, EN MTS .
 R_h = COEFICIENTE DE RELIEVE = $\Delta H / 1000L$ o $\Delta H / 1000L'$
 $\Delta H D_k / 1000$ = COEFICIENTE DE ROBUSTEZ
 L_g = LONGITUD PROMEDIO DEL FLUJO SUPERFICIAL = $1/2 D_k$, EN MTS .

V. ANALISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSION

5.1 Geología de la Cuenca

Para determinar la geología de la cuenca se hizo necesario consultar el mapa geológico semidetallado a escala 1: 250000 existente de la zona, formando así el mapa geológico de la cuenca en estudio; e investigar, con algunas restricciones debido a la falta de información, las características tanto físicas como litológicas de los diferentes afloramientos (ver anexo A), ya que por análisis hechos en otros estudios en cuencas hasta cierto punto similares, se concluyó que también formaban parte de los materiales descritos en el mapa de la cuenca en estudio.

En base a lo anterior, se puede decir en general, que en la cuenca las estructuras geológicas predominantes son las correspondientes a rocas volcánicas sin dividir del terciario, ya sea en forma de Tobas (Ty t), Andesita (Tvd), ó en forma de Andesita, riocacita y dacita (Tvd), por estar presente en un 52.37% del área total de la cuenca. Así mismo, el 22.17% del área de la cuenca está definida por rocas volcánicas del período cuaternario ya sea en forma de Ignimbritas o en forma de Tefra o piroclásticas. El 13.75% está definida en base a rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez no clasificadas predominantemente del cuaternario. El 8.46% del área, está básicamente definida por rocas plutónicas sin dividir de edad pre-permiano, cretácico y terciario en forma de granito dioritas, andesita, riocacita y dacita. Así el área restante o sea el 3.25% del total de la cuenca está constituida por aluvión (Q.^a) ubicado en lo que se llama el Valle aluvial del Río.

Características erosivas de las formaciones Geológicas existentes dentro de la cuenca.






Material	Origen	Consolidación	Susceptibilidad a la erosión
Aluvión	Deposición de corrientes	Baja	Muy alta
Granito	Ignea intrusiva	alta	muy baja
Diorita	Ignea intrusiva	media	baja
Toba	Ignea piroclástica	alta	media-baja
Tefra	Volcánico eólico	baja-media	alta
Indesita	Ignea Intrusiva	media	alta
Andesita, riodacita y dacita	Ignea intrusiva	media	alta
Suelo	Orgánico	baja	muy alta

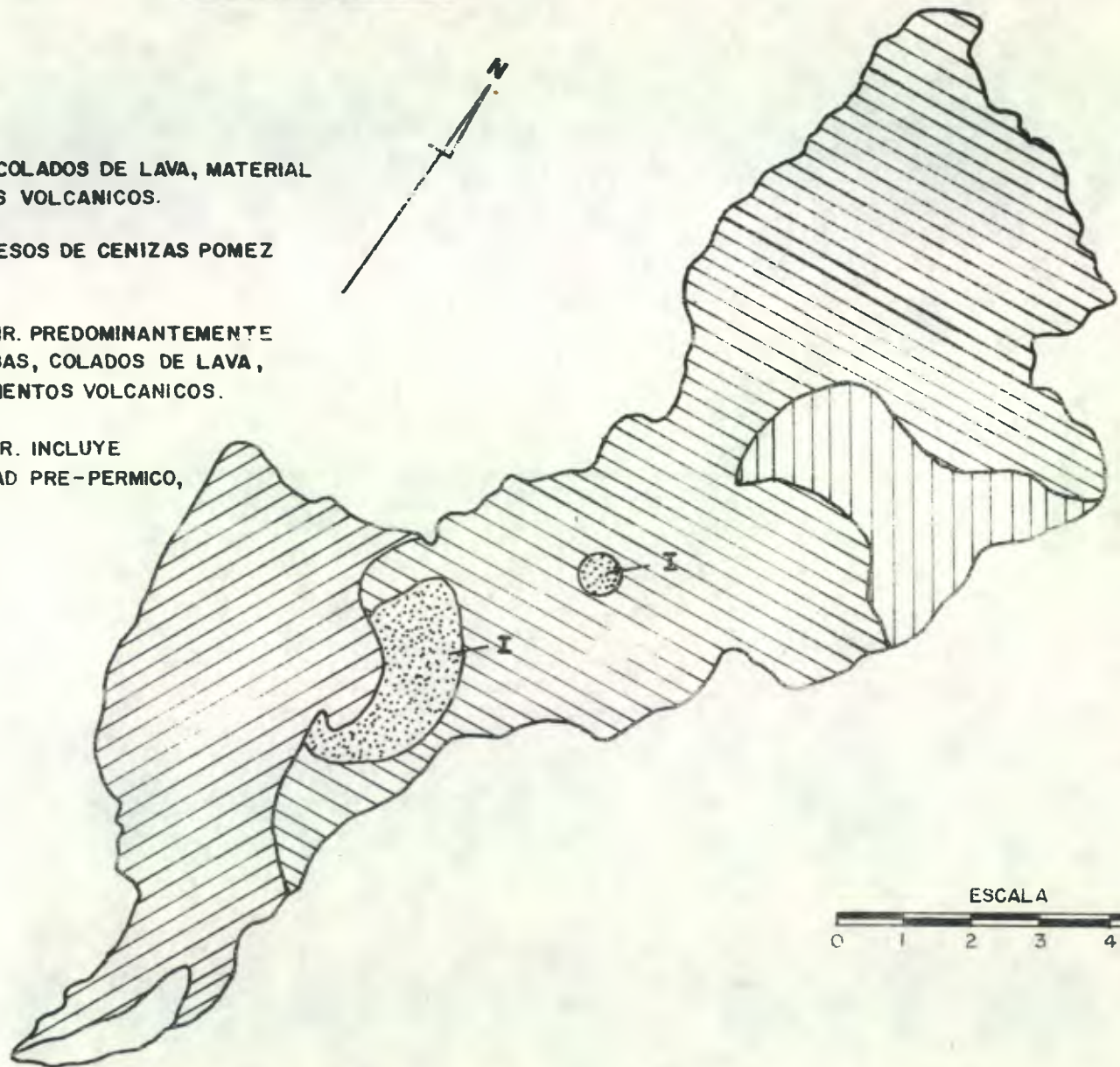
NOTA: Las características erosivas de los diferentes materiales fueron determinados en base a las condiciones tanto topográficas, factores físicos, cobertura vegetal, así como por observación ocular de la ocurrencia directa en el campo.

MAPA GEOLOGICO

GRAFICA No 7

REFERENCIAS:

-  Qa = ALUVIONES CUATERNARIOS
-  Qv = ROCAS VOLCANICAS, INCLUYE COLADOS DE LAVA, MATERIAL LAHARICO, TOBAS Y EDIFICIOS VOLCANICOS.
-  Qp = RELLENOS Y CUBIERTOS GRUESOS DE CENIZAS POMEZ DE ORIGEN DIVERSO.
-  Tv = ROCAS VOLCANICAS SIN DIVIDIR. PREDOMINANTEMENTE MIO-PLIOCENO. INCLUYE TOBAS, COLADOS DE LAVA, MATERIAL LAHARICO Y SEDIMENTOS VOLCANICOS.
-  I = ROCAS PLUTONICAS SIN DIVIDIR. INCLUYE GRANITOS Y DIORITOS DE EDAD PRE-PERMICO, CRETACICO Y TERCIARIO.



5.2 Uso Actual y Potencial de la Cuenca

a) Uso actual:

Como anteriormente se describió, la ocupación que se le dá a las tierras de la cuenca, básicamente está definida por el tamaño de la propiedad y la forma de tenencia de la tierra, así en las áreas de la parte media y alta, donde predomina el minifundio, se persigue principalmente la producción de comestibles del consumo local, tales como el maíz (*Zea maíz*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), trigo (*Triticum vulgaris*), Hortalizas, bosques mal manejados, etc. Esta área en sí corresponde al 76.04% del área total de la cuenca, en donde la metodología empleada para cultivar no es la indicada, dado que en su mayoría son cultivos limpios en pendientes máximas sin prácticas culturales auxiliares, en base a la falta de disponibilidad de tierra y conocimientos agrícolas adecuados de los campesinos.

