

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
SUBDIRECCION GENERAL ADJUNTA DE ENSEÑANZA
PROGRAMA DE POSGRADO

RELACION ENTRE COMPACTACION DEL SUELO Y USOS DE LA TIERRA A
NIVEL DE CUENCAS HIDROGRAFICAS, RIO AQUIARES, TURRIALBA,
COSTA RICA.

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico Académico del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de

Magister Scientiae

por

FRANCISCO A BARROSO PERDOMO

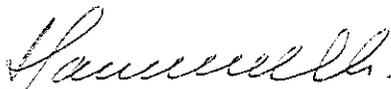
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Turrialba, Costa Rica.

1991

Esta tesis ha sido aceptada, en su presente forma, por la Coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales Renovables del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

COMITE ASESOR:



Jorge Faustino, M.Sc.
Profesor Consejero

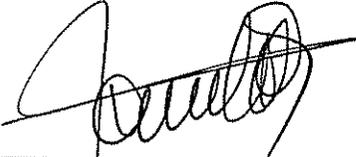


Carlos Rivas, Ph.D.
Miembro del Comité

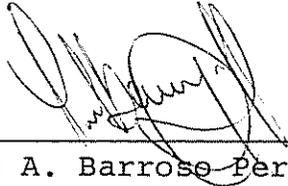


Prem Sharma, Ph.D.
Miembro del Comité

Miembro del Comité



Ramón Lastra, Ph.D.
Coordinador Programa de Maestría



Francisco A. Barrose Perdomo
Candidato

DEDICATORIA

A mis padres Vicente y Aurora, ejemplo de constante superación.

A Miriam R. mi esposa y a mi hija Dayám Alejandra.

A mis hermanos Rosalba Aurora, Rafael V. e Irma.

A todos los que me dieron su apoyo para lograr esta meta.

Eterno reconocimiento

AGRADECIMIENTO.

El autor desea expresar su agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

A Jorge Faustino M. Msc Profesor Consejero, ejemplo de calidad humana y técnica; artífice conceptual y guía de esta investigación.

A los Phd Carlos J Rivas y Prem Sharma, Profesores y miembros del Comité Asesor, por sus valiosos sugerencias durante la realización del proyecto.

AL profesor León Javier Saborío por sus aportes técnicos.

A Don Julio Cesar Carozzo C. por su apoyo íntegro que permitió iniciar y llevar a feliz término esta tarea.

A mis compañeros de trabajo de Palmichal sc.

Un reconocimiento muy especial a la Junta Directiva de Palmichal sc y de Petroquímica de Venezuela, S A.

A Ph.D. Ramón Lastra y su esposa Ana María de quienes recibí toda su confianza durante mi estadía en Costa Rica.

A mis compañeros de la promoción 1989-1991., especialmente a Héctor Sagastume Mena por su desinteresada colaboración.

A Carlos Varela J. del Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas y a los señores Delio Jara M y Juan Baustista Calvo del Servicio de Parques Nacionales de Costa Rica.

Al personal de la Biblioteca ORSTOM del IICA, Turrialba, Costa Rica, particularmente a la señora Lisseth Brenes Binns.

A Johnny Pérez N. y a todo el personal del Centro de Cómputo del CATIE.

A mi segunda familia los Escandón-Romero

A mis primos Melquiades Iván y Alejandro Antonio, Martínez Barroso y a los amigos de mi pueblo natal y mi país especialmente a José A Feo D y Rogelio Guzmán V.

A todos muchas gracias.

BIOGRAFIA

El autor nació el 18 de noviembre de 1951 en la ciudad de Puerto Cabello, República de Venezuela.

Realizó los estudios secundarios en el Liceo "Miguel Peña" donde obtuvo el título de Bachiller en Ciencias, en el año 1969.

En 1976 se gradúa en la Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería Forestal, de la ilustre Universidad de los Andes, como Ingeniero Forestal.

Ha participado en cursos técnicos a lo largo de toda su carrera y ha laborado como Ingeniero Forestal en la Compañía Nacional de Reforestación. CONARE., en el Instituto Agrario Nacional, en el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables y en PALMICHAL sc, esta última empresa encargada del manejo de la Cuenca del río Morón, Estado Carabobo, Venezuela.

En 1989 ingresa en el programa de posgrado del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y en septiembre de 1991 se le otorga el título de Magister Scientiae con especialización en Planificación y Manejo de Cuencas Hidrográficas.

INDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
BIOGRAFIA.....	vi
INDICE.....	vii
RESUMEN.....	ix
SUMMARY.....	xi
LISTA DE CUADROS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xvii
LISTA DE ANEXOS.....	xx
1.INTRODUCCION.....	1
2.REVISION DE LITERATURA.....	5
2.1. Conceptualización del proceso de compactación.....	5
2.2. Fuerzas que causan la compactación.....	6
2.3. Forma de estudiar la compactación.....	7
2.4. Características físicas de suelos inceptisoles relacionadas al proceso de compactación.....	10
2.5. La compactación de suelos en pastos con pisoteo animal y uso agrícola.....	11
2.6. Utilización de los sistemas de información geográfico en los estudios de recursos naturales.....	13
2.7. La compactación del suelo y la degradación de cuencas hidrográficas.....	17
3.DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....	19
3.1. Ubicación y extensión de la Cuenca.....	19
3.2. Características físicas-naturales generales.....	19
3.2.1. Clima.....	19
3.2.2. Zonas de vida.....	23
3.2.3. Suelos.....	23
3.2.4. Principales parámetros morfométricos.....	26
4.MATERIALES Y METODOS.....	29
4.1. Materiales.....	29
4.2. Metodología.....	30
4.2.1. Selección del área de estudio.....	31
4.2.2. Reconocimiento preliminar de campo.....	31
4.2.3. Interpretación de las fotografías aéreas y elaboración del mapa del uso actual de la tierra.....	33

4.2.4.	Elaboración del mapa de capacidad de uso de la tierra.....	33
4.2.5.	Selección del sistema de información geográfico.....	34
4.2.6.	Elaboración del mapa de zonas conflictivasy no conflictivas.....	35
4.2.7.	Muestreo en las zonas de estudio.....	37
4.2.8.	Parámetros indicativos del proceso de compactación.....	38
4.2.9.	Análisis estadísticos.....	40
5.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	42
5.1.	Análisis espacial.....	42
5.1.1.	Distribución de Uso actual de la tierra, capacidad de uso y zonas conflictivas en la Cuenca del río Aquiares.....	42
5.1.2.	El proceso de compactación en las diferentes áreas de la cuenca.....	52
5.2.	Análisis e Interpretación detallada de datos.....	56
5.2.1.	Prueba χ^2	56
5.2.2.	Prueba "t" para medias ajustadas.....	57
5.2.3.	Análisis de regresión.....	70
5.2.4.	Integración de los valores de los indicadores de los procesos de compactación.....	75
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
7.	BIBLIOGRAFIA.....	88
8.	ANEXOS.....	97

Barroso P., Francisco A. 1991. Relación entre compactación del suelo y usos de la tierra a nivel de cuencas hidrográficas, río Aquiares, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., CATIE. 125 p.

Palabras claves: cuenca hidrográfica, compactación de suelos, sistema de información geográfico, uso actual de la tierra, capacidad de uso de la tierra, zonas conflictivas.

RESUMEN

El estudio se realizó con el objetivo de conocer la compactación del suelo en diferentes usos y sectores de la cuenca hidrográfica del río Aquiares. Se propone una metodología que caracterice la compactación desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo. Mediante la interpretación de fotografías aéreas y chequeo de campo se realizó el mapa de uso actual de la tierra, además se realizó el mapa de profundidad de suelo y pendiente. Todos estos mapas se digitalizan en forma manual y definió un tamaño de cuadrícula que abarca un área de 1.56 ha. Se obtuvieron los mapas de capacidad de uso (metodología Sheng) y zonas conflictivas, definiéndose como tal aquellas áreas cuyos usos están por encima de la capacidad que tienen estos suelos y no conflictivas donde el uso es igual o está por debajo de su capacidad. Por otra parte la cuenca se dividió en sectores, caracterizados por aspectos físicos-naturales. (precipitación, altura y orden de drenaje) definiendo la ubicación de cada sector, como cuenca alta, cuenca media-alta, cuenca media y cuenca baja.

Se realizó un muestreo de suelo para cada uso de la tierra, dentro de cada sector y zonas, a la profundidad de 0-15 y 15-30 cm. Los análisis realizados fueron la permeabilidad, densidad aparente, porosidad total y resistencia a la penetración, evaluando además el contenido de humedad y la textura del suelo. Cada uno de los valores aquí obtenidos se analizaron en forma individual e integrada para obtener valores cualitativos de compactación.

Los resultados reflejan lo siguiente:

-Al relacionar zonas según profundidad, la tendencia del proceso de compactación es mayor en zonas conflictivas con profundidades de 15-30 cm.

-Al relacionar usos y profundidad, la tendencia del proceso se muestra más acentuada a la profundidad de 0-15 cm. con excepción de los cultivos anuales.

-En los sectores tomando en consideración los usos, el proceso de compactación aumenta de la cuenca alta a la cuenca baja, presentándose los valores de compactación más elevados para los usos café, pasto y cultivo anual.

-Al relacionar los indicadores de compactación con el contenido de humedad del suelo, resulta significativo la densidad aparente y la porosidad total, cuyos valores son de proporcionalidad directa e inversa respectivamente.

-Al integrar los valores de los indicadores de la compactación para calificar el proceso, se observa que un 24,38 % de la cuenca no presenta compactación, el 17,98 % tiene una compactación leve y el 57,64 % presenta una compactación moderada.

Barroso P., Francisco A. 1991. Relation between soil compactation and land use at the hydrographic watershed level. Aquiares River, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., CATIE. 125 p.

Keyword: hydrographic watershed, soil compactation, geographic information system, land use, land use capacity, conflictive zone.

SUMMARY

The objective of thesis study was to learn the soil compactation in different uses and sectors of the hydrographic watershed of the Aquiares River. The methodology proposed characterized the compactation from the qualitative and quantitative points of view. A land use map was made by interpreting aerial photographs and field work; soil depth and slope maps were also made. All of these maps were drawn by hand defining a square area size of 1.56 ha. These being defined as those areas whose uses are above the soil's capacity, and not conflictive where the use is the same or below its capacity. The watershed was divided in sectors, characterized by physical-natural aspects (precipitation, altitude and drainage order) defining the location of each sector as uplands, medium-highlands, medium and lowlands.

A soil sampling was done for each land use, within each sector and zone, at a depth of 0-15 and 15-30 cm.

Permeability, apparent density, total porosity and penetration resistance analyses were done; moisture content and soil texture were also evaluated. Each of these values obtained were analyzed individually and integrally to obtain qualitative compactation values.

The results show the following:

Relating zones according to depth: the tendency of the compactation process was greater in conflictive zones with depths of 15-30 cm.

Relating uses and depth: the tendency of the sampling process was most accentuated at a depth of 0-15 cm. with the exception of annual crops.

In sectors, taking use into consideration: the process of compactation increases from the high watershed to the low watershed, showing higher compactation values for coffee, pasture and annual crops.

Relating the compactation indicators with the soil's humidity content: apparent density and total porosity are significant, and their values are in direct and inverse proportions, respectively.

When the values of compactation indicators are integrated to qualify the process, it is observed that 24.38% of the watershed does not present compactation, 17.98% has slight compactation and 57.64% has moderate compactation.

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Relación entre la conductividad hidráulica y la permeabilidad bajo ciertas condiciones de suelo.....	9
2 Efectos del sistema de cultivos y prácticas de control de erosión del suelo y la escorrentía de un Dystrandept de Chinchiná, Colombia.....	11
3 Estaciones meteorológicas utilizadas en el análisis de la información climática de la Cuenca del río Aquiares.....	22
4 Precipitación de la Cuenca del río Aquiares. Precipitación media mensual. mm.....	23
5 Características que identifican a cada sector de la Cuenca Hidrográfica del río Aquiares.....	37
6 Uso actual de la tierra. Cuenca del río Aquiares.....	42
7 Profundidad del suelo de la Cuenca del río Aquiares...	44
8 Distribución de la pendiente en la Cuenca del río Aquiares.....	44
9 Sistema de clasificación de los terrenos por capacidad de uso (según Sheng modificado por Michaelsen 1977).....	47
10 Distribución de la Capacidad de uso de la tierra para la Cuenca del río Aquiares.....	49

11 Zonas conflictivas y no conflictivas de la Cuenca del río Aquiares.....	48
12 Promedio de los indicadores de la compactación en zonas conflictivas y no conflictivas a diferentes profundidades.....	53
13 Promedio de los indicadores de compactación en zonas conflictiva y no conflictivas en diferentes usos. Profundidad: 0-30 cm.....	53
14 Promedio de los indicadores de compactación por sectores. Profundidad 0-30 cms.....	56
15 Prueba χ^2 -Sperman para los valores de los índices de compactación.....	57
16 ANDEVA para el indicador permeabilidad por zonas.....	58
17 ANDEVA para el indicador densidad aparente por zonas.....	59
18 ANDEVA para el indicador porosidad total por zonas....	60
19 ANDEVA para el indicador resistencia a la penetración por zonas.....	62
20 ANDEVA para el indicador permeabilidad por sectores de la Cuenca.....	66
21 ANDEVA para el indicador densidad aparente por sectores de la Cuenca.....	67

22 ANDEVA para el indicador porosidad total por sectores de la Cuenca.....	69
23 ANDEVA para el indicador resistencia a la penetración por sectores de la Cuenca.....	71
24 ANDEVA para el indicador densidad aparente y el contenido de humedad como covariable.....	72
25 ANDEVA para el indicador porosidad total y el contenido de humedad como covariable.....	72
26 ANDEVA de la regresión entre la densidad aparente y el contenido de humedad.....	73
27 ANDEVA de la regresión entre la porosidad total y el contenido de humedad.....	74
28 Rangos de los valores de los indicadores del proceso de compactación.....	76
29 Relación sector-uso para valores integrados del proceso de compactación.....	77
30 Relación sector-profundidad del suelo para valores integrados del proceso de compactación.....	78
31 Relación por zonas para valores integrados del proceso de compactación.....	78
32 Relación por sectores para valores integrados del proceso de compactación.....	81

33	Relación zonas conflictivas-profundidad del suelo para valores integrados del proceso de compactación...	81
34	Valores cualitativos de la compactación para la Cuenca del río Aquiares.....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura	página
1 Ubicación del área de estudio.....	20
2 Ubicación geográfica. Cuenca del río Aquiares.....	21
3 Curva hipsométrica de la Cuenca del río Aquiares.....	28
4 Flujograma de la metodología utilizada.....	32
5 Flujograma utilizado para el sistema de información geográfico.....	36
6 Mapa de uso actual de la tierra. Cuenca del río Aquiares.....	42
7 Mapa de profundidad del suelo. Cuenca del río Aquiares.....	45
8 Mapa de pendientes. Cuenca del río Aquiares.....	46
9 Mapa de capacidad de uso. Cuenca del río Aquiares....	48
10 Mapa de zonas conflictivas. Cuenca del río Aquiares..	50
11 Compactación por sectores para cada indicador.....	55
12 Comparación de promedios de permeabilidad entre zonas.....	58
13 Interacción zonas x profundidad. Promedios de densidad aparente.....	59

14	Interacción zonas x profundidad. Promedios de porosidad total.....	60
15	Interacción zonas x usos. Promedios de resistencia a la penetración.....	62
16	Interacción usos x profundidad. Promedios de densidad aparente.....	63
17	Interacción usos x profundidad. Promedios de porosidad total.....	63
18	Interacción usos x profundidad. Promedios de resistencia a la penetración.....	64
19	Comparación de medias de permeabilidad. Sectores y usos de la tierra.....	66
20	Comparación de medias de densidad aparente. Sectores y usos de la tierra.....	67
21	Comparación de medias de porosidad total. Sectores y usos de la tierra.....	69
22	Comparación de medias de resistencia a la penetración. Sectores y usos de la tierra.....	71
23	Regresión entre la densidad aparente y contenido de humedad.....	73
24	Regresión entre la porosidad total y contenido de humedad.....	74

25	Grados de compactación en la cuenca alta Cuenca del río Aquiares.....	79
26	Grados de compactación en la cuenca media-alta. Cuenca del río Aquiares.....	79
27	Grados de compactación en la cuenca media. Cuenca del río Aquiares.....	80
28	Grados de compactación en la cuenca baja. Cuenca del río Aquiares.....	80
29	Grados de compactación para zonas conflictivas. Cuenca del río Aquiares.....	82

LISTA DE ANEXOS

Anexos	página
1 Leyenda del mapa de uso actual de la tierra.....	97
2 Leyenda del mapa de capacidad de uso. (Sheng, modificada por Michaelson).....	101
3 Medias de los indicadores del proceso de compactación. Interacción usos x profundidad.....	102
4 Medias ajustadas de los indicadores del proceso de compactación. Interacción sectores x usos.....	103
5 Bases de datos.....	104

1. INTRODUCCION

Los planes de desarrollo nacionales, regionales o locales, deben promover la producción sostenida y tomar en consideración un componente primordial que involucre el uso, conservación y protección de los recursos productivos. Las diferentes acciones realizadas por el hombre, sobre los recursos naturales renovables, conllevan a una serie de alteraciones de diversa índole que es necesario evaluar, a fin de evitar procesos irreversibles en el medio físico natural.

En muchos casos la degradación de los suelos de las cuencas hidrográficas se manifiesta en el grave proceso de compactación, presentando mayor impacto cuando se trata de sobrepastoreo en tierras de ladera, sin embargo ésta no es la única causa. Esto induce a establecer que la información al respecto puede constituir un elemento clave para indicar un manejo y un uso adecuado de la tierra, así mismo se considera que los indicadores del proceso de la compactación del suelo han sido poco evaluados en su total amplitud en cuencas del trópico húmedo.

La compactación de los suelos comprende procesos que afectan ante todo sus características físicas y constituyen una de las causantes de los procesos de erosión hídrica. La alteración de las características físicas de los suelos ha sido estudiada, principalmente, debido a la limitante que representa para el crecimiento de las raíces de la planta, bien sea agrícolas o forestales, sin embargo la compactación también modifica la capacidad de infiltración y altera el escurrimiento superficial, efecto éste que desde el punto de vista del manejo de suelo y de cuencas hidrográficas, conlleva importantes implicaciones de producción y conservación.

En un marco integral de análisis, este proceso de degradación física puede ser causado por la precipitación, manejo inadecuado del cultivo y suelo, deficiencia o falta

de rotación del cultivo, labranza inapropiada, manejo inadecuado de ganado y uso inapropiado de maquinarias, entre otros.

El tráfico de las personas por las áreas de cultivos, para labores previas y posteriores a la siembra y cosecha ejerce una presión importante que puede oscilar en el orden de los 0.4 Kg/cm². (Radulovich y Sollins, 1985.).

Sánchez y Cochrane citados por Kass 1990, señalan que la compactación es una de las principales limitaciones en fincas de América Tropical, sobre todo en suelos ortisoles de estructura arenosa. También resalta que "en sistemas de monocultivo en regiones bajas, las limitaciones principales de los suelos es la compactación y la erosión causado por el tránsito excesivo, sistema de drenaje inadecuado, resultando entre otros problemas, el de salinidad.

Información a nivel regional indica que, del total de suelos ácidos de América Tropical con limitaciones de toda índole, el 16% tiene limitaciones por compactación, ello representa 169x10⁶ ha, cifra realmente significativa.

Una de las explicaciones básicas de la problemática del manejo de pastizales en sistemas extensivos de pastoreo, son las limitantes como: deficiencia de fósforo, nitrógeno, potasio, azufre, zinc, cobre, molibdeno y la compactación de suelos. En estas áreas la erosión es baja, dado que los pastos al perder su fertilidad son abandonados y convertidos en barbechos o charral.

Ante este marco de referencia se puede destacar que es importante caracterizar las causas y consecuencias de la compactación y suministrar información para orientar a soluciones que superen las limitaciones, ya que ello produce un impacto ambiental y económico que implica la disminución de la productividad y producción agrícola, utilización de otras áreas agrícolas y presión sobre nuevas áreas, principalmente boscosas y por consecuencia avanzando en contra de los principios básicos de sostenibilidad.

Desde el punto de vista del manejo integrado de los recursos naturales, esta problemática puede analizarse a diferentes niveles. En este trabajo, tratándose de un enfoque de manejo de cuencas hidrográficas, el planteamiento propuesto es conocer la relación existente entre la compactación de los suelos y diferentes usos de la tierra en una cuenca hidrográfica pequeña, implica entonces caracterizar la cuenca y correlacionarla con parámetros físicos que indiquen alteraciones de las propiedades básicas de los suelos por efectos del proceso de compactación.

Para este estudio, se ha seleccionado la subcuenca Aquiares del río Turrialba con predominante uso de la tierra en ganadería extensiva e intensiva, pasto, café y bosque, presentándose además cultivos anuales, caña, entre otros. Se realizará un estudio de las principales características físicas-naturales mediante la fotointerpretación del área, muestreo de suelos, análisis de laboratorio, aplicación de sistema de información geográfico, para conocer el proceso de compactación del suelo en los diferentes usos, a los que está sometida la Cuenca Hidrográfica.

El trabajo de tesis, se justifica por cuanto, para la cuenca del río Aquiares, constituye un aporte a las necesidades que existen de información sobre el uso de la tierra y la compactación del suelo; de manera tal de contribuir al uso apropiado de la tierra a nivel de cuenca hidrográfica, que generen mínimos riesgos de proceso erosivos en terrenos compactados. Así mismo, la evaluación de este proceso de degradación permite generar un marco metodológico de estudio y sustentar información para caracterizar el proceso de compactación de suelos debido a determinados usos de la tierra.

Los objetivos propuestos para este trabajo son los siguiente:

Objetivos Generales. Contribuir con el conocimiento de los grados de compactación de suelos bajo diferentes usos, con el propósito de proponer recomendaciones generales asociadas al uso apropiado de la tierra, que controlen esta degradación física, potencialmente causante de procesos erosivos en el área de estudio.

Objetivos específicos, los objetivos son:

- Analizar la relación entre el uso de la tierra y la degradación del suelo por efecto de la compactación.
- Conocer los niveles de deterioro físico que permitan caracterizar la compactación de suelo en determinados usos de la tierra.
- Proponer una metodología práctica para evaluar aspectos físico-naturales a nivel de cuencas hidrográficas.

Las hipótesis planteadas son:

- Los niveles de compactación se generan por alteraciones de las características físicas del suelo, dependiendo de diferentes usos de la tierra.
- Existe una relación entre los usos de la tierra que implica la compactación del suelo.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Conceptualización del proceso de compactación.

La compactación del suelo integra varios factores de análisis y tiene significativas interrelaciones entre los reconocimientos físicos, químicos y biológicos. Estas interacciones del suelo se relacionan directamente con los factores ambientales y agronómicos, así como con el tipo de cultivo, y el uso de la tierra.

La compactación del suelo, determina las condiciones físicas que controlan las respuestas de los requerimientos de la planta para una efectiva producción agrícola y una efectiva conservación de suelos y aguas, necesaria para la producción sostenida. El estado de compactación del suelo puede ser modificado y controlado, sin embargo, una vez que los suelos han sido compactados, su reacondicionamiento se constituye en una operación difícil de revertir, ya que al tratar de romper el suelo con el arado, se producen terrones donde las raíces no penetran.

El aumento de la densidad del suelo por efecto de la carga aplicada y/o por el secado de este, es lo que hace que se origine la compactación (Baver et al., 1973). Este proceso ocurre debido a la expulsión del aire del suelo por compresión, efectuadas en condiciones no saturadas; al expulsarse el agua, se origina el proceso de consolidación (Tafur 1976) y dada su incidencia sobre la producción agropecuaria, sus mediciones son esenciales para propiciar una efectiva y permanente producción.

Desde el punto de vista de la física del suelo, para establecer la influencia de la compactación en el proceso de degradación del suelo, se puede señalar el rol de la estructura en función de la porosidad y la infiltración. Una estructura pobre puede considerarse en aquellos suelos con 40% de espacios porosos pequeños de los cuales un 5%

está ocupado por aire. Los poros grandes sirven para la aireación y filtración, los medianos conducen agua y los pequeños almacenan el agua para las plantas; los poros medianos y los grandes son los que influyen en el proceso de compactación ya que al obstruirse, disminuyen la aireación y la infiltración del suelo.(FAO,1984)

En el contexto agronómico, los suelos o las capas de los suelos son considerados compactados cuando el total de la porosidad y particularmente los poros que contienen aire son tan bajos que restringen la aireación e impiden la penetración de raíces y el drenaje. Otra manifestación de la compactación es la dificultad del manejo del suelo respecto al cultivo.(Cooper 1971)

Los suelos también pueden compactarse por procesos naturales debido al tipo de textura, régimen de humedad o en función a cómo fueron formados. Las costras superficiales se pueden formar por el impacto de la lluvia y el secado posterior. Las capas duras de "hardpan" pueden ser de texturas variables y mostrar propiedades de compactación, siendo totalmente impenetrables a la raíz, aire y al agua.

2.2. Fuerzas que causan la compactación.

El cambio en el estado de compactación del suelo origina una variación volumétrica del mismo y esto se debe a: compresión de partículas sólidas del suelo, compresión de líquidos y gases dentro de los espacios porosos, cambios en los contenidos de líquidos y gases; y rearrreglos de las partículas del suelo.(Tafur 1976)

Las características del suelo que determinan la compactación son la textura, la estructura y dentro de esta última; la porosidad, la infiltración y el contenido de humedad del suelo.

Existen fuerzas internas y externas que inducen al proceso de compactación del suelo, entre las primeras el congelamiento, el secado y el humedecimiento. Las externas

son aquellas aplicadas sobre la superficie del suelo como el tráfico humano, ganado, laboreo de la tierra e impacto de la gota de la lluvia.(Gavande.,1972).

Tafur (1976) concluye en su trabajo sobre resistencia macánica de los suelos que la aplicación de esfuerzos del pisoteo humano en suelos con coberturas, a capacidad de campo y empapados, incrementaron en 10 días la resistencia promedio en un 34.2 y 72 % respectivamente comparados con la lectura inicial. En suelos sin cobertura el incremento fue significativamente mayor y para suelos secos la resistencia es baja y se incrementa con pisoteos frecuentes.

El agua juega un rol importante en los procesos de compactación, membranas de agua alrededor de las partículas de suelos disminuyen la cohesión entre partículas adyacentes y proveen lubricación, permitiendo deslizarse una sobre otra formando un ripio bajo el área de presión. El contenido de agua del suelo que afecta la compactación tiende a incrementarse cuando la textura tiende a ser fina. Por otra parte, al comparar valores de compactación en suelos vírgenes y cultivados, se observó una alta compactación en los vírgenes, lo cual refleja una menor compactación superficial bajo este uso.(Warkentin 1971).

2.3. Forma de estudiar la compactación.

El suelo está compactado si la densidad aparente está muy por encima de su rango normal, implicando que la infiltración y la aireación es insuficiente durante el período húmedo. Cuando hay compactación el desarrollo de las raíces se reduce, hay escasez de oxígeno por alta resistencia mecánica y por la ausencia de macroporos accesibles, este proceso es más intenso en la superficie.(Blake y Harlge 1986)

La disposición de las partículas del suelo durante la compactación se debe a las condiciones plásticas del material. Las partes sólidas y líquidas del suelo son relativamente incompresibles y los cambios de volúmenes son inapreciables. La cantidad de humedad contenida en el suelo da una condición de porosidad cerrada. La cantidad de líquido influye en los procesos de compactación porque éste afecta propiedades como el cambio de volúmenes, resistencia a la plasticidad y compactabilidad. Cuando los cambios de densidad aparente son comparados con contenido de humedad las diferencias son significativas.

Una forma común de diagnosticar la compactación es por medio de la determinación de la densidad aparente, sin embargo no siempre es un buen indicador por cuanto en un "hardpan" con densidad aparente alta, puede no estar compactado si hay canales de viejas raíces que pueden permitir la penetración de nuevas.

Usualmente la compactación produce capas de suelos de alta densidad aparente. La retención y transmisión del agua es muy sensible en las capas compactadas porque se afectan las características de infiltración. La resistencia de la compactación está determinada por el tamaño, la distribución y la composición de los granos del suelo. Valores altos de densidad aparente, pueden desarrollar gradualmente compactación bajo condiciones secas. Con altos contenidos de humedad la compactación puede ser restringida, por cuanto la duración de la presión, es insuficiente para remover el agua.

Para disminuir la compactación del suelo primero se debe establecer una red de macroporos para el desarrollo de la raíz, aireación e infiltración rápida del agua. Luego se debe realizar la distribución de los agregados, en los sitios de cultivos deben tener requerimientos específicos sin importar la compactación de los microporos, en este sentido, es necesario un cuidadoso estudio de las características físicas y biológicas del suelo, profundidad

adecuada del cultivo entre otros. Las prácticas culturales son el primer factor para disminuir la compactación del suelo. (Kass 1990)

Una de las características asociadas a la dinámica del agua del suelo es la conductividad hidráulica, la cual incluye procesos como la potencialidad y tipo de erosión y afecta la cantidad de precipitación caída en un tiempo dado y la capacidad de conducir agua a través del suelo. La conductividad hidráulica y los valores asociados de permeabilidad se reflejan en el cuadro 1., realizado por Mazurak., 1970.

Cuadro 1. Relación entre la conductividad hidráulica y la permeabilidad bajo ciertas condiciones de suelo. (Dimas y Malagón 1984).

Conductividad Hidráulica cm/h	Permeabilidad	Condiciones del suelo
>25	Excesivo	Pobre condición para retener humedad
12.5- 25	Alta	Condiciones favorables de permeabilidad
6.25-12.5	Moderada a Alta	Condiciones favorables de permeabilidad
2.0-6.25	Mediano	Permeabilidad adecuada
0.125-0.5	Baja	Condición baja para relación adecuada agua-aire
<0.125	Extremadamente lenta	Muy lento para drenaje artificial

2.4. Características físicas de suelos inceptisoles relacionadas al proceso de compactación.

Lugo López, señalado por Sánchez.1981, indican que después de cuatro horas, las tasas de infiltración se aproximan a la conductividad hidráulica de un suelo saturado, la tasa de infiltración para inceptisoles oscila entre los 2.7 y 13.2 cm/h. Valores inferiores a 5 cm/h en infiltración básica puede ser sinónimo de compactación y acarrear problemas de penetración de agua en el suelo.

Los andosoles tienen una estructura estable y generalmente su densidad aparente es baja (0.4 y 0.8 gr/cm³), por su alto contenido de materia orgánica y porosidad. Estos suelos además tienen condiciones únicas de retención de humedad y pueden llegar a contener, con base en el peso, entre el 70 y 300 % de agua.

Apolo 1980., señalado por Dimas y Malagón indica "en suelos formados por tobas volcánicas transportadas por el viento en forma de cenizas, se encontró que después de cinco años de pastoreo continuo, los valores de densidad aparente fueron bajos para los primeros 10 cms (0.77-0.89 g/cm³) relacionando estos valores al elevado contenido de grava y a una buena estructura de estos suelos"

Un estudio de suelos realizado en Puerto Rico, refleja tasas altas de infiltración para Oxisoles, Ultisoles, y Molisoles (7.4-8.4 cm/h) Alfisoles, Vertisoles y Entisoles con tasas de infiltración entre 0.1-13.2 cm/h presentando los inceptisoles una tasa máxima de 27.5 cm/h.

El cuadro 2., indica los valores de erosión y escorrentía en función del uso de un suelo inceptisol.

Cuadro 2. Efectos del sistema de cultivos y prácticas de control de erosión del suelo y la escorrentía de un Dystrandept de Chinchiná, Colombia. Pluviosidad 2775mm. (Sanchez 1981)

Tratamiento	Pendiente %	Erosión Ton/ha	Escorrentía mm
Pastos	22	7.10	513
Cafetal joven	45	1.8	196
Cafetal con terrazas	45	0.2	410
Cafetal viejo sin terraza	55	0.6	59

Ponemoe señalado por Sánchez 1981., encontró que la densidad aparente de la capa de 5 a 10 cm en suelos volcánicos de Guatemala aumentó de 0.56 a 0.66 gr/cm³, después de la tala del bosque y disminuyó, de 0.74 a 0.70 gr/cm³ después de 3 a 5 años de rebrote del bosque.

2.5. La compactación de suelos en pastos con pisoteo animal y uso agrícola.

Diferentes usos y manejo de la tierra producen diferentes procesos de compactación, este proceso ha sido evaluado principalmente midiendo la densidad aparente, la resistencia a la penetración, infiltración y el contenido de humedad.

En suelos bajo pisoteo animal, la compactación ocurre bajo condición no saturada, por la expulsión del aire. En suelos saturados el agua es mas difícil de ser expulsada probablemente porque, el movimiento de los animales, en los suelos saturados ocurre en un tiempo muy corto para que produzca expulsión significativa de agua, por lo cual la compactación no es evidente, sin embargo enlaces estructurales pueden ser rotos ocasionando hundimiento por compactación, al secarse el suelo.

En cuanto al proceso de compactación a diferentes profundidades del suelo se ha encontrado un marcado aumento en la permeabilidad, resistencia a la penetrabilidad, capacidad de aire del suelo y porosidad total en profundidades hasta de 7 cm en suelos que fueron traficados por animales y pastos bien manejados; sobre las mismas parcelas se reportó una reducción cercana al 20% en rendimiento de pasto con tráfico animal al compararlo cuando no había tráfico, sin embargo no se estableció si la reducción del rendimiento del pasto se debió al daño directo causado por los animales ó a la compactación del suelo.(Alegre 1986).

