

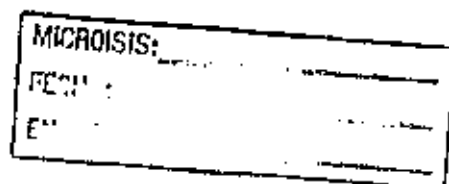
ZAMORANO
CARRERA DE DESARROLLO SOCIO ECONOMICO Y
AMBIENTE

**Cuantificación de indicadores locales de
calidad de suelo en la microcuenca de
Luquique, Yoro, Honduras**

Tesis presentada como requisito parcial
para optar al título de Ingeniero Agrónomo
en el grado académico de Licenciatura

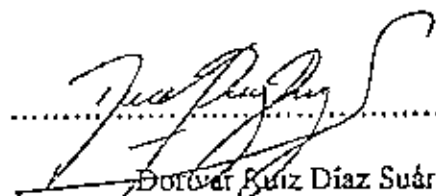
Por:

Dorivar Ruíz Díaz Suárez



Honduras: Abril, 2000

El autor concede a la Escuela Agrícola Panamericana
permiso para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para los usos que considere necesarios.
Para otras personas y otros fines, se reservan
los derechos de autor



.....
Dorivar Ruiz Díaz Suárez

Abril, 2000

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos

A la memoria de Nelson Monges

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por todo lo que me han dado, así como a mis hermanos en especial a Rodrigo por su apoyo en todo momento.

Al Dr. Miguel Ayarza y el Ing. Marco Tulio Trejo, por su apoyo, brindándome conocimientos como asesores, y a través de ellos al CIAT.

A mis asesores la Dra. Ana Margoth Andrews y Luis Caballero por su tiempo y conocimientos brindados para la realización de la tesis.

A mis compañeros de la Carrera de Desarrollo y Ambiente con quienes compartí mi último año de estudios en Zamorano.

A mis compatriotas, la familia Martínez Pavetti y la familia Alarcón por brindarme su apoyo acá en Honduras.

Al personal de la Carrera de Desarrollo y Ambiente quienes me dieron siempre el apoyo necesario, en especial al Dr. Pilz.

A Alejandra, Francisco y José Elías quienes me han apoyado en el desarrollo del trabajo.

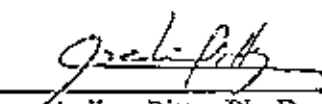
A los pobladores de la localidad de Luquique por su contribución.

RESUMEN

RUIZ DÍAZ, DORIVAR. 2000. Cuantificación de indicadores locales de calidad de suelo en la microcuenca Luquigüe, Yoro. Tesis del programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras

La presente investigación se realizó en la microcuenca de Luquigüe, Yoro, Honduras. Con la misma se buscó identificar y priorizar los indicadores de calidad de suelo usados en la zona. Se hizo uso de metodologías participativas con los agricultores y los indicadores identificados para la región fueron: pendiente, color, textura, pedregosidad y materia orgánica. Posteriormente se evaluaron los indicadores en forma individual con agricultores seleccionados según el interés particular. Se trabajó con nueve agricultores y se muestrearon 27 parcelas en tres usos: café, granos básicos y potreros. En el laboratorio se midieron los parámetros físico-químicos más utilizados para la determinación de la calidad del suelo, estos fueron el pH, N, P, K, Ca, Mg, CIC, materia orgánica y textura. En el campo se hicieron mediciones de la pendiente, color, profundidad, pedregosidad, textura y compactación. Se aplicaron pruebas de correlación para determinar el grado de relación entre las categorías dadas por los agricultores y las establecidas por el CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo), y las de la FAO. En los resultados las variables color y pedregosidad fueron significativas ($P=0.003$ y 0.0001) por lo que se pueden considerar de mayor importancia y con un alto grado de percepción por parte de los agricultores. Las demás variables tienen una alta variabilidad en la clasificación sugerida por el agricultor, por lo que se infiere que los agricultores tienen una percepción baja al respecto o no poseen un concepto claro de las mismas. Mediante un análisis factorial de componentes principales se crearon índices de calidad de suelos, este análisis tuvo como objeto clasificar los suelos en tres categorías (bueno, regular y malo), también se realizó una clasificación similar por los agricultores, posteriormente se compararon ambas categorizaciones. Se observó una igualdad en más del 50%, por lo que se deduce que los agricultores poseen una buena percepción de las categorías de calidad, ya que ellos consideran otros aspectos no precisamente físicos, reflejados en otros parámetros como vegetación y rendimiento de cultivos.