Otros cultivos importantes desarrollados en la cuenca son los de exportación que se tienen en la parte baja de la misma, correspondiente al 23.96% del área total, como el café (*coffea arábica*), la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), ganadería, bosque, etc. Esta zona, en base al uso que se le da a la tierra y la mano de obra requerida para cada uno de los cultivos como el café y la caña de azúcar, provoca emigraciones de campesinos de los lugares altos de la cuenca, durante ciertas épocas del año; lo que deja como saldo el abandono de éstos campesinos a sus hogares y por ende el atraso proporcional y constante de estos lugares, porque la falta del Jefe de familia y hombres mayores exige del resto de éstas, incluyendo niños, la mayor productividad en la realización de las actividades de producción, lo que provoca la

necesidad de inversión del tiempo de los niños de edad escolar en dichas actividades.

Para determinar la forma en que están aprovechadas y explotadas las tierras de la cuenca, era necesario interpretar fotografías aéreas del área, y trasladar ésta información a un mapa a escala adecuada, (dependiendo de la extensión, agrupaciones presentes, así como la escala de las fotografías disponibles), al igual que investigar las características tanto físicas como de laboreo del suelo para las diferentes agrupaciones (ver anexo B), y posteriormente hacer un recuento cuantitativo. Pero en base a lo dicho en capítulo anteriores, (ver párrafo 4.1.2), las fotografías existentes y que fueron utilizadas en apoyo para la determinación de los factores físicos de la cuenca, corresponden a la serie de "vuelos especiales D.G.C. Hunting 1962", por lo tanto, se determinó que la información existente en ellas variaría mucho, para una obtención precisa de las agrupaciones establecidas en la cuenca en el momento de la realización de este estudio, lo cual hizo necesario hacer un reconocimiento general de la cuenca por medio de observaciones oculares y así elaborar aproximadamente, el mapa de uso actual sin delimitaciones específicas para cada una de las agrupaciones existentes (ver gráfica No.8).

a) Uso Potencial

Para determinar las áreas de la cuenca con sus delimitaciones precisas, y ubicarlas dentro de las diferentes clases de capacidad de explotación y aprovechamiento agrícola, fué necesario interpretar las fotografías aéreas existentes del área (ver párrafo 4.1.2) y analizar los factores físicos como restrictivos del suelo, establecidos por el Departamento de Suelos de los Estados Unidos y utilizados por la División de Estudios Geográficos del Instituto Geográfico Nacional (ver anexo C).

Luego se trasladó esta información a un mapa a escala 1. 50000 (ver mapa No.9 reducido en un 40%), después se hizo un análisis cuantitativo de dichas áreas y por último una interpretación de las condiciones del uso actual de la cuenca comparativamente a las condiciones que existirían al hacer uso racional del suelo, de acuerdo a su capacidad agrícola, con el fin de determinar la susceptibilidad a la erosión.

La determinación cuantitativa de las áreas de uso potencial son las siguientes:

Clase agrológica I : 0.15% , clase agrológica II : 1.33%
Clase agrológica III: 4.90% , clase agrológica IV: 2.97%
clase agrológica V : 5.40% , clase agrológica VI: 7.77%
clase agrológica VII:3.47% , clase agrológica VIII: 73.66%.

5.3 SINTESIS E INTERPRETACION DE LAS CONDICIONES EXISTENTES

Para lograr una interpretación adecuada de las condiciones existentes dentro de la cuenca, fué necesario, llevar a cabo una superposición gráfica de cada uno de las condiciones determinadas para la cuenca, como tomar en cuenta las cualidades erosivas de los parámetros físicos estudiados en párrafos anteriores, formando así el mapa que indicaría las zonas más susceptibles a erosiones (ver mapa No.11) y posteriormente hacer un recuento cuantitativo, (expresado en porcentaje del área total), de esas Zonas.

De acuerdo con el examen de los parámetros estudiados y a la superposición de efectos, se puede decir, que la cuenca es altamente susceptible a la erosión, presentándose ésta, tanto en forma de erosión acelerada o crítica (conclusión de 3 ó más factores físicos) en un 71.87% del área, así como en forma de erosión menos acelerada o alta (conclusión de dos factores físicos), en un 15.63% del área, a la vez que una erosión moderada, se presenta en un 12.50% del área total.

En forma comparativa, se puede decir, que en la cuenca el área más susceptible a erosionarse, perteneciente a la parte alta, se ha utilizado con finalidad agrícola indistintamente para la producción de cultivos no recomendables en base a los parámetros definidos para un uso potencial de los suelos.


MAPA DE USO ACTUAL

GRAFICA No 8

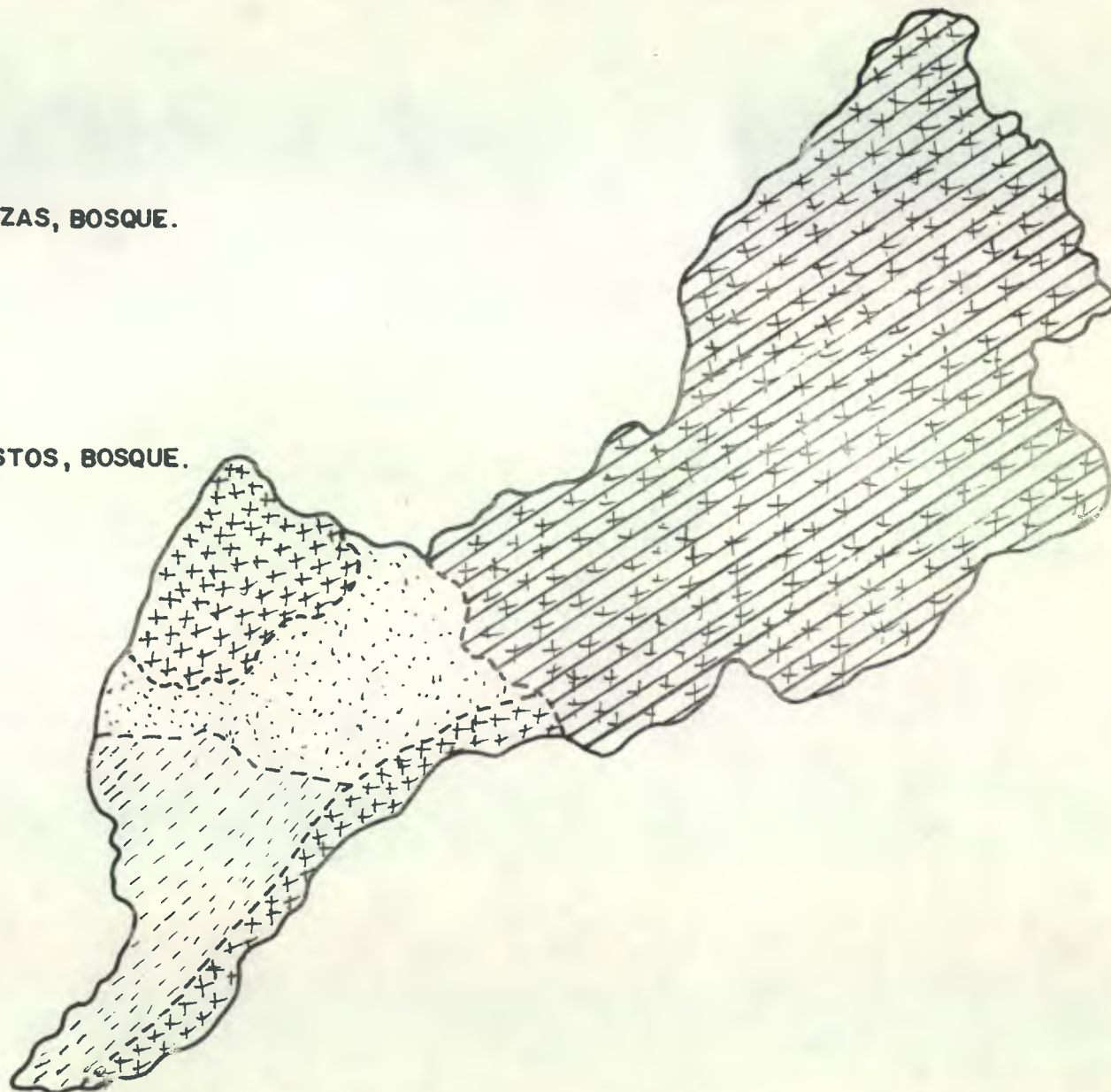
REFERENCIAS:

 TRIGO, MAIZ, FRIJOL, HORTALIZAS, BOSQUE.

 BOSQUE PURO.

 CAFE + BOSQUE.

 CAFE, CAÑA DE AZUCAR, PASTOS, BOSQUE.