Los efectos de la compactación bajo otros usos de la tierra (agrícola y forestal) son menos evidentes, sin embargo, un mismo uso puede causar diferentes procesos de compactación al emplear técnicas de cultivos igualmente diferentes. En estudios realizados por sobre suelos con 100 años de cultivos a los cuales se les añade abonos, la densidad aparente disminuye al compararlo con suelos sin fertilizar aquí también la conductividad hidráulica saturada aumentó hasta 9 veces con la adición de fertilizantes.

Por debajo de la profundidad del laboreo en la agricultura anual, este efecto es grande, pudiendo acumular capas compacta de suelo en esta área. Algunos suelos entre ellos los inceptisoles, los cuales tienen buenas propiedades físicas, pueden verse afectados debido a uso muy intenso, práctica de manejo y/o labranza, haciéndose susceptible a inadecuados procesos de escorrentía.

2.6. Utilización de los sistemas de información geográficos en los estudios de recursos naturales.

En el proceso de la toma de decisiones relacionados con los recursos naturales renovables, en todos los ámbitos incluyendo las cuencas hidrográficas, se plantea la necesidad de generar, procesar y analizar cantidades importantes de información, de manera tal que los resultados producto de este análisis sean confiables y accesibles. El uso y manejo adecuado de esta información, a través de los sistemas de información geográfica, permiten optimizar esta toma de decisiones, por cuanto se cumple con la rapidez en el manejo de información y se toman en consideración todos los elementos deseables para generar resultados lógicos. (Baillon 1989).

Por medio de los sistemas de información geográfica, se pueden describir cambios físicos-naturales de una zona, interpretar las causas de estos cambios y monitorear elementos de interés. De esta manera se logra mejorar la calidad del análisis de los datos espaciales y reducir la posibilidad de que aspectos importantes no sean tomados en consideración dependiendo de la base de datos almacenada. (Barthes 1989).

Entonces se puede señalar que los sistemas de información geográfica constituyen una herramienta para lograr el manejo funcional de datos georeferenciados, disponiendo de una base de datos donde se pueden manipular grandes volúmenes de información.

La aplicación de sistemas de información geográficas para implementar una evaluación de tierras a nivel de sitios, depende de las consideraciones de diseño y aplicación del software y su facilidad se basa en el marco lógico del estudio. (Lee 1985).

Los sistemas de información geográficos manejan dos tipos de información; la gráfica, referidas a puntos, líneas y polígonos, que conforman un mapa y la información tabular

que describe cada una de la información gráfica, la cual se expresa en códigos numéricos y alfanuméricos. La información gráfica se basa en la interpretación de sensores remotos (radar, satélite y fotografías aéreas) que permiten diferenciar unidades temáticas que dentro de los estudios de los recursos naturales renovables pudieran comprender unidades de vegetación, suelo, características geomorfológicas. Con respecto a la información tabular se puede decir que individualiza la información gráfica, como por ejemplo los tipos de vegetación dentro de cada unidad, características de los suelos, etc. En general las observaciones de las características, actividades o eventos distribuidos y definidos espacialmente, conforman la base de datos, la cual alimenta el sistema;, produciendo una información cartográfica y tabular de los aspectos de relevancia como por ejemplo: susceptibilidad de los suelos a la erosión, capacidades de usos de la tierra, grado de intervención de un área, etc.(Beale1989).

La construcción de modelos cartográficos digitales utilizando operaciones básicas para el análisis de mapas trata de corregir las limitantes referidas a la cantidad de datos y al análisis de las interrelaciones espaciales. Las operaciones básicas son independientes de los datos , estas operaciones, deben seguir una secuencia lógica según las variables del mapa para formar técnicas analíticas complejas.(Berry y Tomlia 1987).

Se puede señalar que la degradación de los recursos naturales conlleva la localización geográfica y la interacción de variables físicas y ambientales; lo cual requiere mecanismos de evaluación versátiles y que permitan procesar eficientemente todas los aspectos que influyen en estos procesos de degradación, en este sentido, los sistemas de información geográficos constituyen una herramienta aplicable a la evaluación y análisis de esta problemática por cuanto entre otros aspectos almacenan, procesan, recuperan y despliegan datos referenciados espacialmente.

Originalmente, para el proceso de análisis de datos espaciales se utilizaron técnicas manuales, sin embargo a medida que se requirió agilizar e incrementar la información por procesar, las computadoras vinieron a representar un efectivo apoyo dentro de este campo. Saborío., 1990 señala que cuando se tiene necesidad de relacionar diferentes tipos de características de los recursos naturales, sobre una base común, generalmente se ha recurrido a diferentes técnicas (unificación de escalas, unión y/o sobreposición de mapas, etc) lo cual se ha hecho en forma manual, ello requiere intensa mano de obra y tiempo y además tiene limitaciones, entre otras, que los trabajos así realizados no pueden ser aplicados para otros estudios. Actualmente, este tipo de estudio ha sido automatizado con la incorporación del microcomputador al proceso, lo cual permite, manejar más eficientemente la información cartográfica, temática, descriptiva, etc, e incide en proporcionar mejor información. Tomlinson y Boyle 1987 señalan que la técnica de "sobreposición" es muy utilizada en el análisis de mapas y en cuanto a rapidez y facilidad de manejo y tiempo, señalan que para trabajar en el método convencional se requiere entre 10-20 minutos, mientras que en el sistema basado en microcomputadora el tiempo fluctúa entre 9 y 36 segundos.(Tomlinson y Boyle 1987).

Reed y Whister., 1990 al escribir sobre la base de datos de suelos de la STATSGO (State Soil Geographic) del U.S. Department of Agriculture Soil Conservation y su inclusión dentro de un sistema de información geográfico, señala que esta base contiene como descriptores de las características de suelo a la textura, permeabilidad, disponibilidad de agua, densidad aparente, etc, valores estos que fueron georeferenciados e incluidos dentro del sistema de información geográfico, permitiendo compilar mapas generales de suelos de alguna zona específica y

posteriormente ser utilizados como información básica para otros estudios, como modelos hidrológicos, erosión y otros.

En situaciones donde existen complejas relaciones ambientales los sistemas de información geográficos pueden ser usados con mucha efectividad, combinando aspectos para realizar análisis más eficientes del campo estudiado. Una de las funciones primarias de los sistemas de información geográficos es la combinación y evaluación de capas desiguales de datos con el propósito de proveer una nueva información. Específicamente con los sistemas de información geográficos se puede correlacionar la cobertura de la tierra, su topografía y parámetros ambientales asociándolos con el escurrimiento superficial, drenajes, extensión de cuencas hidrográficas y configuración del terreno entre otros aspectos. Igualmente se puede acelerar la integración de datos y la sintetización de cantidad de información para su análisis espacial, se tiene capacidad para evaluar pequeñas y grandes áreas y las diferentes variables que forman parte de los procesos que influyen en esas áreas. (Walsh 1985). Los sistemas de información geográficos, además del manejo de datos espaciales, permiten el análisis de datos desde el punto de vista dinámico temporal, modelando además información, ello incluye la manipulación, sobreposición, medición, cálculo y recuperación de datos espaciales.

Los sistemas de información geográficos forman parte de una tecnología relativamente nueva donde se manipula la información espacial; combinando "hardware" y "software" que permiten procesar atributos e información georeferenciada. Una de las ventajas de la tecnología de los sistemas de información geográfico es su capacidad de modelar diversos escenarios con gran precisión y rapidez (Crain, 1985; Marble et al, 1988 y Berry, 1986.; citados por Fallas y Valverde, 1989.).

2.7. La compactación del suelo y la degradación de cuencas hidrográficas.

En una cuenca cuyos suelos estén degradados, bien sea por carecer de una cobertura vegetal apropiada, manejo y uso inadecuado del suelo conlleva a consecuencias que deben ser evaluadas en forma integral a manera de combatir en forma total el proceso degradativo. Dentro de estos procesos, la compactación constituye un causal en la formación de capas consolidadas trayendo como resultado la disminución de la infiltración, incremento de la escorrentía, promoviendo fenómenos como la erosión, anegamiento, disminución de la aireación, impedimento de la germinación, falta de penetración y desarrollo de las raíces, mayor esfuerzo en la labranza, entre otros. Entonces el proceso de compactación a nivel de cuenca hidrográfica conlleva a una gran problemática que incluye la afectación del suelo, el agua y el uso de la tierra, siendo necesario el establecimiento de prácticas con un mejor uso de cada sector de la cuenca. Todo este proceso se produce en forma más intensa en zonas tropicales donde el 40 % de las lluvias tienen intensidades de lluvia mayores a 25 mm/h y presentan poder erosivo. Estribi.,1984, en el estudio realizado sobre suelos franco a franco arenosos, en diferentes usos (bosque, charral y pasto) señala que la conversión de bosque a pasto, causa cambios en la densidad aparente con variaciones de un 14.3 % del pasto respecto al bosque y cuando la sucesión conduce a la formación de un charral proveniente de un pasto abandonado, la densidad aparente disminuye en un 7.8 %; su evaluación permitió concluir que hidrológicamente la mayor escorrentía se presenta para los suelos cubiertos de pasto, siguiendo con charral y luego bosques.

Desde el punto de vista de producción agrícola, Lebeuf 1991 en trabajo realizado sobre la compactación del suelo señala que este proceso afecta significativamente la

sobrevivencia y la cosecha del maíz, principalmente para un grado severo del proceso, aunque un grado de compactación moderado fué beneficioso por cuanto existe mayor almacenamiento de humedad, una buena germinación con una resistencia moderada al crecimiento de las raíces los suelos no compactados arrojaron resultados de mejor sobrevivencia y rendimiento con labranza profunda. Forsythe 1975 indica que la resistencia mecánica a la penetración es considerada como un factor de crecimiento de los cultivos, sin embargo, este efecto es difícil de aislar por la gran cantidad de factores que interaccionan, entonces si se realiza un uso adecuado de la tierra a nivel de cuenca se puede aprovechar en forma sostenible todos los recursos sin menoscabo de ellos.

3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

3.1. Ubicación y extensión de la Cuenca.

La Subcuenca del río Aquiares se encuentra ubicada en el sector Noreste de la Cuenca del río Turrialba. Políticamente abarca parte de los Distritos Santa Cruz y Santa Rosa, así como parte del Distrito Central del Cantón Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica. (figura 1)

Se ubica geográficamente entre los meridianos 83°40' y 83°48' de longitud Oeste y 9°54' y 10°10' de latitud Norte. (figura 2)

Sus límites son: Al noreste la divisoria de la Cuenca del río Jesús María; por el suroeste el río Turrialba; sureste el Volcán Turrialba y por el este la Cuenca del río Guayabo.

La Cuenca del río Aquiares ocupa una extensión de 2666 ha y es la subcuenca mayor del río Turrialba la cual es subcuenca del río Reventazón.

3.2 Características físicas-naturales generales.

3.2.1. Clima.

La Cuenca carece de estaciones meteorológicas con amplios registros climáticos dentro de su área, por lo cual las variables climáticas han sido relacionadas de las estaciones ubicadas principalmente en el perímetro de la Cuenca, cuyos registros permiten ser utilizados para su descripción. (cuadro 3).

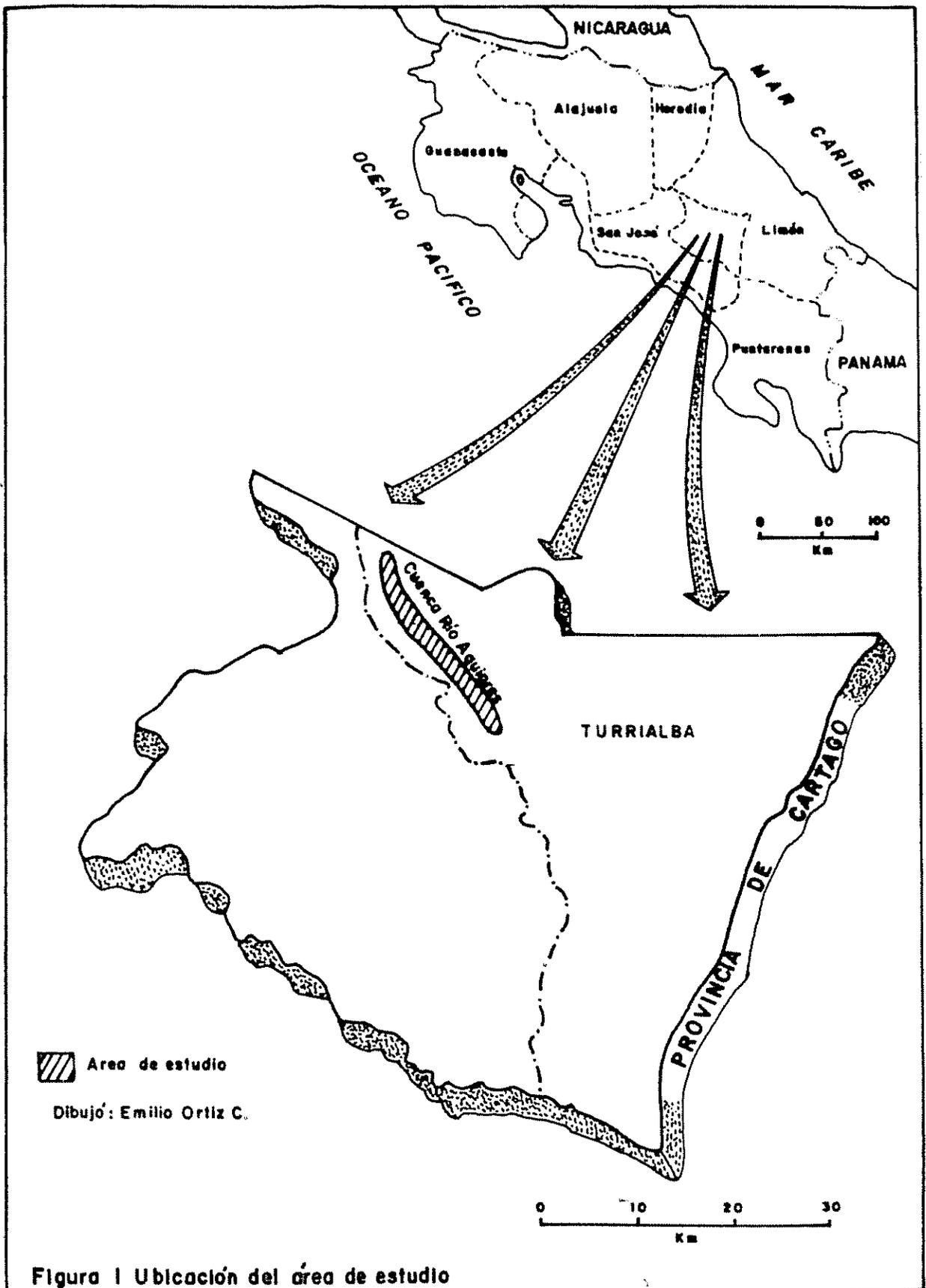


Figura 1 Ubicación del área de estudio

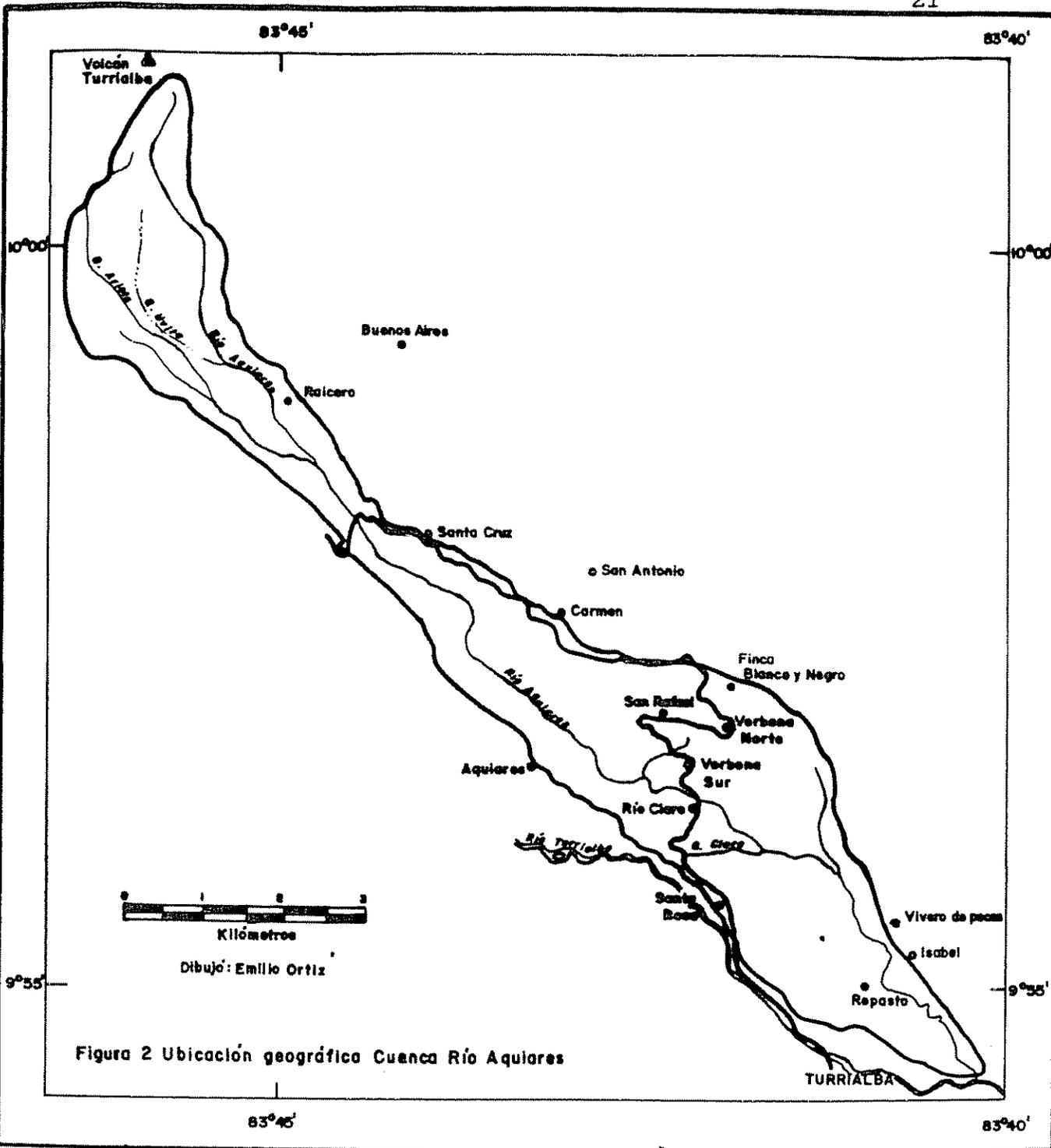


Figura 2 Ubicación geográfica Cuenca Río Aquiares

Cuadro 3. Estaciones meteorológicas utilizadas en el análisis de la información climática de la Cuenca del río Quijales.

Estación	Ubicación geográfica	Altitud m/nm
CATIE	Lat. 09°53' Long. 83°38'	602
San Antonio	Lat. 09°58' Long. 83°43'	1190
Hacienda Quijales	Lat. 09°56' Long. 83°40'	1100
Volcán Turrialba	Lat. 10°01' Long. 83°43'	3200

a) Temperatura.

En la parte baja de la Cuenca, en la desembocadura del río Turrialba, se registran temperaturas medias anuales que oscilan entre 17.3°C y 26.4°C, en la parte media, las temperaturas oscilan entre 17.1°C y 21.7°C (Instituto Meteorológico Nacional); no se tiene información de la parte más elevada, sin embargo tomando en consideración el gradiente térmico en la parte alta, las temperaturas pueden oscilar entre los 9.5°C y 11°C como temperatura mínima y máxima respectivamente, con descensos en cierta época del año que ocasionan heladas (escarcha)*

b) Precipitación.

La precipitación promedio anual de toda la Cuenca, es de 2687mm. con valores 2750mm en la parte baja; 2500-3000 en la parte media y 2000-2250 mm en la parte alta, en las cercanías del Volcán Turrialba.

El período lluvioso comprende los meses de Junio a Diciembre en donde se presenta el 65 % de la precipitación total anual. (cuadro 4)

*Datos aportados por lugareños.

Cuadro 4. Precipitación de la Cuenca del río
Aquiares. Precipitación media mensual. mm.

Estación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
CATIE	175	133	82	130	229	275	275	251	259	255	268	298	2630
San Antonio.	281	189	161	211	241	325	338	336	274	327	318	398	3316
Hda. Aquiares.	209	131	108	126	189	256	253	299	235	307	231	289	2615
Volcán. Turrial.	121	102	59	61	177	253	267	312	300	355	151	278	2115

3.2.2. Zonas de vida.

Según el sistema de clasificación de Holdrige, la Cuenca se encuentra dentro de tres zonas de vida:

Bosque muy húmedo montano (Bmh-m) en la parte alta de la Cuenca.

Bosque muy húmedo premontano (Bmh-p) en la parte media-alta y media de la Cuenca.

Bosque húmedo tropical (BhT) en la parte baja de la Cuenca.

3.2.3. Suelos.

Son pocos los estudios de suelos realizados para esta zona. Tomando en consideración, los análisis de laboratorio, la descripción de subgrupos de suelos de Pérez et al, 1970, los estudios realizado por SEPSA 1990, Dóndoli y Torres para la Meseta Central 1953 e Ibarra y et al 1970, se puede señalar lo siguiente:

Los suelos pertenecen al orden de los inceptisoles los cuales presentan alta capacidad de retención de agua, con un horizonte A oscuro y relativamente grueso, con alto

contenido de materia orgánica y baja densidad aparente ($<0.86\text{gr/cm}^3$), son bien drenados, no se saturan con agua. La textura es media y pueden variar entre franco-arenoso y franco-arcillo-arenoso.

Según el Sistema Taxonómico Americano, las clases que se encuentran en la Cuenca son:

Typic Dystrandept. Son suelos oscuros y profundos, con buen contenido de materia orgánica y bajo en bases, son derivados de cenizas volcánicas, asociados a suelos de texturas medias a gruesa y se encuentran en zonas montañosas.

Lythic Dystrandept. Esta categoría se asocia a la Typic, son suelos pocos desarrollados, formados por lavas volcánicas en regiones montañosas (Litosol) estos suelos se ubican en la Cuenca media y baja.

Typic Humitropept. ocupan la parte baja de la Cuenca y se caracterizan por ser suelos con influencia de cenizas volcánicas, ubicados en zonas onduladas de pie de monte, son de color pardo, rojizos y profundos.

Según Dóndoli y Torres 1953., las formaciones geológicas sobre las cuales se han desarrollado los suelos de estas regiones son las lavas y cenizas recientes. La mayoría son suelos jóvenes perteneciente a la serie Cervantes. La agrupación realizada para la Cuenca del Aquiares incluyen las siguientes categorías:

Suelos negros de cenizas y lavas. Proviene de mantos de cenizas y coladas de lava reciente, sobre la cual se ha desarrollado una capa delgada de ceniza. Son suelos jóvenes, pedregosos, en los cuales la capa cultivable está en relación con el espesor de las cenizas y el poco material meteorizado en las rocas subyacentes. Ocupan la Cuenca media y alta.

Suelos pardo, poco profundo, escarpados. Son suelos que ocupan una pequeña área de la Cuenca media, apto para bosque

y pastos bien manejados, de topografía montañosa con pendientes que oscilan entre los 20 y más de 60 %

Suelos aluvionales y fluviales lacustres. Son suelos de origen fluvio-lacustres como los del valle y aluvionales de las terrazas de los ríos, se encuentran en la Cuenca baja del río Aquiares, su topografía es ligera, variando en cuanto a drenaje de regular a malo. Dominan en este suelo gravas y arenas, con capas arenosas sobre aluvión grueso; la pedregosidad y el drenaje limitan el uso agrícola. En estos suelos actualmente se cultiva café.

Ibarras et al 1970., ubica los suelos de la Cuenca dentro de cuatro asociaciones, en la Cuenca media-alta Verbena I, en la cuenca media Verbena II ambas en la Vertiente izquierda, en la Vertiente derecha desde la Cuenca alta hasta la Cuenca media asociación Guayabo y para ambas Vertientes en la Cuenca baja asociación Turrialba. La descripción es la siguiente:

Asociación Verbena I. Suelos desarrollados sobre material volcánico antiguo, recubierto de cenizas recientes. La topografía es "alomada" a montañosa con pendientes entre el 25 y 40 % o más. Presenta afloramientos de lavas sin pedregosidad en la superficie. Textura mediana fina con buen drenaje y buena fertilidad potencial, pero limitada la utilización por la pendiente.

Asociación Verbena II. Suelos directamente desarrollados sobre material volcánico viejo: con baja fertilidad y topografía escarpada.

Asociación Guayabo. Suelos formados sobre lahares y lavas sobre capas de cenizas que cubren lahares más antiguos. Tienen un espesor variable de 40 a 60 cm o más, la mayoría cultivado con pastos. La topografía presenta limitaciones. En la colada del Aquiares en la parte superior son suelos negros desarrollado sobre cenizas recientes, con texturas mediana.

Asociación Turrialba. Es de origen fluvial y lacustre con posibilidades de inundaciones periódicas. Son suelos pedregosos y fértiles, presenta cambios de texturas en las diversas capas del perfil

3.2.4.Principales parámetros morfométricos.

Las principales características morfométricas de la Cuenca del río Aquiares fueron determinadas a partir de las hojas cartográficas, escala 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional, con los siguientes resultados:

a)Dimensiones de la Cuenca

El área (A) es de 26.66 Km²; la longitud del cauce principal (L) es de 17.5 Km y el perímetro (P) es de 35,5 Km.

b)Orden de los cauces.

Tomando en consideración el criterio Orton, el orden del cauce principal es 4. Esto refleja que a pesar de ser una Cuenca pequeña y alargada, presenta una red de drenaje bien ramificada, principalmente en la Cuenca media, sector a partir del cual el cauce adquiere esta categoría.

c)Coeficiente de compacidad.

Este parámetro fue calculado según la fórmula $K=0.28P/(\sqrt{A})$, dando un valor de 1.92 lo cual significa que es una Cuenca alargada tal cual puede observarse en los diferentes mapas, de acuerdo a ello la Cuenca presenta tiempos de concentración altos, por lo que existen pocas posibilidades de crecidas violentas, salvo en épocas de excepcionales precipitaciones, en las cuales la escorrentía supera la capacidad de los cauces.

d) Densidad de drenajes.

Este parámetro fue calculado mediante la fórmula $Dd = \text{Longitud total de cauces} / A$; dando un valor de 2.94, considerado como alto, ello define una buena distribución de los drenajes con una eficiente salida de agua una vez que el punto de saturación sea alcanzado. Este eficiente sistema de drenaje lo complementan la diferencia entre el punto más elevado y el más bajo de la Cuenca (3300 y 640 m/mn) y el origen volcánico de los suelos. Cabe destacar, que los usos predominantemente pecuarios en la Cuenca alta y media-alta y café en la Cuenca media y baja pueden incidir sobre el escurrimiento de la Cuenca, presentando altos y bajos valores respectivamente.

e) Pendiente media

Este parámetro es indicativo de una relación directamente proporcional de los valores de escurrimiento; se calculó mediante la fórmula $Pm = LCN \times E / A$ donde LCN es la longitud de la curvas de nivel; E es la equidistancia entre curvas de nivel y A es el área de la Cuenca, el valor de la pendiente media es de 21.26 % esto debido a que a pesar de que existen valores por encima del 60 % en la Cuenca alta, en la Cuenca baja, más de un 30 % tiene valores por debajo del 12 %

e) Curva hipsométrica.

En la figura 3 puede observarse la curva hipsométrica de la Cuenca, la cual nos muestra el área de la cuenca respecto a su elevación; pudiéndose además determinar la mediana de la altitud cuando se indica la altura para el 50 % del área. Se observa entonces que el 50 % del área de la Cuenca se encuentra por encima de los 1250 m.s.n.m y de acuerdo a como se dividió la Cuenca por sectores, la Cuenca alta representa el 17.5 %; la Cuenca media-alta el 32.5 %; la Cuenca media el 26 % y la Cuenca baja el 24.21 % de toda el área.

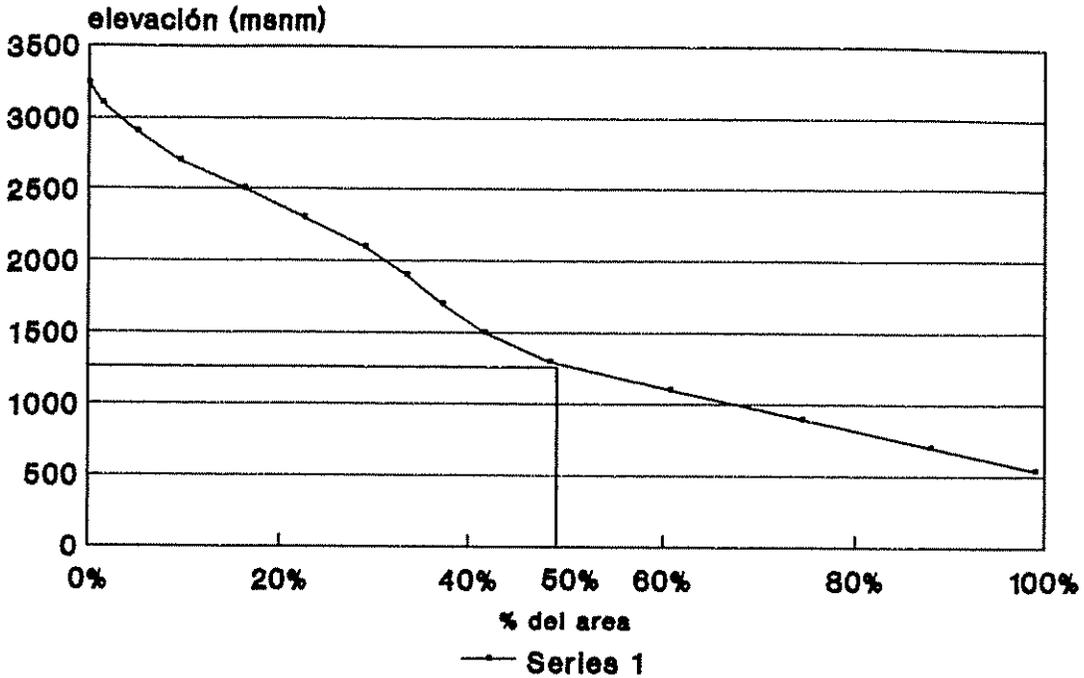


FIG.3 CURVA HIPSOMETRICA DE LA CUENCA DEL RIO AQUIARES.

Esta información morfométrica nos indica que la Cuenca presenta características de una zona de montaña, muy alargada lo que da a lugar a tiempos de concentración elevados, sin posibilidad de presentar torrencialidad. Sin embargo ante cambios intensos de usos de la tierra tal cual se han realizado, con eventos excepcionales de precipitación, su eficiente red de drenaje pueden causar efectos de inundación en la parte baja.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Materiales.

a) Cartográficos

- Hojas cartográficas del Instituto Geográfico Nacional. Escala 1:50.000. 19
- Fotografías aéreas, blanco y negro, escala 1:20000. año 1988.
- Mapas temáticos de geomorfología, suelos ,entre otros.

b) Instrumentos y equipos.

- Microcomputadora AT. 80286.
- Computadora IBM 9370.
- Estereoscopios de espejos y de bolsillo.
- Zoom Transfer Scope.
- Curvímetero, planímetro.
- Balanza, Horno 110°C.
- Permeámetro de carga constante.

c) Software

- SAS. Versión 5.1. Estadístico.
- Pmap Versión 2.6. y MAP Versión 3.2. Sistemas de Información Geográfico.
- Word Versión 5. Procesador de textos.
- Flow. Versión 2.42. Diseño y composición de gráficos.
- Lotus. Versión 2.3. Hoja electrónica.
- Harvard Graphics. Versión 2.3. Graficador.

d) Trabajo de campo.

- Vehículo doble tracción
- Penetrómetro de bolsillo.
- Barreno.
- Muestreador para densidad aparente y conductividad hidráulica
- Clinómetro.
- Altímetro.
- Binóculos.

4.2. Metodología

Al conceptualizar la Cuenca Hidrográfica como la unidad básica de planificación y manejo, toda acción que se pretenda realizar en ella conlleva a la necesidad de establecer actividades y prioridades, entre estas la conservación de suelos es importante debido a que implica conocer las causas y consecuencias de su alteración o deterioro, para establecer los principios de sostenibilidad que permitan un aprovechamiento del recurso sin su degradación. En este sentido, es necesario utilizar herramientas y metodologías convencionales para el conocimiento de las características del recurso, (análisis de pendientes, conocimiento de la cobertura, análisis de laboratorio, etc)

Tradicionalmente, el proceso de compactación se ha evaluado considerando principalmente, los efectos de diferentes usos de la tierra, actividad sobre esos usos, sobre pequeñas parcelas o áreas determinadas, buscando principalmente el efecto de la compactación sobre los rendimientos de producción, evaluando propiedades físicas a través del conocimiento de la densidad aparente, resistencia a la penetración, infiltración, conductividad hidráulica, entre otros. Sin embargo desde el punto de vista de la Cuenca Hidrográfica no se conoce que el proceso de compactación, en todo el contexto, haya sido evaluado a pesar de que tiene una gran importancia hidrológica por cuanto al integrar diferentes usos, características morfométricas, y características del suelo, se presentan condiciones que influyen dentro del sistema de la Cuenca Hidrográfica. Por otra parte al determinar las capacidades de usos de la tierra es posible referenciar geográficamente, donde el proceso de compactación pudiera ser más intenso al diferenciar zonas de uso a capacidad y/o por encima o debajo de esta capacidad. Todo este proceso constituye una

propuesta metodológica que pueda servir para conocer, no solamente, la compactación de suelo a nivel de Cuenca Hidrográfica sino que además cualquier otro proceso que ocurra en esta área. Esta metodología incluye la utilización del sistema de información geográfico pMAP, lo cual permite al estudio, mayor oportunidad de análisis e interpretación de resultados por cuanto, ubica espacialmente el proceso de compactación, existiendo mayor rapidez en la evaluación de los datos. Cada uno de estos pasos se detallan a continuación.(figura 4).