Palabras claves: Categorías, correlación, índices, percepción.


Abelino Pitty, Ph. D.

NOTA DE PRENSA

¿ES VALIDO EL CONOCIMIENTO LOCAL SOBRE LA CALIDAD DE SUELOS?

La calidad del suelo no es fácil determinarla, ya que se lo puede ver desde varios puntos de vista según el uso que se le de, así se puede ver la calidad desde el punto de vista de la productividad del mismo en terminos generales, incluyendo lo agrícola y la producción de biomasa total; también se clasifica considerando los parámetros propios medibles del suelo los cuales poseen valores estándares para cada uno.

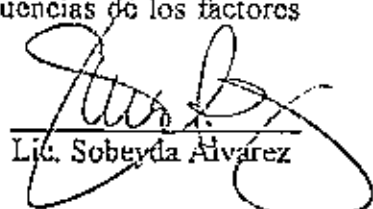
Por otro lado los pequeños productores no siempre poseen una forma práctica de clasificar sus suelos según la calidad de los mismo, aspecto de suma importancia en la planificación de los usos a los que se puede destinar sus tierras. En la actualidad se están realizando varios trabajos de investigación en el área, ya que la clasificación de los suelos según terminos locales presenta una serie de beneficios prácticos.

Así se puede obtener ventajas del conocimiento local tales como una mayor interrelación entre los pequeños productores y los técnicos que utilizan una terminología diferente, para esto se debe de investigar el grado de conocimientos de los agricultores del lugar y comprender el perfil desde donde ellos determinan los parámetros de calidad y en base a que grado de conocimientos.

Otra ventaja que se puede obtener es el de clasificar los suelos en forma práctica y a un bajo costo ya que no requiere de estudios muchas veces de alto costo e incluso inaccesibles en muchos lugares de nuestros países.

En el trabajo de investigación realizado en Luquique, Yoro, se logró encontrar aspectos que correlacionan con los parámetros técnicos y que pueden ser utilizados para efectos de trabajos limitadas a la región de estudio. Se debe considerar que el concepto de calidad dada por el agricultor implica un gran número de factores y las interrelaciones entre las mismas lo cual muchas veces no puede ser estudiado en forma completa.

Por otro lado de la comparación entre las clasificaciones realizadas de los suelos en base a índices, el cual incluyo todas las variables físico-químicas que influyen en estos suelos, se encontró un buen número de aciertos por parte de los agricultores, de lo cual se puede inferir que los agricultores consideran mas que los parámetros físicos visibles otros aspectos como vegetación o productividad, las cuales son consecuencias de los factores químicos.