"MAPA DE USO POTENCIAL"

MAPA No 1

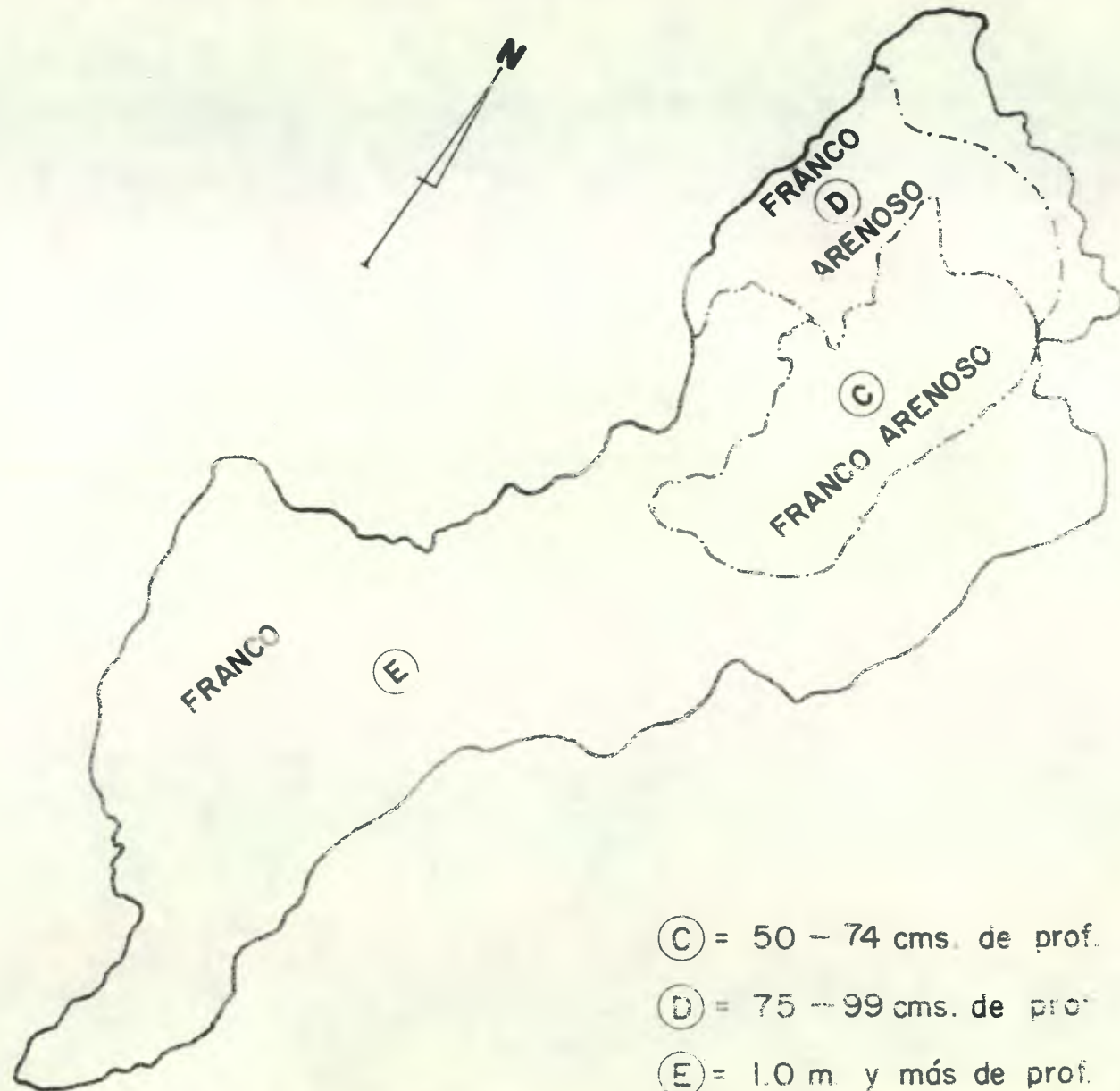
REFERENCIAS

-  Clase Agrologica I
-  Clase Agrologica II
-  Clase Agrologica III
-  Clase Agrologica VI
-  Clase Agrologica V
-  Clase Agrologica IV
-  Clase Agrologica VII
-  Clase Agrologica VIII



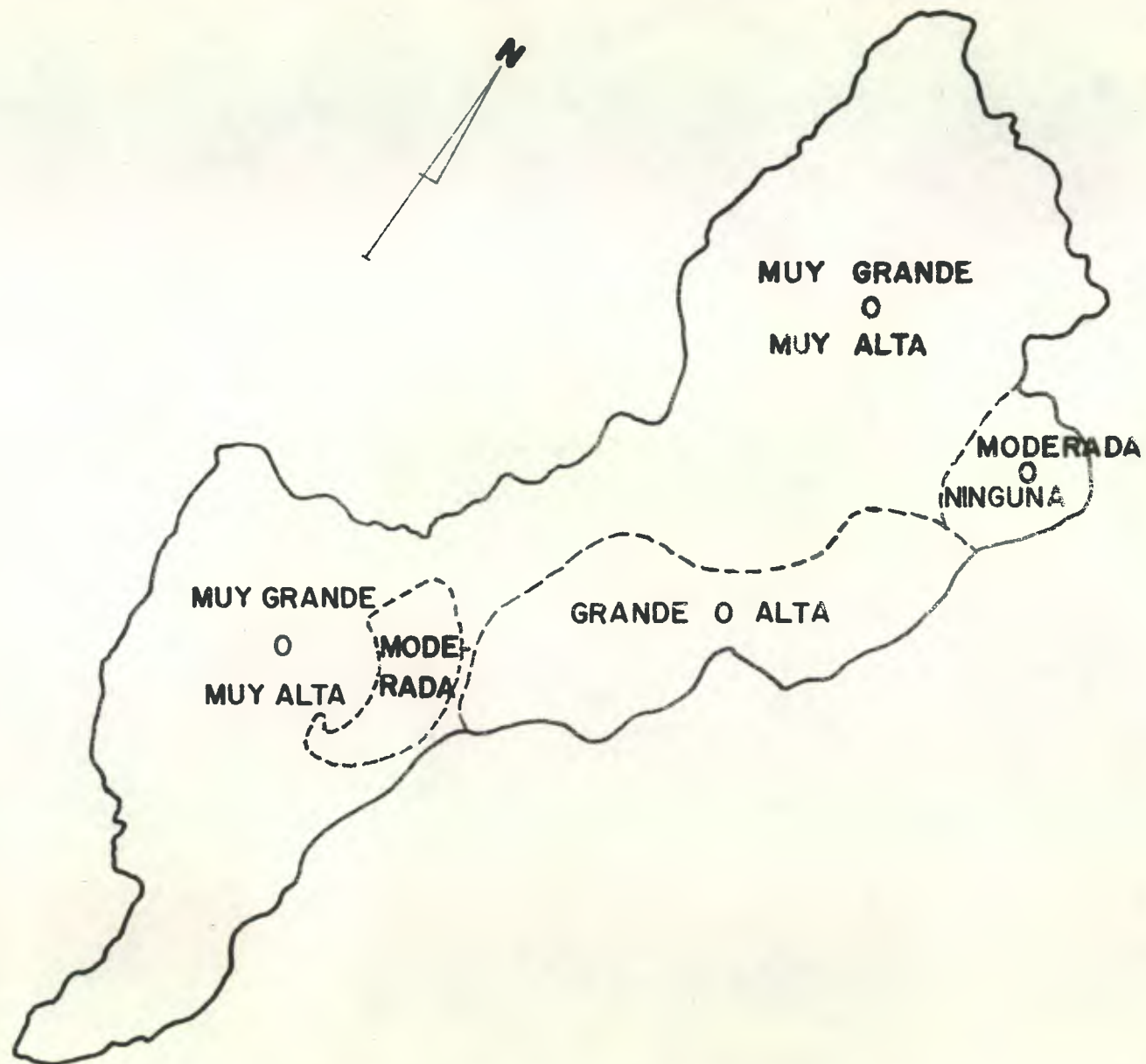
CLASIFICACION TEXTURAL DEL SUELO EN LA CUENCA