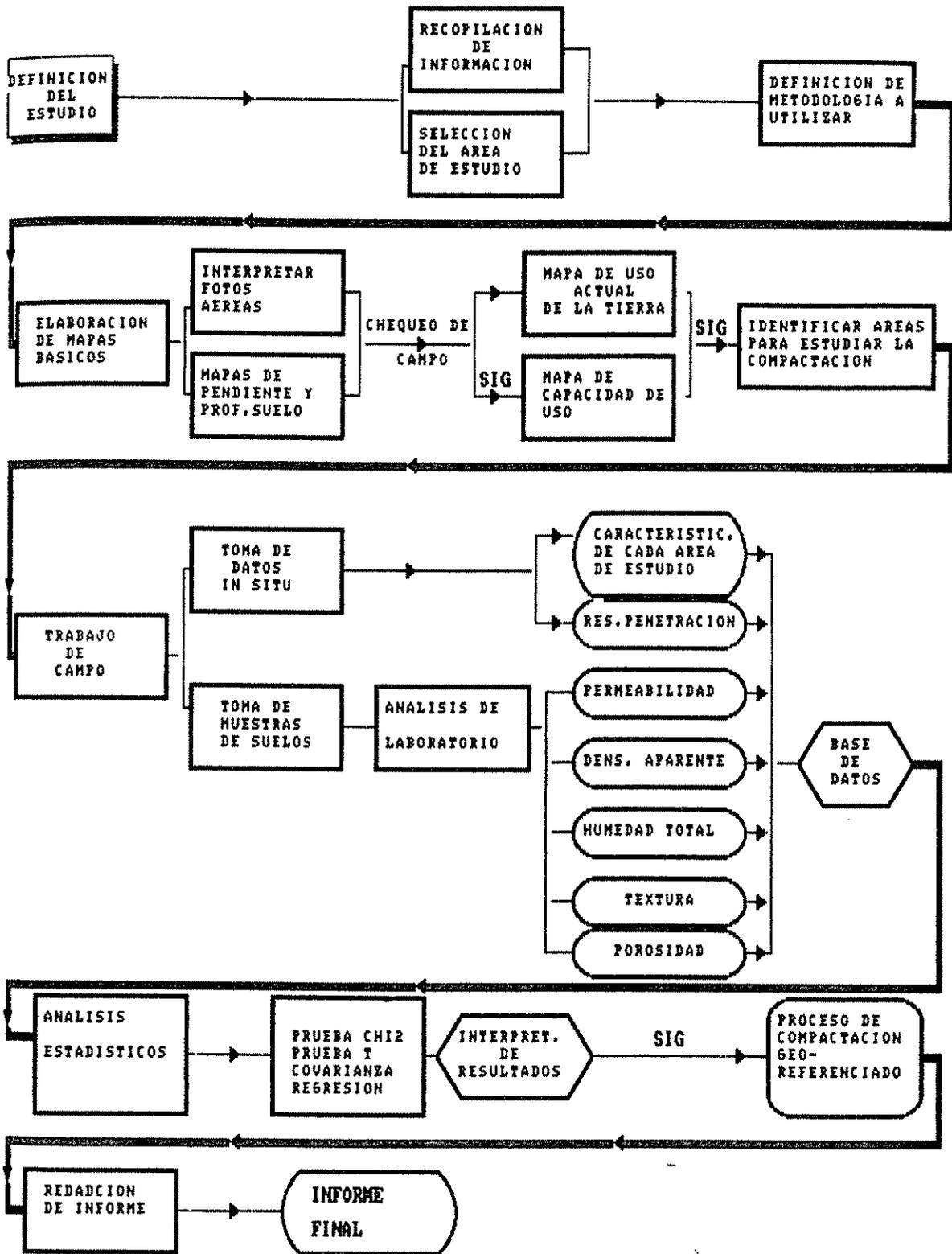
4.2.1. Selección del área de estudio.

La Cuenca del río Aquiares presenta características que evidencian procesos de conflictos de uso de la tierra. En las actividades agropecuarias se presentan zonas donde la capacidad de uso no está acorde con tal uso, manifestándose, degradación del recurso suelo, entre ellos la compactación. El uso preferentemente pecuario en la parte alta y cultivos de café en la parte baja, así como otros usos en toda la Cuenca, permitió considerar a esta Cuenca como adecuada para establecer comparaciones que reflejaran diferencias de ocurrencias del proceso de compactación debido al uso de la tierra. Por otra parte, existen otras características que se consideraron: el tamaño de la Cuenca, cercanía al centro de estudio, accesibilidad de la zona, que permitieron junto con las condiciones anteriormente señaladas definir esta área como factible para realizar el estudio.

4.2.2.Reconocimiento preliminar de campo.

Se hizo un detallado recorrido de campo con el propósito principal de observar el uso actual de la tierra, la evidencia del proceso de compactación y el tamaño mínimo de la parcela de cada uso. Además se efectuó el reconocimiento otras características generales del área;

FIGURA 4. FLUJOGRAMA DE LA METODOLOGIA UTILIZADA



vías de acceso, pendientes predominantes, profundidad del suelo, material superficial y cobertura.

4.2.3. Interpretación de las fotografías aéreas y elaboración del mapa del uso actual de la tierra.

Después de analizar la zona objeto de estudio e identificar la ubicación geográfica en cartas publicadas por el Instituto Geográfico Nacional (Hojas 3446 II y III, 3445 I y IV de nombre Bonilla, Carrillo, Tucurrique e Istarú respectivamente), se adquirieron las fotografías aéreas escalas 1:20.000, en blanco y negro del año 1988, con el propósito de identificar espacialmente distintos aspectos de la Cuenca (fisiografía, usos de la tierra, pendientes, etc). Este proceso permitió la elaboración del mapa de uso actual de la tierra y su respectiva leyenda representando la información a una escala de 1:25.000.(anexo 1)

4.2.4. Elaboración del mapa de capacidad de uso de la tierra.

La capacidad de uso de la tierra en este caso se establece en función de características físico-naturales; definiendo cual es el uso más intensivo que puede permitir un área determinada, e identificando los procesos de degradación del suelo.

El sistema empleado para realizar la clasificación se basa en la propuesta de la "Clasificación de tierra por capacidad de uso para tierras marginales" de Sheng, modificado en 1974 por Michaelsen, en el cual los parámetros de clasificación son la pendiente del terreno y la profundidad del suelo. La pendiente se calculó en función de la fórmula general $P = DV/DH \times 100$ en donde P es la pendiente del terreno; DV es la diferencia de elevación entre dos puntos y DH es la distancia horizontal entre ambos puntos.

La profundidad del suelo se determinó directamente en el terreno con la utilización del barrenos y observando perfiles en carreteras o cualquier otra sección que permitiera observar esas características. Con estos datos y utilizando los comandos "times" y "plus" se pudo obtener el mapa de capacidad de uso de la tierra y su respectiva leyenda (anexo 2).

4.2.5. Selección del sistema de información geográfico.

Para la selección del sistema de información geográfico se introdujeron los datos georeferenciados en el Sistema pMAP (Professional Map Analysis Package) Versión 2.6 y en Sistema MAP (The Map Analysis Package) Versión 3.0 a objeto de efectuar comparaciones entre ambos, en este sentido se decidió utilizar el Sistema pMAP por cuanto: provee mapas de mejor resolución tanto en pantalla como en impresión, los símbolos que diferencian los valores de clases resaltan más, cada una de las unidades de estudios y la etiqueta despliega mayor cantidad de atributos. Para la creación de la base de datos dentro del sistema que originaron los mapas de la Cuenca, se siguieron los siguientes pasos:

a) Definición del tamaño de la cuadrícula o celda.

El tamaño de la cuadrícula fue definido tomando en consideración las áreas mínimas de los distintos usos identificados en la Cuenca, mediante el reconocimiento de campo y las fotografías aéreas, las cuales fueron definidas en dos hectáreas. Tomando en consideración que los mapas se encuentran a escala 1:50.000 ampliados a la escala 1:25.000 para facilidad de manejo y que el software que se utiliza (Pmap versión 2.6) acepta una malla de 100x100 cuadrículas, se define que cada una de ellas tenga un tamaño de 0.5 centímetros (125 metros en el terreno) por lado, cubriendo un área de 15.625m², es decir 1.56ha, que permite abarcar

con cierto margen de seguridad (0.43ha) las áreas mínimas de estudio.

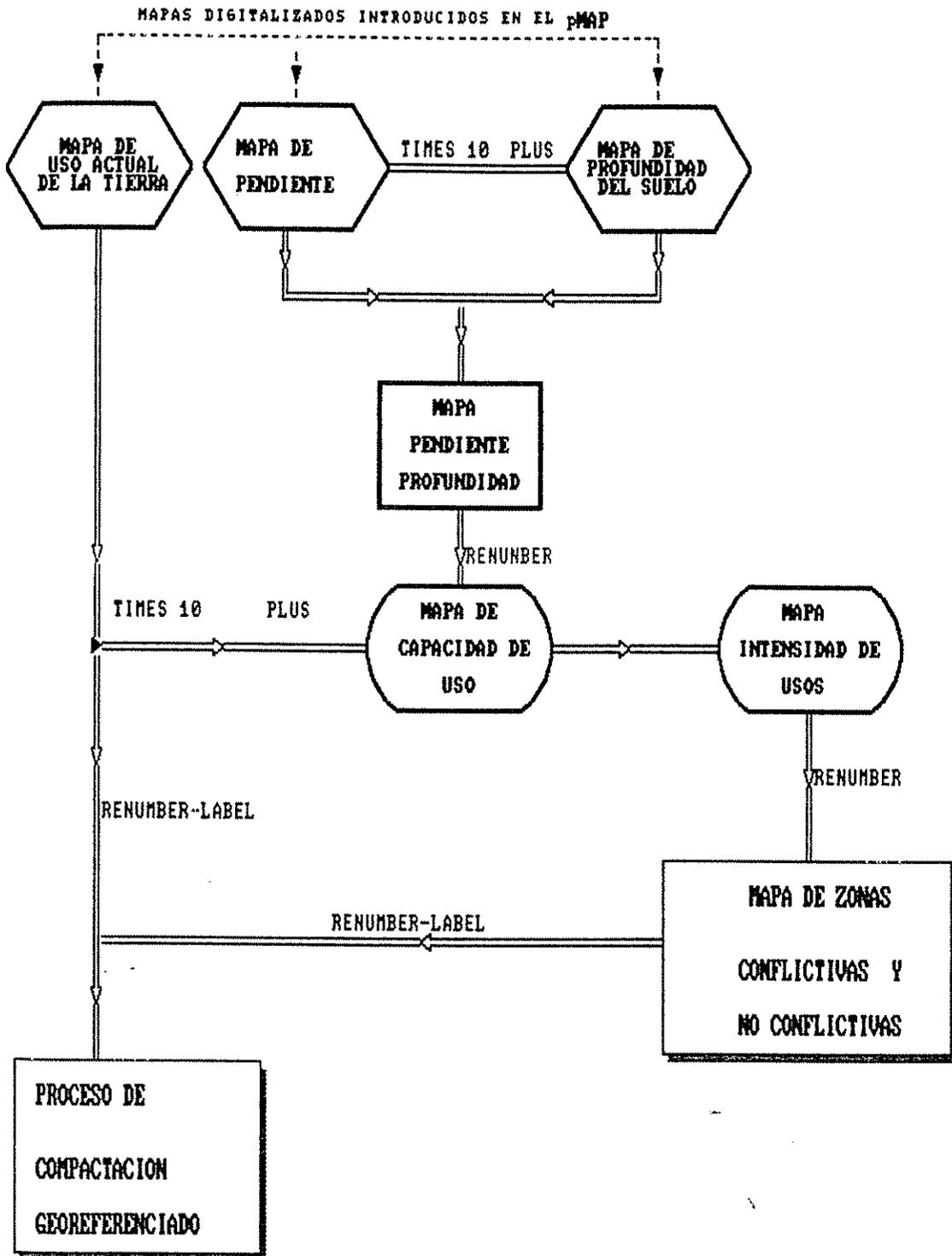
b) Digitalización y creación de la base de datos de los mapas de capacidad de uso y uso actual de la tierra.

Después de realizar la codificación numérica de cada uno de los datos espaciales de los mapas se procedió a digitalizarlos en forma manual, previo a lo cual se había construido la malla de cien filas por cien columnas en papel transparente. Esta malla se superpone a cada uno de los mapas que van a ser introducidos en el sistema de información geográfico. La introducción de los datos en el archivo computarizado se hizo mediante el procesador de texto Microsoft Word5, lo cual formó la base de datos y fue grabado bajo la modalidad "Text only". Posteriormente mediante el comando "read" en el sistema de información geográfico pMAP se "corre" este archivo para luego realizar las operaciones que permiten crear nuevos mapas o generar nueva información.

4.2.6. Elaboración del mapa de zonas conflictivas y no conflictivas.

Los valores de los atributos del mapa de Uso actual de la tierra se multiplicaron mediante el comando "times" por 10 para luego utilizar el comando "plus" y sumarlos a los valores de los atributos del mapa de capacidad de uso de la tierra. El mapa así obtenido se denomina "intensidad de uso", en donde, el primer dígito corresponde al atributo del mapa de uso actual de la tierra y el segundo dígito corresponde al mapa de capacidad de uso. Posteriormente se reclasificaron por categorías utilizando el comando "renumber" en dos grupos, zonas conflictivas y zonas no conflictivas para aquellas áreas que presentan usos que estén por encima de la capacidad de uso y usos a capacidad o por debajo de su capacidad respectivamente. (figura 5).

FIG.5 FLUJOGRAMA UTILIZADO PARA EL SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICO



4.2.7. Muestreo en las zonas de estudio.

Se considera la Cuenca dividida en estratos conformados por:

Sectores de la Cuenca y zonas conflictivas y no conflictivas por intensidad de uso.

Para hacer el análisis del comportamiento de la compactación se dividió a la Cuenca en cuatro sectores tomando en consideración aspectos físicos-naturales de manera tal que cada uno de estos sectores presenten características aproximadamente similares, estos sectores lo conforman las áreas de estudio en la Cuenca. (cuadro 5).

Cuadro 5. Características que identifican a cada sector de la Cuenca Hidrográfica del río Aquiares.

Condición/Sectores	A	B	C	D
Altitud mmsnm	2500-3100	1300-2500	1150-1300	600-1150
Precip mm	2000-2250	2500-2500	2500-2750	2750-3000
Orden de drenaje	2	3	4	4

Sector A: Cuenca alta. El uso actual "Páramo" no fue evaluado por cuanto se encuentra en una zona muy específica, condicionada por el área de influencia del volcán Turrialba, y no presenta uso diferentes al natural, estando catalogada como un área bajo régimen especial que no debe ser sometida a otros usos, en el resto del área del sector los usos predominantes son: el pasto en mayor extensión, pasto de corte, cultivo anual y bosque.

Sector B: Cuenta media-alta. En este sector se encuentran todos los usos a que está sometida la Cuenca, siendo el pasto el que ocupa mayor superficie.

Sector C: Cuenca media. En este sector el café abarca gran parte del área aunque también existe una zona de uso bosque.

Sector D: Cuenca baja. El café ocupa la mayoría de las áreas y está acompañados por pequeñas áreas de pasto y bosque. En cada sector se consideraron todos los posibles usos bajo diferentes características, principalmente pendientes.

La Cuenca también se dividió en zonas conflictivas y no conflictivas, para analizar en todas estas áreas los indicadores de compactación. Dentro de cada uso de la tierra se hizo la selección de áreas representativas de suelos, obteniendo áreas con rangos iguales de relieve (dentro de los rangos preestablecidos para realizar el mapa de pendiente de la zona) y similares características texturales tomadas en el campo (Pla Sentís.1970).

Se tomaron 476 muestras en 238 áreas mediante muestreo aleatorio simple, distribuidos en toda la Cuenca y a profundidades de 0-15 y 15-30 cms. Para cada unidad de estudio se realizó una evaluación de las características de uso y manejo, que permitió tener mayor detalle del área.

4.2.8. Parámetros indicativos del proceso de compactación.

Para cada muestra de suelo fueron estudiadas las características indicativas básicas del proceso de compactación (permeabilidad, densidad aparente, porosidad y resistencia a la penetración) analizándose además el contenido de humedad y la granulometría. En total se realizaron 2.856 análisis para 476 muestras; cada uno de los análisis se detallan a continuación:

Permeabilidad.

El método para la determinación de la permeabilidad es el denominado "Método del permeámetro de carga constante" mediante el cual se mide el volumen de agua que pasa a través de una muestra de suelo saturada e

inalterada, sobre la que se mantiene una carga constante de agua. Los volúmenes de agua son medidos cada 15 minutos hasta que se hacen constante (+ o - 5%). Los valores de permeabilidad en cm/h se obtuvieron mediante la fórmula $K = Q/At \times L/AH$ En donde K es igual a la permeabilidad; Q es igual al volumen de agua por un tiempo determinado; A es igual al área de la sección del cilindro; L es igual al largo de la muestra; T es igual al intervalo de tiempo y AH el nivel promedio del agua.

Densidad Aparente.

Los valores de este parámetro se obtuvieron mediante el "método del cilindro del volumen conocido" para tal fin se tomó la muestra en el campo en un cilindro especial, se pesó cada muestra antes y después de 24 horas secada al horno a una temperatura de 110 grados centígrados. Los resultados se obtuvieron a partir de la fórmula $DA(\text{gr/cm}^3) = \text{peso seco al horno} / \text{volumen del suelo}$.

Contenido de humedad.

El contenido de humedad fue calculado gravimétricamente, tomando en consideración la masa del suelo en su condición natural (peso húmedo) y posteriormente pesada una vez secada al horno (peso seco); esto nos permite conocer el contenido de humedad al momento de calcular los parámetros de compactación. La fórmula para tal fin es $\% \text{humedad gravimétrica} = (\text{masa de suelo húmedo} - \text{masa de suelo seco}) / \text{masa de suelo seco} \times 100$.

Porosidad total.

Se hizo tomando en consideración la fórmula que incluye la densidad aparente y la densidad de partículas. $E = \{(1 - D_a/D_p)\} \times 100$ en donde E es la porosidad en porcentaje; D_a es la densidad aparente y D_p es la densidad de partículas.

Resistencia a la penetración

Para la obtención de los valores de resistencia a la penetración se utilizó el penetrómetro de bolsillo, el cual expresa valores entre 0 y 4.5 Kg/cm², para ello en cada sitio de muestreo se promediaron cinco medidas por sitio y profundidad, principalmente donde las diferencias de las mediciones eran superiores al + ó - 5%.

Determinación granulométrica.

Para el análisis granulométrico (textura) se utilizaron los métodos del tacto en el campo para la definición del área muestrear y para el laboratorio el método de Boyucos (modificado por F.Hardy y R. Bazan).

4.2.9. Análisis estadísticos.

Para el análisis estadístico de los valores indicativos del proceso de compactación se realizaron las siguientes pruebas:

- a) Prueba de independencia CHI^2 . Nos permite conocer el grado de dependencia que existe entre los valores indicativos del proceso de compactación con los diferentes usos de la tierra en la cuenca.
- b) Prueba "t" para medias ajustadas. Para conocer la existencia de diferencias significativas entre los valores indicativos de la compactación para los sectores, usos, profundidades del suelo y zonas conflictivas y no conflictivas. En el análisis de los datos se utilizó un diseño de parcelas divididas donde la parcela grande se corresponde con un factorial de la interacción de sectores de la Cuenca por usos de la tierra y zonas por usos de la tierra, siendo la subparcela las profundidades del suelo.

c)Análisis de Regresión. Se realizó para las variables contenido de humedad contra las variables indicativas del proceso de compactación y estas últimas se relacionaron también con los contenidos de arcilla, limo y arena.

Los valores indicadores de la compactación fueron introducidos en el Sistema de Información Geográfico a manera de georeferenciar los valores de la compactación para los diferentes sectores de la Cuenca y diferentes usos de la tierra.

5. RESULTADOS Y DISCUSION.

5.1. Análisis espacial.

5.1.1. Distribución de uso actual de la tierra, capacidad de uso y zonas conflictivas en la Cuenca del río Aquiares.

- Uso actual de la tierra en la Cuenca del Río Aquiares.

Los principales usos a los cuales está sometida la Cuenca (cuadro 6) son el café, el pasto y bosque, que representan el 39.82%; 30.71 % y 21.39 % respectivamente y todos ocupan el 91,92 % de la superficie total, el resto del área 8.10% lo ocupan los usos Páramo, Pasto de corte, Cultivo anuales, Cultivos perenne y Charral.(anexo 1).

Los principales usos se distribuyen de la siguiente forma el café en la Cuenca media y baja, el pasto en la Cuenca alta y media alta, el bosque en la Cuenca alta, media alta y media. (figura 6).

Cuadro 6. Uso actual de la tierra. Cuenca del río Aquiares.

Uso	Superficie ha	%
Café	1061.7	39.82
Pasto	818.7	30.71
Bosque	570.2	21.39
Páramo	80.4	3.02
Pasto de Corte	53.0	1.98
Cultivo anual	47.5	1.78
Caña	18.3	0.68
Cultivo Perenne	9.1	0.34
Charral	7.3	0.21

-Profundidades del suelo y pendiente del terreno.

Los suelos de la Cuenca del río Aquiares tal como se describen para los inceptisoles son profundos, de ellos

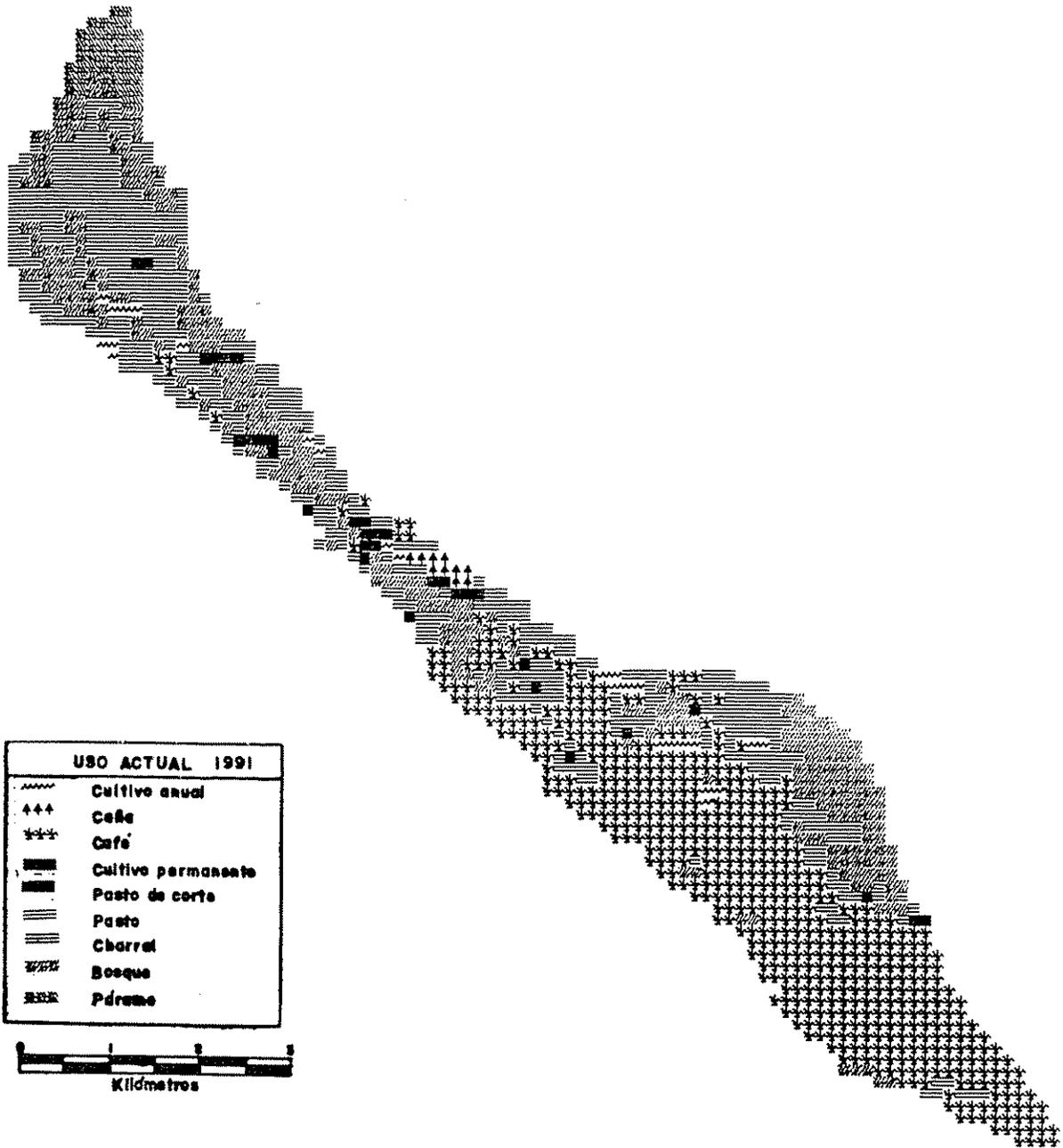


Figura 6 Mapa de uso actual de la tierra. Cuenca del Río Aquilares

SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICO "PMAP"

el 81,31 % de la superficie de la Cuenca presenta suelos con profundidades por encima de 20 centímetros de profundidad y un 38.6 % por encima de 50 centímetros. (cuadro 7. y figura 7.)

Cuadro 7. Profundidad del suelo de la Cuenca del río Aquiares.

Descripción	Profundidad cm	Superficie ha	%
Muy poco profundo	<20	498.8	18.70
Poco profundo	20-50	1136.7	42.63
Moderadamente profundo	50-90	893.4	33.51
Profundo sin limitante	>90	137.7	5.16

En cuanto a la pendiente del terreno, el 70.94 % de la superficie tiene pendientes por encima del 30 % (cuadro 8); el 31.12 % de la superficie tiene pendientes por debajo del 12 % y se encuentra en la parte baja de la Cuenca.(figura 8).

Cuadro 8. Distribución de la pendiente en la Cuenca del río Aquiares.

Descripción	Pendiente %	Superficie ha	%
Suavemente ondulante	<12	829,7	31.12
Moderadamente ondulante	12-30	402,0	15.08
Fuertemente ondulante	30-50	659.7	24.74
Muy fuertemente ondulante	50-60	632.3	23.71
Empinado	>60	142,5	5.34

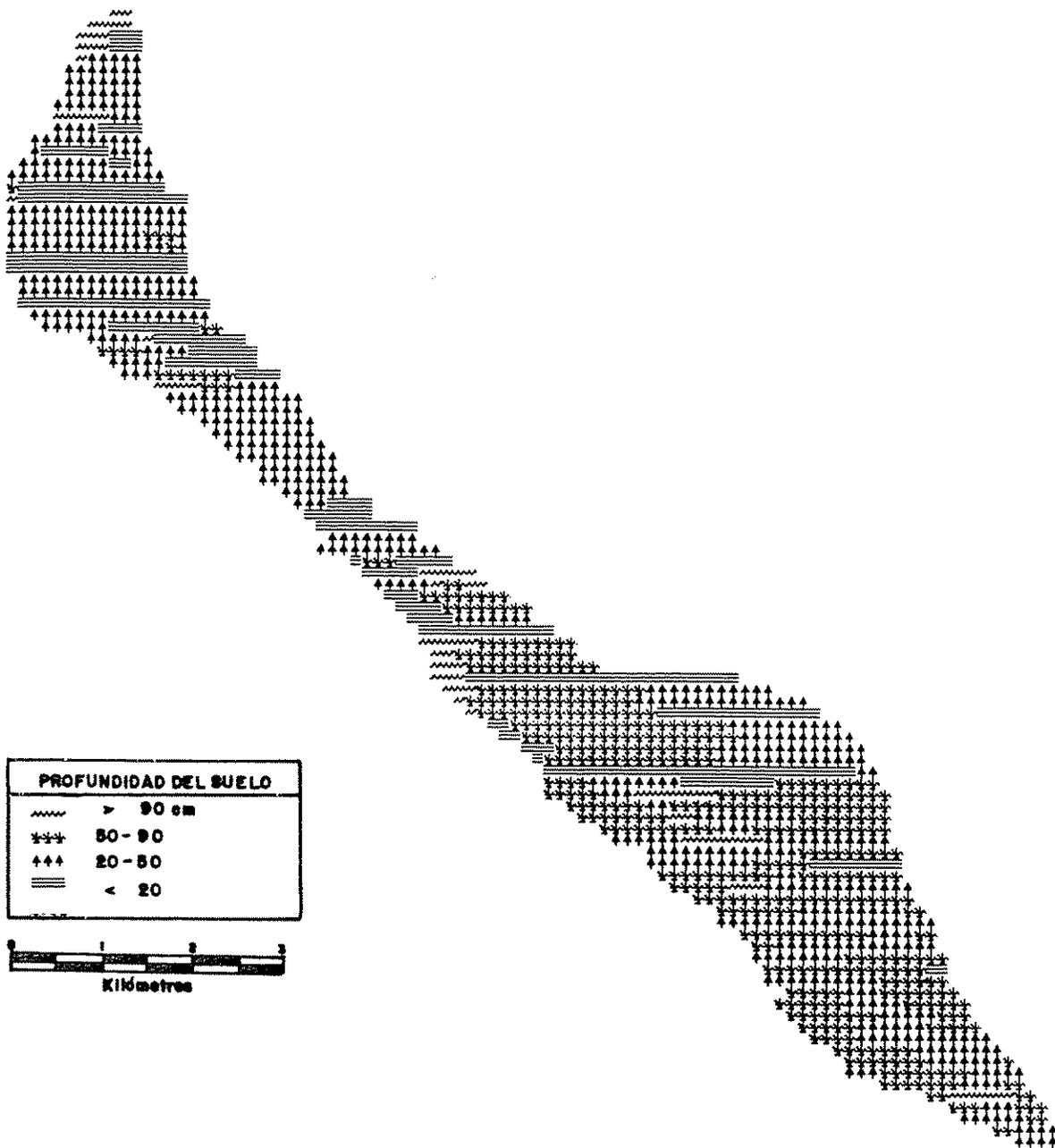
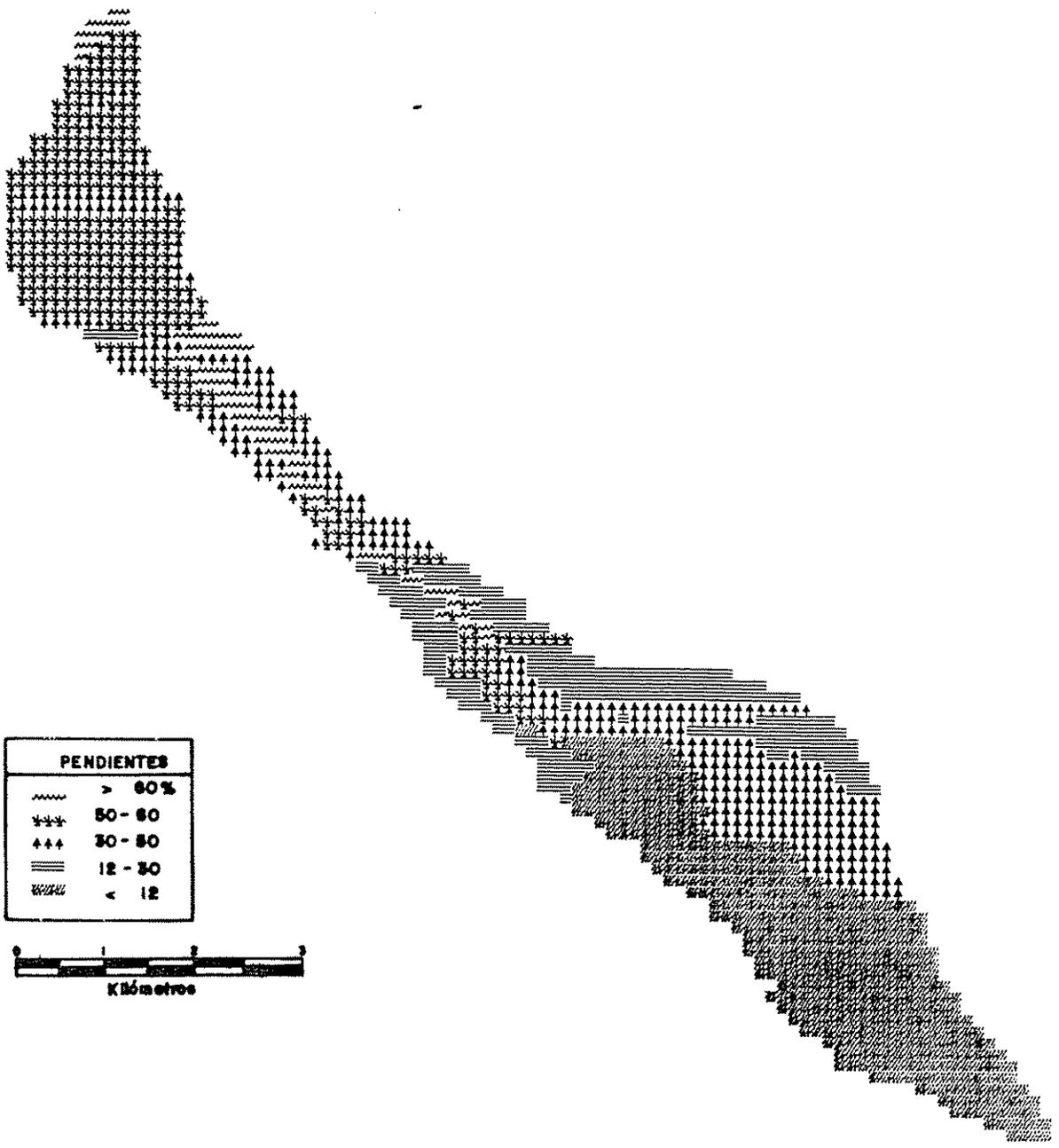