Lic. Sobeyda Álvarez

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Autoría.....	ii
Página de firmas.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Resumen.....	vi
Nota de prensa.....	vii
Contenido.....	viii
Índice de Cuadros.....	xi
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Anexos.....	xiv
 1 INTRODUCCION.....	 1
1.1 HIPOTESIS.....	2
1.2 OBJETIVO.....	2
1.2.1 Objetivo principal.....	2
1.2.2 Objetivo específico.....	2
2 REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 DEGRADACION DE SUELOS.....	3
2.1.1 Erosión.....	3
2.1.2 Desertificación.....	4
2.1.3 Contaminantes.....	4
2.1.3.1 Efectos de los fertilizantes.....	5
2.1.4 Salinización.....	6
2.2 ELEMENTOS DE LA CALIDAD DE SUELOS.....	7
2.3 FUNCIONES PRINCIPALES DEL SUELO DENTRO DEL ECOSISTEMA.....	8
2.4 INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO.....	8
2.4.1 Cuantificación de calidad de suelo.....	9
2.4.2 Conjunto mínimo de datos para determinar la calidad de suelo.....	10
2.5 INFLUENCIA DEL HOMBRE SOBRE LA CALIDAD DE SUELO.....	11
2.5.1 Efecto de la agricultura intensiva sobre la calidad de suelo....	12
2.6 PARAMETROS CUANTIFICABLES PARA LA CALIDAD DE SUELO.....	13
2.6.1 Macronutrientes.....	13
2.6.2 pH.....	14
2.6.3 Materia orgánica.....	14
2.6.4 Pendiente.....	14
2.6.5 Profundidad.....	15
2.6.6 Color.....	15
2.7 INDICADORES LOCALES DE CALIDAD DE SUELO..	15
2.8 IDENTIFICACION Y CLASIFICACION DE INDICADORES LOCALES DE SUELO.....	16
2.8.1 Clasificación local de suelos.....	17

3	MATERIALES Y METODOS.....	19
3.1	MATERIALES PARA LOS TALLERES CON LOS PRODUCTORES DE LA ZONA.....	19
3.2	MATERIALES EN EL MUESTREO DE SUELO.....	19
3.3	MATERIALES PARA LA RECOLECCION DE INFORMACION GEOGRAFICAMENTE REFERENCIADA.....	20
3.4	MATERIALES PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAMPO.....	20
3.5	METODOLOGIA DE DESARROLLO DEL TRABAJO....	20
3.5.1	Selección del sitio.....	20
3.5.2	Características del sitio.....	20
3.5.2.1	Ubicación de la comunidad de Luquique.....	20
3.5.2.2	Población.....	21
3.5.2.3	Clima.....	21
3.5.2.4	Uso de la tierra.....	21
3.6	SELECCION DE LOS AGRICULTORES.....	22
3.6.1	Trabajos previos con agricultores.....	22
3.6.2	Visitas de reconocimiento y observación.....	22
3.6.3	Taller participativo con la comunidad.....	23
3.6.3.1	Objetivos del taller.....	23
3.6.3.2	Metodología.....	24
3.6.4	Identificación de los agricultores y las zonas aptas para el estudio.....	24
3.6.4.1	Primera actividad con los agricultores.....	25
3.7	SELECCION Y MEDICION DE LAS VARIABLES INCLUIDAS EN EL ESTUDIO.....	25
3.8	MUESTREO DE SUELOS.....	26
3.8.1	Determinación de la parcela.....	26
3.8.2	Métodos utilizados en laboratorio para el análisis de muestras	27
3.8.2.1	Textura.....	27
3.8.2.2	Materia orgánica.....	27
3.8.2.3	pH.....	27
3.8.2.4	Nitrógeno.....	28
3.8.2.5	Potasio, calcio y magnesio.....	28
3.8.2.6	Fósforo.....	28
3.9	MEDICIONES DIRECTAS EN EL CAMPO.....	28
3.10	ANALISIS ESTADISTICO.....	29
3.10.1	Análisis de correlación de la percepción de los agricultores	29
3.11	CATEGORIAS UTILIZADAS PARA CADA PARAMETRO MEDIDO CON EL AGRICULTOR.....	29
3.12	CATEGORIAS DE LOS PARAMETROS QUIMICOS....	31
3.13	ELABORACION DE INDICES DE CALIDAD DE SUELOS	32
3.13.1	Grupos para la formación de índices.....	32
4	RESULTADOS Y DISCUSION.....	35