GRAFICA No 10



SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSION EN LA CUENCA

GRAFICA No 11



VI. CONCLUSIONES

- 6.1 Tomando en cuenta lo laborioso y tardado que resulta el contar y medir directamente las corrientes de todos los órdenes en la cuenca, es conveniente usar en lo sucesivo las fórmulas relativas a número y longitud de las corrientes, siguiendo el criterio original de Horton, que ya ha dado resultados adecuados en otras cuencas de la vertiente del Océano Pacífico.
- 6.2 En la curva área-distancia se nota un incremento de área muy grande (35.81% del área total) entre el 60% y 70% de la longitud de la cuenca en estudio. Es de esperar que entre estos puntos del río puedan ocurrir inundaciones cuando la precipitación sea muy intensa o prolongada con el agravante que esta área corresponde a las subcuencas de las Zonas altas de la cuenca, las que son susceptibles a provocar avenidas.
- 6.3 Referente a la curva Hipsométrica se puede decir que presenta una forma similar a las curvas de los estudios morfométricos hechos en la vertiente del Pacífico; y de acuerdo a los estudios de Strahler se ajusta a un estado intermedio en el ciclo de erosión de la cuenca, la cual indica que se presentarán erosiones marcadas durante mucho tiempo, pero éstas ya no serán las máximas; o sea que la corriente principal es un Río relativamente joven que aún no ha alcanzado su perfil de equilibrio o grado de selenitud.
- 6.4 Parámetros morfológicos:
 - a) El relieve total de la cuenca es muy fuerte (radio de elongación bajo);
 - b) La pendiente media de la cuenca es alta;
 - c) El subsuelo es suelto, suave y permeable en la parte media y baja de la cuenca, mientras que en la parte alta y volcánica del sur-occidente es impermeable y compacto (la densidad y frecuencia de corrientes alcanzan sus valores máximos en estas Zonas).

d) Hay elevada cantidad de material grueso de erosión y caudales variables (valor de la pendiente 85-10% de la corriente principal es elevado#, pero puede decirse que el aporte de sedimentos por unidad de área, es bajo (valor de coeficiente de relieve bajo).

6.5 Vegetación y uso del suelo:

- a) Las formaciones vegetales más abundantes en la cuenca total, son los bosques, maíz, trigo, frijol y hortalizas predominantemente en la parte media y alta de la cuenca; mientras en la parte baja predominan los bosques, café, pastos y caña de azúcar.
- b) El cultivo del maíz se lleva a cabo indistintamente en áreas de poca y mucha pendiente, lo que de acuerdo a las técnicas culturales y de manejo de los suelos hace que estas zonas sean altamente susceptibles a la erosión.
- c) La cobertura vegetal y el uso que se les da a los suelos en la cuenca, juega un papel importante en la erosión actual y, si en la posteridad no se toma en cuenta los parámetros que definen el uso potencial, la erosión llegará a ser en toda la cuenca en corto tiempo, acelerada o crítica.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1 Los datos de precipitación y de caudales en el caso de un estudio de erosión son importantes, por lo que es deseable que se emprenda un estudio para determinar los valores de los parámetros de estos factores erosivos y que el presente análisis se integre a dicho estudio, contándose así con una información precisa para la protección posterior de la cuenca, Por otra parte dicho estudio integrado será más representativo y adecuado de la Región.
- 7.2 Que para la evaluación real y actualizada de la cobertura vegetal y uso del suelo, es necesario contar con fotografías aéreas y en base a ellos, hace el análisis para la Región en Estudio.

- 7.3 Que para lograr una protección de la cuenca que pueda ser evaluada cuantitativamente en cuanto a la susceptibilidad a la erosión, así también para las demás cuencas Hidrográficas del país, será necesario promover a nivel de cuenca, un uso adecuado al uso potencial de los suelos, acorde a las condiciones imperantes de la Zona, como de la necesidad de producción a nivel Nacional de los distintos cultivos.
- 7.4 Como recomendación estacionaria de acuerdo al estatus imperante, es deseable que en las Zonas donde es mayor la erosión, se siembren árboles para crear bosques, que protejan el suelo a la vez que ayuden a la infiltración de las aguas de lluvia.
- 7.5 Promover entre los usuarios agrícolas de los suelos de la Zona alta, que tomen medidas adecuadas contra la erosión, tales como:
- a) No trabajar con escardado los suelos durante la estación lluviosa, ni siquiera con labores ligeras, si no se toman las precauciones adecuadas.
 - b) Las plantaciones deben establecerse siguiendo el contorno de las curvas de nivel.
 - c) En los terrenos de pendientes altas hacer acequias de ladera, establecidas perpendicularmente a la mayor pendiente, con el objetivo de que éstas se llenen con el suelo superficial de la parte alta y así bajar con el tiempo la pendiente misma y por ende evitar el lavado completo del suelo.
 - d) Integrar las prácticas mecánicas con las culturales en aquellos terrenos con pendientes exageradas, acequias de ladera mas barreras vivas, despuestas según las curvas de nivel, a una distancia variable unas de otras y en función de la pendiente.
 - e) Efectuar las siembras de los cultivos en terrazas, siguiendo las curvas de nivel.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. CACERES, E. Producción de Hortalizas. Colombia, Editorial Herrera Hermanos y Sucs. S.A., 1974 54 págs.
2. COSTE, R. El café. Barcelona, España, Ed. Blume, 1969. 27 págs.
3. ~~—————~~ Cafetos y cafés en el mundo. G.P. Maisonneuve & Larose. Francia, 1960. Tomo II (Volúmen II). 75 págs.
4. EMMONS, W.H. et. al. Geología: Principios y Procesos New York, EE.UU. Ed. McGraw Hill Book Co. 1965 474 págs.
5. ESTRADA, R.A. Estudio Hidrológico básico de la cuenca del Río Paz. Guatemala, Ministerio de Obras Públicas, Instituto Geográfico Nacional, 1970. 250 págs.
6. GOMEZ, F. Cultivo de la caña de azúcar. Venezuela, Unidad Central, Facultad de Agronomía, 1969. 80 págs.
7. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. Estudio Morfométrico de cuencas, ríos Ostúa, Aguacapa, Nentón y Lago de Atitlán. Guatemala, 1968, 1969, 1979 y 1969. 17 págs.
8. LINSLEY, J. et. al. Hidrología para Ingenieros, 2a. Ed. Colombia, Ed. McGraw Hill Latinoamericana S.A. 1975. 527 págs.
9. LOPEZ, F. Estudio Hidrológico básico de la cuenca del Río Maria Linda. Guatemala, Instituto Geográfico Nacional, 1973. 324 págs.
10. OCHEITA R., M. Estudio de la Susceptibilidad a la erosión de la cuenca del Río Villalobos, hasta la desembocadura en el Lago de Amatitlán. Guatemala, Instituto Geográfico Nacional, 1974. 230 págs.

11. OCHESE, J. et. al. Cultivo de Plantas Tropicales y Subtropicales. México, AID., 1965 (Tomo II). 53 págs.
12. REMENIERAS, G. Tratado de Hidrología Aplicada, 2a. Ed. Barcelona, España, Ed. Técnicos Asociados S.A., 1974. 567 págs.
13. SIMONS, CH. et. al. Clasificación de Reconocimiento de Suelos de Guatemala. Guatemala, Ed. José de Pineda Ibarra y Ministerio de Agricultura, IAN-SCIDA. 1959.
14. SMART, J.S. "A Comment on Horton's law of Stream numbers" "Water resources research" EE.UU. American Geophysical Unión, 1967 (Vol. III-Tomo III). 37 págs.

Marina G. de Jerez
Marina Guerra de Jerez
Licda. en Bibliotecología
Cd. No. 470

ANEXO "A"

CARACTERISTICAS DE LAS DIFERENTES ESTRUCTURAS GEOLOGICAS

Aluvión (Q. al)

De cualquier tipo de detritus depositado por corrientes, es decir, son los suelos productos de la erosión, arrastrados por las aguas y depositados. Están compuestos generalmente por arenas y gravas, en el caso de aluviones resistentes, estos están constituidos por limos y lodos, siendo la mayor parte de estos, limos, fragmentos angulares de cuarzo y feldespatos.

Su grado de consolidación es bajo, salvo el caso en que haya un material cementador de por medio y que forme lo que se llama un conglomerado.

En el caso de la cuenca en estudio, los aluviones son del cuaternario y están constituidos por arenas y gravas no cementadas, siendo por lo tanto, fácil de erosionar.

SEDIMENTOS VOLCANICOS EOLICOS

Comprende los sedimentos arrojados por los volcanes y depositados por capas sobre la tierra o en el agua. Están compuestos de polvo fino volcánico, cenizas, arena y otras partículas grandes.

Sedimento Volcánico Eólico: TEPHRA (Qr)

Son sedimentos volcánicos, compuestos por piedras pómez de diferente graduación, color y grado de consolidación, con paleosuelos intercalados.

En el área de la cuenca estas estructuras se caracterizan por estar formadas de elementos piroclásticos del cuaternario de diferentes tamaños, que van del color negro al blanco, estando bien clasificadas (debido a su transportación aérea) y a la vez las partículas son angulares.

Sedimentos Volcánicos Eólicos: Diamicron (Qtd)

Son sedimentos volcánicos similares a los anteriores (Qt), solo que con intercalaciones masivas de pómez mal clasificadas y sedimentos fluvio-lacustres.