Figura 7 Mapa de profundidad del suelo. Cuenca del Río Aquiares

SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICO "PMAP"



PENDIENTES	
~~~~~	> 60%
	50-60
////	30-50
====	12-30
.....	< 12



Figura 8 Mapa de pendientes. Cuenca del Río Aquiles

SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICO "PMAP"

La interacción de estos parámetros produce el cuadro 9; el cual señala la capacidad de uso y las diferentes características que permiten definir la capacidad de uso de la Cuenca del río Aquiares.

Cuadro 9. Sistema de clasificación de los terrenos por capacidad de uso. (según Sheng modificado por Michaelson 1977).

Pendiente%	<12	12-30	30-50	50-60	>60
Profundidad					
>90	Uso I	Uso II	Uso III	Uso IV	Uso VI
50-60	Uso I	Uso II	Uso III	Uso IV Uso VI	Uso VI
20-50	Uso I	Uso II Uso V	Uso V	Uso VI	UsoVI
<20	Uso I Uso V	Uso V	Uso V	Uso VI	Uso V

**-Capacidad de uso de la tierra en la Cuenca del río Aquiares.**

Las característica de profundidad del suelo, principalmente y pendiente del terreno en algunas zonas hacen que la capacidad de uso permitan que partes de estas tierras puedan ser utilizadas para cultivos anuales, con medidas de conservación, las cuales, en la Cuenca se emplean parcialmente y que estas áreas igualmente están ocupadas en su mayoría por café. El cuadro 10., señala que alrededor del 45 % de la Cuenca se encuentra en capacidad de uso I, II y III con medidas de conservación. La capacidad de uso V (pasto) ocupa 25.15 % de todo el sector y el 28.10 % para la capacidad VI (forestal) (figura 9).

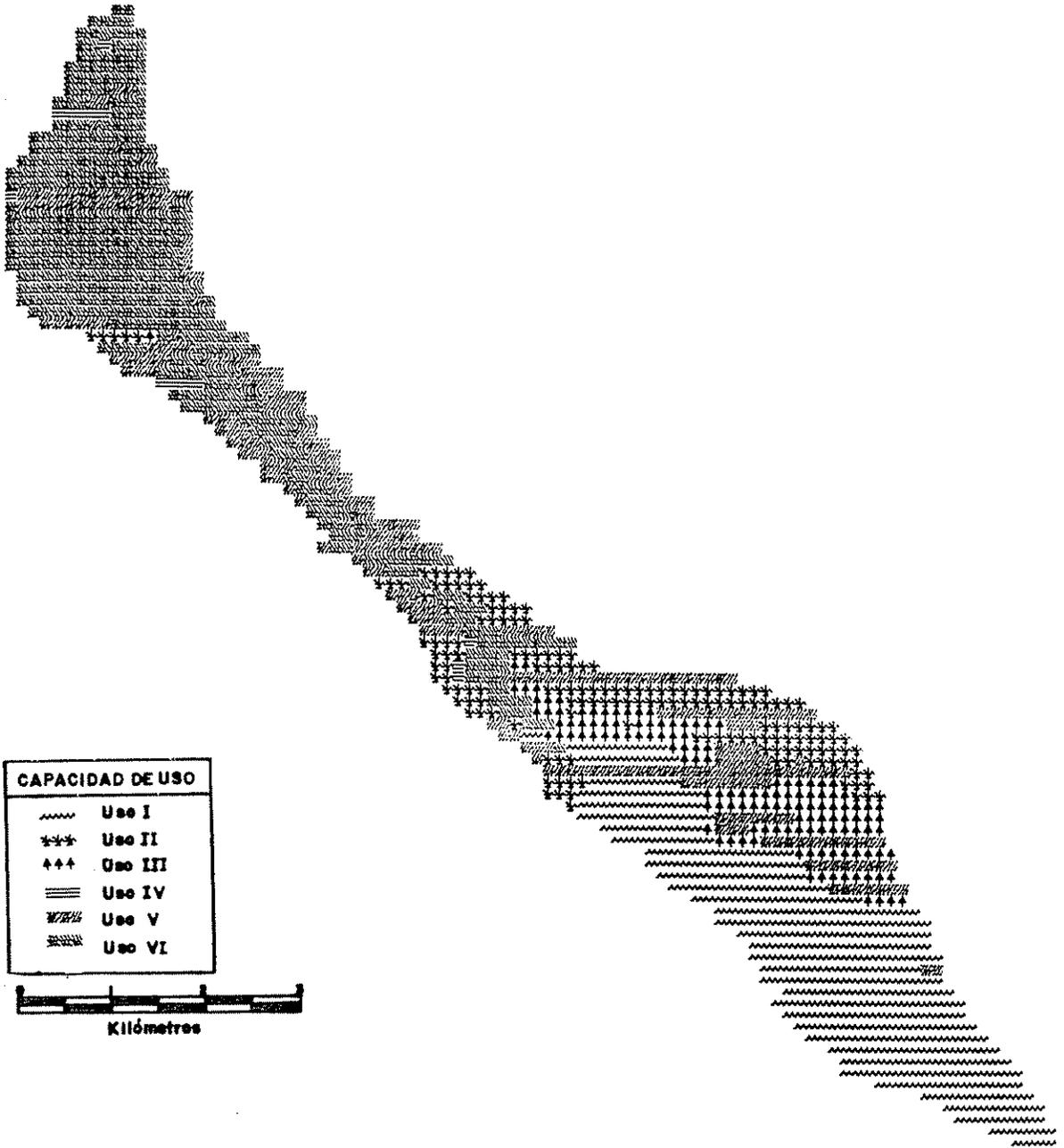


Figura 9 Mapa de capacidad de uso. Cuenca del Río Aquilares

SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICO "PMAP"

Cuadro 10. Distribución de la capacidad de uso de la tierra para la Cuenca del río Aquiares.

Descripción	Superficie ha	%
Uso I	807.4	30.28
Uso II	168.3	6.31
Uso III	244.9	9.19
Uso IV	256.	0.96
Uso V	670.7	29.16
Uso VI	749.3	28.10

**-Zonas conflictivas y no conflictivas en la Cuenca del río Aquiares.**

El sistema de clasificación de Sheng se ajusta a la realidad latinoamericana al proponer utilizar áreas con pendientes pronunciadas, pero asignándoles la necesidad de aplicar medidas de conservación que compensen o eviten los daños al suelos, es por esto que en la determinación de zonas conflictivas solamente resultan como tal el 21.71 % del total de la superficie de la Cuenca. (Cuadro 11 y figura 10). Las zonas conflictivas se encuentran distribuidas principalmente en la Cuenca alta y media-alta, ello debido a las pendientes elevadas existentes en esos sectores, coincidiendo con uso principalmente de pasto.

Cuadro 11. Zonas conflictivas y no conflictivas de la Cuenca del río Aquiares.

Zonas	Superficie	%
Zonas conflictivas	579.3	21.72
Zonas no conflictivas	2081.9	- 78.28

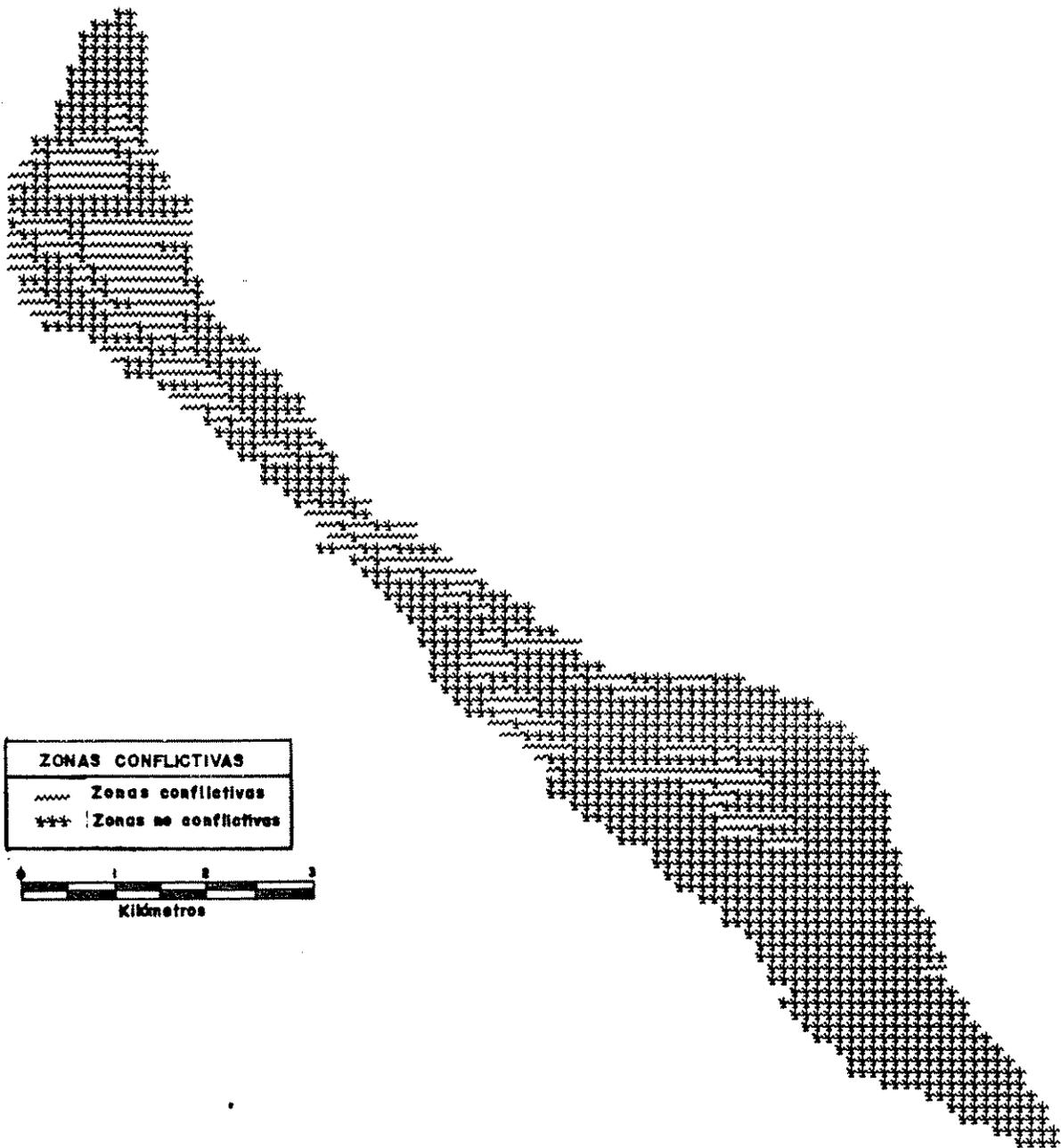


Figura 10 Mapa de zonas conflictivas. Cuenca del Río Aquiles

SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICO "PMAP"

**-Prácticas agropecuarias y medidas de conservación realizadas en la Cuenca.**

En líneas generales las prácticas agropecuarias se mantienen en igual forma en toda la Cuenca, estas se realizan por tradición más que por aspectos técnicos, contribuyendo aún más a ello, debido a que el uso pasto está concentrado en la parte media alta y alta y el uso café en la parte media y baja de la Cuenca. Las medidas y prácticas de conservación están parcialmente ausente en los cultivos, realizando rotaciones de potreros en los usos pecuarios; esta situación se detalla a continuación.

**-Café.**

Está acompañado por especies de sombras fijadoras de nitrógeno (poró) y/o banano, con distanciamientos entre 10 y 20 metros entre árboles o macetas de musáceas.

Las medidas de conservación que tienen este cultivo, corresponden a terrazas individuales, sin embargo sembradas las hileras, en la mayoría de los casos, en dirección a la pendiente, oscilando estas últimas entre los >12 y >60 %.

**-Cultivos permanentes.**

La única especie representativa en este rubro es el manzano y está sembrada a 4 metros, en terrazas con zanjas de absorción, sobre pendientes en el rango de 50-60 %

**-Pasto.**

Existen varias especies de pasto utilizados en la Cuenca, predominando en la parte alta el pasto "kikuyo" y en la parte baja de la Cuenca se combina con el pasto "estrella" hasta llegar en pequeñas áreas, con sólo pasto estrella. Tal como se señaló anteriormente, todos los potreros son rotados, con períodos de descanso en la mayoría

de los casos entre 28 y 30 días; con un promedio de 2.8 unidades animales por hectárea, el 90 % de la finca aplican fertilizantes y sólo en la parte alta se conserva en forma sistemática la vegetación arbórea que sirve de protección al ganado de la lluvia y del viento. La pendiente para este uso es de las más elevadas, oscilando entre los 35 y 60 %, con algunas excepciones.

#### **-Pasto de corte.**

Las especies predominante es el pasto "imperial" aunque en ciertos sectores se utilice el "green grass". La pendiente en que se encuentra oscilan entre los 30 y 60 %. Están sembrados en contorno en la mayoría de los casos.

#### **-Cultivos anuales.**

Los cultivos anuales representados por frijol, maíz y papa principalmente, no se siembran en contorno y se encuentran en pendientes elevadas (más de 35%), con abonamiento en todos los sectores de la Cuenca.

#### **-Caña.**

Se cosecha una vez cada dos años y se encuentra principalmente en la Cuenca media-alta. Su aprovechamiento es manual y es transportada en carreta hasta la vía principal de comunicación.

### **5.1.2. El proceso de compactación en las diferentes áreas de la Cuenca.**

#### **-Zonas conflictivas y no conflictivas.**

Se observa en los cuadros 12 y 13, que los valores indicativos del proceso de compactación, son más acentuados en las zonas conflictivas, para distintas profundidades, en estas mismas zonas, de 15-30 centímetros la compactación es mayor, caso contrario ocurre en las no conflictivas.

Cuadro 12. Promedio de los indicadores de la compactación en zonas conflictivas y no conflictivas a diferentes profundidades.

Zonas.Prof.	cm	Permeabilidad		Densidad Aparente		Porosidad Total		Resistencia Penetración	
		$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
ZC	15	7.27	3.20	0.71	0.17	0.72	0.065	2.4	0.67
	30	6.42	2.85	0.82	0.21	0.69	0.008	2.4	0.50
ZNC	15	7.46	3.97	0.77	0.21	0.70	0.080	2.3	0.84
	30	8.14	3.72	0.64	0.17	0.75	0.650	2.01	0.64

ZC=Zonas Conflictivas. ZNC=Zonas no Conflictivas.

$\mu$ = media.  $\sigma$  desviación estándar.

Cuadro 13. Promedio de los indicadores de compactación en zonas conflictiva y no conflictivas en diferentes usos. Profundidad 0-30 cm.

Uso actual	Zonas	Permeabilidad		Densidad Aparente		Porosidad Total		Resistencia Penetración	
		$\mu_a$	$e$	$\mu_a$	$e$	$\mu_a$	$e$	$\mu_a$	$e$
Café	ZC	6.19	0.81	0.97	0.041	0.63	0.016	2.77	0.11
	ZNC	4.8	0.61	0.96	0.031	0.64	0.012	2.72	0.85
Pasto corte	ZC	9.28	0.62	0.58	0.032	0.77	0.012	1.79	0.09
	ZNC	10.42	0.64	0.57	0.033	0.78	0.013	1.70	0.09
Pasto	ZC	5.75	0.47	0.74	0.024	0.72	0.009	2.51	0.07
	ZNC	7.03	0.52	0.60	0.27	0.74	0.010	2.49	0.07

ZN= Zonas Conflictivas. ZNC= Zonas no conflictivas.

$\mu_a$ = media ajustada.  $e$ = Error estándar.

Por otra parte, al realizar comparaciones por usos de la tierra que están presentes en ambas zonas (Cuadro.13) se tiene que, salvo para el café, en la variable permeabilidad, en zonas conflictivas la tendencia hacia la compactación es mayor, esto corrobora la explicación del cuadro 12. Se destaca que el uso pasto presenta la más alta diferencia en los valores de densidad aparente entre zonas cuadro 13. Estos resultados reflejan que para suelos inceptisoles el proceso presenta valores bajos, estando los usos café y pasto con valores mayores al de otros uso donde el suelo no es perturbado o lo es muy poco, como el bosque , el charral y el pasto de corte, señalando una tendencia hacia la compactación del suelo, en las zonas conflictivas y uso pasto

#### -Sectores de la Cuenca.

Al realizar un análisis de los indicadores de compactación por sectores de la Cuenca, definido cada sector en el cuadro 4 capítulo 4.2.7, se observa que en la Cuenca alta el proceso es menor, existiendo diferencias entre los valores de la Cuenca baja y la Cuenca alta en el orden de un 16 % para la variable resistencia a la penetración la cual muestra mayor sensibilidad para evaluar el proceso porque presenta mayor diferencia entre el valor máximo y el mínimo; sin embargo todos los indicadores, salvo la permeabilidad en la Cuenca media, reflejan esta misma situación. (cuadro 14 y figura 11)

Esta situación se explica principalmente por dos aspectos; primero el tipo de suelo en la Cuenca alta del río Aquiares los cuales son suelos jóvenes, proveniente de cenizas volcánicas y lavas recientes, con una capa delgada de cenizas (Dóndoli 1953.e Ibarra 1970.) y segundo, el uso de pasto en la parte alta de la Cuenca, con la rotación de potrero cada 28-30 días, uso frecuente de fertilizante, suelos con altos contenidos de materia orgánica (Gallardo

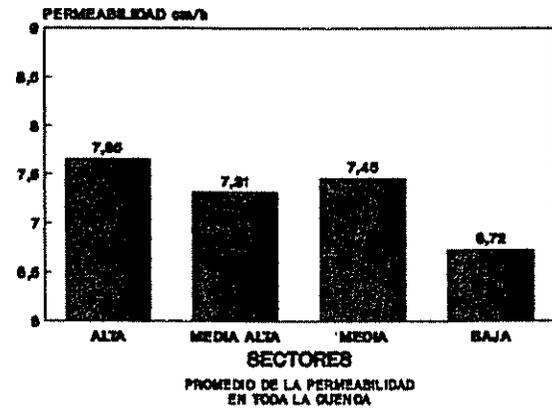
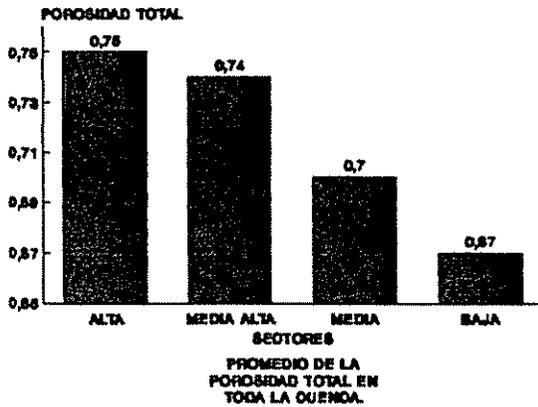
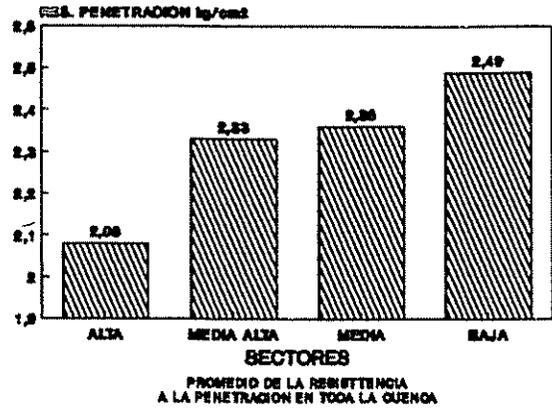
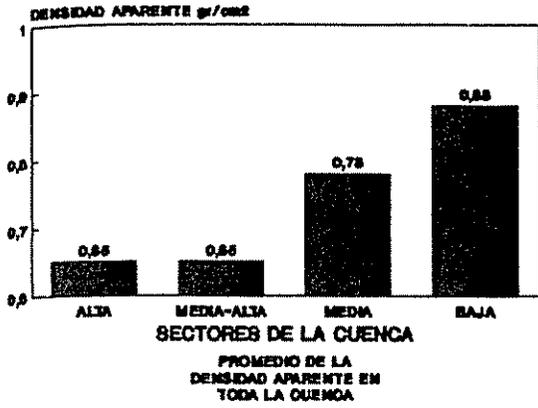


Fig.11 COMPACTACION POR SECTORES PARA CADA INDICADOR.

1989) hacen que el impacto de la compactación en la Cuenca alta sea bajo.

Cuadro 14. Promedio de los indicadores de compactación por sectores. Profundidad 0-30 cms.

Variable/Sector	Cuenca alta $\mu - \sigma$	Cuenca media-alta $\mu - \sigma$	Cuenca media $\mu - \sigma$	Cuenca baja $\mu - \sigma$
Permeabilidad cm/h	7.65-3.07	7.31-3.23	7.45-3.63	6.72-3.61
Densidad Aparente g/cm ³	0.65-0.15	0.65-0.15	0.79-0.25	0.88-0.20
Porosidad Total %	0.75-0.06	0.74-0.05	0.70-0.09	0.67-0.07
Resistencia. Penetración Kg/cm ²	2.08-0.62	2.33-0.67	2.36-0.81	2.49-0.75

$\mu$ =media.  $\sigma$ =desviación estándar.

## 5.2. Análisis e interpretación detallada de los datos.

Los datos tabulados y graficados para su análisis e interpretación estadística corresponden a aquellos a los cuales la respuesta estadística indica un grado de significancia del 5 %. Los resultados son los siguientes

### 5.2.1. Prueba $\chi^2$ .

Se realizó la prueba de  $\chi^2$ , dentro de la cual se analizó la prueba Sperman que se ajusta en mejor forma a datos cualitativos. (Snedcor 1981.) Este análisis refleja que los grados de dependencia uso-compactación son muy bajos para las variables "porcentaje de porosidad y densidad aparente" donde no se observa una tendencia definida de los datos; caso contrario ocurre para las variables "permeabilidad y resistencia a la penetración", aunque sigue siendo baja la dependencia (cuadro 15)

Cuadro 15. Prueba  $\chi^2$ -Sperman para los valores de los índices de compactación.

Prueba	Prof. cm	Permeabilidad	Densidad aparente	Porosidad total	Resistencia penetración
$\chi^2$	15	188,88	107,85	100,34	124,33
Sperman	15	-0,286	-0,018	-0,026	0,327
$\chi^2$	30	154,09	123,06	142,37	97,465
Sperman	30	-0,299	-0,111	0,138	0,164

Estribi 1984., al evaluar densidad aparente, porosidad total e infiltración para conocer la compactación en los usos bosque, pasto y charral, encontró que existe variación de las tres características del suelo, observando una dependencia uso-compactación. En la Cuenca del río Aquiares, los bajos grados de dependencia pueden estar ocasionados por las características de los suelos que arrojan valores también bajos de los indicadores del proceso de compactación.

#### 5.2.2. Prueba "t" para medias ajustadas.

##### a) Zonas conflictivas, usos de la tierra y profundidad de la muestra. (anexo 3)

La permeabilidad es menor en las zonas conflictivas que en las no conflictivas (figura 12), esta situación se relaciona con una mejor estructura del suelo debido a un uso adecuado del mismo en las zonas no conflictivas e incidiendo en un mayor grado de penetración del agua. (cuadro 16)

Los valores de densidad aparente para zonas conflictivas en profundidades de 15-30 cms, son mayores que para la profundidad 0-15 cms, con una diferencia entre ambos de un 10 %. Para zonas no conflictivas ocurre el caso contrario, existiendo valores mayores de densidad aparente a profundidades de 0-15cm. (cuadro 17 y figura 13). Igual situación ocurre para la variable porosidad total; esta situación se mantiene para los indicadores permeabilidad y resistencia a la penetración, aunque estadísticamente estas variables no son diferentes. (cuadro 18 y figura 14).

Cuadro 16. ANDEVA para el indicador permeabilidad por zonas.

FV	GL	CM	F	P>F
ZONAS	1	114,599	16,86	0,0001**
USOS	7	364,917	56,64	0,0001**
ZONASxUSOS	2	15,057	2,21	0,1166
REP (ZONASxUSOS)	73	6,803	1,23	0,2683
PROFUNDIDAD	1	8,439	0,11	0,7402
ZONASxPROFUND.	1	0,756	0,57	0,7808
USOSxPROFUND.	7	3,909	1,36	0,9590
ZONxUSOSxPROF.	2	9,31		
ERROR	381	6,866		
<b>TOTAL</b>	<b>475</b>			

Coefficiente de variación = 36%

** Indicativo de significancia.

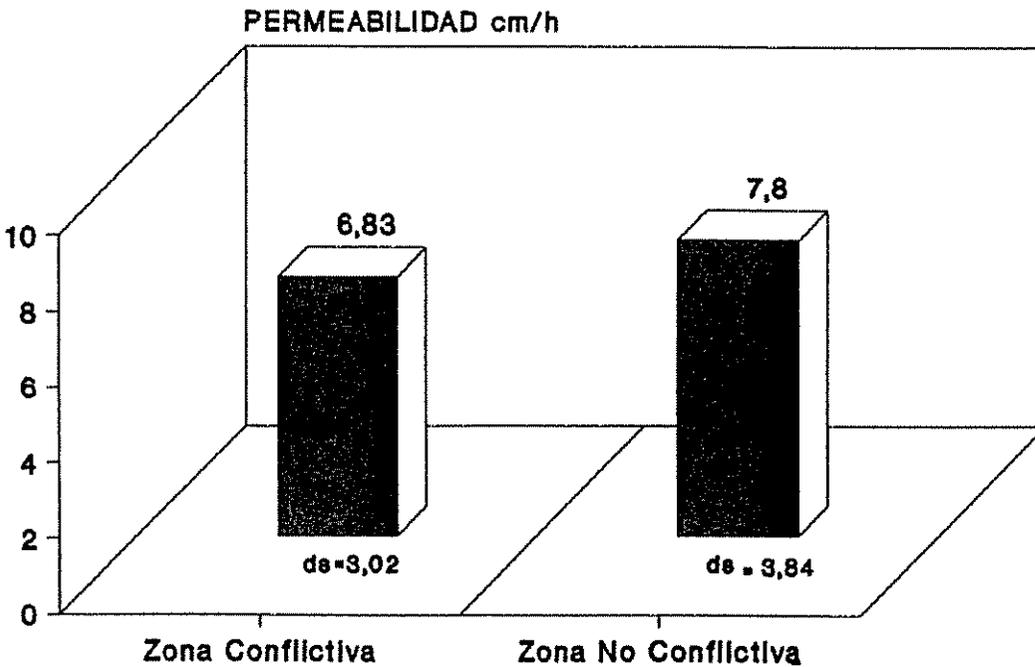


Fig.12 COMPARACION DE PROMEDIOS DE PERMEABILIDAD ENTRE ZONAS.

Cuadro 17. ANDEVA para el indicador densidad aparente por zonas.

FV	GL	CM	F	P>F
ZONAS	1	0,464	25,09	0,0001**
USOS	7	1,066	58,88	0,0001**
ZONASxUSOS	2	0,0409	2,26	0,1649
REP (ZONASxUSOS)	73	0,018	0,80	0,8758
PROFUNDIDAD	1	0,0016	0,07	0,7860
ZONASxPROFUND.	1	0,198	8,78	0,0032**
USOSxPROFUND.	7	0,242	10,74	0,0001**
ZONASxUSOSxPROF.	2	0,045	1,99	0,1308
ERROR	381	0,00226		
TOTAL	475			

Coefficiente de variación = 20,36%

** Indicativo de significancia.

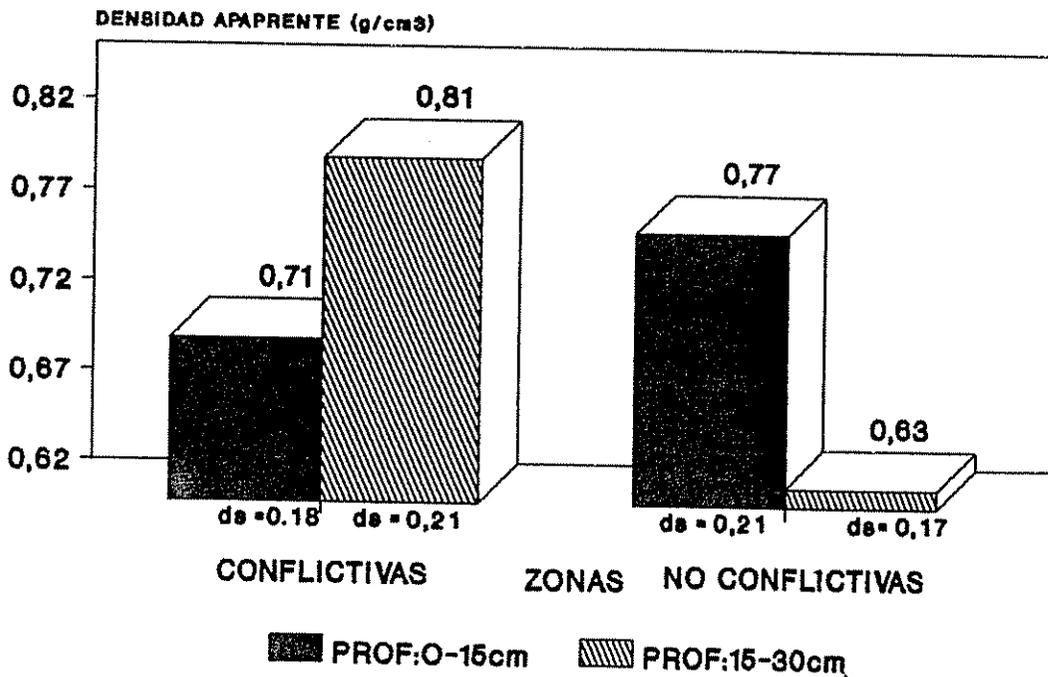


Fig.13 INTERACCION ZONASxPROFUNDIDAD. .  
PROMEDIOS DE DENSIDAD APARENTE..

Cuadro 18. ANDEVA para el indicador porosidad total por zonas.

FV	GL	CM	F	P>F
ZONAS	1	0,0685	26,21	0,0001**
USOS	7	0,1517	57,87	0,0001**
ZONASxUSOS	2	0,0053	2,03	0,1383
REP(ZONASxUSOS)	73	0,0026	0,81	0,8646
PROFUNDIDAD	1	0,0003	0,09	0,7588
ZONASxPROFUND.	1	0,085	8,81	0,0032**
USOSxPROFUND.	7	0,0338	10,46	0,0001**
ZONxUSOSxPROF.	2	0,0068	2,13	0,1200
ERROR	381	0,00323		
TOTAL	475			

Coefficiente de variación = 8 %

** Indicativo de significancia.

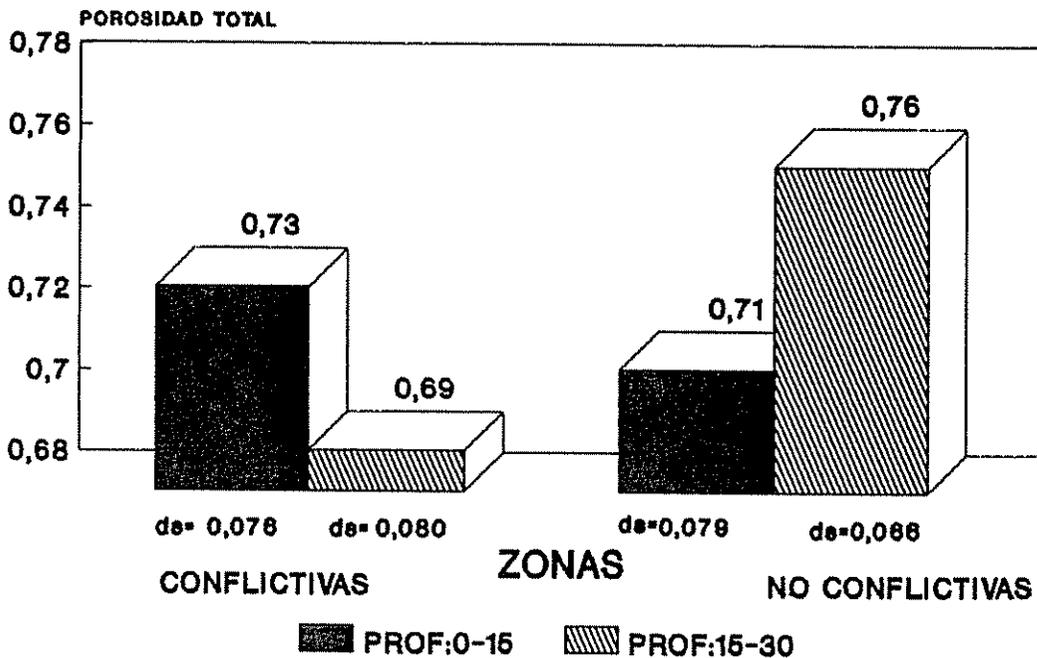


Fig.14 INTERACCION ZONASxPROFUNDIDAD.  
PROMEDIOS DE POROSIDAD TOTAL.

Al relacionar las zonas conflictivas y no conflictivas con los diferentes usos de la tierra se observa que en la primera de las nombradas para la variable resistencia a la penetración los valores son mayores que en las zonas no conflictivas, aumentando a medida que se varía el uso desde el pasto corte hacia el café, pasando por el pasto pastoreado (cuadro 19 y figura 15). Esto señala que el proceso de compactación es mayor en el uso café y en zonas conflictivas.

Los resultados para el análisis de zonas conflictivas y no conflictivas reflejan valores de indicadores de compactación, que señalan una tendencia a sufrir este proceso de degradación del suelo aquellas zonas en las cuales el uso a las que están sometidas actualmente no corresponden con la capacidad de uso que ellas tienen.

#### **b) Interacción de los usos de la tierra con la profundidad del suelo.**

Para la variable densidad aparente los usos bosque, café y caña, tienen el mismo comportamiento en cuanto a la profundidad del suelo por cuanto sus valores no son significativamente diferentes, no así al hacer comparaciones entre otros usos. A excepción del cultivo anual y cultivo perenne (este último en menor grado) el resto de los usos presentan una densidad aparente mayor en la profundidad de 0-15cm. (figura 16.)

Para la variable porosidad total ocurre lo contrario a la densidad aparente, donde sólo el cultivo anual presenta valores inferiores en la profundidad de 15-30 cm. (figura 17)

Con respecto a la variable resistencia a la penetración, los valores mayores ocurren a la profundidad de 0-15 cm para los usos pasto de corte, café, y pasto, representando estos últimos el 70.52 % y por lo tanto incidente en toda la Cuenca. (figura 18)

Cuadro 19. ANDEVA para el indicador resistencia a la penetración por zonas.

FV	GL	CM	F	P>F
ZONAS	1	9,9559	74,61	0,0001**
USOS	7	13,4212	100,58	0,0001**
ZONASxUSOS	2	2,1054	15,78	0,0001**
REP(ZONASxUSOS)	73	0,1334	0,51	0,9997
PROFUNDIDAD	1	0,3266	1,25	0,2647
ZONASxPROFUND.	1	0,0491	0,19	0,6652
USOSxPROFUND.	7	2,0242	7,73	0,0001**
ZONxUSOSxPROF.	2	0,1843	0,70	0,4953
ERROR	381	0,26181		
TOTAL	475			

Coefficiente de variación = 22,11%

** Indicativo de significancia.

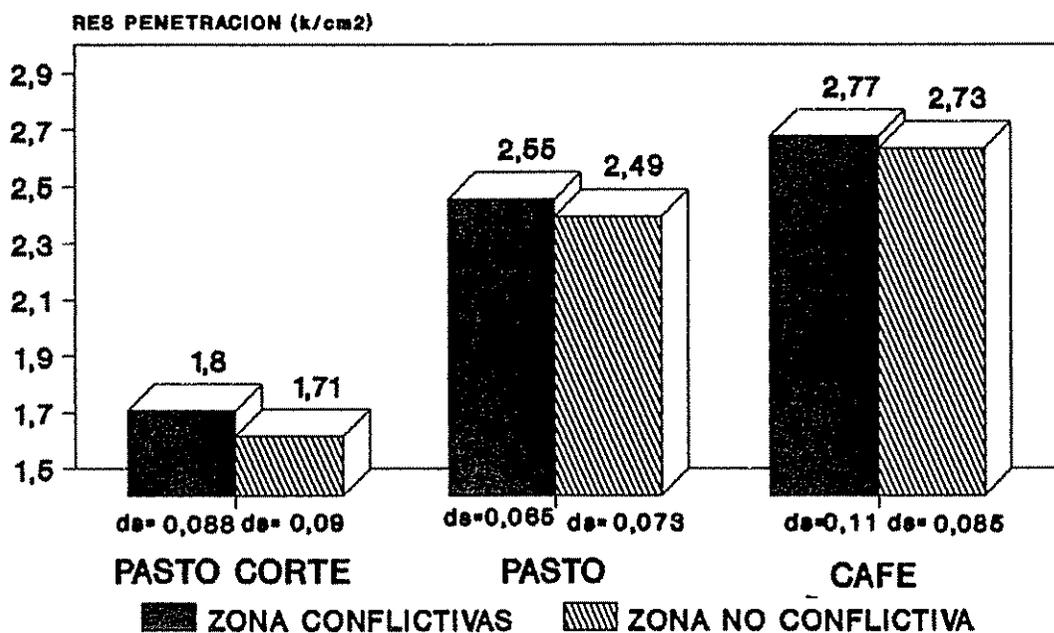
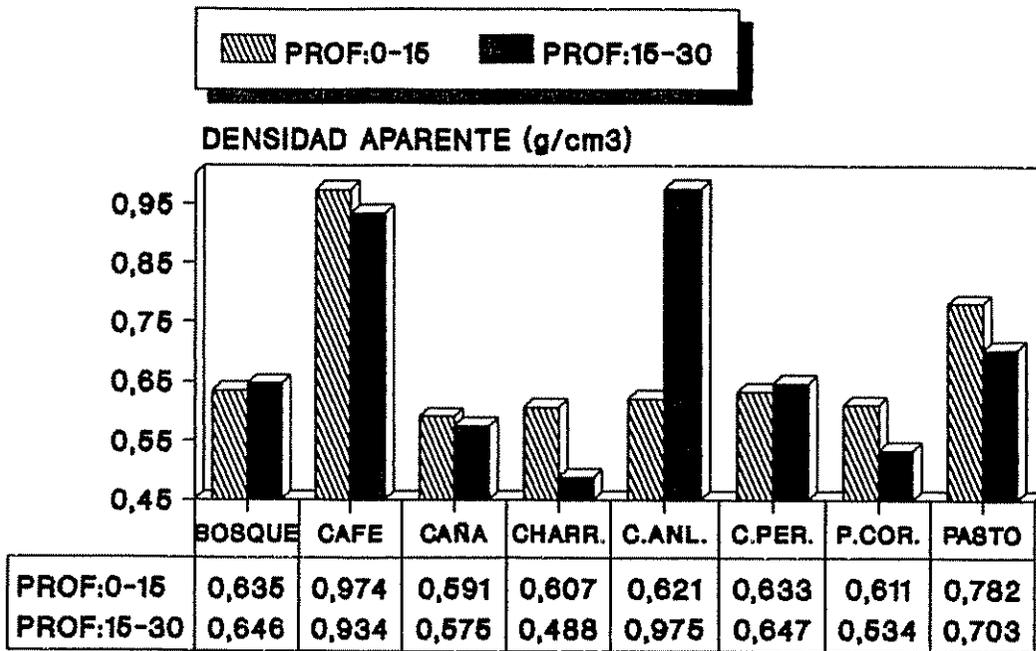
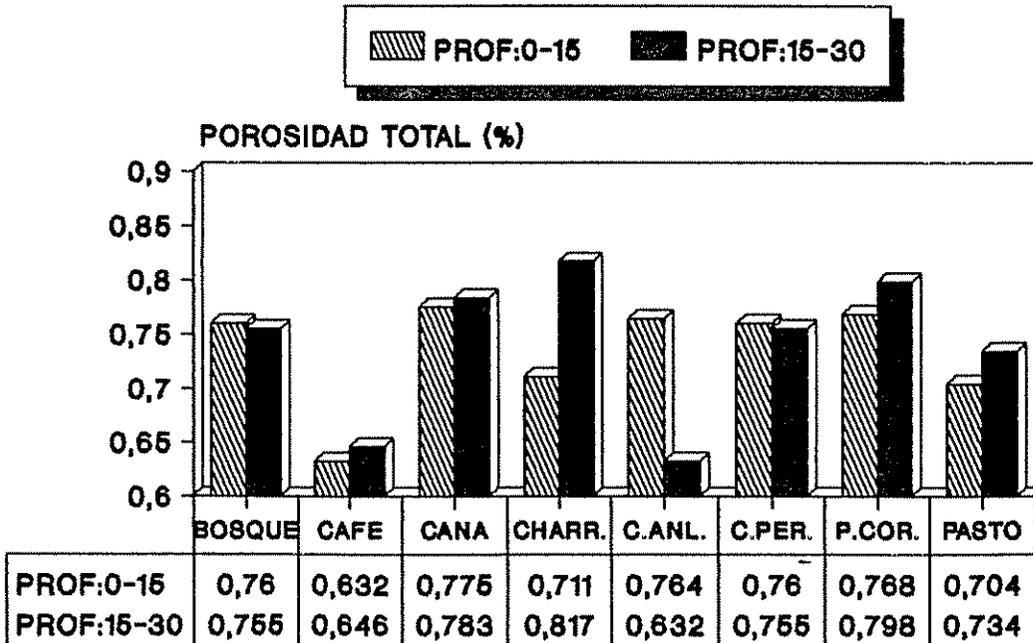


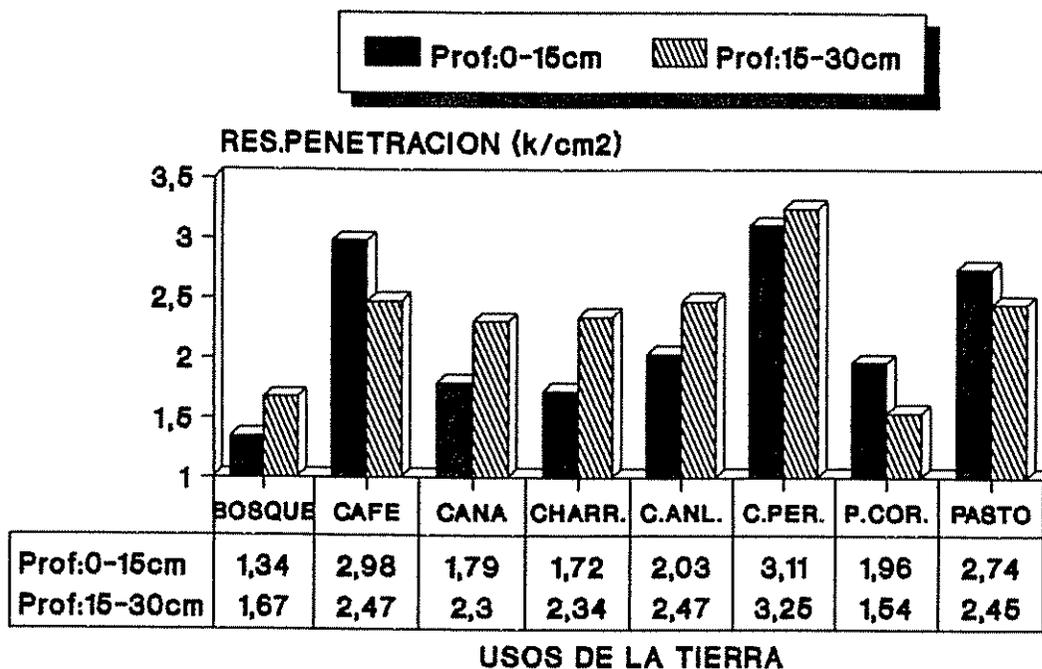
Fig.15 INTERACCION ZONASxUSOS. PROMEDIOS DE RESISTENCIA A LA PENETRACION.



**Fig.16 INTERACCION USOSxPROFUNDIDAD.  
PROMEDIOS DE DENSIDAD APARENTE**



**Fig.17 INTERACCION USOSxPROFUNDIDAD.  
PROMEDIOS DE POROSIDAD TOTAL.**



**Fig. 18 INTERACCION USOSxPROFUNDIDAD.  
PROMEDIOS DE RES.PENETRACION.**

Al realizar un análisis de los indicadores de compactación para usos de la tierra por profundidad, se puede señalar que para profundidades de 0-15 cms, se presentan mayores tendencias a los procesos de compactación. Esta tendencia se modifica para los cultivos anuales en donde existen valores que reflejan una mayor ocurrencia de este proceso a profundidades de 15-30cm, ello debido a que el laboreo del terreno y la aplicación de fertilizantes en la parte superior hace que las capas inferiores del suelo se vayan compactando. estos resultados se ajustan a lo conseguido en la literatura en pasto y en cultivos agrícolas afectando estos últimos en menor grado -la Cuenca del río Aquiares por cuanto los cultivos anuales ocupan solamente el

1.78 % de toda el área, sin embargo al presentarse indicadores de compactación con valores que reflejan más este proceso en la profundidad de 0-15 centímetros, se puede señalar que la infiltración disminuye a todo lo largo de la Cuenca y por ende se afectan los procesos de escorrentía.

**-Análisis de los sectores tomando en consideración los usos de la tierra.**

**Análisis de cada sector para cada variable,  
tomando como testigo los valores del uso bosque.  
(anexo 4)**