4.1	IDENTIFICACION Y PRIORIZACION DE INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO.....	35
4.1.1	Identificación de los indicadores locales.....	35
4.1.2	Priorización de los indicadores identificados.....	35
4.2	MAPEO PARTICIPATIVO.....	36
4.3	VARIABLES FISICO-QUIMICAS DEL ESTUDIO Y SU TENDENCIA.....	36
4.3.1	Niveles de N.....	36
4.3.2	Niveles de materia orgánica.....	36
4.4	PROPORCION DE LAS CATEGORIAS DADAS POR LOS AGRICULTORES.....	38
4.5	ANALISIS ESTADISTICO.....	40
4.5.1	Resultados de los análisis de correlación de parámetros físicos	40
4.5.1.1	Pendiente.....	40
4.5.1.2	Profundidad.....	40
4.5.1.3	Textura.....	40
4.5.1.4	Materia orgánica.....	40
4.5.1.5	Pedregosidad.....	40
4.5.1.6	Color.....	40
4.6	CALIFICACION DE LOS SUELOS SEGUN INDICES	42
4.6.1	Índice de fertilidad de suelo.....	42
4.6.2	Índice de acidez y alcalinidad del suelo.....	43
4.6.3	Índice de componentes físicos poco modificables.....	44
4.6.4	Clasificación de los suelos según los tres índices.....	45
4.6.5	Frecuencia de las categorías para cada índice.....	46
4.7	EXPLICACION DE LAS VARIABLES.....	46
5	CONCLUSIONES.....	48
6	RECOMENDACIONES.....	49
7	BIBLIOGRAFIA.....	50

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Páginas
1. Atributos y calidad de suelo.....	7
2. Funciones de la calidad de suelo y sus indicadores.....	9
3. Crecimiento de la población desde 1975 hasta 1991 en países seleccionados de América Latina.....	12
4. Correspondencia de indicadores locales con el lenguaje técnico en Yorito y Sulaco, Honduras.....	16
5. Guía metodológica del primer taller llevado a cabo en la comunidad de Luquigüe.....	24
6. Categorías de pendientes según la FAO.....	29
7. Categorías de materia orgánica para clima cálido.....	29
8. Categorías de colores dadas por el CIMMYT.....	30
9. Rangos de profundidad según clasificación del CIMMYT.....	30
10. Categorías de pedregosidad dadas por la FAO.....	31
11. Categorías de niveles de C, N, Ca, P, Mg.....	31
12. Categorías de pH utilizadas por el Laboratorio de Suelos de Zamorano.....	31
13. Índice de fertilidad de suelo.....	33
14. Índice de acidez y alcalinidad de suelo.....	33
15. Índice de componentes físicos poco modificables.....	34
16. Cantidades relativas de los términos de mejor uso por los agricultores	39

17	Valores numéricos del análisis de correlación de las categorías sugeridas por el agricultor y las categorías técnicas.....	41
18.	Categorización de los colores utilizados en Luquigüe, Yoro, Honduras	42
19.	Clasificación según los índices y la comparación con la del agricultor	45
20.	Variabilidad explicada por los índices elaborados.....	47

INDICE DE FIGURAS

Figura	Páginas
1. Factores que influncian la productividad del suelo.....	11
2. Niveles de nitrógeno.....	37
3. Niveles de materia orgánica	37
4. Niveles de fósforo.....	37
5. Niveles de potasio.....	37
6. Niveles de calcio.....	37
7. Niveles de magnesio.....	37
8. Distribución de frecuencias de los valores para el índice de fertilidad del suelo.....	43
9. Tendencia de las frecuencias del índice de acidez y alcalinidad del suelo.....	44
10. Distribución de frecuencias del índice de componentes físicos poco modificables.....	44
11. Frecuencia de las categorías para cada uno de los índices.....	46