En el área de la cuenca estas estructuras se caracterizan, por estar formadas de elementos piroclásticos del cuaternario, no clasificados sin ninguna estratificación y de mediana consolidación.

RIODACITA

Son rocas ígneas que ocurren como xenolitas, envueltas por plagioclasa sódica y que va acompañada por cuarzo bordeado de diópsida.

La riodacita tiene una relación en tiempo y espacio entre la riolita y otras cosas volcánicas como la andesita y el basalto, apesar de que hay otras de estas rocas que presentan cristalización normal, a partir de una magma originalmente homogéneo. A la riodacita también se le conoce como latita cuarzosa, siendo algunas de estas de origen hídrico.

DACITA

Es una roca de origen volcánico, de franco fino, con abundancia de hornblenda. Constituyen el tipo hipocristalino de las dioritas cuarcíferas, en ella los fenocristales resaltan en una pasta microlítica vítrea. Estas rocas forman siempre coladas o filones y son con frecuencia vacuolares, teniendo las cavidades ocupadas por minerales secundarios (ceolitas, calcedonia, etc.).

ANDESITA

Son rocas ígneas de grano fino, compuestas esencialmente de plagioclasa sodica o subcálica, aunque los feldespatos alcalinos se pueden presentar en pequeñas cantidades. El cuarzo aunque no siempre es visible, si está presente en la parte vítrea de la pasta, además de ello tiene también silicatos ferromagnesianos. Las andesitas son generalmente porfiríticas y máficas en forma de fenocristales. Después del basalto es la roca volcánica más abundante.

Las andesitas son susceptibles a una alteración conocida como propilítización producida por soluciones deutéricas calientes e hidratadas, ricas en CO₂.

Estas se presentan en el campo en forma de derrames gruesos y cortos, protuberancias dómicas de grados altos de pendientes o tapones y diques.

TOBAS

Son rocas ígneas piroclásticas blandas, que están formadas de fragmentos y material volcánico de tamaño y composición diferente, las cuales pueden o no estar soldadas.

GRANITO

Es una roca ígnea intrusiva de grano grueso, compuesta de feldespato ortoclasa, cuarzo y una pequeña cantidad de algún mineral ferromagnesiano. Debido a que la proporción de los minerales varía y también su escala de cristalización, existen muchas clases de granito, siendo estos de color blanco a negro.

El granito se caracteriza por tener una textura sumamente variable desde fina a muy gruesa, no siendo rara la textura porfirítica, además que tiene una absorción muy baja, con una resistencia a la compresión muy variable.

ANEXO "B"

DESCRIPCION DE LOS DIFERENTES USOS ACTUALES DE LA TIERRA
DESCRIPCION DE CULTIVOS

Maíz:

Pertenece a la familia de las gramíneas

Sistema radicular:

Como todas las gramíneas, el sistema radicular del maíz carece de raíz axonomorfa, es decir, pivotante y sus mechones plumosos se extienden en todas direcciones, principalmente en la capa de suelo vegetal.

La extensión de la penetración de las raíces en las capas profundas, dependen principalmente de la disponibilidad de nutrientes utilizables por la planta y el drenaje del suelo vegetal y del subsuelo. Cuando el suelo es rico en alimentos, las raíces son relativamente vigorosas y se ramifican en todas direcciones. En el suelo seco se desarrollan con mayor longitud y en suelo húmedo se debilitan.

Tallo y Hojas:

El tallo normalmente alcanza una altura de 2 a 3 mts. aunque depende de la variedad y de las condiciones climáticas y de suelo, por regla general el tallo se desarrolla hasta un grosor de 3 a 4 cms. el número de hojas varía entre 8 y 48, pero en promedio es de 12 a 18. La longitud de las hojas varía entre 30 y 150 cms. y su anchura puede ser hasta 15 cms.

Requisitos Climatológicos

Casi todo el maíz se cultiva en las regiones de mayor calor, en las regiones templadas y en las de clima húmedo subtropicales. En general el maíz no es un cultivo que resulte del todo satisfactorio en comarcas de clima semi-árido.

El maíz es una planta de tiempo tibio. El cultivo requiere considerable humedad y calor desde el tiempo en que se hace la siembra, hasta finalizar el ciclo de florecimiento. Los requisitos de agua son variados; teniendo bajas necesidades al principio de la estación y aumentando hasta el crecimiento máximo de las hojas, (este se alcanza en las postrimerias de julio).

Requisitos del Suelo

Se cultiva en una amplia variedad de suelos, pero produce mejor en suelos francos bien drenados, aireados profundos y tibios, también en suelos francos (margas) limosos que contienen abundancia de materia orgánica y están bien abastecidos de nutrimentos utilizables.

Debido a que el cultivo del maíz deja descubierta una gran parte del suelo, la erosión de este y las pérdidas de agua pueden ser severas. De allí, la importancia de tomar precauciones especiales para contrarrestar el escurrimiento y el lavado del suelo vegetal.

Características Erosivas

De acuerdo a las características físicas, así como de laboreo del suelo, se tienen las siguientes:

- Sistema radicular, vigoroso superficial y en todas direcciones.
- Sistema aéreo poco denso.
- La siembra del mismo se efectúa en la entrada de la estación húmeda (invierno) en suelo limpio y suelto.
- En todo el tiempo de crecimiento, necesita que el suelo esté limpio.

Se puede decir que el cultivo del maíz, da origen a una degradación alta del suelo, incrementándose cuando el cultivo se efectúa en terrenos con pendientes fuertes.

HORTALIZA

Se entiende por hortaliza, cualquier planta herbácea de la cual una o más partes pueden ser utilizadas como alimentos.

Por ser tan amplio el sentido de la palabra hortaliza, se hará una descripción de los diferentes cultivos que se encuentran en la zona de estudio y luego una descripción de las características de dos de ellas que engloban la generalidad de éstas, así:

Hortalizas cultivadas:

Repollo	Lechuga
Güicoy	Frijol ejotero
Coliflor	Arbeja
Rábano	Habas
Zanahoria	Puerro
Papa	Tomate
Cebolla	Frijol

Las hortalizas de las zonas altas, se caracterizan por ser de clima fresco, templados y húmedos, pero las temperaturas casi siempre están por debajo de los 21°C.

Como todas las hortalizas que son de raíces no muy profundas y extensas, necesitan de suelos con altos contenidos de materia orgánica y a la vez suelto, y aunque si el clima es apropiado, se puede usar cualquier suelo, a condición de ser bien drenados y que a la vez retengan bien la humedad.

Labores del Suelo y Riego:

El propósito del laboreo del suelo consiste en combatir las malas hierbas y evitar que el suelo se agriete o que se forme una capa dura en su superficie, en general las labores de cultivo deben tener poca profundidad en todos los casos. El riego siempre se hace necesario aún en lugares donde llueve, para asegurar que el crecimiento de las mismas sea uniforme y continuo.

Las hortalizas de las zonas bajas, se caracterizan por ser de clima cálidos soleados, teniendo como clima óptimo, los comprendidos entre 21 y 24°C.

Estas son de raíces no profundas aunque pueden penetrar eventualmente a profundidades de 1.20 mts. si no hay barreras a su penetración, estas a la vez son extensas, por lo tanto, estas necesitan de

suelos relativamente profundos con buena aereación y drenaje.

Características Erosivas

De acuerdo a las características físicas así como de laboreo del suelo, se tienen los siguientes:

- Sistema radicular, de superficial a semi-profundo, dependiendo el tipo de hortaliza.
- Sistema aéreo, ligero no abundante.
- Para su cultivo necesita un suelo muy suelto, limpio y superficial.

Se puede decir que el cultivo de hortalizas da origen a una degradación del suelo, alta, presentándose condiciones más críticas en las hortalizas de las zonas altas.

CAÑA DE AZUCAR

Pertenece a la familia de las gramíneas, cuyo nombre científico es "SACCHARUM OFFICINARUM".

Es una planta perenne y se cultiva como anual o polianual según las zonas y las costumbres.

Sistema Radicular

El sistema radicular de la caña de azúcar, generalmente está formado por tres clases de raíces: superficiales o primarias, raíces de apoyo y raíces profundas o de hebras.

Raíces primarias: se originan de la banda radicular del esqueje de siembra, alcanza una longitud de 0.5 a 2.5 mts., desarrollan prolíferamente a unos pocos centímetros debajo de la superficie de la tierra. En condiciones húmedas, éstas raíces proveen a la planta de grandes cantidades de agua y los minerales que requieren

Raíces de apoyo: Se origina de la banda radicular del esqueje de siembra, estas son blancas y jugosas y crecen rápidamente en un ángulo de 45 a 60 grados, alcanzando una longitud de 0.4 a 1.5 mts. debajo de la superficie de la tierra, parece ser que el propósito principal es el de actuar como raíz de apoyo o ancla, aunque indudablemente es absorbente hasta cierto grado.