**-Permeabilidad.**

Para toda la Cuenca, el uso bosque se mantiene con valores elevados respecto a los demás usos, siguiendo en orden decreciente el charral, el pasto de corte, cultivo anual, caña, pasto, cultivo perenne y café a pesar de que el uso pasto ocupa mayor cantidad de área en la cuenca alta, los valores de permeabilidad aumentan a medida que se va de este sector hacia la Cuenca baja, debido a la mayor intensidad de uso en este último. La tendencia para toda la cuenca es que el bosque, y el pasto de corte son área de mayor permeabilidad que los otros usos, ello debido principalmente al menor laboreo del suelo. De acuerdo a lo señalado por Dimas y Malagón, los inceptisoles presenta una permeabilidad mediana; ello se ajusta a los resultados encontrados. (cuadro 20 y figura 19).

**-Densidad Aparente.**

Con excepción de la Cuenca alta, el bosque presenta densidad aparente baja. Los mayores valores de densidad aparente y por ende la mayor tendencia al proceso de compactación lo presenta en orden descendiente el café, pasto, cultivo anual. Al comparar los usos entre sectores tenemos que el indicador de compactación para cultivo anual, pasto y café, aumenta a medida que se va de la Cuenca alta a la Cuenca baja. (cuadro 21 y figura 20).

Cuadro 20. ANDEVA para el indicador permeabilidad por sectores de la Cuenca.

FV	GL	CM	F	P>F
SECTORES	3	21,5962	3,07	0,0280**
USOS	7	377,0516	53,63	0,0001**
SECTORESxUSOS	9	21,5582	3,07	0,0015**
REP(SECTxUSOS)	114	5,6698	0,25	0,6168
PROFUNDIDAD	1	1,7641	0,25	0,6168
SECTxPROFUND.	3	23,5630	0,51	0,6778
USOSxPROFUND.	7	6,1538	0,88	0,5262
SECTxUSOSxPROF.	9	0,3692	0,05	1,0000
ERROR	322	7,03015		
TOTAL	475			

Coefficiente de variación = 36,00%

** Indicativo de significancia.

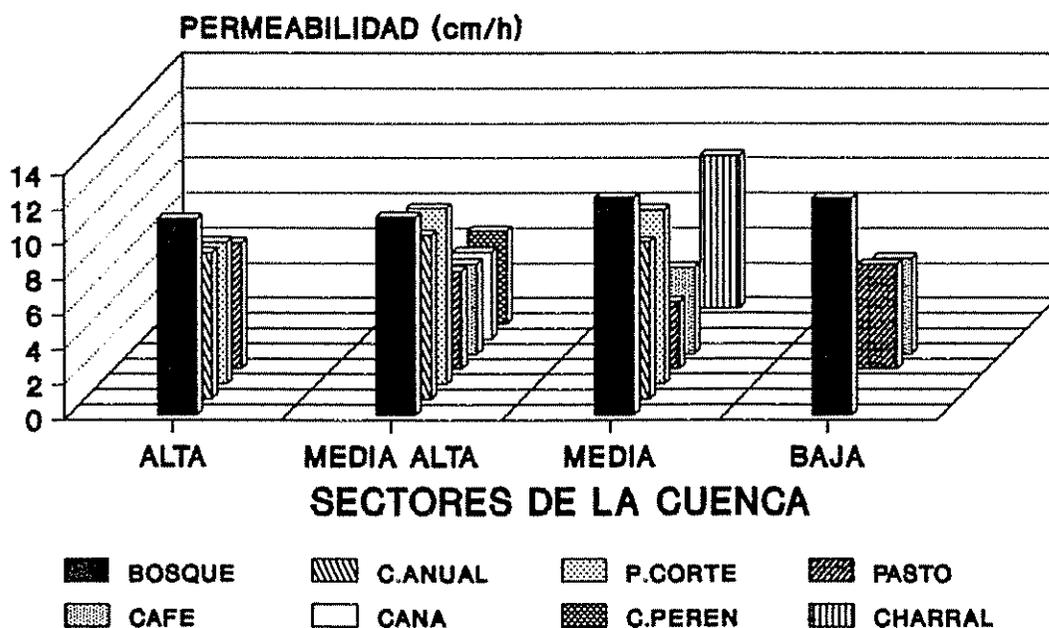


Fig.18 COMPARACION DE MEDIAS DE PERMEABILIDAD. SECTORES Y USOS DE LA TIERRA.

Cuadro 21. ANDEVA para el indicador densidad aparente por sectores de la Cuenca.

FV	GL	CM	F	P>F
SECTORES	3	0,8788	60,57	0,0001**
USOS	7	0,8355	57,58	0,0001**
SECTORESxUSOS	9	0,1723	11,88	0,0001**
REP(SECTxUSOS)	114	0,0145	0,75	0,9640
PROFUNDIDAD	1	0,01589	0,82	0,3656
SECTxPROFUND.	3	0,01637	0,85	0,4696
USOSxPROFUND.	7	0,2692	13,91	0,0001**
SECTxUSOSxPROF.	9	0,0072	0,37	0,9480
ERROR	322	0,01935		
TOTAL	475			

Coefficiente de variación = 18,00%

** Indicativo de significancia.

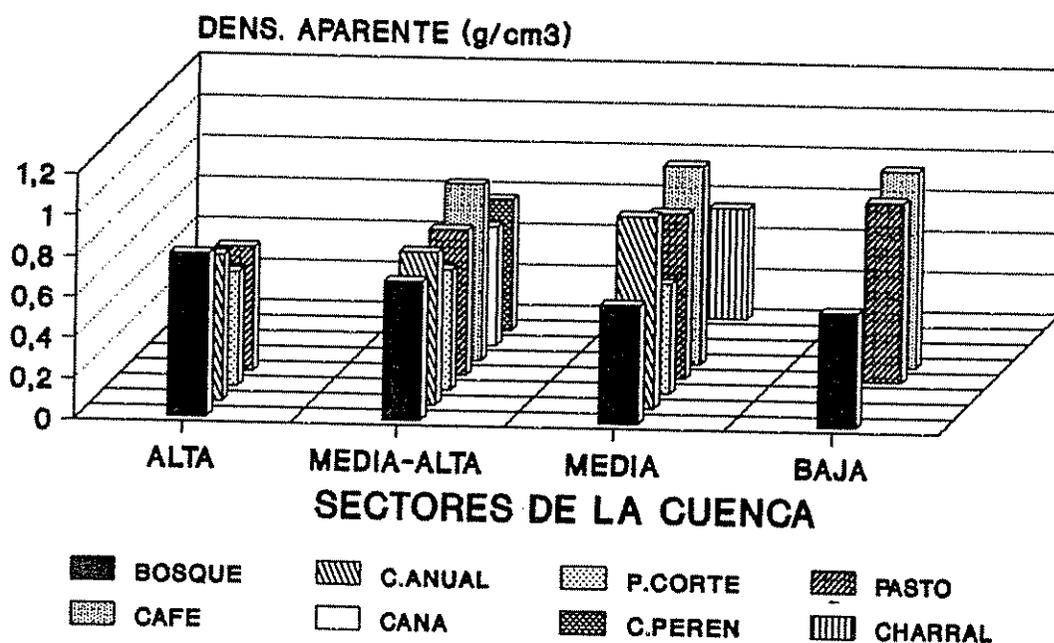


Fig.20 COMPARACION DE MEDIAS DE DENSIDAD APARENTE. SECTORES Y USOS DE LA TIERRA

Los suelos volcánicos presentan densidades aparentes entre 0,27-0,77 g/cm³, de acuerdo a lo señalado por Luzuriaga 1970., en suelos bajo pastos. Al hacer el análisis de cada uno de los sectores estudiados; la densidad aparente promedio de cada uno de estos sectores, indica que el valor más bajo está en el orden 0,58 g/cm³ y los valores mas altos alrededor de 1,1 g/cm³ con suelos preferentemente francos-franco arenosos.

Cabe destacar, que aunque los valores de densidad aparente son relativamente bajos, para lo que señalan la bibliografía de lo que deben ser valores que indiquen proceso de compactación, esto es característico de suelos inceptisoles, aún cuando visiblemente exista el fenómeno de compactación.

#### **-Porosidad total.**

Los valores de porosidad total, no presentan altas diferencias entre sectores, observándose que en los usos, cultivo anual, pasto y café, disminuye el porcentaje de porosidad en pequeña proporción a medida que se desplaza de la Cuenca alta a la Cuenca baja, es decir la tendencia es que la compactación es mayor a medida que se va en el sentido señalado y entre usos los mayores valores se presentan para charral, caña, cultivo perenne y pasto de corte, en ese orden.(cuadro 22 y figura 21). La porosidad total para esto suelos es elevada; oscilando entre 0.63 y 0.79 %. Estos valores estan asociados con valores bajos de densidad aparente, ajustándose a lo señalado por Forsythe, el cual indica que los andepts jóvenes tienen alta porosidad total, siempre por encima del 60 %. Se puede señalar que los suelos sometidos a pastoreo continuo, deben encontrarse compactados en los primeros centímetros, más que cualquier otro uso, aún cuando las mediciones de porosidad total y densidad aparente sean altas y bajas respectivamente, esto se explica debido a la influencia que ejercen las cenizas volcánicas sobre las características de estos suelos.

Cuadro 22. ANDEVA para el indicador porosidad total por sectores de la Cuenca.

FV	GL	CM	F	P>F
SECTORES	3	0,1236	59,63	0,0001**
USOS	7	0,1197	57,66	0,0001**
SECTORESxUSOS	9	0,0247	11,91	0,0001**
REP(SECTxUSOS)	114	0,0020	0,75	0,9645
PROFUNDIDAD	1	0,0023	0,83	0,3625
SECTxPROFUND.	3	0,00209	0,76	0,5197
USOSxPROFUND.	7	0,03763	13,57	0,0001**
SECTxUSOSxPROF.	9	0,00102	0,37	0,9496
ERROR	322	0,01935		
<b>TOTAL</b>	<b>475</b>			

Coefficiente de variación = 7,30%

** Indicativo de significancia.

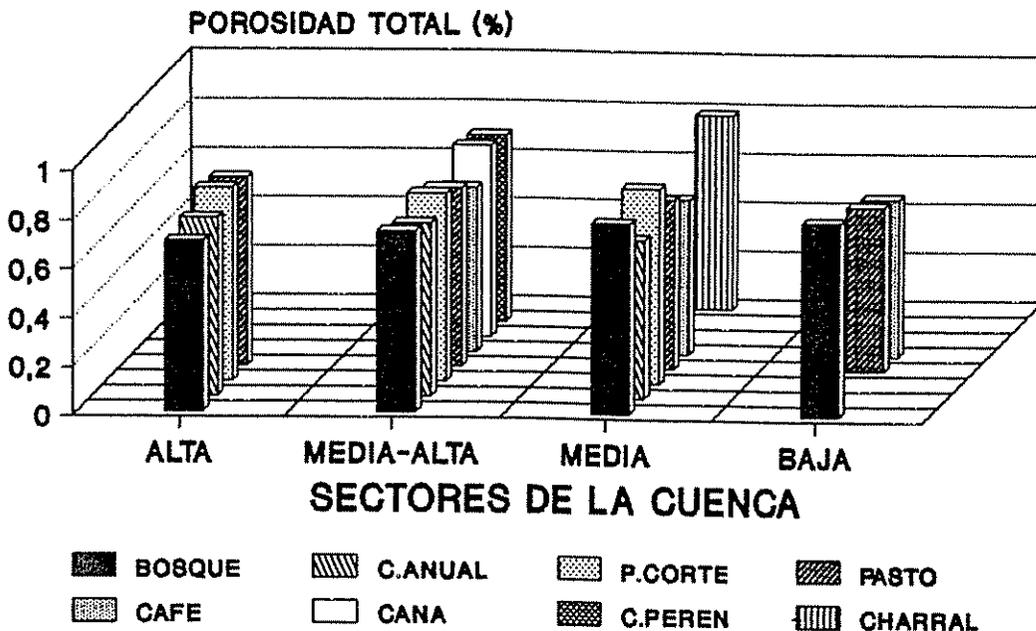


Fig.21 COMPARACION DE MEDIAS DE POROSIDAD TOTAL. SECTORES Y USOS DE LA TIERRA.

### -Resistencia a la penetración.

Las diferencias más acentuadas entre usos de la tierra se observan en este parámetro, aunque entre sectores la diferencia de cada uso es baja. En este sentido los valores menores se observan para el uso bosque aumentando para cultivo anual, pasto, café y cultivo perenne. (cuadro 23 y figura.22).

#### 5.2.3. Análisis de regresión

a) Para las variables, contenido de humedad contra permeabilidad, densidad aparente, porosidad total y resistencia a la penetración.

Se hizo un análisis de covarianza para conocer como el contenido de humedad del suelo afecta los indicadores de compactación, resultando con significancia los indicadores densidad aparente (cuadro 24) y Porosidad total (cuadro 25). En función a ello se realizó el análisis de regresión, encontrándose que la regresión cúbica ajusta bien a estos valores, siendo las ecuaciones

$DA = 1,1498 - 0.01431 \text{ hum.} + 0,0001255 \text{ hum}^2 - 0.000000394 \text{ hum}^3$   
(cuadro 26 y figura 23.)

$HUM = -736,72 + 3704,19 \text{ Por.} - 6231,45 \text{ Por}^2 + 3609,49 \text{ Por}^3$   
(cuadro 27 y figura.24).

En cuanto a la densidad aparente, los valores disminuyen a medida que aumenta el contenido de humedad, existiendo proporcionalidad directa por cuanto al bajar los valores de densidad aparente bajan los niveles de compactación del suelo y viceversa. Esta situación se ajusta a lo señalado por la literatura dado que bajo condiciones secas, se puede desarrollar altos valores de densidad aparente y al existir elevados contenidos de humedad se restringen los procesos de compactación por cuanto se debe ejercer mayor presión para remover el agua. El contenido de humedad es igualmente, directamente proporcional a la porosidad total. (Sánchez 1983) señala que los andepts presentan alta porosidad con contenidos de humedad que pueden ser más de un 300% de peso en agua.

Cuadro 23. ANDEVA para el indicador resistencia a la penetración por sectores de la Cuenca.

FV	GL	CM	F	P>F
SECTORES	3	3,2508	18,45	0,0001**
USOS	7	13,9782	79,33	0,0001**
SECTORESxUSOS	9	0,4329	2,46	0,0136**
REP(SECTxUSOS)	114	0,1761	0,72	0,0976
PROFUNDIDAD	1	1,7874	7,34	0,0071
SECTxPROFUND.	3	0,5927	2,44	0,0645
USOSxPROFUND.	7	2,25423	9,27	0,0001**
SECTxUSOSxPROF.	9	0,37052	1,52	1,1380
ERROR	322	0,01935		
<b>TOTAL</b>	<b>475</b>			

Coefficiente de variación = 21,30%

** Indicativo de significancia.

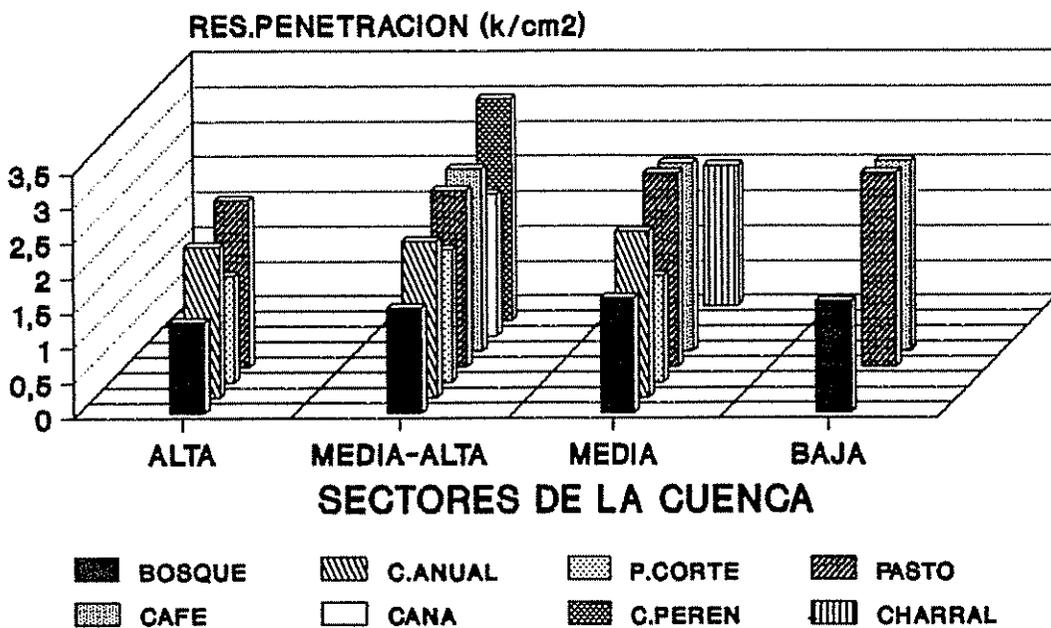


Fig.22 COMPARACION DE MEDIAS DE RESISTENCIA A LA PENETRACION. SECTORES Y USOS DE LA TIERRA.

Cuadro 24. ANDEVA para el indicador densidad aparente y el contenido de humedad como covariable.

FV	GL	CM	F	P>F
AREAS	18	0,3173	25,78	0,0001**
USOS	7	0,6771	55,01	0,0001**
AREASxUSOS	9	0,1271	10,33	0,0001**
REP(SECTxUSOS)	199	0,0123	1,29	0,0392
PROFUNDIDAD	1	0,0162	1,70	0,1939
AREASxPROFUND.	18	0,0732	7,65	0,0001**
USOSxPROFUND.	7	0,1089	11,39	0,0001**
AREASxUSOSxPROF.	15	0,0033	0,35	0,9882
CONTENIDO HUMED.	1	1,1261	117,71	0,0001
ERROR	194	0,01935		
TOTAL	475			

Coefficiente de variación = 13,24%

** Indicativo de significancia.

Cuadro 25. ANDEVA para el indicador porosidad total y el contenido de humedad como covariable.

FV	GL	CM	F	P>F
AREAS	18	0,0450	25,55	0,0001**
USOS	7	0,0966	54,83	0,0001**
AREASxUSOS	15	0,0184	10,47	0,0001**
REP(SECTxUSOS)	199	0,0018	1,30	0,0354
PROFUNDIDAD	1	0,0024	1,76	0,1858
AREASxPROFUND.	18	0,0103	7,56	0,0001**
USOSxPROFUND.	7	0,0151	11,11	0,0001**
AREASxUSOSxPROF.	15	0,0005	0,38	0,9834
CONTENIDO HUMED.	1	0,1632	119,91	0,0001
ERROR	194	0,0014		
TOTAL	475			

Coefficiente de variación = 13,24%

** Indicativo de significancia.

Cuadro 26. ANDEVA de la regresión entre la densidad aparente y el contenido de humedad.

FV	GL	CM	F	P>F
LINEAL	1	1,700085	90,23	0,0001**
CUADRÁTICA	1	0,56904	30,19	0,0001**
CUBICA	1	0,30767	16,32	0,0001**
ERROR	472	0,01885		
TOTAL	475			

Coefficiente de variación= 18%

$r^2 = 0.55$

** Indicativo de significancia al 5 %.

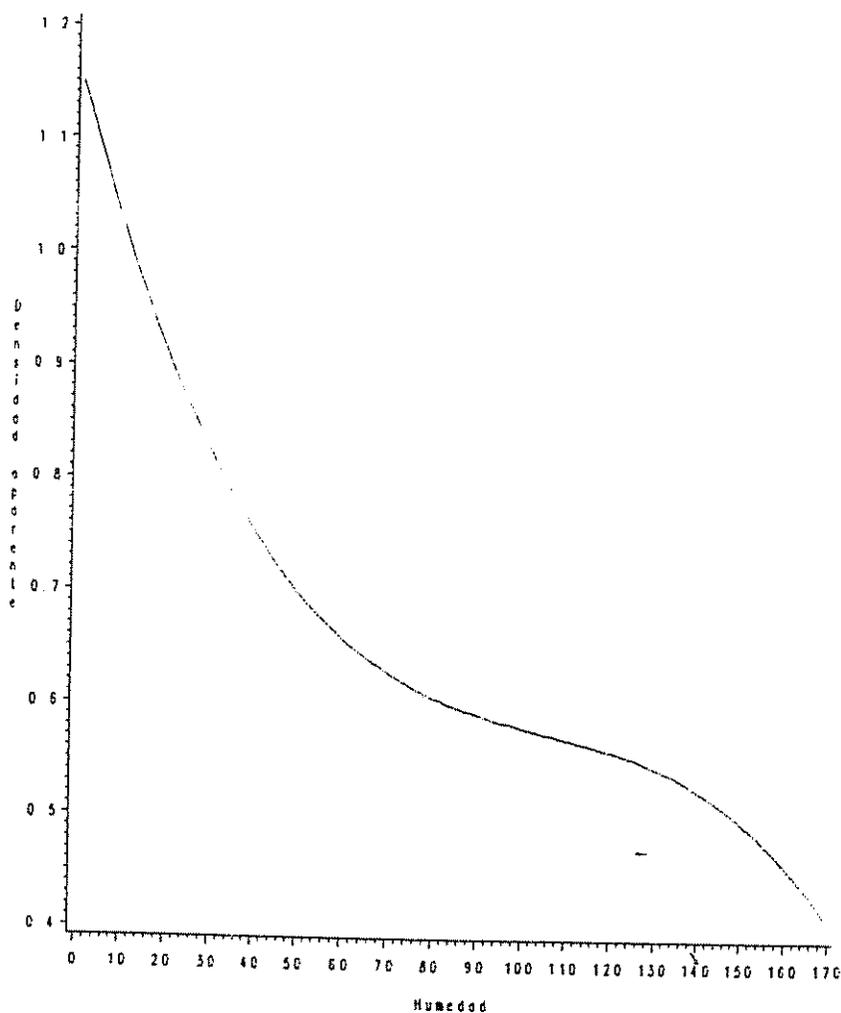


Fig.28 Regresión entre la densidad aparente y la humedad.

Cuadro 27. ANDEVA de la regresión entre la porosidad total y el contenido de humedad.

FV	GL	CM	F	P>F
LINEAL	1	1165,05	1,77	0,1845
CUADRÁTICA	1	1551,89	2,35	0,1258
CUBICA	1	2243,82	3,40	0,0658**
ERROR	472	659,74		
TOTAL	475			

Coefficiente de variación= 46,06 %

$r^2 = 0.52$

** Indicativo de significancia al 7 %.

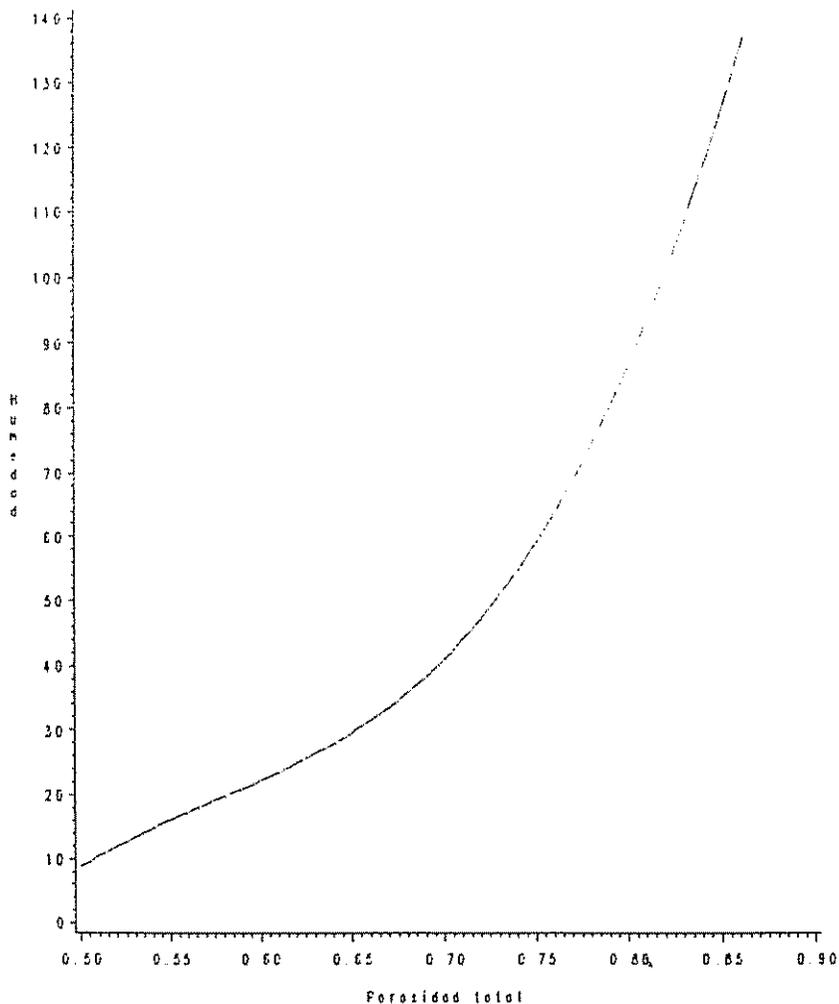


Fig.24 Regresión entre humedad y porosidad total.

total y una resistencia elevada de estos suelos a compactarse.

- b) Análisis de regresión múltiple relacionando los porcentajes de arena, limo y arcilla con la variabilidad de los índices del proceso de compactación.

Ello no dió significancia para ninguna de las variables. Esta situación puede explicarse por la homogeneidad en la textura de los suelos (franco-arenosos) con proporciones similares de arena, limo y arcilla, lo cual hace que la granulometría para esta área no sea incidente en el proceso de compactación.

#### 5.2.4. Integración de los valores de los indicadores de los procesos de compactación.

A objeto de integrar los indicadores del proceso de compactación a manera de conocer la variación del proceso tomando en consideración todos los indicadores mediante un valor cualitativo, se realizó el siguiente procedimiento

1- Se establecieron los rangos para cada uno de los indicadores de la compactación, para suelos inceptisoles, que reflejaran condiciones de no compactación, compactación media y compactación elevada. (cuadro 28.)

Cuadro 28. Rangos de los valores de los indicadores del proceso de compactación; según fuentes bibliográficas.

Tipo de compactación Variable	No Compactación	Compactación media	Compactación elevada
Permeabilidad cm/h	> 6.5	2 - 6.5	< 2
Densidad aparente gr/cm ³	< 0.6	0.6 - 0.9	> 0.9
Porosidad total %	> 75	50 - 75	< 50
Resistencia penetración kg/cm ²	< 1.5	1.5 - 3	> 3

2- Se definieron cuatro grados de compactación (sin compactación, compactación leve, compactación moderada y compactación alta) los cuales se obtienen de los valores asignados a cada tipo de compactación.

Tipo de compactación	Valor
No compactación	0
Compactación media	1
Compactación elevada	2

3- Los valores de los indicadores de la compactación introducidos en el análisis corresponden a la "Mediana" de manera tal de no sesgar la tendencia del proceso.

4- Los resultados cualitativos de la compactación se obtienen de la siguiente manera Para la sumatoria cuyo valor sea:

2 ó menos el grado de compactación es "sin compactación" igual "sc".

3 el grado de compactación es "leve" igual "l".

4 ó 5 el grado de compactación es "moderada" igual "m".

6 ó más el grado de compactación es "alta" igual "a".

5.- Los resultados obtenidos son los siguientes

Cuadro 29. Relación sector-uso para valores integrados del proceso de compactación.

Sector	Cuenca alta	Cuenca media-alta	Cuenca media	Cuenca baja
Uso				
Bosque	sc	sc	sc	sc
Pasto	l	m	m	m
Café	m	m	m	m
Pasto corte	sc	sc	sc	
Cul. anual	l	l	l	
Caña		sc		
Cul. Perm.		m	-	
Charral			sc	

Cuadro 30. Relación sector-profundidad del suelo para valores integrados del proceso de compactación.

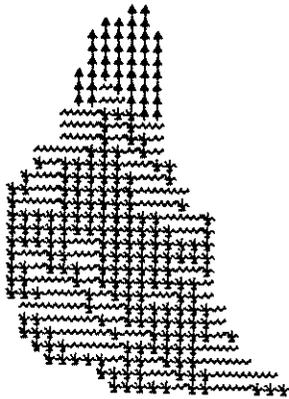
Sector	Cuenca alta	Cuenca media alta	Cuenca media	Cuenca baja
profundidad				
0-15 cm.	sc	l	m	m
15-30 cm	sc	l	m	m

Cuadro 31. Relación por zonas para valores integrados del proceso de compactación.

Zonas	Conflictivas	No conflictivas
	m	l

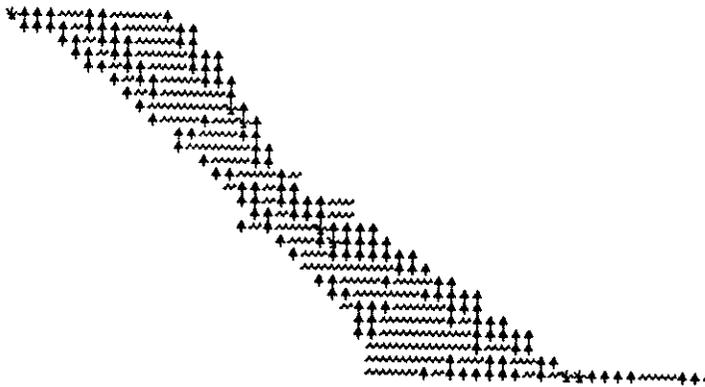
El bosque, el charral y el pasto de corte, para todos los sectores de la Cuenca, presentan suelos sin limitaciones por compactación, esto se explica por cuanto el grado de alteración o recuperación (charral) (Estribi 1984) de los suelos, sin embargo la caña presenta igual situación, debido posiblemente al laboreo intenso del suelo y a que su aprovechamiento se hace una vez cada dos años. El cultivo anual se mantiene con rango moderado en todos los sectores y el pasto varía de leve a moderado para la Cuenca alta y baja y Cuenca media alta y media respectivamente. El café presenta rango elevado en toda la Cuenca. (figuras 25,26,27, 28)

En el análisis por sectores y profundidad la Cuenca alta no presenta limitaciones siendo la compactación leve para la Cuenca media alta y elevada para la Cuenca media y baja. El comportamiento para las profundidades 0-15 y 15-30



COMPACTACION CUENCA ALTA	
~~~~~	Sin compactación
~~~~~▲	Compactación leve
▲▲▲	Páramo sin evaluar

Figura 25 Grados de compactación en la cuenca alta. Cuenca del Río Aquilares



COMPACTACION CUENCA MEDIA-ALTA	
~~~~~	Sin compactación
~~~~~▲	Compactación leve
▲▲▲	Compactación moderada

Figura 26 Grados de compactación en la cuenca media alta. Cuenca del Río Aquilares



SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICO "PMAP"



Figura 27 Grados de compactación en la cuenca media. Cuenca del Río Aquilares

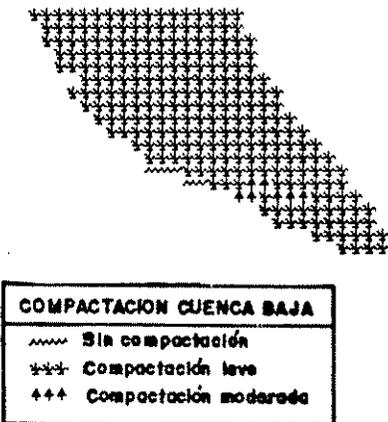


Figura 28 Grados de compactación en la cuenca baja. Cuenca del Río Aquilares



SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICO "PMAP"

centímetros no presenta diferencias de grados de compactación

Por sectores, la compactación no presenta limitaciones en la Cuenca alta y es moderada para el resto de la Cuenca del río Aquiares.

Cuadro 32. Relación por sectores para valores integrados del proceso de compactación.

Sector	Cuenca alta	Cuenca media alta	Cuenca media	Cuenca baja
	sc	m	m	m

Para zonas conflictivas, a profundidad de 0-15 centímetros, la compactación es leve; caso contrario ocurre en la profundidad 15-30 donde la compactación es moderada. Por otra parte, para zonas conflictivas la compactación es moderada y leve para las no conflictivas. (figura 29).

Cuadro 33. Relación zonas conflictivas-profundidad del suelo para valores integrados del proceso de compactación.

Zonas Profundidad	Conflictivas	No conflictivas
0-15 cms	l	m
15-30 cms	m	l

Para toda la Cuenca los resultados se señalan en el cuadro 33.

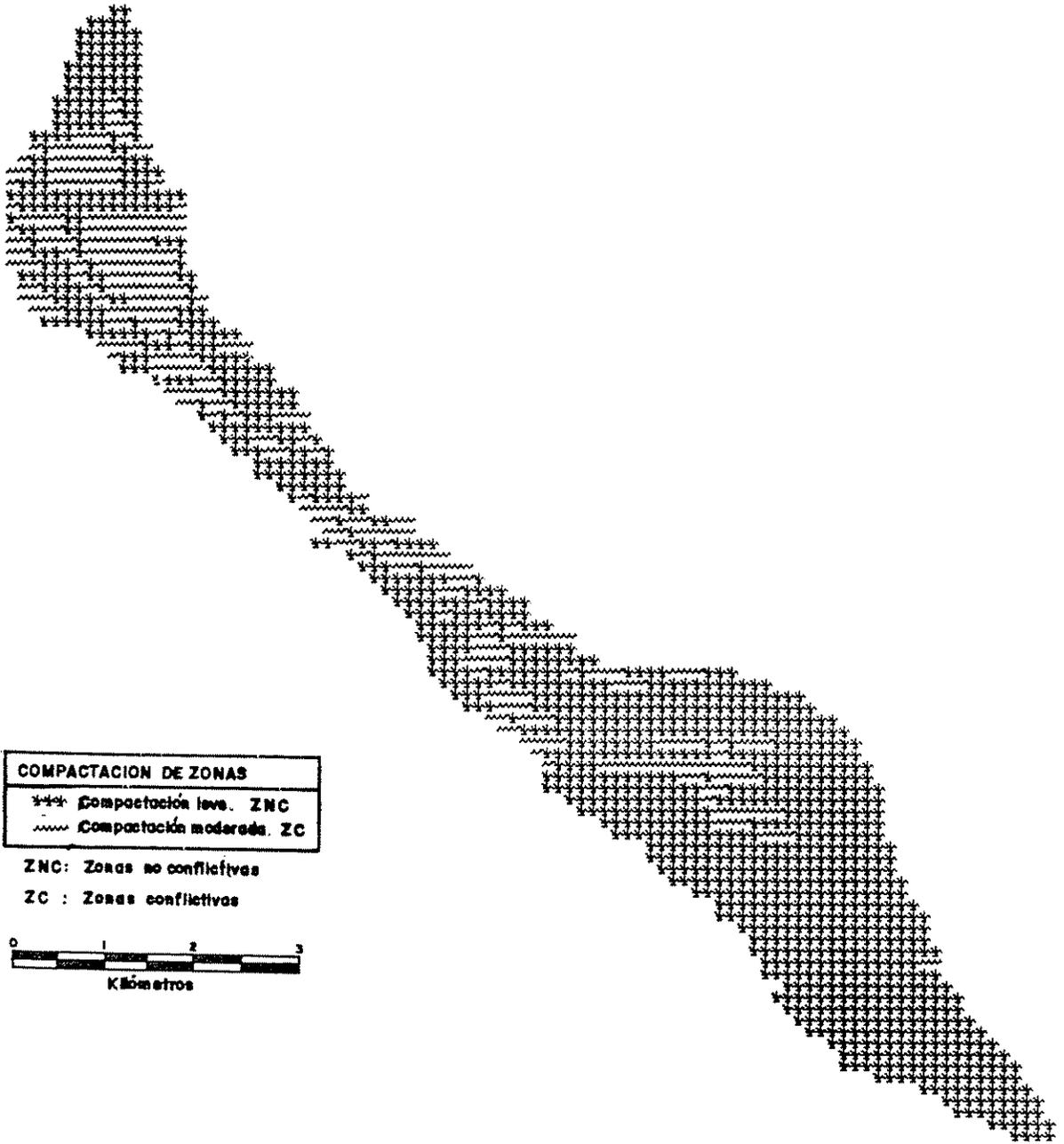


Figura 29 Grados de compactación para zonas conflictivas. Cuenca del Río Aquiles

SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICO "PMAP"

Cuadro 34. Valores cualitativos de la compactación para la Cuenca de río Aquiares.

Grado de compactación	Superficie ha	Superficie %
Sin compactación	650	24.38
Compactación leve	479	17.98
Compactación moderada	1537	57.64
Compactación alta	0	0

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo, donde se analiza información sobre compactación de suelos en la Cuenca Hidrográfica del río Aquiares, se llega a las siguientes conclusiones y recomendaciones

1.- Al comparar estudios realizados sobre cinco suelos inceptisoles en Costa Rica (Luzuriaga 1970) que presentan valores de Densidad aparente en el orden de  $0,52 \text{ g/cm}^3$  para uso pasto "kikuyo"; lo cual está por debajo de los valores de este parámetro bajo cualquier uso en la Cuenca del río Aquiares ( $0,74 \text{ g/cm}^3$ ); se identifica una tendencia al proceso de compactación en toda la Cuenca, ajustado a los dos usos que ocupan la mayor área en la Cuenca (café y pasto).

2.- Los valores de los indicadores de compactación dentro de la Cuenca, son relativamente bajos debido a que existe alto contenido de humedad del suelo (80-190 %). Esto significa que para que ocurra el proceso, la presión que se ejerza debe ser lo suficientemente elevada para que exista remoción de agua y se incida en los procesos de disminución de espacios porosos. Otro aspecto por considerar está relacionado con los rangos de porosidad total de los suelos, que alcanzan valores en el orden de un 75 %. Por otra parte, estos suelos presentan alto contenido de materia orgánica 21 % (Gallardo 1989.)

3.- La Cuenca del río Aquiares, de acuerdo a sus características morfométricas, presenta tiempos de concentración elevados, además, su red de drenaje influye en la salida rápida del agua de escurrimiento. Esta situación y condiciones del mayor proceso de compactación del suelo en la Cuenca baja, permite inferir que el escurrimiento rápido en las Vertientes de la Cuenca alta, media alta y media. originen procesos de acumulación superficial de agua, con riesgos de erosión.

4.- El 21.72 % (579 ha) de la Cuenca del río Aquiares, se encuentran en uso conflictivo; este comportamiento, en zonas de elevadas pendientes se debe principalmente, a usos de la tierra con cierto valor conservacionista; como el pasto manejado y el café.

5.- Todos los indicadores de compactación evaluados presentan diferencias significativas entre zonas conflictivas y no conflictivas, esto contribuye a afirmar que un adecuado uso de la tierra produce menor degradación del suelo.

6.- El comportamiento de compactación refleja un orden diferente para cada uso, sin embargo, haciendo un análisis de los usos más importantes de la cuenca, el café y el pasto, salvo para el indicador de permeabilidad se presentan siempre entre los tres primeros valores de usos con indicadores de compactación más elevado. Caso contrario ocurre con el bosque, el cual, salvo para la variable densidad aparente, donde presenta un valor medio con respecto a los demás usos, evidencia un proceso de compactación más bajo. Pudieramos entonces definir, que las propiedades del suelo analizadas reflejan valores adecuados, en cuanto al proceso de compactación; por cuanto aquellos suelos con mayor intervención presentan mayores tendencias a presentar este proceso en forma más elevada.