INDICE DE ANEXOS

Anexo	Página
1. Ubicación de las fincas y puntos de toma de muestras en la microcuenca de Luquigüe.....	52
2. Distribución de índices según uso del suelo.....	53
3. Percepción por tipo de uso.....	53
4. Equivalencias entre la clasificación del CIMMYT de niveles de pedregosidad y la percepción del agricultor.....	54
5. Comparación entre los análisis de los suelos y las características dadas por los agricultores.....	55
6. Elaboración de los índices.....	56
7. Mapa de zonificación sugerida por los agricultores en el mapeo participativo.....	59
8. Salida del SPSS para los análisis estadísticos.....	60
9. Salida del análisis de correlación.....	62
10. Resultados de los análisis de laboratorio.....	64

1. INTRODUCCION

En la actualidad la presión de la creciente población mundial está causando un progresivo deterioro del recurso suelo, las regiones más pobres del mundo ubicadas en zonas con fuertes pendientes de laderas se ven obligadas a explotar estas zonas que en muchos casos no son las más adecuadas para la actividad agropecuaria. En este sentido, los suelos de laderas de Latinoamérica son de una enorme diversidad, que van desde suelos muy pobres hasta suelos con alta fertilidad.

La calidad de los suelos es la base para la producción agropecuaria, por ello la importancia de su estudio. La determinación del grado de fertilidad y las propiedades de los suelos son un tanto difíciles de determinar con precisión a nivel del pequeño agricultor, que en su mayoría no poseen los recursos necesarios para hacer uso de las tecnologías disponibles a nivel de laboratorios para la determinación de las características de su suelo. Por otro lado, los técnicos de campo no poseen los parámetros prácticos que les ayuden a cuantificar el grado de calidad que poseen los suelos.

La cuantificación de los indicadores de la calidad de suelo a nivel de campo, de manera que los agricultores y técnicos los puedan utilizar de forma práctica, es un tema que ya el CIAT (Centro Internacional para la Agricultura Tropical) lo ha venido trabajando en sus diferentes proyectos a nivel de Honduras, Nicaragua y Colombia. En este sentido se han desarrollado ciertas herramientas participativas para la identificación de los indicadores de calidad de suelo, asimismo se han hecho trabajos de priorización con la participación de los agricultores a través de talleres, desarrollados en la localidad de Yorito en el Departamento de Yoro en Honduras.

1.1 HIPOTESIS

Existe una relación entre las características físicas visuales del suelo, dada por los agricultores, y la calidad de los mismos medidas a través de mediciones de campo y de laboratorio.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Aplicar una metodología participativa para la cuantificación de indicadores de calidad del suelo que permita hacer interpretaciones e inferencias sobre prácticas de manejo de los suelos en la microcuenca de Luquique.

1.2.1 Objetivos específicos

- Identificar y priorizar en forma participativa los indicadores de calidad de suelo a nivel de cada sitio de muestreo y agricultor.
- Aplicar los indicadores de calidad de suelo en parcelas agrícolas en la microcuenca de Luquique.
- Comparar la percepción de los agricultores sobre los indicadores de calidad de suelo con la medición de laboratorio y de campo.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 DEGRADACION DE LOS SUELOS

El problema de la degradación de los suelos está ganando mas importancia por la magnitud que la misma está adquiriendo como consecuencia de la intervención del hombre a través de sus actividades agrícolas, ganaderas e industriales entre otras.

Por otro lado, cada día las estadísticas indican un aumento en la cantidad de suelos degradados por efectos diversos. Entre los tipos de degradación más frecuentes se encuentran, diversos grado de erosión, contaminaciones químicas, salinización y desertificación en casos extremos.

A pesar del avance de la degradación de los suelos, son pocas las experiencias exitosas en revertir el proceso a través de aplicar técnicas y métodos que permitan la sostenibilidad de su uso a largo plazo (Camino y Muller, 1993).

2.1.1. Erosión

La erosión es la pérdida física del suelo cultivable que conduce a la pérdida de productividad y finalmente a su degradación total. Cuando un suelo se erosiona, disminuye su calidad y capacidad de producción de bienes. Básicamente hay dos clases de erosión: acelerada o antrópica, que es consecuencia de la alteración del suelo ocasionada por el hombre, por el mal uso y manejo de la tierra; y geológica, que es la pérdida del suelo debida al agua (erosión hídrica) y al viento (erosión eólica) (García y Dorronsoro, 1999).