Raíces profundas de hebras: Estas se caracterizan porque crecen más o menos verticalmente hacia abajo, y pueden avanzar una profundidad mayor de 6 mts., éstas van formando trenzas que pueden contener de 15 a 20 raíces. Estas son capaces de una absorción vigorosa, descendiendo ésta con la profundidad.

Sistema Aéreo:

El tallo de la caña de azúcar es áspero y cilíndrico, presenta nudos y entrenudos, teniendo los entrenudos una forma de tonel o barril. Su tamaño difiere no sólo por la variedad, sino por las condiciones de crecimiento, su diámetro puede variar de 1 cm. hasta 8 cms. dependiendo de la variedad.

El sistema aéreo en condiciones favorables, puede excepcionalmente alcanzar una altura de 9 mts. aunque en promedio su altura es de 4 cms. corrientemente.

El color del tallo, el tamaño y forma del entrenudo, dispuesto en arreglos en zig-zag, cantidad de cera, forma de brote y otras características, todas varían según la variedad.

La hoja de la caña de azúcar es esencialmente una planta de los trópicos frescos y crece mejor bajo zonas de fuertes lluvias y frecuentes, con períodos de días solados. Generalmente el crecimiento es poco, abajo de los 15°C y activo arriba de los 20°C. Se desarrolla mejor en zonas donde la precipitación anual es más de los 1150 mm. Generalmente en la mayor parte de los países productores, la caña se corta entre los 11 a 16 meses de edad.

Laboreo del Suelo

La caña se siembra en hoyos o surcos, donde se colocan los esquejes de siembra, para lo cual hay que tener el suelo nivelado, arado y destronado y posteriormente en el período de crecimiento hay que combatir las malas hierbas y las plagas que la afectan.

Características Erosivas

De acuerdo a las características físicas de la planta, así como laboreo del suelo, se tienen las siguientes:

- Sistema radicular, denso (como lo son las raíces primarias), pero a la vez superficiales.
- Sistema aéreo, denso en la edad adulta, pero a la vez muy ligero en la edad de crecimiento.
- Siembra, de esquejes de reproducción, se efectúa en la entrada de la estación húmeda (invierno) y en suelo limpio.
- Eliminación de hierbas superficiales, tanto en la edad joven como adulta de la caña.

Se puede decir que el cultivo de la caña de azúcar da origen a una degradación media del suelo, incrementándose cuando el cultivo se efectúa en terrenos con pendientes fuertes.

CAFE

Pertenece a la familia de las rubaceas.

La vida del cafeto comprende tres grandes períodos:

Primero: El de crecimiento, comienza con la germinación de la semilla y termina en la edad adulta (comprende de 4 a 5 años).

Segundo: El de producción, dura de 15 a 20 años y a veces más.

Tercero: El de decadencia fisiológica que termina con la muerte del arbusto.

Sistema RADicular:

En la primera etapa del crecimiento, el sistema radicular crece muy activamente en el curso de las primeras semanas de desarrollo, el eje se hunde profundamente y forma un gran número de raicillas. Las hojas son cotiledoneas, escasas al principio y luego aparecen las primeras ramificaciones (ramificación primaria), cuando la planta tiene de cinco a once pares de hojas; estas ramas igualmente tienen en cada nudo unas yemas que evolucionan dando lugar a nuevas ramas, (ramas secundarias) que se cubren de hojas. A los dos años el cafeto alcanza cerca de un metro de altura y posee numerosos pisos de ramas. Hacia el tercero o cuarto año (alrededor de 1.50 ó 1.75 cms. de altura) florece y entra en el segundo período de vida.

En el segundo período de vida el sistema radicular del cafeto está constituido por:

- Un eje, frecuentemente multístico, robusto que puede alcanzar de 0.30 a 0.50 mts., pero en suelos profundos puede alcanzar una profundidad de 1.00 mts. de profundidad, es el principal eje de fijación del arbusto.
- Cierta número de raíces auxiliares que nacen sobre el eje y se hunden en sentido vertical, tanto más profundo cuanto más ligero y permeable el suelo (su papel es la alimentación hídrica).
- Ramificaciones laterales, más o menos numerosas que se desarrollan lateralmente, con frecuencia hasta en el plano horizontal y se prolongan en una serie de raicillas. Estas exploran las capas superficiales del suelo, que son las ricas en nutrientes, su papel es especialmente el de nutrición mineral.

Sistema Aéreo:

El armazón del cafeto está constituido esencialmente por un eje vertical, el tronco y cierto número de pisos de ramas. La superficie foliar global de que dispone el cafeto adulto, está en función de la especie, de la iluminación y de las condiciones del medio.

Por medio del mecanismo de la fotosíntesis (respiración y nutrición a base de carbono) la mayoría de las veces la siembra de café se hace en lugares con cierta sombra (formada por las familias de las legumbres, escojiéndose preferentemente árboles de poca frondosidad, ramas extensas y cuyas raíces no formen alrededor del tronco una ancha red a nivel del suelo).

Requisitos Climatológicos:

La temperatura media óptima requerida, oscila entre 22° y 26°C. sin que las oscilaciones sean muy marcadas.

En general el cafeto prospera en regiones donde las precipitaciones sobrepasan ampliamente estas cifras.

La humedad atmosférica ejerce una marcada influencia sobre la vegetación del cafeto ya que influye en la transpiración de los mismos.

En su hábito natural el cafeto se haya en lugares sombríos o semi-sombreados.

Los vientos son nocivos para el cafeto por producir rotura de ramas, caída de hojas, etc.

Factores Edafológicos:

El cafeto no parece tener exigencias bien definidas en cuanto a la naturaleza de los suelos. Efectivamente, crece tanto en las tierras arcillo-silíceas de origen granítico, como en las de origen volcánico.

La textura del suelo y su profundidad tienen, por el contrario, una gran importancia ya que el cafeto posee un sistema radicular que alcanza una gran extensión. En los suelos compactos o poco profundos

el tallo queda corto y las raíces no se extienden más alta de los horizontes superficiales.

Cultivo:

Los cafetos se establecen, habitualmente en terrenos forestales, siendo mucho menos frecuentes en islotes de sábanas o en la sábana típica porque en la mayoría de los casos, los suelos son erosionados y menos fértiles y también porque la climatología es menos favorable.

Características Erosivas:

De acuerdo a las características físicas, así como de laboreo del suelo, tiene las siguientes:

- Sistema radicular, variando de semiprofundo a superficial, dependiendo del tipo de suelo donde se desarrolla.
- Sistema aéreo, no abundante.
- Por el mecanismo de la fotosíntesis, necesita cierta sombra proporcionada por árboles mayores, o por la siembra del mismo muy cerca uno del otro, dándole cierta cobertura aérea al suelo.
- Para su cultivo necesita un suelo limpio, lográndose con la eliminación de las hierbas superficiales.

Se puede decir que el cultivo del café da origen a una degradación media del suelo; cuando el cultivo se efectúa en terrenos con pendientes fuertes se incrementa mucho más.

BOSQUES

Se entenderá por este tipo de formación, toda aquella porción de terreno cubierta por árboles mayores, silvestres o sembrados para fines de explotación, dándole al suelo donde están asentado, una cobertura aérea y superficial bastante densa. Por la presencia de hierbas y troncos de los árboles, obstaculizan la formación de flujos de agua superficial, aumentando así la infiltración de la misma, a la vez que dan adherencia al suelo.

CULTIVOS Y SUS EFECTOS EN LA EROSION

A continuación se presenta a modo de ejemplo, una tabulación tomada del trabajo de Smith y Abruña, mostrando la pérdida de tierra, debido a la cubierta vegetativa de un suelo profundo, rojo de altura, (catalina arcillosos) en pendientes de un 40% con una precipitación pluvial anual de 80 pulgadas.