7.- El estudio permite demostrar que la aplicación de esta metodología evalúa en forma efectiva las características físico-naturales relacionadas con el proceso de compactación de suelo a nivel de cuenca hidrográfica. La evaluación se realiza principalmente hacia áreas donde la degradación está afectando negativamente la cuenca hidrográfica (zonas conflictivas), permitiendo comparar además estos valores con otras áreas (zonas no conflictivas). Para tal fin se emplea el sistemas de información geográfico pMAP como software para; almacenar, procesar, analizar la información correspondiente; realizando en forma rápida y efectiva, el análisis espacial; georeferenciando los valores de los

indicadores del proceso de compactación en la Cuenca Hidrográfica. Así mismo proporciona información estadística del proceso.

8.- En relación a la precisión del sistema de información geográfico utilizado, se considera adecuado; tomando en consideración que la precisión se logró por una buena calidad de los datos, referidos a características físico-naturales del área estudiada, proveniente de una efectiva interpretación de los sensores remotos utilizados.

9.- Se recomienda la utilización de la metodología de levantamiento de información básica con el uso de sistemas de información geográfico, versátiles de bajo costo y de implementación sencilla, que no implique necesidad de utilizar equipos especiales.

10.- El muestreo de suelos se realizó en época de baja precipitación (enero-abril) en la cual el suelo estaba seco y los terrenos para cultivos anuales en etapa de preparación; por lo que se recomienda realizar este estudio para la época lluviosa con el fin de conocer el proceso de compactación en ambas épocas.

11.- El estudio permite establecer rangos y tipos de compactación en forma cualitativa y cuantitativa; ubicando geográficamente este proceso, lo cual puede ser utilizado como información preliminar para la caracterización hidrológica de la Cuenca del río Aquiares, desde el punto de vista de la escorrentía y para promover acciones prevista de conservación de suelos.

12.- Dados los valores de compactación encontrados, se puede inferir que las características del suelo y de uso, ocasionan una compactación moderada, sin embargo la tendencia podría ser hacia una alta compactación a medida

que el uso se haga más intenso, se recomienda realizar evaluaciones periódicas en las zonas con mayor compactación para evaluar el proceso y de ser necesario proponer cambios adecuados en el manejo y uso para impedir este avance.

13.-El método de estudio de zonas conflictivas por uso de la tierra permite establecer prioridades en áreas hacia donde dirigir la investigación, determinar medidas y obras de conservación de suelos. Se disminuyen los costos por este concepto, logrando obtener valores representativos de toda la Cuenca.

14.- El presente trabajo constituye un análisis físico de la Cuenca del río Aquiares, por lo cual para cualquier decisión que involucre un cambio del uso y el manejo de la tierra será necesario realizar una evaluación del componente socioeconómico, tomando en consideración al hombre como parte determinante dentro del sistema Cuenca.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- AGUERO, J. M.; ALVARADO, A. 1983 Compactación y compactabilidad de suelos agrícolas y ganaderos de Guanacaste, Agronomía Costarricense (C.R) 7 (1-2): 27-33.
- ALEGRE, J. C.; CASSEL, D.K.; BANDY, D.E. 1986 Effects of land clearing and subsequent management on soil physical properties. Soil Science Society of America Journal. (EE.UU.) 50 (6) 1379-1383.
- ALVAREZ, M.; ALVARES, W.; SALAZAR, A.; VARELA, C. 1988. Diagnóstico sobre la erosión del suelo en la cuenca del río Aquiares. Turrialba, Costa Rica, U.C.R. 96 p (presentado en: Curso Seminario de Realidad Nacional).
- ANDRADE, R. 1974 Los estudios de suelos en la planificación general del uso de la tierra. Curso regional de adiestramiento en el desarrollo de recursos de aguas y tierras. El Salvador, 144 p. (Serie Suelos y Clima. Material de Enseñanza Nº SC-1)
- BAILON, M.; 1989. Los sistemas de información geográfico en la gestión de los recursos naturales renovables a nivel de cuenca hidrográfica. Experiencia en CONAF, Chile. In Conferencia Latino-americana sobre Tecnología de los Sistemas de Información Geográficos. (2, 1989, Mérida, Venezuela). Informe Mérida, Ven. p 301-310.

- BAKER, F.; BOUMA, J. 1976. Variability of hydraulic conductivity in two subsurface horizons of two silt loam soils. Soil Science Society of America Journal. (EE.UU.) 40 219-222 .
- BARTHES, D. 1989. Tratamientos de datos ambientales en un sistema de información geográfico. In Conferencia Latino-americana sobre Tecnología de los Sistemas de Información Geográficos.(2, 1989, Mérida, Venezuela). Informe Mérida, Ven. p 311-334.
- BAVER, L. D.; GADNER, W.H.; GARNER, W.R. 1973 Física de suelo Trad. J M Rodríguez. 4.ed México, D.F., U.T.E.H.A. 529 p.
- BEALE, C. 1989. El desarrollo de los sistemas de información geográficos con base geográfica en Puerto Rico. In Conferencia Latino-americana sobre Tecnología de los Sistemas de Información Geográficos.(2, 1989, Mérida, Venezuela). Informe Mérida, Ven. p 335-340 .
- BERRY, J.; TOMBLIN, M. 1987. Construcción de modelos cartográficos Análisis de mapas con la ayuda de computadora. In. Taller de análisis de información geográfica. San José, Costa Rica, casa edt. p 165.
- BLACK, C.A. 1968. Soil plant relationships. 2 Ed. Ames, Iowa, J. Wiley. 792 p.
- BLAKE, G.; HARTGE, K. 1986. Bulk density. In Methods of soils analysis. I. Physical and mineralogical properties. 2 ed. Madison, Wis., 128 p.

- CABRERA, C. 1986. Caracterización de los recursos naturales renovables de la subcuenca del río Pensativo. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 221 p.
- COHRON, G.T. 1971. Forces causing soil compaction. In *Compaction of Agricultural Soil*. eds. K.K. Barnes et al. St. Joseph, Michigan. ASAE p 106-124.
- COLEGIO DE POSGRADUADOS, CHAPINGO. MEX. 1977. Manual de conservación de suelo y del agua. Instructivo. Chapingo, SARH. Mexico. 246 p.
- COOPER, A.W. 1971 Effect of tillage on soil compaction. In *Compaction of agricultural soil*. eds. K.K. Barnes et al. St Joseph, Michigan, ASAE. p 315-366.
- CORTES, A.; MALAGON, D. 1984 Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples. Bogotá, Colombia, Universidad de Bogotá "Jorge Tadeo Lozano". 360 p.
- CRABLE, A.R. 1971. Effect of compaction on content and transmission of water in soil. In *Compaction of agricultural soil*. eds. K.K. Barnes et al. St Joseph, Michigan, ASAE. p 126-153.
- DONDOLI, C.; TORRES, A. 1953. Estudio geomorfológico de la región oriental de la Meseta Central. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industria. 180 p.

ESTRIBI CHAVARRIA, C. A. 1984. Cambios edáficos e hidrológicos derivados de la conversión de bosques a pastos y charral (pasto abandonado) en una zona montañosa húmeda de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 139 p.

FALLAS, J.; VALVERDE, C. 1989. Selección de sitios potenciales para la reforestación con ciprés (Cupressus lusitánica mill) utilizando un Sistema de Información Geográfico. In Conferencia Latino-americana sobre Tecnología de los Sistemas de Información Geográficos.(2, 1989, Mérida, Venezuela). Informe Mérida, Ven. p 447-476.

FAO. 1984. Proteger y producir. Conservación de suelos para el desarrollo. Roma 40 p.

FAUSTINO, J.; MURO, M. 1988. Manual introductorio de sistema de información geográfico. Lima, Perú, Univeridad La Molina. 90 p.

-----; MURO, M. 1989. Planeamiento del uso de los recursos hídricos en cuencas áridas utilizando el sistema de información geográfico MAP. In Conferencia Latino-americana sobre Tecnología de los Sistemas de Información Geográficos.(2, 1989, Mérida, Venezuela). Informe Mérida, Ven. p 561-582.

-----; MURO, M. 1989. sistemas de información geográfica y su aplicación a la ingeniería agrícola. Curso taller. Lima Perú, Universidad Nacional Agraria "La Molina" 70 p.

- FORSYTHE, W. M. s f Las condiciones físicas del suelo y la producción. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 12 p.
- ; DIAZ, R. 1968. La densidad aparente del suelo y la interpretación del análisis de laboratorio para el campo. Turrialba (C.R.). 19 128-131
- 7 FORSYTHE, W. 1985 Física de suelos. Manual de laboratorio. San José, Costa Rica, IICA. 378 p.  
212
- FREITAG, D.R. 1971. Methods of measuring soil Compaction. In compaction of agricultural soil. In Compaction of agricultural soil. eds. K.K. Barnes et al. St Joseph, Michigan, ASAE. p 47-105.
- GALLARDO, A. 1989. Identificación de limitantes críticas en el agrosistema de producción de leche en fincas de Santa Cruz de Turrialba. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 165 p.
- GAVANDE, S. 1972. Física de suelos. México, D.F., Editorial Limusa. 351 p.
- HILLEL, D. 1980. Fundamentales of soil physics. Orlando, Florida. Academic Press. 413 p.
- HINONEN, R. 1986. Alternation of soil compaction natural forces and cultural practices. In Land clearing and development in the tropics. eds. R. Lal; P. A. Sanchez; R. Cumming. Rotterdam, Netherlands. p 289-321.

- HOWARD, R.F.; SINGER, M.J.; FRANZ, G.A. 1981. Effects of soil properties, water content, and compactive effort on the compaction of selected California forest and range soils. Soil Science Society Of America Journal. (EE.UU.) 45 (2) 231-236.
- IBARRA, A.; 1970. Inventario de recursos, Cantón Turrialba. Turrialba, Costa Rica, IICA. 115 p.
- KASS, D. 1990. La labranza y sus efectos. Turrialba, C.R., CATIE. (mimeografiado) (Presentado en : curso de Edafología Física y Manejo de Suelo de América Tropical.)
- LEBEUF, T. 1991. Efectos de la compactación del suelo sobre el rendimiento de maíz aplicando varios métodos de labranza. Revisión bibliográfica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 17 p.
- LEE, T.H. 1985. Implementing LESA on a geographic information system. A case study. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (EE.UU.) 51 (12) 1923-1932.
- LULL, H.W. 1950. Soil compaction on forest and range lands. U.S. Department of Agriculture. Miscellaneous. Publication No. 768. 185 p.
- LUZURIAGA, C. 1970. Propiedades morfológicas, físicas y químicas y clasificación de seis andosoles de Costa Rica. Tesis. Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA. 159 p.
- MORA, D. 1981. Fundamentos de hidrología y balances hídricos de cuencas. Cartago, C.R. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Departamento de Ingeniería Forestal, 136 p.

- OLDEMAN, L. R. 1988. Guidelines assessment of the status of human-induced soil degradation. Wageningen, Holanda, GLASOD 12 p.
- ORGANIZACION MUNDIAL DE METEREOLOGIA. 1972. Manual de instrucciones, estudios hidrológicos. San José, Costa Rica. 540 p.
- PALENCIA, J. 1969. Caracterización de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas en Centro América. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., IICA. 168 p.
- PEREZ S. 1978. Mapa de asociación de subgrupos de suelos de Costa Rica. San José, C.R., Instituto Geográfico Nacional. Esc. 1 200.000. Color.
- PEREZ, J. 1987. El sistema de clasificación de tierras por capacidad de uso, para tierras marginales (Sistema Sheng modificado). In Memoria del Taller Metodología de Clasificación de Capacidad de Uso de la Tierra. Tegucigalpa, Honduras. p 45 - 57.
- RADULOVICH, R.; SOLLINS, P. 1985. Compactación de un suelo aluvial de origen volcánico. Agronomía Costarricense. (C.R.) 9 (2): 143-148.
- REED, B.; WHISTLER, J. 1990. Incorporating the STATSGO SOIL database into a GIS. GIS World. (EE.UU.). 3 (6) 36-40.
- ROSAL, C. 1988. Evaluación de la tierra y su uso en la subcuenca del río Pensativo en Guatemala y directrices generales para el manejo sostenido. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 386 P.

- SABORIO, J. 1990. SIG Una herramienta para el manejo de los recursos naturales. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 19 p.
- SANCHEZ, P. 1981 Suelos del trópico; características y manejo. Trad. E Camacho. 2 ed. San José. Costa Rica, IICA. 660 p.
- SHARMA, P. 1990. Apuntes de la clase de Planificación de Usos de la Tierra. Turrialba, Costa Rica. CATIE.
- SHENG, T. C. s.f. Proyecto de clasificación de la capacidad de uso de la tierra orientado hacia su tratamiento (para tierras marginales montañosas de los trópicos húmedos). Kingston, Jamaica. 13 p
- SNEDCOR, G. 1981. Métodos estadísticos. Trad por J. Reinoso. 6 ed. México, D.F.,. Continental. 703 p.
- SOANE, B. D. 1982. Soil degradation attributable to compaction under wheels and its control. In Soil degradation. eds. D.Boels; B.D.Davies; A.E. Johnston. Rotterdam, Netherlands. p 124-148.
- 1986. Process Of soil compaction under vehicular traffic and means of alleviating it. In Land clearing and development in the tropics. eds R. Lal; P. A. Sanchez ; R. Cumming. Rotterdam, Netherlands. p 265-287.
- SPEED, VICKI. 1990. GIS. Assist in water resource management. GIS World (EE.UU.) 3 (6): 36-40.

- TAFUR VILLAREAL, N. A. 1976. Efectos de varios sistemas de producción agrícola sobre la resistencia mecánica de los suelos. Tesis Mag.Sc. Turrialba, C.R., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 317 p.
- TAYLOR, H.M. 1970. Soil conditions as they affect plant establishment, root development, and yield. F. effects of soil strength on seedling emergence, root growth and crop yield. *In*. Compaction of agricultural soil. Eds. K.K. *et al.* St. Joseph, Michigan, ASAE. p 292-312.
- TOMLINSON, R.; BOYLE, R. 1987. El estado de desarrollo de los sistemas para el manejo de los datos de inventario de los recursos naturales. *In* Taller de Entrenamiento de Sistema de Información Geográfico. Ed. D. Marbli. San José, Costa Rica. 18 p.
- WARKENTIN, B.P. 1971. Effect of compaction on content and trasmission of air water in soil. *In* compaction of agricultural soil. Eds. K.K. *et al.* St. Joseph, Michigan, ASAE. p 126-153.
- YANES, H 1985. Manejo de suelo, rastrojo y su influencia sobre sus propiedades físicas en un Distropept de Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 118 p.
- YOUNG, A. 1989 Agroforestry for soil conservation. Oxon, UK. CAB International/ICRAF. 275 p.
- ZUNIGA, J. 1989. Estudio de la degradación física de los suelos en la cuenca alta del río Chiriquí, Panamá. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 198 p.

## 8. ANEXOS

Anexo 1. Leyenda del Mapa de Uso Actual de la Tierra.

-Cultivo Anual. (CA)

Como cultivo anual se representan todos aquellos usos en los cuales estacionalmente los cultivos deben ser reemplazados año a año, lo cual implica dejar el suelo descubierto una parte del período (preparación del terreno, siembra y primeras etapas de crecimiento del cultivo). Los rubros que comprenden, están representados por cultivos hortícolas principalmente. En la Cuenca del río Aquiares estos usos comprenden una pequeña superficie (17 ha) utilizando ciertas medidas de conservación (cultivos en contorno)

-Café-frutales. (FR)

El café constituye el uso más importante dentro de la Cuenca. Su distribución se encuentra principalmente en la parte media baja de la Cuenca. Se presentan tres (3) combinaciones dentro de este uso, a saber

Café-Poró. Es la parte mayoritaria; siendo el objetivo principal el aporte de nitrógeno mediante la colocación de la poda en el suelo.

Café-Musáceas. Se presenta principalmente en pendientes elevadas y en huertos familiares.

Café sin combinación. Es el segundo en importancia, sembrándose principalmente café de la variedad Caturra.

De acuerdo a lo señalado por Carvajal 1980 la planta de café, requiere para su mejor desarrollo, suelos de más de 50 cm de profundidad, más o menos compactos, de origen volcánicos o aluvional, en pendientes planas o fuertes; en función a estas características toda la Cuenca del río Aquiares presenta óptima potencialidad para este uso sin embargo, las pocas o ninguna medida de conservación con las cuales se desarrolla este cultivo y a pesar de la

cobertura que ofrece, más aún donde se aplica la poda al suelo y los caminos cortan las pendientes, muchas áreas sembradas con café son factibles a ser afectadas por procesos erosivos.

Los frutales, lo constituyen áreas plantadas principalmente, con manzana (en la parte media). El comportamiento de esta especie desde el punto de vista de conservación de suelos y aguas es similar al café por lo cual, se ubica en la misma categoría.

#### -Caña (CN)

La caña de azúcar ocupa una pequeña superficie dentro de la Cuenca (1.3 % - 34 ha) y desde el punto de vista conservacionista tiene gran importancia por cuanto las características del cultivo en cuanto a cobertura, su forma de aprovechamiento (se explota una vez cada dos años) y el aporte de los residuos vegetales al terreno una vez cosechado, aporta una cobertura casi permanente, sin embargo por la pendiente tan elevada de la Cuenca y la misma característica de aprovechamiento, impide que sea utilizado en mayor área.

#### -Pastos (PA)

Es el segundo uso en importancia dentro de la Cuenca del río Quijanes con un 33.31 % de la superficie total (1023 ha). Existen dos modalidades de uso de pasto que describimos a continuación.

##### Pastos con árboles.

En donde el pasto se encuentra combinado con árboles con mayor o menor dispersión, predominando en algunos la vegetación arbórea, en donde se han establecido pastos bajo y alrededor de esta. Los árboles que acompañan los pastos constituyen una fuente de energía (leña) y madera para tablas.

### Pastos sin árboles.

Son relativamente pocas las áreas de pasto que presentan esta condición, estas se encuentran en fincas en donde algunas superficies han sido deforestadas totalmente para su siembra. Las especies que más se encuentran son el pasto kikuyo y el pasto estrella.

### Pasto de corte.

Se refiere a aquellas áreas en las cuales el pasto es cortado y llevado al ganado lo cual lo hace que no sean pastoreadas. Estas áreas serán evaluadas para determinar compactación aunque no están en zonas conflictivas, sin embargo, parece lógico que deben estar afectadas en menor forma que las pastoreadas.

### -Forestal (FO)

Dentro de esta categoría se encuentran aquellas áreas que se han mantenido, cubiertas de bosque, salvo en raras excepciones, debido a que las altas pendiente impiden desarrollar algún tipo de actividad agropecuaria, sin embargo en la actualidad, pequeñas superficies han sido deforestadas con fines de establecer pastos o cultivos anuales. En esta categoría se distinguen

#### Bosque original o primario.

Aunque conceptualmente es difícil conseguir esta formación " ....bosque en estado natural sin intervención humana...." en la Cuenca existe bosque cuya intervención ha sido casi nula, conservando casi todas sus especies y tienen un gran valor ecológico.

#### Bosque explotado o intervenido.

Comprenden aquellos bosque a los cuales se les han extraído las especies de valor energético y maderable, pero que aún se mantienen como una mancha consistente de árboles claramente diferenciables.

### Bosque secundario

Resultado de la recuperación, por proceso de sucesión natural, de áreas que han sido deforestadas totalmente. En la Cuenca son pocas las áreas bajo esta condición.

### -Páramo. (PR)

En esta categoría se encuentran aquellas áreas perimetrales al Volcán Turrialba y donde por factores edafo-climático y emanaciones de gases se ha desarrollado una vegetación achaparrada, en las partes más alejadas del perímetro, y casi sin vegetación en las más cercanas. Estas áreas, son consideradas de conservación y están amparadas por decreto que las cataloga como Areas Protegidas.

Anexo 2. Leyenda del Mapa de Capacidad de Uso.(Seng modificada por Michaelson).

USO I. Tierras cultivables con medidas extensivas de conservación de suelos, mecanización posible.

USO II Tierras cultivables con medidas intensivas de conservación de suelos.

USO III Tierras cultivables a mano con medidas intensivas de conservación de suelos.

USO IV. Arboles frutales sobre terrazas.

USO V. Pasto

USO VI Forestal

Donde la pedregosidad impida la labranza con herramientas normales

< 50% de pendiente      pasto

> 50% de pendiente      forestal

Anexo 3. Medias de los indicadores del proceso de compactacion.  
 Interacción Usos x profundidad del suelo.

Usos	Prof.	Densidad aparente g/cm ³ Media--dst	Porosidad total % Media--dst	Resistencia penetracion K/cm ² Media--dst
Bosque	0-15	0.655-0.12	0.760-0.04	1.34-0.37
	15-30	0.646-0.12	0.755-0.05	1.67-0.46
Cafe	0-15	0.974-0.19	0.632-0.07	2.98-0.64
	15-30	0.934-0.20	0.646-0.77	2.47-0.51
Cana	0-15	0.531-0.09	0.775-0.07	1.79-0.29
	15-30	0.575-0.05	0.789-0.04	2.30-0.38
Charral	0-19	0.607-0.08	0.711-0.02	1.72-0.20
	15-20	0.488-0.07	0.817-0.03	2.34-0.27
Cultivo anual	0-15	0.621-0.13	0.764-0.03	2.03-0.29
	15-30	0.975-0.19	0.632-0.05	2.47-0.36
Cultivo Perma.	0-15	0.633-0.05	0.760-0.07	3.11-0.34
	15-30	0.647-0.04	0.755-0.02	3.25-0.27
Pesto corte	0-15	0.611-0.012	0.768-0.02	1.96-0.51
	15-30	6.534-0.09	0.798-0.05	1.54-0.40
Pesto	0-15	0.782-0.15	0.704-0.06	2.74-0.57
	15-30	0.703-0.15	0.734-0.06	2.45-0.51

Media = Media aritmetica

dst = Desviacion standar

ANEXO 4. Medias ajustadas de los indicadores del proceso de compactacion. Interaccion Sectores x usos.

Sector	Uso	Permeabilidad cm/h		Densidad Aparente g/cm ³		Porosidad Total %		Resistencia Penetracion K/cm ²	
		Media---Stdr	Media---Stdr	Media---Stdr	Media---Stdr	Media---Stdr	Media---Stdr	Media---Stdr	Media---Stdr
Cuenca alta	Bosque	11.23--0.84	0.80--0.042	0.70--0.016	1.29--0.15				
	Cultivo anual	8.40--0.64	0.73--0.030	0.73--0.012	2.15--0.11				
	Pasto corte	8.15--0.69	0.56--0.030	0.79--0.013	1.51--0.12				
	Pasto	7.22--0.49	0.61--0.020	0.77--0.008	2.39--0.08				
Cuenca Media alta	Bosque	11.33--0.54	0.68--0.030	0.74--0.010	1.48--0.09				
	Cafe	5.14--0.75	0.86--0.040	0.67--0.014	2.62--0.13				
	Cana	4.95--0.64	0.58--0.030	0.78--0.012	2.04--0.11				
	Cultivo anual	9.42--0.53	0.75--0.030	0.72--0.010	2.23--0.09				
	Cultivo perman.	5.29--0.60	0.64--0.030	0.76--0.011	3.18--0.10				
	Pasto corte	10.09--0.43	0.60--0.020	0.77--0.008	1.90--0.08				
	Pasto	5.62--0.36	0.71--0.018	0.73--0.007	2.53--0.06				
Cuenca Media	Bosque	12.45--0.56	0.59--0.030	0.78--0.011	1.64--0.10				
	Cafe	4.93--0.43	0.97--0.021	0.63--0.008	2.79--0.08				
	Charral	8.74--0.63	0.55--0.031	0.79--0.012	2.01--0.11				
	Cultivo anual	9.04--0.64	0.94--0.030	0.65--0.012	2.38--0.11				
	Pasto corte	16.01--0.62	0.54--0.031	0.80--0.012	1.52--0.11				
	Pasto	3.86--0.50	0.81--0.030	0.69--0.010	2.78--0.09				
Cuenca baja	Bosque	12.43--0.69	0.57--0.030	0.79--0.013	1.59--0.12				
	Cafe	5.46--0.40	0.96--0.020	0.64--0.008	2.73--0.07				
	Pasto	6.00--0.48	0.88--0.024	0.67--0.010	2.78--0.08				

Media = Medias ajustadas

Stdr = Error estandar de la media

BASE DE DATOS

SECTOR	USO	PROF	PERHEAB.	DA	ZHUM	Z POR	RES.PEN	AREMA	LIMO	ARCILLA	TEXTURA	ZONAS
A	BOSQUE	0-15	15.52	0.71	64.07	0.73	1.20	38.40	46.40	15.20	F	NC
A	BOSQUE	15-30	8.59	0.67	37.24	0.67	1.50	45.00	42.10	12.90	F	NC
A	BOSQUE	15-30	11.77	0.86	56.64	0.57	1.25	56.40	36.00	7.60	F	NC
A	BOSQUE	0-15	10.52	0.78	54.35	0.71	1.10	46.40	19.60	13.00	F	NC
A	BOSQUE	0-15	12.02	0.84	48.35	0.68	1.00	38.30	48.72	13.00	F	NC
A	BOSQUE	0-15	6.87	0.63	33.06	0.69	1.80	49.45	14.07	36.50	A	NC
A	BOSQUE	15-30	9.87	0.78	65.93	0.70	0.94	40.90	45.00	14.10	F	NC
A	BOSQUE	15-30	14.68	0.74	68.85	0.72	1.50	56.60	35.40	8.03	F	NC
A	CUL.ANUAL	0-15	10.31	0.45	106.86	0.83	2.30	70.00	16.80	13.20	F	C
A	CUL.ANUAL	15-30	9.92	1.01	34.79	0.62	2.62	52.10	33.64	14.30	F	C
A	CUL.ANUAL	0-15	11.76	0.46	106.09	0.82	2.10	57.06	31.94	11.00	F	C
A	CUL.ANUAL	0-15	6.45	0.82	20.07	0.64	1.80	62.60	24.50	12.90	F	C
A	CUL.ANUAL	15-30	9.98	0.69	111.09	0.74	2.32	55.90	27.90	16.20	F	C
A	CUL.ANUAL	15-30	5.46	1.32	14.56	0.50	2.80	50.40	34.40	15.20	F	C
A	CUL.ANUAL	15-30	8.87	0.75	84.42	0.72	2.26	52.00	32.06	15.91	F	C
A	CUL.ANUAL	0-15	11.73	0.62	42.08	0.77	1.80	57.60	29.60	12.80	F	C
A	CUL.ANUAL	15-30	6.34	0.93	81.06	0.65	2.38	62.80	26.00	11.20	F	C
A	CUL.ANUAL	0-15	8.54	0.51	77.96	0.81	2.50	62.01	30.80	7.20	F	C
A	CUL.ANUAL	0-15	7.40	0.36	148.55	0.86	1.90	49.10	42.20	8.70	F	C
A	CUL.ANUAL	0-15	7.11	0.88	22.00	0.67	1.50	62.10	8.80	8.80	F	C
A	CUL.ANUAL	15-30	7.31	0.78	73.70	0.70	1.71	59.60	31.60	8.80	F	C
A	CUL.ANUAL	15-30	6.49	0.59	133.59	0.78	2.19	75.20	13.20	11.60	F	C
A	PASTO	0-15	5.05	0.51	66.79	0.81	1.85	52.60	23.90	23.50	F	C
A	PASTO	15-30	11.44	0.59	50.71	0.78	2.23	68.60	19.10	12.30	F	NC
A	PASTO	0-15	8.89	0.52	74.80	0.80	1.90	24.30	28.50	47.18	A	NC
A	PASTO	15-30	4.19	0.53	56.44	0.80	2.59	85.40	9.60	5.00	F	NC
A	PASTO	0-15	7.24	0.55	57.56	0.79	1.95	23.00	36.60	40.40	FA	NC
A	PASTO	0-15	10.07	0.74	51.47	0.72	2.50	37.20	27.20	35.60	FA	NC
A	PASTO	15-30	4.45	0.65	39.88	0.75	3.04	39.70	29.00	31.30	FA	C
A	PASTO	15-30	5.30	0.55	71.51	0.79	2.14	22.20	21.30	56.50	A	C
A	PASTO	0-15	4.56	0.75	28.42	0.72	1.80	25.80	30.30	42.90	FA	NC
A	PASTO	0-15	10.22	0.68	50.60	0.74	3.50	33.20	29.20	37.60	FA	C
A	PASTO	15-30	4.24	0.45	60.83	0.83	2.32	29.50	29.60	40.89	FA	NC
A	PASTO	0-15	5.81	0.60	86.41	0.77	2.65	26.40	30.40	43.20	FA	NC
A	PASTO	15-30	6.33	0.49	45.43	0.82	2.28	65.60	26.30	8.10	F	C
A	PASTO	15-30	5.12	0.84	19.44	0.68	1.61	55.20	37.60	7.20	F	C
A	PASTO	0-15	4.91	0.65	57.84	0.75	2.85	71.28	20.80	7.90	F	C
A	PASTO	15-30	8.08	0.67	40.52	0.75	2.59	23.10	21.10	55.83	A	C
A	PASTO	0-15	10.48	0.61	49.53	0.77	2.05	36.40	26.50	37.10	FA	C
A	PASTO	15-30	3.23	0.53	54.74	0.80	2.59	38.90	34.80	26.30	F	C
A	PASTO	0-15	4.79	0.54	80.95	0.80	1.90	52.00	30.78	17.20	F	C
A	PASTO	15-30	3.67	0.48	65.72	0.82	2.77	24.40	24.00	51.60	A	C
A	PASTO	15-30	7.43	0.51	122.03	0.81	3.21	59.80	26.10	14.10	F	NC
A	PASTO	0-15	5.15	0.73	46.98	0.73	2.80	64.20	27.50	6.30	F	C
A	PASTO	0-15	7.31	0.62	72.33	0.77	2.80	34.40	28.00	37.60	FA	NC
A	PASTO	0-15	16.98	0.54	62.13	0.80	1.95	24.20	31.31	44.50	FA	NC
A	PASTO	0-15	5.54	0.60	29.48	0.70	3.10	54.00	25.20	20.80	FA	C

SECTOR	USO	PROF	PERMEB.	DA	ZHUM	% POR	RES.PEN	ARENA	LIMO	ARCILLA	TEXTURA	ZONAS
A	PASTO	15-30	3.88	0.68	12.36	0.74	1.70	66.80	13.40	19.80	F _A	NC
A	PASTO	0-15	7.96	0.76	26.35	0.71	2.50	52.62	34.90	12.46	F	C
A	PASTO	15-30	9.10	0.49	68.78	0.62	2.77	30.00	39.90	39.90	FA	NC
A	PASTO	15-30	3.46	0.69	29.60	0.74	2.05	81.43	12.10	6.44	FA	NC
A	PASTO	15-30	11.26	0.55	39.75	0.79	2.14	65.70	26.10	8.20	F _A	C
A	PASTO	0-15	4.07	0.76	30.05	0.71	3.10	55.10	25.20	19.70	FA _A	C
A	PASTO	15-30	9.07	0.52	48.05	0.60	2.10	31.60	29.50	38.70	FA	NC
A	PASTO	0-15	10.30	0.57	59.96	0.78	2.90	58.43	28.37	13.20	F _A	NC
A	PASTO	15-30	13.60	0.50	44.49	0.81	2.05	64.60	26.50	8.70	F _A	C
A	PASTO	15-30	4.67	0.74	14.53	0.72	2.50	54.60	18.90	18.90	F _A	C
A	PASTO	0-15	6.00	0.94	29.33	0.64	2.90	50.00	38.00	12.00	F	C
A	PASTO	0-15	3.91	0.65	42.65	0.75	2.10	45.20	37.60	17.20	F	C
A	PASTO	15-30	6.54	0.70	17.17	0.74	2.95	59.50	32.10	8.40	F _A	NC
A	PAS.CORTE	15-30	8.34	0.52	65.84	0.81	1.42	68.00	16.80	15.20	F _A	NC
A	PAS.CORTE	0-15	7.15	0.52	86.54	0.80	1.40	38.00	32.00	30.00	FA	C
A	PAS.CORTE	0-15	5.92	0.54	87.89	0.80	1.30	61.20	25.20	13.60	FA	NC
A	PAS.CORTE	15-30	9.10	0.72	55.46	0.73	2.25	63.80	25.90	10.30	F _A	NC
A	PAS.CORTE	0-15	6.83	0.49	85.10	0.81	1.50	58.40	34.60	6.80	F _A	NC
A	PAS.CORTE	15-30	7.64	0.61	61.33	0.77	1.30	58.90	31.90	9.20	F _A	NC
A	PAS.CORTE	15-30	11.22	0.45	84.06	0.83	1.97	67.70	25.40	6.90	F _A	NC
A	PAS.CORTE	0-15	6.97	0.84	57.90	0.68	1.70	55.20	31.20	23.60	FA _A	C
A	PAS.CORTE	15-30	6.58	0.52	69.36	0.80	1.46	23.40	34.90	41.71	FA	C
A	PAS.CORTE	15-30	7.72	0.43	81.99	0.84	1.10	53.60	33.20	13.20	F _A	NC
A	PAS.CORTE	0-15	12.68	0.58	67.10	0.78	1.50	83.20	10.00	6.80	F _A	NC
A	PAS.CORTE	0-15	7.54	0.54	86.07	0.80	1.30	30.10	36.20	33.70	FA	C
B	BOSQUE	15-30	8.29	0.52	162.45	0.60	1.75	60.70	31.90	7.40	F _A	NC
B	BOSQUE	0-15	12.48	0.78	58.79	0.71	0.80	62.40	26.40	11.20	F _A	NC
B	BOSQUE	0-15	6.53	0.70	90.63	0.74	1.15	38.60	49.40	12.00	F	NC
B	BOSQUE	0-15	17.21	0.73	48.86	0.73	1.00	62.90	29.20	7.86	F _A	NC
B	BOSQUE	0-15	7.30	0.45	162.21	0.63	0.95	66.40	27.60	6.00	F _A	NC
B	BOSQUE	0-15	14.98	0.70	68.03	0.74	1.50	38.80	46.20	15.00	F	NC
B	BOSQUE	15-30	11.31	0.69	46.06	0.74	2.19	39.20	45.90	14.90	F	NC
B	BOSQUE	15-30	7.17	0.77	40.69	0.71	1.38	58.50	33.50	8.00	F _A	NC
B	BOSQUE	0-15	8.31	0.57	125.68	0.78	1.20	58.40	32.00	9.60	F _A	NC
B	BOSQUE	0-15	15.62	0.73	100.62	0.72	1.25	59.40	30.70	9.90	F _A	NC
B	BOSQUE	15-30	8.80	0.49	158.68	0.61	1.00	56.70	35.90	7.40	F _A	NC
B	BOSQUE	15-30	3.63	0.64	128.35	0.76	1.38	51.20	41.60	7.20	F _A	NC
B	BOSQUE	15-30	16.37	0.69	73.34	0.74	1.88	43.60	44.60	11.40	F	NC
B	BOSQUE	0-15	18.81	0.74	59.03	0.72	1.70	71.20	21.60	7.20	F _A	NC
B	BOSQUE	0-15	12.32	0.69	113.33	0.74	1.20	61.71	27.80	10.48	F _A	NC
B	BOSQUE	0-15	3.13	0.76	75.10	0.71	1.70	67.80	25.70	6.50	F _A	NC
B	BOSQUE	0-15	6.51	0.50	163.20	0.61	1.50	60.40	30.00	9.60	F _A	NC
B	BOSQUE	15-30	15.10	0.71	106.71	0.73	2.38	57.10	36.00	6.90	F _A	NC
B	BOSQUE	15-30	7.77	0.53	163.28	0.80	1.50	42.30	45.30	12.40	F	NC
B	BOSQUE	15-30	17.60	0.79	66.95	0.70	1.38	72.40	15.20	12.40	F _A	NC
B	BOSQUE	15-30	14.13	0.70	97.13	0.69	1.25	48.30	39.90	11.60	F	NC
B	BOSQUE	15-30	8.43	0.82	59.26	0.69	2.63	48.10	40.20	11.70	F	NC
B	BOSQUE	0-15	6.80	0.64	52.71	0.68	2.85	54.20	34.90	10.90	F _A	NC
B	CAFE	15-30	4.35	1.04	41.59	0.61	2.57	59.10	27.50	13.40	F _A	C
B	CAFE	15-30	5.15	0.97	28.72	0.63	2.91	63.30	25.00	11.70	F _A	C
B	CAFE	0-15	3.94	0.85	68.68	0.68	2.90	58.50	32.10	9.40	F _A	NC
B	CAFE	0-15	4.30	1.08	20.99	0.59	2.75	58.90	32.50	8.60	F _A	NC
B	CAFE	15-30	6.58	0.49	112.35	0.82	3.43	68.50	25.90	5.60	F _A	C

SECTOR	USO	PROF	PERMEAB.	DA	ZHUM	% POR	RES.PEN	ARENA	LIMO	ARCILLA	TEXTURA	ZONAS
B	CAFE	15-30	5.57	0.84	28.49	0.68	1.79	60.20	30.80	9.00	F _a	C
B	CAFE	0-15	4.06	0.70	73.84	0.74	2.45	60.50	32.80	6.70	F _a	NC
B	CAFE	15-30	8.22	0.85	101.04	0.75	3.03	56.20	32.70	11.10	F _a	C
B	CAFE	15-30	4.24	0.85	42.77	0.68	2.29	63.51	35.92	8.52	F _a	C
B	CAFE	0-15	5.82	0.52	120.17	0.80	3.55	43.40	46.70	7.80	F	NC
B	CAFE	0-15	4.81	0.80	50.49	0.70	2.85	49.20	39.90	10.90	F	NC
B	CANA	15-30	4.63	0.85	36.68	0.76	2.58	39.80	47.10	13.10	F	NC
B	CANA	15-30	4.16	0.61	64.51	0.77	2.13	31.20	52.70	16.10	F	NC
B	CANA	15-30	5.33	0.55	88.96	0.79	2.64	52.40	34.60	13.00	F	NC
B	CANA	15-30	4.21	0.61	44.39	0.77	2.26	29.30	54.10	16.60	F	NC
B	CANA	0-15	5.01	0.59	92.41	0.80	2.00	43.20	43.90	12.90	F	NC
B	CANA	0-15	4.44	0.48	117.65	0.82	1.75	42.50	29.10	28.40	F	NC
B	CANA	0-15	5.90	0.69	46.83	0.74	2.10	43.30	45.90	10.80	F	NC
B	CANA	0-15	5.71	0.58	69.25	0.78	1.65	45.65	40.70	13.70	F	NC
B	CANA	15-30	5.04	0.53	70.67	0.80	1.61	38.89	45.80	15.30	F	NC
B	CANA	15-30	4.62	0.53	81.49	0.80	2.19	36.80	48.90	14.30	F	NC
B	CANA	0-15	4.80	0.52	83.30	0.80	2.05	44.70	43.80	11.50	F	NC
B	CANA	15-30	5.52	0.55	83.24	0.79	2.71	30.96	55.90	13.10	F	NC
B	CANA	0-15	4.65	0.74	47.41	0.72	1.25	41.20	39.50	25.30	FA	NC
B	CANA	0-15	5.31	0.60	56.21	0.77	1.70	51.60	37.20	11.00	F	NC
B	CUL. ANUAL	15-30	7.51	1.07	32.18	0.60	3.29	67.00	54.20	10.67	F _a	C
B	CUL. ANUAL	15-30	8.27	0.77	62.94	0.71	2.13	52.40	35.10	12.50	F	C
B	CUL. ANUAL	0-15	9.59	0.47	152.37	0.82	1.90	58.30	29.70	12.00	F _a	C
B	CUL. ANUAL	15-30	8.73	0.86	72.89	0.68	1.83	49.80	36.80	14.40	F	C
B	CUL. ANUAL	0-15	11.16	0.65	40.82	0.75	1.90	60.05	33.89	6.10	F _a	C
B	CUL. ANUAL	0-15	9.91	0.60	50.59	0.77	2.10	52.10	36.40	11.50	F _a	C
B	CUL. ANUAL	15-30	8.43	0.97	41.85	0.63	2.62	67.20	32.60	9.20	F _a	C
B	CUL. ANUAL	15-30	8.95	0.94	111.38	0.64	2.55	74.50	15.60	9.90	F _a	C
B	CUL. ANUAL	15-30	10.06	0.92	58.16	0.65	2.32	59.20	29.20	12.60	F _a	C
B	CUL. ANUAL	0-15	11.16	0.60	57.84	0.77	2.70	56.20	29.80	13.98	F _a	C
B	CUL. ANUAL	0-15	9.45	0.52	107.45	0.80	1.75	54.20	35.90	9.90	F _a	C
B	CUL. ANUAL	0-15	10.22	0.60	49.13	0.77	2.15	61.20	29.50	9.30	F _a	C
B	CUL. ANUAL	15-30	8.10	0.86	37.54	0.68	2.99	51.80	33.50	14.70	F	C
B	CUL. ANUAL	0-15	10.36	0.54	54.26	0.79	2.10	56.00	26.60	17.20	F _a	C
B	CUL. ANUAL	15-30	9.09	0.67	67.70	0.67	2.19	62.30	28.40	9.30	F _a	C
B	CUL. ANUAL	15-30	9.51	1.02	10.82	0.62	2.38	62.40	26.40	11.20	F _a	C
B	CUL. ANUAL	15-30	8.49	0.93	47.88	0.65	2.44	60.00	26.00	14.00	F _a	C
B	CUL. ANUAL	0-15	8.39	0.66	85.51	0.75	1.40	55.05	34.20	10.70	F	C
B	CUL. ANUAL	0-15	10.54	0.60	54.06	0.77	1.95	54.00	29.60	16.40	F _a	C
B	CUL. ANUAL	0-15	10.49	0.55	70.47	0.79	1.85	57.60	33.60	8.80	F _a	C
B	CUL. PERM	0-15	5.70	0.60	59.04	0.77	3.10	30.60	28.50	40.80	FA	C
B	CUL. PERM	15-30	6.24	0.69	41.73	0.74	2.63	44.90	38.90	16.20	F	C
B	CUL. PERM	15-30	4.93	0.61	71.15	0.77	3.16	47.00	38.10	14.90	F	C
B	CUL. PERM	15-30	4.99	0.73	28.02	0.72	3.05	52.20	33.60	7.10	F	C
B	CUL. PERM	0-15	5.62	0.69	34.46	0.74	3.05	52.20	33.60	14.20	F	C
B	CUL. PERM	15-30	5.28	0.66	47.47	0.75	3.10	43.40	39.80	16.60	F	C
B	CUL. PERM	0-15	5.40	0.62	65.20	0.77	2.90	34.50	34.45	31.20	FA	C
B	CUL. PERM	0-15	5.03	0.65	38.22	0.75	2.85	51.40	32.80	15.80	F	C
B	CUL. PERM	0-15	4.00	0.60	65.45	0.77	2.60	34.80	36.00	29.20	FA	C
B	CUL. PERM	15-30	5.38	0.63	45.29	0.76	3.70	47.20	34.50	18.30	F	C
B	CUL. PERM	15-30	4.99	0.63	66.27	0.76	3.38	41.80	45.60	12.60	F	C
B	CUL. PERM	0-15	5.36	0.72	28.32	0.73	3.40	31.80	28.90	39.30	FA	C
B	CUL. PERM.	15-30	5.14	0.62	49.76	0.77	3.08	49.80	38.40	11.80	F	C

SECTOR	USO	PROF	PERMEB.	DA	ZHUM	% POR	RES.PEN	ARENA	LIMO	ARCILLA	TEXTURA	ZONAS
B	CUL.PERM.	0-15	4.72	0.59	60.16	0.78	3.38	37.09	28.00	34.90	FA	C
B	CUL.PERM.	0-15	6.75	0.60	52.91	0.77	3.62	35.10	32.10	32.80	FA	C
B	CUL.PERM.	15-30	6.08	0.61	50.92	0.77	3.44	68.40	23.70	7.90	FA	C
B	PASTO	15-30	5.06	0.54	71.39	0.80	2.59	35.20	29.60	35.20	FA	C
B	PASTO	15-30	4.33	0.52	156.14	0.81	1.95	26.80	36.80	36.40	FA	NC
B	PASTO	0-15	9.38	0.84	31.73	0.68	2.30	33.20	29.20	37.60	FA	NC
B	PASTO	15-30	4.86	0.83	43.73	0.69	1.70	41.50	36.04	23.50	F	C
B	PASTO	0-15	4.86	0.73	81.87	0.72	1.80	51.50	29.30	9.20	FA	C
B	PASTO	15-30	6.01	1.03	41.34	0.61	2.23	28.40	33.10	38.50	FA	NC
B	PASTO	0-15	4.63	0.66	118.20	0.75	3.00	63.20	27.20	9.60	FA	C
B	PASTO	0-15	5.93	0.66	80.41	0.75	3.80	65.90	19.60	14.50	FA	NC
B	PASTO	0-15	5.12	0.75	29.20	0.72	2.90	26.60	30.10	43.30	FA	NC
B	PASTO	15-30	4.46	0.77	45.59	0.71	2.37	67.20	25.60	7.20	FA	C
B	PASTO	15-30	5.07	0.59	134.62	0.78	2.32	64.30	23.80	11.90	FA	NC
B	PASTO	0-15	11.22	1.00	27.02	0.62	2.40	52.30	28.50	9.20	FA	C
B	PASTO	0-15	5.64	0.62	73.62	0.77	2.75	59.20	27.20	13.60	FA	NC
B	PASTO	0-15	5.24	0.74	58.13	0.72	1.50	45.20	28.00	26.80	F	C
B	PASTO	15-30	4.17	0.77	34.83	0.71	3.39	53.80	19.68	26.50	FA	C
B	PASTO	15-30	4.47	0.88	9.58	0.67	3.30	55.20	25.20	19.60	FA	C
B	PASTO	0-15	2.92	0.55	80.03	0.79	3.10	35.40	25.50	39.10	FA	C
B	PASTO	0-15	5.12	1.01	5.81	0.62	2.70	24.80	30.90	44.30	FA	NC
B	PASTO	15-30	4.77	0.75	99.19	0.72	2.19	57.90	24.30	17.80	FA	C
B	PASTO	0-15	4.59	0.92	27.96	0.65	2.45	42.30	38.90	18.80	F	C
B	PASTO	4-03	4.03	0.58	37.42	0.78	2.23	31.20	23.80	45.01	A	NC
B	PASTO	15-30	1.27	0.77	77.32	0.71	2.14	57.80	36.00	6.20	FA	C
B	PASTO	0-15	3.56	0.80	28.30	0.70	2.50	62.45	27.37	10.20	FA	C
B	PASTO	0-15	3.08	0.75	37.12	0.72	2.60	63.50	27.00	9.50	FA	C
B	PASTO	0-15	4.38	0.87	42.16	0.67	2.60	41.20	37.60	21.20	F	C
B	PASTO	15-30	4.87	0.57	92.86	0.78	2.63	21.20	27.20	51.60	A	C
B	PASTO	0-15	9.59	0.64	65.55	0.76	2.80	35.90	27.60	36.50	FA	NC
B	PASTO	0-15	4.76	0.58	77.02	0.78	2.30	59.80	31.30	8.90	FA	C
B	PASTO	15-30	5.05	0.83	68.24	0.68	1.70	51.20	20.00	28.80	FA	C
B	PASTO	0-15	3.67	0.63	136.85	0.76	2.20	26.40	30.00	43.60	A	NC
B	PASTO	0-15	5.77	0.84	19.57	0.68	2.80	60.20	31.20	8.60	FA	C
B	PASTO	0-15	2.68	0.94	14.18	0.64	2.90	35.10	35.60	29.30	FA	C
B	PASTO	15-30	4.77	0.62	45.72	0.77	2.41	31.60	31.60	37.20	FA	NC
B	PASTO	0-15	2.00	0.75	81.46	0.72	3.10	51.20	29.60	19.20	F	C
B	PASTO	15-30	4.14	0.52	65.21	0.80	2.77	55.90	31.40	12.70	FA	NC
B	PASTO	0-15	5.26	0.85	52.44	0.68	2.70	29.50	25.00	45.50	A	NC
B	PASTO	15-30	3.72	0.41	109.85	0.85	2.59	52.80	35.60	11.60	FA	NC
B	PASTO	15-30	3.12	0.74	13.41	0.72	2.68	30.70	32.80	36.50	FA	NC
B	PASTO	0-15	4.57	0.98	48.10	0.63	2.65	55.60	23.60	20.80	FA	C
B	PASTO	0-15	4.02	0.49	114.35	0.81	2.20	47.90	26.09	26.00	F	C
B	PASTO	0-15	5.70	0.65	47.26	0.76	1.50	31.50	32.90	35.60	FA	C
B	PASTO	15-30	3.71	0.58	37.45	0.78	2.86	56.40	22.00	21.60	FA	C
B	PASTO	0-15	14.08	0.99	20.76	0.63	3.40	51.80	38.20	10.00	F	C
B	PASTO	0-15	5.10	0.75	34.28	0.72	2.55	55.10	24.10	19.80	FA	C
B	PASTO	15-30	2.49	0.47	82.69	0.82	2.55	69.50	17.40	17.40	F	NC
B	PASTO	15-30	12.08	0.68	19.33	0.74	2.16	62.50	26.10	11.40	FA	NC