Clase de Cubierta Vegetativa	Toneladas de tierra que se pierden por cuerda por año
Barbecho	126
Rotación papas, maíz	17.5
Caña de azúcar	7.5
Hierbas (forrajeras, napier, güinea, pangola, pará, otros).	1.2
Kudzú tropical	0.2

ANEXO "C"

CLAVE DE INTERPRETACION DE CLASES
DE CAPACIDAD AGRICOLA DE SUELOS DE
ACUERDO CON LA USDA

CLASE AGROLOGICA I

- Profundidad: Suelos muy profundos, mayor de 90 cms.
- Textura: Texturas medias, o sea: franco arcillo limoso, franco arcilloso, franco arcillo arenoso, franco limoso, franco y franco arenoso.
- Permeabilidad: Permeable (2.4 a 6 cms/hora).
- Pendiente: Con un máximo de 4% de pendiente general.
- Relieve: Plano u ondulado suave.
- Estructura: Granular o nuciforme, en algunos casos puede ser en bloques.
- Erosión: Imperceptible, menos del 12.5% de horizonte "A", ha sido removido. En cultivos limpios puede ser de tipo laminar.
- Drenaje: No hay peligro de inundación y el drenaje por escorrentía se encuentran en balance. Si se produce la inundación, ésta no dura más de 48 horas. El patrón exterior es casi siempre subparalelo o dendrítico desarrollado. La densidad mecánica del drenaje está entre 0 y 2, factores resultante de dividir la longitud de las corrientes entre el área que determinan.
- Zona de restricción: No presenta ningún estrato o "pan" que afecte el drenaje interno.
- Salinidad: Nula o muy ligera. El total de sales no debe exceder del 0.2%.
- Alcalinidad: No se evidencia la presencia de sodio.
- Nivel Freático: Muy profundo (mayor de 150 cms.).

- Capacidad de retención de fertilidad: Alta.
- Capacidad de retención de humedad: Alta.
- Factores inhibitorios: Ninguno.
- Cobertura de malezas: No hay malezas que incidan en los costos de desarrollo.

Uso de la tierra

Puede ser muy variado. En tiempos muy generales se recomiendan cultivos de ciclo anual, limpios (que necesitan escarda). Requieren prácticas sencillas de manejo.

- Mecanización: Son fácilmente mecanizables.
- Costo de desarrollo: Es la clase de más bajo costo de desarrollo y mantenimiento.

CLASE AGROLOGICA II

- Profundidad: Suelos profundos, de 50 a más de 90 Cms.
- Textura: Poco finas o levemente gruesas, como: arcillo arenoso, franco arcillo limoso, franco arenoso o arena franca.
- Permeabilidad: Permeables (2.4-6 cms. /hora)
- Pendiente: Pueden tener hasta el 8% de pendiente general en el mismo plano. No debe exceder del 4% en declives irregulares.
- Relieve: Inclinaos u ondulados.
- Estructura: Nuciforme, en blocks o bloques sub-angulares
- Erosión: De ligera a moderada, un 35% del horizonte "A" ha sido removido. Erosión laminar o en surcos.

- Drenajes: La esorrentía del drenaje externa está compuesta por corrientes perennes, intermitentes y efímeras, predominando la segunda densidad mecánica de 2-3 factor resultante de dividir la longitud de la corriente entre el área que determinan. El peligro de inundación es ocasional e infrecuente, con duración no mayor de 72 horas. El patrón exterior es de tipo dendrítico desarrollado y sub-paralelo con drenaje destructivo en desarrollo.
- Zona de restricción: No existente.
- Salinidad: Ligera, no debe exceder de 0.5%, puede ser más alto en suelos porosos bien drenados. Aumenta después de los 90 cms. de profundidad.
- Alcalidad: No presenta evidencia de sodio.
- Nivel freático: Profundo (entre 90 y 150 cms.).
- Materia orgánica: Contenido moderado.
- Capacidad de retención: de fertilidad: Moderada
- Capacidad de retención de humedad: Moderada
- Factores inhibitorios: Con muy poca pedregocidad externa o interna, con gujarros de monos de 7,5 cms. de diámetro. Con recalidad expuesta de menos del 3% del área. Pueden presentarse problemas de salinidad fácilmente corregibles, exceso de humedad o ligeras limitaciones climáticas.
- Cobertura de Malezas: No es significativa:
- Uso de la tierra: Para cultivos anuales o de dos cosechas por año. Requieren algunas prácticas de manejos como labranza en contorno, cultivos en rotación, abono verde, cubierta de rastrojos, riego y drenaje y ocasionalmente fertilización. La combinación de

prácticas variadas de acuerdo a las diferencias de suelo, relieve, drenaje, condiciones climáticas y sistema agrícola.

- Mecanización: Presenta leves limitaciones uso de la escarda, tales como microrrelieve, zonas de restricción poca pedregocidad y pendiente.

CLASE AGROLOGICA III

- Profundidad: Suelos poco profundos (25 a 50 cms.)
- Textura: Arena franca o arcilla permeable.
- Permeabilidad: Lentamente permeables (1.2 a 1.4 cms/hora) ó libremente permeables (más de 6 cms./hora).
- Pendiente: Se admite hasta un 12% en superficies planas, no debiendo exceder del 8% en superficies irregulares.
- Relieve: Inclinado fuerte u ondulado fuerte.
- Estructura: Bloques subangulares o prismáticas.
- Erosión de moderada a severa; un promedio del 60% del horizonte "A" ha sido removido, alta susceptibilidad a la erosión por agua y viento. Se presenta en forma laminar y en surcos.
- Drenaje: La esorrentía de drenaje externo está compuesta por corrientes perennes y efímeras. La densidad mecánica del drenaje está entre 3 y 4. El peligro de inundación es ocasional o poco frecuente.
- Zona de restricción: Pueden encontrarse extractos compactados en zonas inferiores. Al horizonte "B".

- Salinidad: Moderada, después de los 60 cms. El contenido total de sales no excede de 0.5% pero puede ser mayor en suelos porosos y permeables bajo condiciones favorables de drenaje.
- Alcalinidad: Puede presentar evidencias de sodio, pero no en forma excesiva.
- Nivel freático: Moderadamente profundo (60 a 90 cms.).
- Materia Orgánica: Bajo contenido
- Capacidad de retención de humedad: baja.
- Factores Inhibitorios: Puede presentar una combinación de uno o varios de los siguientes: microrrelieve, con pedregosidad interna, con guijarros mayores de 7.6 cms. de diámetro con una pedregosidad y rocosidad expuesta del 3 al 10% del área conformada. Puede presentar alto contenido de Selenio después de los 50 cms. de profundidad.
- Cobertura de malezas: Puede ser tal que incida de una forma significativa en la elevación de los costos de desarrollo.
- Uso de la tierra: Pueden ser usadas para cultivos anuales, pastos, praderas, cultivos perennes y bosques.

Requieren de prácticas intensivas de manejo y conservación como cultivo en contorno, cultivos en rotación, abono verde, fertilización, incorporación de materia orgánica, nivelación control de erosión, mediante barreras de gramíneas y eventualmente muros de contención en cárcavas en formación.
- Mecanización: Hay moderadas limitaciones a la mecanización, la labranza de estos suelos puede producir amasamiento y ocasionar daños permanentes a la estructura del suelo, especialmente si se trabajan al estar mojados.

CLASE AGROLOGICA IV

- Profundidad: Suelos poco profundos (25 a 50 cms.) muy poco profundos (menos de 25 cms.).
- Textura: Arena, arcilla o arcillo limosos.
- Permeabilidad: Muy lentamente permeables (0.024 a 1.2 cm/hora) ó libremente permeables (más de 6 cm³/hora).
- Pendiente: Hasta 16% en superficies planas no debiendo exceder de 12% en superficies irregulares.
- Relieve: Ondula Ondulado fuerte o quebrado.
- Estructura: Prismática, columnar o degradada.
- Erosión: Severamente erosionadas con presencias de cárcavas moderadas, altamente susceptibles a la erosión. Un promedio del 60 al 80% del horizonte "A" ha sido removido.
- Drenaje: Su patrón es generalmente dentríco muy desarrollado, con un coeficiente de densidad mecánica mayor de 4, con propensión regular a las inundaciones y poco frecuentes en el semestre de verano.
- Zona de restricción: Puede presentar estratos compactados desde los 25 cms.
- Salinidad: Moderada después de los 50 cms.
- Alcalinidad: Hay sodio en forma moderada y pueden presentar Ph mayores de 8.5.
- Nivel freático: Superficial (25 a 50 cms.)
- Materia orgánica: Puede ser media, baja o muy baja.

- Capacidad de retención de fertilidad: baja.
- Capacidad de retención de humedad: baja.
- Factores inhibitorios: Con una pedregosidad y recosidad expuesta del 10 al 20% de la superficie conformada, puede presentar afloramientos rocosos de un 20% del área con piedras y cantos rodados de más de 25 cms. de diámetro.
- Cobertura de malezas: Puede ser muy difícil de corregir su presencia.
- Uso de la tierra: Pueden usarse para cultivos de una cosecha anual, pastos, praderas, bosques o cultivos perennes. Requieren prácticas intensivas de conservación y mantenimiento como: rotación de cultivos, cultivos en contorno, aplicación de cobertura vegetal, siembra de cultivos densos con puntos de concentración en pastos, fertilización, incorporación de materia orgánica cultivos que retornen grandes cantidades de materia orgánica al suelo, cultivos de gramíneas con sistemas radiculares fibrosas o pastos de raíz profunda. Puede requerir prácticas onerosas como cultivos en terrazas, y diques de contención en cárcavas.
- Mecanización: Ofrece severas limitaciones a la mecanización.