B	PASTO	0-15	12.21	0.73	32.52	0.73	3.30	60.10	28.50	11.40	FA	NC
B	PASTO	0-15	4.53	0.68	36.26	0.75	2.80	59.40	29.72	10.93	FA	C
B	PASTO	15-30	3.31	0.66	33.64	0.75	2.37	33.20	29.20	37.60	FA	NC

SECTOR	USO	PROF	PERMEAB.	DA	ZHUM	% POR	RES.PEN	AREMA	LIMO	ARCILLA	TEXTURA	ZONAS
B	PASTO	15-30	4.06	0.62	39.13	0.77	1.65	28.90	36.20	34.90	FA	NC
B	PASTO	0-15	5.55	0.76	64.93	0.70	2.90	59.10	29.40	11.50	Fa	NC
B	PASTO	15-30	9.31	0.53	64.26	0.80	2.68	23.00	23.50	54.50	A	C
B	PASTO	15-30	4.33	0.64	20.17	0.76	1.88	65.20	23.20	11.60	Fa	NC
B	PASTO	15-30	11.28	0.75	45.99	0.72	2.77	62.20	25.20	12.60	Fa	C
B	PASTO	0-15	5.05	0.88	52.96	0.67	2.35	53.50	23.90	22.60	FAa	C
B	PASTO	0-15	14.89	0.63	45.64	0.76	2.40	55.20	20.30	20.30	FAa	C
B	PASTO	15-30	9.81	0.94	35.10	0.65	1.34	32.20	28.60	39.20	FAa	NC
B	PASTO	15-30	12.71	0.55	40.74	0.79	1.74	69.00	23.50	7.50	Fa	C
B	PASTO	15-30	9.85	0.89	58.95	0.66	3.30	59.10	24.10	16.80	Fa	C
B	PASTO	15-30	4.00	0.78	13.89	0.70	2.59	24.50	23.10	52.40	A	C
B	PASTO	15-30	9.00	0.84	29.48	0.68	1.83	30.40	28.00	41.60	A	NC
B	PASTO	15-30	4.91	0.62	43.48	0.77	2.27	68.64	20.60	10.53	Fa	NC
B	PASTO	0-15	5.69	0.69	53.03	0.74	2.80	62.60	30.00	7.20	Fa	NC
B	PASTO	0-15	4.61	0.70	37.83	0.74	1.90	61.60	29.70	8.50	Fa	C
B	PASTO	15-30	4.01	0.78	28.32	0.70	2.50	62.20	24.90	12.90	Fa	C
B	PAS. CORTE	0-15	9.56	0.77	27.61	0.71	1.85	33.60	20.20	46.20	A	C
B	PAS. CORTE	0-15	7.44	0.47	113.82	0.82	2.85	31.20	35.90	32.90	FA	C
B	PAS. CORTE	0-15	9.98	0.56	141.46	0.79	2.65	28.40	24.00	47.60	A	C
B	PAS. CORTE	0-15	6.97	0.51	60.62	0.81	1.50	28.30	37.10	34.60	FA	C
B	PAS. CORTE	0-15	7.44	0.49	133.84	0.81	2.50	28.00	24.20	47.80	A	C
B	PAS. CORTE	0-15	9.32	0.70	55.50	0.74	2.50	30.01	19.63	50.40	A	C
B	PAS. CORTE	0-15	8.94	0.77	36.43	0.71	2.10	20.30	29.40	50.34	A	C
B	PAS. CORTE	0-15	15.24	0.52	141.62	0.80	1.85	58.30	30.90	10.80	Fa	NC
B	PAS. CORTE	0-15	9.59	0.74	35.35	0.72	2.20	55.60	13.60	20.80	FAa	NC
B	PAS. CORTE	15-30	10.64	0.69	61.82	0.74	1.97	32.00	36.40	31.60	FAa	C
B	PAS. CORTE	15-30	14.56	0.57	42.84	0.78	1.66	67.40	24.74	7.90	Fa	NC
B	PAS. CORTE	15-30	10.11	0.54	133.62	0.80	1.34	74.00	14.30	11.70	Fa	NC
B	PAS. CORTE	15-30	10.57	0.59	55.15	0.78	1.18	59.60	27.20	13.20	Fa	NC
B	PAS. CORTE	15-30	11.13	0.52	54.44	0.80	1.03	65.09	25.50	9.40	Fa	NC
B	PAS. CORTE	0-15	9.65	0.74	22.40	0.72	1.95	36.80	36.50	26.70	FA	C
B	PAS. CORTE	15-30	6.62	0.52	77.28	0.80	2.09	30.00	33.20	36.80	FA	C
B	PAS. CORTE	0-15	8.65	0.50	119.25	0.81	1.80	83.40	10.50	6.10	Fa	NC
B	PAS. CORTE	15-30	9.73	0.62	121.31	0.76	1.46	61.60	25.60	12.80	Fa	NC
B	PAS. CORTE	0-15	9.80	0.69	32.13	0.74	3.00	29.50	36.70	33.80	FA	C
B	PAS. CORTE	15-30	8.57	0.64	46.68	0.76	2.29	59.30	28.80	11.90	Fa	NC
B	PAS. CORTE	15-30	10.83	0.57	53.03	0.78	1.42	59.60	27.01	13.40	Fa	NC
B	PAS. CORTE	15-30	9.99	0.55	56.04	0.79	1.66	60.70	31.10	8.20	Fa	NC
B	PAS. CORTE	15-30	8.08	0.62	41.41	0.77	1.54	56.64	29.00	14.33	Fa	NC
B	PAS. CORTE	0-15	8.86	0.76	44.88	0.71	2.10	16.80	16.00	16.80	Fa	NC
B	PAS. CORTE	15-30	14.87	0.44	75.86	0.83	1.66	62.98	22.60	14.41	Fa	NC
B	PAS. CORTE	0-15	9.32	0.74	42.32	0.72	2.10	26.60	21.00	52.20	A	C
B	PAS. CORTE	15-30	10.74	0.58	37.73	0.78	2.21	69.10	16.50	14.40	Fa	NC
B	PAS. CORTE	15-30	8.63	0.55	113.84	0.79	1.18	33.80	29.30	36.90	FA	C
B	PAS. CORTE	0-15	9.72	0.78	21.44	0.71	2.15	30.40	37.44	32.20	FA	C
B	PAS. CORTE	0-15	7.13	0.68	47.23	0.74	2.80	61.40	31.50	7.10	Fa	NC
B	PAS. CORTE	15-30	10.52	0.36	112.63	0.86	1.74	59.10	29.60	11.30	Fa	NC
B	PAS. CORTE	15-30	7.26	0.44	79.55	0.83	1.18	61.60	23.20	15.20	Fa	NC
B	PAS. CORTE	15-30	6.37	0.37	140.24	0.86	1.50	71.60	15.20	13.20	Fa	NC
B	PAS. CORTE	0-15	8.97	0.47	98.85	0.82	2.90	28.00	26.00	45.60	A	C
B	PAS. CORTE	15-30	8.61	0.59	47.95	0.78	1.10	69.60	17.60	12.80	Fa	NC
B	PAS. CORTE	0-15	15.29	0.73	32.64	0.72	1.90	51.80	39.50	8.70	Fa	C
C	BOSQUE	0-15	9.72	0.54	36.13	0.80	1.10	39.00	45.60	15.40	F	NC

SECTOR	USO	PROF	PERMEAB.	DA	ZHUM	Z POR	RES.PEM	AREMA	LIMO	ARCILLA	TEXTURA	ZONAS
C	BOSQUE	15-30	14.39	0.55	132.05	0.79	2.25	57.60	34.50	7.85	F ^a	NC
C	BOSQUE	15-30	15.73	0.56	115.92	0.79	2.50	42.20	45.90	11.90	F	NC
C	BOSQUE	0-15	10.43	0.73	57.51	0.73	2.00	54.40	35.60	10.48	F ^a	NC
C	BOSQUE	0-15	12.29	0.52	83.24	0.80	1.10	39.50	45.27	15.20	F	NC
C	BOSQUE	15-30	11.73	0.65	87.63	0.76	1.00	46.10	41.40	12.50	F	NC
C	BOSQUE	0-15	10.65	0.62	107.40	0.77	1.10	63.20	27.20	9.60	F ^a	NC
C	BOSQUE	15-30	15.45	0.70	94.94	0.74	1.56	48.00	40.00	12.00	F	NC
C	BOSQUE	0-15	12.93	0.47	148.90	0.82	0.75	73.60	17.60	8.80	F ^a	NC
C	BOSQUE	15-30	10.26	0.65	89.42	0.75	1.38	44.10	47.10	8.80	F	NC
C	BOSQUE	0-15	15.67	0.52	124.86	0.80	1.20	46.80	33.60	19.40	F	NC
C	BOSQUE	15-30	11.41	0.76	68.13	0.71	2.13	41.11	41.80	17.10	F	NC
C	BOSQUE	0-15	16.39	0.52	111.97	0.80	2.00	60.60	31.90	7.30	F ^a	NC
C	BOSQUE	15-30	12.34	0.47	150.54	0.82	1.50	58.40	33.33	8.31	F ^a	NC
C	BOSQUE	0-15	16.66	0.73	81.55	0.72	1.20	65.94	23.60	10.30	F ^a	NC
C	BOSQUE	15-30	9.88	0.46	95.09	0.83	1.25	38.90	45.00	16.10	F	NC
C	BOSQUE	0-15	7.83	0.45	66.58	0.83	1.00	66.20	25.90	7.86	F ^a	NC
C	BOSQUE	15-30	9.72	0.69	77.04	0.74	2.50	48.90	40.30	10.76	F	NC
C	BOSQUE	15-30	11.84	0.54	80.73	0.80	1.44	44.60	45.00	10.40	F	NC
C	BOSQUE	15-30	9.27	0.60	99.79	0.77	1.50	55.90	36.90	7.20	F ^a	NC
C	BOSQUE	0-15	11.90	0.74	51.30	0.72	1.90	69.60	17.80	12.60	F ^a	NC
C	CAFE	15-30	6.89	1.13	27.23	0.57	1.99	65.30	24.70	10.00	F ^a	C
C	CAFE	0-15	4.15	0.80	9.37	0.70	2.50	58.50	32.50	9.00	F ^a	NC
C	CAFE	15-30	4.84	1.00	66.79	0.62	2.37	49.00	35.13	15.90	F	NC
C	CAFE	0-15	9.25	1.21	7.75	0.54	3.95	68.10	26.40	5.50	F ^a	C
C	CAFE	15-30	5.36	1.27	2.92	0.52	2.95	55.90	26.00	8.10	F ^a	C
C	CAFE	0-15	3.42	0.77	45.58	0.71	3.16	69.20	27.20	13.60	F ^a	C
C	CAFE	15-30	5.22	0.95	13.66	0.64	3.80	45.40	45.80	8.80	F	NC
C	CAFE	15-30	3.84	1.28	18.43	0.56	2.62	77.90	15.30	6.80	F ^a	C
C	CAFE	0-15	3.66	0.93	94.17	0.65	1.95	51.30	27.79	10.90	F ^a	C
C	CAFE	15-30	4.19	0.82	51.73	0.69	1.58	50.40	38.00	11.60	F ^a	NC
C	CAFE	15-30	13.12	1.20	15.22	0.55	2.85	49.60	34.00	16.40	F ^a	NC
C	CAFE	15-30	3.87	0.85	11.03	0.68	2.99	62.13	27.40	10.50	F ^a	C
C	CAFE	15-30	5.06	0.93	10.92	0.65	2.95	68.90	25.70	5.40	F ^a	C
C	CAFE	0-15	4.16	1.20	8.40	0.55	2.90	48.20	40.70	11.10	F	NC
C	CAFE	0-15	5.44	1.15	21.49	0.56	2.15	48.30	40.50	11.20	F	NC
C	CAFE	15-30	4.47	1.13	20.03	0.57	3.80	61.90	31.80	6.30	F ^a	NC
C	CAFE	0-15	9.92	1.18	17.03	0.55	2.95	54.00	35.60	7.70	F ^a	C
C	CAFE	0-15	7.33	0.69	39.47	0.74	2.85	43.20	45.20	11.60	F	NC
C	CAFE	0-15	3.51	0.80	89.46	0.70	2.90	42.50	48.70	8.80	F	NC
C	CAFE	15-30	4.41	0.95	40.97	0.64	2.06	58.80	28.52	12.67	F ^a	C
C	CAFE	0-15	2.97	1.26	11.30	0.53	2.85	56.30	35.10	8.60	F ^a	NC
C	CAFE	15-30	4.79	0.79	8.07	0.70	2.37	60.10	32.10	7.80	F ^a	C
C	CAFE	15-30	8.52	1.17	7.43	0.56	2.45	51.50	35.00	13.50	F	NC
C	CAFE	0-15	4.36	0.64	42.44	0.76	3.90	52.40	39.40	8.20	F ^a	NC
C	CAFE	0-15	2.87	0.68	45.57	0.74	2.95	57.50	33.00	9.50	F ^a	NC
C	CAFE	0-15	3.47	1.25	12.63	0.53	2.05	46.40	40.40	11.20	F	NC
C	CAFE	0-15	3.08	1.10	14.32	0.58	2.60	69.40	24.30	6.30	F ^a	C
C	CAFE	15-30	3.90	1.11	15.27	0.58	3.16	69.40	25.80	7.10	F ^a	C
C	CAFE	15-30	4.80	0.63	42.14	0.76	3.16	66.80	25.90	7.30	F ^a	C
C	CAFE	15-30	4.25	0.62	54.28	0.77	3.99	48.50	35.70	15.80	F	NC

SECTOR	USO	PROF	PERMEAB.	DA	%HUM	% POR	RES.PEN	ARENA	LIMO	ARCILLA	TEXTURA	ZONAS
C	CAFE	0-15	5.28	1.17	25.92	0.56	4.20	53.30	33.80	12.90	F _a	NC
C	CAFE	15-30	4.04	1.15	11.21	0.57	2.33	61.29	27.90	10.86	F _a	C
C	CAFE	15-30	6.34	0.63	51.73	0.76	2.08	67.20	25.60	7.20	F _a	C
C	CAFE	15-30	3.61	1.24	6.93	0.53	2.16	50.10	36.00	13.90	F	NC
C	CAFE	0-15	3.04	1.00	12.38	0.62	3.10	49.00	39.90	11.10	F _a	NC
C	CHARRAL	0-15	7.24	0.54	71.87	0.80	1.80	48.50	38.70	12.80	F	NC
C	CHARRAL	15-30	9.34	0.51	76.53	0.83	2.45	42.10	34.00	23.90	F	NC
C	CHARRAL	15-30	9.62	0.46	168.50	0.83	2.45	52.10	36.90	11.00	F	NC
C	CHARRAL	15-30	9.33	0.43	110.50	0.84	2.45	58.70	33.38	7.93	F _a	NC
C	CHARRAL	0-15	12.76	0.66	90.02	0.75	1.80	31.70	56.10	12.20	F	NC
C	CHARRAL	0-15	9.74	0.77	65.91	0.71	1.85	50.80	36.20	13.00	F	NC
C	CHARRAL	0-15	10.19	0.58	90.59	0.78	1.75	36.80	46.00	15.20	F	NC
C	CHARRAL	15-30	11.53	0.49	64.50	0.82	2.58	51.20	35.60	13.20	F	NC
C	CHARRAL	15-30	7.75	0.39	108.45	0.85	2.24	60.40	32.00	7.60	F _a	NC
C	CHARRAL	0-15	5.78	0.61	65.76	0.77	1.75	38.89	44.50	16.60	F	NC
C	CHARRAL	0-15	9.25	0.65	80.79	0.75	1.90	45.20	39.20	15.60	F	NC
C	CHARRAL	15-30	6.39	0.61	31.40	0.77	2.52	50.30	38.50	11.20	F	NC
C	CHARRAL	15-30	8.86	0.45	75.80	0.83	1.70	51.20	34.50	14.28	F	NC
C	CHARRAL	15-30	8.34	0.57	73.75	0.79	2.38	42.00	35.60	22.40	F	NC
C	CHARRAL	0-15	7.91	0.51	100.15	0.81	1.25	43.00	40.10	16.94	F	NC
C	CHARRAL	0-15	6.91	0.54	133.04	0.80	1.65	41.10	45.80	13.10	F	NC
C	CUL.ANUAL	15-30	8.58	1.23	13.24	0.54	2.56	59.10	29.07	11.80	F _a	C
C	CUL.ANUAL	0-15	10.03	0.72	20.46	0.73	2.15	58.30	32.90	8.80	F _a	C
C	CUL.ANUAL	15-30	4.33	1.18	23.85	0.55	2.56	50.60	34.26	15.10	F	C
C	CUL.ANUAL	0-15	10.13	0.77	19.74	0.71	2.15	59.18	30.74	10.10	F _a	C
C	CUL.ANUAL	15-30	11.61	1.26	32.76	0.52	2.32	59.30	32.30	8.40	F _a	C
C	CUL.ANUAL	15-30	6.81	0.88	67.44	0.67	2.62	59.07	28.94	12.00	F _a	C
C	CUL.ANUAL	15-30	9.56	1.19	11.43	0.55	3.05	59.20	28.40	12.40	F _a	C
C	CUL.ANUAL	0-15	13.49	0.77	40.69	0.71	1.95	49.80	42.40	7.80	F _a	C
C	CUL.ANUAL	15-30	10.48	1.21	9.64	0.54	2.56	60.60	32.20	7.20	F _a	C
C	CUL.ANUAL	15-30	8.26	1.17	11.07	0.56	2.68	51.50	37.00	11.50	F	C
C	CUL.ANUAL	0-15	11.81	0.74	17.36	0.72	2.45	57.10	33.60	9.25	F _a	C
C	CUL.ANUAL	0-15	8.80	0.73	16.68	0.72	2.20	54.60	36.80	8.60	F _a	C
C	CUL.ANUAL	0-15	4.75	0.74	27.98	0.72	2.00	60.20	30.90	8.90	F _a	C
C	CUL.ANUAL	0-15	7.77	0.55	76.13	0.79	2.10	61.40	29.30	9.30	F _a	C
C	PASTO	15-30	4.62	0.78	19.19	0.70	1.88	54.50	36.10	10.40	F _a	NC
C	PASTO	15-30	2.12	0.97	15.09	0.64	1.34	67.20	13.70	19.10	F _a	NC
C	PASTO	0-15	3.67	1.05	14.81	0.61	2.70	43.54	33.30	23.15	F	C
C	PASTO	0-15	2.00	1.10	13.67	0.58	3.10	26.50	30.40	43.10	FA	NC
C	PASTO	15-30	4.53	0.74	15.33	0.72	1.95	39.20	35.20	25.60	F	C
C	PASTO	15-30	1.52	0.78	17.57	0.71	2.50	62.10	26.10	11.80	F _a	C
C	PASTO	0-15	4.18	0.91	23.32	0.66	3.70	51.80	38.20	10.00	F	C
C	PASTO	0-15	4.82	0.85	25.77	0.68	2.90	25.94	30.80	43.30	FA	NC
C	PASTO	15-30	3.70	0.64	31.99	0.76	3.48	64.50	25.80	9.70	F _a	NC
C	PASTO	0-15	1.51	0.88	23.02	0.67	2.40	50.40	10.50	10.50	F	C
C	PASTO	0-15	5.49	0.86	90.00	0.68	3.80	30.80	36.00	33.20	FA	C
C	PASTO	0-15	1.76	0.85	25.93	0.68	2.90	39.20	31.60	29.20	FA	C
C	PASTO	0-15	5.22	0.69	44.37	0.74	3.10	30.80	30.00	39.22	FA	C
C	PASTO	0-15	4.05	0.69	41.70	0.71	4.10	32.10	28.70	39.22	FA	NC
C	PASTO	0-15	4.99	0.77	72.81	0.71	2.54	64.00	26.37	9.60	F _a	NC
C	PASTO	0-15	4.88	0.82	26.29	0.69	3.00	37.20	32.80	30.00	FA	C
C	PASTO	15-30	4.15	0.76	20.28	0.71	2.50	69.80	23.50	6.70	FA	C
C	PASTO	0-15	3.58	0.87	20.05	0.67	3.10	40.40	32.00	27.60	F	C

SECTOR	USO	PROF	FERREB.	DA	%HUM	% POR	RES.PEN	ARENA	LIMO	ARCILLA	TEXTURA	ZONAS
C	PASTO	15-30	2.61	0.76	17.75	0.71	2.32	35.20	33.60	31.20	FA	C
C	PASTO	15-30	3.45	0.74	20.63	0.72	2.41	32.90	30.40	36.71	FA	C
C	PASTO	0-15	5.31	0.81	27.24	0.69	3.20	35.20	37.20	27.60	FA	C
C	PASTO	0-15	5.17	0.97	13.19	0.63	2.80	52.40	25.80	21.80	FA	C
C	PASTO	15-30	4.61	0.84	97.20	0.58	2.46	42.80	33.60	23.60	F	C
C	PASTO	0-15	5.15	0.73	90.66	0.73	3.60	65.20	23.10	11.70	Fa	MC
C	PASTO	15-30	4.38	0.71	50.96	0.73	2.46	62.10	25.80	12.10	Fa	C
C	PASTO	15-30	4.03	0.89	6.33	0.66	2.50	57.70	27.68	14.60	Fa	C
C	PASTO	15-30	4.10	0.74	17.62	0.72	3.48	67.20	19.20	13.60	Fa	MC
C	PASTO	15-30	3.01	0.61	18.45	0.69	1.88	67.50	13.90	18.60	Fa	MC
C	PASTO	0-15	3.74	0.91	13.60	0.66	2.70	61.98	30.50	7.51	Fa	MC
C	PASTO	15-30	4.53	0.79	60.64	0.70	3.57	67.90	13.50	18.60	Fa	MC
C	PASTO	15-30	6.13	0.92	45.63	0.65	2.50	63.30	24.80	11.90	Fa	C
C	PASTO	15-30	4.56	0.67	75.59	0.75	2.50	62.50	11.00	6.50	F	MC
C	PASTO	0-15	4.04	0.80	32.41	0.70	3.70	39.80	47.40	12.80	F	C
C	PASTO	15-30	3.00	0.61	104.29	0.77	2.50	70.40	18.80	10.80	F	MC
C	PAS.CORTE	0-15	7.13	0.52	107.80	0.80	1.40	30.80	36.00	33.20	FA	C
C	PAS.CORTE	0-15	10.64	0.62	58.68	0.77	1.60	29.00	23.80	47.20	FA	C
C	PAS.CORTE	15-30	12.00	0.52	59.35	0.81	1.10	28.60	37.30	34.10	FA	C
C	PAS.CORTE	15-30	7.89	0.51	116.67	0.81	1.66	32.00	33.45	34.51	FA	C
C	PAS.CORTE	0-15	10.33	0.57	81.53	0.78	2.10	50.10	41.70	8.20	FA	C
C	PAS.CORTE	0-15	9.75	0.60	53.89	0.77	1.65	58.60	25.40	15.80	FA	C
C	PAS.CORTE	15-30	10.37	0.69	19.47	0.74	1.42	36.10	28.50	35.40	FA	C
C	PAS.CORTE	0-15	8.59	0.41	109.50	0.84	1.26	30.40	31.40	38.20	FA	C
C	PAS.CORTE	15-30	10.55	0.39	125.78	0.85	0.95	60.90	29.80	9.30	FA	MC
C	PAS.CORTE	15-30	8.07	0.59	124.02	0.78	1.03	61.40	31.80	6.80	FA	MC
C	PAS.CORTE	0-15	11.13	0.47	101.62	0.82	1.40	30.90	36.10	33.00	FA	C
C	PAS.CORTE	15-30	12.41	0.47	109.92	0.82	1.40	68.40	16.60	14.80	FA	MC
C	PAS.CORTE	15-30	12.51	0.37	121.44	0.86	2.37	33.50	29.10	37.40	FA	C
C	PAS.CORTE	0-15	7.07	0.79	68.07	0.70	1.80	67.60	13.60	18.80	FA	MC
C	PAS.CORTE	0-15	8.28	0.46	99.19	0.82	2.10	29.80	26.50	43.70	FA	C
C	PAS.CORTE	15-30	9.25	0.54	51.45	0.79	1.66	33.70	28.40	37.90	FA	C
D	BOSQUE	0-15	13.63	0.60	65.28	0.77	1.40	63.20	25.20	11.60	FA	MC
D	BOSQUE	15-30	11.98	0.49	142.97	0.82	1.88	49.70	39.60	10.70	F	MC
D	BOSQUE	15-30	12.96	0.66	66.34	0.75	1.13	43.20	45.90	10.90	F	MC
D	BOSQUE	15-30	16.13	0.61	130.94	0.77	2.25	59.07	39.10	7.87	Fa	MC
D	BOSQUE	0-15	16.75	0.65	96.50	0.76	1.20	62.80	30.00	7.20	Fa	MC
D	BOSQUE	0-15	10.57	0.54	47.08	0.80	1.15	60.30	32.60	7.90	Fa	MC
D	BOSQUE	15-30	9.69	0.53	143.78	0.80	1.50	42.50	46.90	10.60	F	MC
D	BOSQUE	0-15	14.49	0.54	136.38	0.80	1.80	38.30	46.40	15.30	F	MC
D	BOSQUE	15-30	9.98	0.59	52.23	0.78	1.44	48.30	39.50	11.60	F	MC
D	BOSQUE	15-30	13.56	0.57	133.20	0.79	1.75	38.70	47.60	13.65	F	MC
D	BOSQUE	0-15	6.62	0.51	130.59	0.81	2.10	63.00	30.50	6.50	Fa	MC
D	BOSQUE	0-15	12.55	0.50	121.95	0.81	1.40	37.90	48.60	13.60	Fa	MC
D	CAFE	0-15	4.18	0.75	22.89	0.72	2.80	61.80	26.30	11.80	Fa	MC
D	CAFE	0-15	4.74	0.77	27.67	0.71	3.60	59.28	27.59	13.10	Fa	MC
D	CAFE	15-30	4.09	0.96	19.18	0.64	2.04	42.10	48.70	9.20	F	C
D	CAFE	0-15	2.23	1.11	21.39	0.58	3.20	56.00	36.20	7.80	Fa	MC
D	CAFE	15-30	6.92	1.16	24.56	0.56	2.41	55.44	35.44	9.40	Fa	C
D	CAFE	15-30	11.72	0.89	20.71	0.66	2.45	64.60	25.23	10.21	Fa	C
D	CAFE	0-15	5.90	1.13	2.47	0.57	3.10	55.70	36.50	6.80	Fa	MC
D	CAFE	15-30	4.15	1.11	18.28	0.58	1.62	52.80	34.40	12.80	F	MC
D	CAFE	0-15	3.82	0.72	27.44	0.73	3.80	41.90	46.90	11.20	F	MC

SECTOR	USO	PROF	PERMEAB.	DA	ZHUM	Z POR	RES.PEN	ARENA	LIMO	ARCILLA	TEXTURA	ZONAS
D	CAFE	0-15	4.88	1.19	11.69	0.55	1.90	52.50	33.50	14.00	F ^a	MC
D	CAFE	0-15	3.90	0.59	61.22	0.78	2.90	52.40	34.00	13.60	F ^a	MC
D	CAFE	0-15	3.81	1.14	12.08	0.57	3.10	53.50	36.70	9.80	F ^a	MC
D	CAFE	0-15	2.75	0.67	15.52	0.67	2.90	55.50	33.50	11.00	F ^a	MC
D	CAFE	15-30	6.63	1.08	6.80	0.59	2.58	58.22	33.00	8.80	F ^a	C
D	CAFE	0-15	11.65	1.08	18.86	0.59	1.40	55.20	33.10	11.70	F ^a	MC
D	CAFE	15-30	13.94	0.57	119.94	0.78	2.91	56.40	32.00	11.60	F ^a	C
D	CAFE	0-15	3.18	0.87	11.83	0.67	3.50	55.90	33.10	11.00	F ^a	MC
D	CAFE	15-30	5.10	0.71	21.34	0.73	1.70	63.10	28.97	7.90	F ^a	MC
D	CAFE	0-15	8.16	0.60	14.11	0.70	3.50	49.50	38.60	11.90	F	MC
D	CAFE	15-30	4.12	1.08	12.95	0.59	2.66	61.60	27.60	10.80	F ^a	C
D	CAFE	0-15	3.72	0.98	20.22	0.63	2.50	50.40	35.80	13.80	F ^a	MC
D	CAFE	15-30	6.79	0.97	11.19	0.63	2.41	61.10	30.50	8.36	F ^a	C
D	CAFE	0-15	5.10	0.98	12.17	0.63	3.00	60.00	32.00	8.00	F ^a	MC
D	CAFE	0-15	3.82	0.99	16.16	0.63	3.15	56.32	33.50	10.20	F ^a	MC
D	CAFE	0-15	3.06	1.16	21.42	0.56	3.15	42.50	46.20	9.30	F	MC
D	CAFE	15-30	4.19	0.93	18.14	0.65	3.28	50.20	35.60	14.20	F	MC
D	CAFE	15-30	4.56	0.79	34.04	0.70	2.41	55.10	35.70	9.20	F ^a	C
D	CAFE	15-30	5.58	1.00	36.01	0.62	1.16	54.10	33.55	12.30	F ^a	C
D	CAFE	15-30	3.05	1.11	22.34	0.58	2.41	75.60	15.60	8.80	F ^a	C
D	CAFE	15-30	5.85	1.14	14.82	0.57	2.37	69.50	24.70	5.80	F ^a	C
D	CAFE	0-15	11.48	0.67	26.12	0.67	4.80	62.80	27.60	9.60	F ^a	C
D	CAFE	15-30	4.30	0.71	24.35	0.73	2.37	51.20	32.80	16.00	F ^a	C
D	CAFE	0-15	3.44	1.12	17.73	0.58	2.85	50.93	37.80	11.80	F ^a	MC
D	CAFE	15-30	5.50	0.75	41.95	0.72	3.24	54.30	32.90	12.80	F ^a	MC
D	CAFE	15-30	3.76	1.16	22.27	0.56	2.62	68.60	25.50	5.90	F ^a	C
D	CAFE	15-30	4.86	0.56	110.81	0.79	3.16	58.80	28.00	13.20	F ^a	C
D	CAFE	0-15	3.81	1.00	30.71	0.62	2.41	58.00	32.00	10.00	F ^a	C
D	CAFE	15-30	5.04	1.07	19.26	0.60	2.10	42.40	46.80	10.80	F	MC
D	CAFE	0-15	3.63	1.07	22.88	0.60	3.65	56.10	36.10	7.80	F ^a	MC
D	CAFE	15-30	4.07	0.83	15.27	0.69	2.58	52.50	34.30	13.20	F ^a	C
D	CAFE	0-15	4.97	1.22	22.56	0.54	2.40	54.78	35.30	9.90	F ^a	MC
D	CAFE	0-15	4.28	0.77	29.05	0.71	2.90	56.00	34.00	10.00	F ^a	MC
D	CAFE	15-30	8.85	0.76	13.94	0.71	2.45	54.40	31.60	14.00	F ^a	C
D	CAFE	15-30	5.17	0.69	18.04	0.69	2.43	53.40	36.50	10.10	F ^a	C
D	CAFE	0-15	5.55	0.94	39.58	0.65	2.59	55.60	28.50	15.90	F ^a	C
D	PASTO	15-30	3.98	0.74	8.54	0.72	2.59	66.80	26.10	7.10	F ^a	C
D	PASTO	15-30	4.68	0.95	11.89	0.64	1.51	38.30	36.19	25.51	F	C
D	PASTO	0-15	4.63	1.06	15.23	0.59	2.42	59.10	28.10	12.60	F ^a	MC
D	PASTO	15-30	8.56	0.76	31.32	0.71	2.41	62.40	29.40	8.20	F ^a	MC
D	PASTO	0-15	6.24	1.05	13.13	0.60	2.80	64.10	25.60	10.30	F ^a	MC
D	PASTO	0-15	6.80	0.78	67.70	0.71	2.75	26.90	30.50	42.60	FA	MC
D	PASTO	15-30	16.08	1.03	8.15	0.61	2.50	61.60	25.60	12.80	FA	C
D	PASTO	15-30	6.27	0.66	18.36	0.75	3.13	36.00	29.60	34.40	FA	C
D	PASTO	0-15	5.77	0.85	25.71	0.68	2.90	65.00	22.90	11.10	F ^a	MC
D	PASTO	0-15	9.15	0.74	29.46	0.72	2.80	49.80	38.60	11.40	F	C
D	PASTO	0-15	4.68	0.80	14.30	0.70	3.90	32.00	29.00	39.00	FA	MC
D	PASTO	15-30	3.08	0.85	8.84	0.68	2.77	25.80	36.60	37.56	FA	C
D	PASTO	0-15	3.75	0.97	36.66	0.63	2.10	59.50	29.10	11.40	F ^a	MC
D	PASTO	15-30	3.54	0.81	26.75	0.70	3.39	60.90	19.90	19.20	F ^a	C
D	PASTO	0-15	3.59	0.93	29.49	0.65	2.60	31.20	37.60	31.20	FA	C
D	PASTO	15-30	3.21	0.85	33.27	0.68	2.23	40.40	30.00	29.60	FA	C
D	PASTO	0-15	9.98	0.07	33.42	0.67	2.60	25.20	35.60	39.20	FA	MC

SECTOR	USO	PROF	PERMEAB.	DA	WNUM	% POR	RES. PEN	ARENA	LIMO	ARCILLA	TEXTURA	ZONAS
D	PASTO	15-30	4.36	0.98	5.63	0.63	2.77	64.60	25.20	10.00	F ²	C
D	PASTO	0-15	5.47	0.82	25.85	0.69	4.00	69.20	21.20	9.60	F ²	C
D	PASTO	0-15	16.45	1.12	13.57	0.58	2.95	40.70	30.10	29.20	F	C
D	PASTO	15-30	4.70	0.76	19.60	0.71	2.41	63.80	25.10	11.13	F ²	C
D	PASTO	0-15	5.61	1.05	20.40	0.60	2.90	28.40	34.10	47.46	F	NC
D	PASTO	15-30	7.60	0.72	53.10	0.73	2.77	33.70	34.50	31.80	FA	C
D	PASTO	15-30	4.64	0.73	23.50	0.72	3.66	89.20	10.10	6.70	AF	NC
D	PASTO	0-15	3.08	0.94	17.85	0.65	2.10	31.20	35.20	33.60	FA	C