CLASE AGROLOGICA V

- Profundidad: Pueden ser profundos (50 a 90 cms.) ó poco profundos (25 a 50 cms.).
- Textura: Generalmente son finas en todo el perfil aunque puede ser mediana o gruesa en algunos casos.
- Permeabilidad: Generalmente impermeables o lentamente permeables.

- Pendiente: Pueden tener hasta un máximo de 24%, aunque es frecuente encontrar suelos de esta clase con pendientes casi planas.
- Relieve: Planos, inclinados u ondulados.
- Estructuras: En bloques, columnares o degradada.
- Erosión: Tienen pocos problemas de erosión, tanto histórica como actual.
- Drenaje: Son suelos muy pobremente drenados con muy alta susceptibilidad a la inundación; son con frecuencia suelos pantanosos con drenajes externos e internos muy deficientes. Pueden estar sujetos a avenidas o torrentes. Puede tratarse de suelos pantanosos o encharcados.
- Zona de restricción: Puede presentar estratos compactados desde los 50 cms. de profundidad.
- Salinidad: Severa.
- Alcalinidad: Con PH menores de 6.5 ó mayores de 8.0 con alto contenido de sodio intercambiable (hasta 15% de las sales disueltas), pueden ser suelos con alto nivel de oxidación o de reducción.
- Nivel freático: Muy superficial permanentemente (menos de 25 cm)
- Materia orgánica: Media o baja.
- Capacidad de retención fertilidad: de media a baja.
- Capacidad de retención de humedad: excesiva.
- Factores inhibitorios: Fragmentos rocosos sueltos hasta un 40% del área y afloramientos rocosos hasta de un 30%.

- Uso de la tierra: Pueden dedicarse a praderas o bosques. Los costos de su desarrollo son tan elevados que no se les puede tomar en consideración para especies con alto cociente de transpiración ó en especies hidrófilas, también puede ensayarse algún sistema de drenaje.
- Mecanización: Son suelos no mecanizables.

CLASE AGROLOGICA VI

- Profundidad: Muy poco profundos (menos de 25 cms.).
- Textura: Estratos compactados desde la superficie o muy gruesa en todo el perfil.
- Permeabilidad: Impermeables (menos de 0.024 cms/hora) ó libremente permeables (más de 6 cms./hora).
- Pendiente: de 24 a 32%.
- Relieve: Ondulado fuerte o quebrado.
- Estructura: Generalmente son estructuras grandes o pequeñas débilmente desarrolladas.
- Erosión: Drenaje superficial e interno muy deficiente. Son áreas sujetas a inundaciones, avenidas y torrentes. Coeficiente de densidad mecánica de 5 a 6.
- Salinidad: Pueden presentar cantidades excesivas de sales disueltas.
- Alcalinidad: Pueden presentar niveles excesivos de sodio a tal punto que se pueda manifestar como suelo salino sódico; por obra parte, también es posible que se trate de suelos muy ácidos.

- Nivel freático: Muy superficial (menos de 25 cms.) ó ausente en los 250 cms. superficiales durante un semestre.
- Materia orgánica: Bajo contenido.
- Capacidad de retención de fertilidad: baja.
- Capacidad de retención de humedad: baja.
- Factores inhibitorios: Fragmentos rocosos sueltos hasta un 50% de la superficie y afloramientos rocosos de hasta un 40% superficies muy desectadas topográficamente. Pueden tomarse en consideración para algún tipo de cultivos perennes. Requieren prácticas, fundamentalmente de conservación, como pueden ser: diques de contención, pozos de absorción en cárcavas, acequías de infiltración, barreras de gramíneas.
- Mecanización: No apta para mecanizar.

CLASE AGROLOGICA VII

- Profundidad: Muy poco profundos (menos de 25 cms.).
- Textura: Estratos compactados desde la superficie o muy gruesa, con grava, en todo el perfil.
- Permeabilidad: Impermeables (menos de 0.024 cms/hora) ó libremente permeables (más de 6 cms/hora).
- Pendiente: Mayor de 32%
- Relieve: Ondulada fuerte, quebrado o escarpado.
- Estructura: Degradada, débiles o macroestructuras generalmente de tipo blocoso.

- Erosión: Muy severa, hasta un 100% del horizonte "A" removido. Se presenta cárcavas muy severas, con denudación evidente. Formación de torrentes.
- Drenaje: Muy deficiente, el drenaje externo se manifiesta en escorrentía destructiva hasta torrentes incipientes, son suelos sujetos a inundación durante dos semestres del año, del 4^{ta} a 6 meses en cada uno, coeficiente de densidad mecánica de 6 a 7.
- Zona de restricción: Puede presentar estratos compactados desde los 25 cms. de profundidad o grava y piedras en capas inferiores del perfil.
- Salinidad: Es muy alta después de los 25 cms. aunque pueden presentarse suelos con porcentajes mínimos de sales en solución, lo que los hace particularmente infértiles. Pueden presentarse como suelos altamente lixiviados, muy pobres en sales.
- Alcalinidad: Pueden presentarse como suelos salino-sódicos, salinos o sódicos; también se pueden presentar como suelos muy ácidos.
- Nivel freático: Muy superficial (menos de 25 cms.) o completamente ausente durante por lo menos 8 meses del año.
- Capacidad de retención de fertilidad: Muy baja.
- Capacidad de retención de humedad: Muy baja o excesivamente alta.
- Contenido de materia orgánica: Muy baja.
- Factores inhibitorios: Fragmentos sueltos de roca hasta un 50% de la superficie o afloramientos rocosos hasta un 40%. Pueden encontrarse con erosiones de grava o roca en todo el perfil. Es muy frecuente encontrar moteaduras de

diversa índole en el mismo. Tiene limitaciones climáticas como fuertes vientos, cambios bruscos de temperatura, insolación, altitud, etc.

- Cobertura de malezas: No hay.
- Uso de la tierra: No es apta para cultivos aunque pueden considerarse algunos de tipo perenne que puede dedicarse a praderas, bosques y protección de cuencas hidrográficas, se hacen necesarias prácticas intensivas de conservación como las mencionadas para la clase VI, pero de mayor envergadura.
- Mecanización: No es posible.

CLASE AGROLOGICA VIII

- Profundidad: Muy poco profundos (menos de 25 cms.).
- Textura: Cualquiera, aunque casi nunca son medianas.
- Permeabilidad: Impermeables (menos de 0.24 cms/hora). O libremente permeables (más de 6 cms/hora).
- Pendiente: En cualquier caso mayor del 32%.
- Relieve: Ondulado fuerte, quebrado o escarpado.
- Estructura: Cualquiera.
- Erosión: Muy severa (100% del horizonte aremovido). Cárcavas muy severas con denudación muy intensa. Alta erosión histórica y muy alta susceptibilidad a la misma. Formación frecuente de torrentes, repntación y derrumbes de todo tipo.

- Drenaje: El drenaje se manifiesta casi exclusivamente como drenaje externo en forma de escorrentía altamente destructiva con un coeficiente de densidad mecánica de 7 a 8.
- Zona de restricción: Puede presentar estratos compactados desde la superficie o bien grava y piedras en todo el horizonte.
- Salinidad: Salino sódico o sódico en todo el perfil o con PH menores de 5.
- Alcalinidad: Salinidad.
- Nivel frático: Ausente durante todo el año.
- Capacidad de retención de fertilidad: Nula.
- Capacidad de retención de humedad: Nula o exagerada.
- Contenido de materia orgánica: Imperceptible.
- Factores inhibitorios: Fragmentos sueltos de roca, cubriendo más de 50% de la superficie conformada o afloramientos rocosos de más del 40%. Incrustaciones de grava y piedras en todo el perfil. Severas limitaciones climatológicas como fuertes vientos, insolación, cambios bruscos de temperatura, precipitación fluvial.
- Cobertura de malezas: No hay.
- Uso de la tierra: No apta para cultivos, sus limitaciones son tan severas que se debe dedicar a protección de cuencas (reforestación), abastecimiento de agua y recreación.
- Mecanización: No es posible.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia

Asunto

"IMPRIMASE"



DR. ANTONIO A. SANDOVAL S.
D E C A N O