El impacto del agua sobre el suelo puede conducir a la erosión laminar, en surcos y en cárcavas. Hay erosión laminar cuando se presenta un arrastre uniforme de las delgadas capas del suelo por el agua, hasta aparecer la roca desnuda. Los terrenos con pendiente, sembrados de cultivos limpios o que requieren desyerbarse periódicamente, son los más propensos a este tipo de erosión.

En la erosión en surcos, el agua de lluvia se colecta en algunos lugares y arrastra el suelo, formando pequeñas zanjas a lo largo de la pendiente del terreno. Las cárcavas se originan cuando el agua reunida en los surcos es tanta, que arrastra más suelo año tras año formando zanjones (García y Dorronsoro, 1999).

Los deslizamientos de tierra y los derrumbes son también tipos de erosión hídrica por lixiviación, es decir, causados por la infiltración del agua y la fuerza de la gravedad (García y Dorronsoro, 1999).

La erosión eólica ocurre en lugares secos, donde la cobertura vegetal es nula o muy escasa. Los suelos que más se erosionan por el viento son los que tienen mucha arena o mucha arcilla, por sus partículas livianas y finas.

2.1.2 Desertificación

La desertificación es un fenómeno que está causando la pérdida de importantes cantidades de tierra productiva en áreas secas, áridas y sub-áridas a nivel mundial, en su mayoría debido a la susceptibilidad de estas áreas a cualquier tipo de intervención. Esta suele presentarse como consecuencia de otros fenómenos de degradación como la erosión de suelo (DEDC/PAC, 1999).

No es fácil definir la desertificación porque es un proceso de degradación con variantes en porcentajes, síntomas, manifestaciones, patrones y grados o etapas diversas. No obstante la dificultad, la desertificación se define como la degradación originada por las intervenciones y abusos del hombre, tanto en organismos vivos como no-vivos, existentes en el medio ambiente de un ecosistema. El proceso está marcado por micro-aridez, erosión creciente y productividad decreciente. El producto final es un estado desértico en que la fotosíntesis total es de poca utilidad para el hombre y los animales.

La causa fundamental de la desertificación es la sobre-explotación de las capacidades de las tierras. No existe clima, sea árido, semi-árido, húmedo o muy húmedo, que esté exento del proceso de desertificación.

2.1.3 Contaminantes

Agentes contaminantes y su procedencia. Los agentes contaminantes son muy diversos. Dentro de ellos se encuentran los metales pesados, las emisiones ácidas atmosféricas, el agua de riego salina y los agroquímicos (DEDC/PAC, 1999).

Estos proceden generalmente de la actuación antropogénica, así los metales pesados proceden directamente de las minas, fundición y refinación; residuos domésticos; productos agrícolas como agroquímicos; emisiones atmosféricas mediante actividades de minería y refinación de metales, quema de combustibles fósiles, purinas, etc.

a) Metales pesados. Estos en pequeñas dosis pueden ser beneficiosos para los organismos vivos y de hecho son utilizados como micronutrientes, pero pasado un umbral se convierten en elementos nocivos para la salud.

b) Emisiones ácidas atmosféricas. Estas proceden generalmente de la industria, del tráfico rodado, abonos nitrogenados que sufren el proceso de desnitrificación. Como consecuencia de esta contaminación se disminuye el pH del suelo con lo que se puede superar la capacidad tampón y liberar elementos de las estructuras cristalinas que a esos pH pueden solubilizarse y son altamente tóxicos para animales y plantas (Cox, 1999).

c) Agua de riego salina. El uso del agua de baja calidad, para riego provoca la salinización y la sodificación del suelo. En el primer caso, se produce una acumulación de sales más solubles que el yeso que interfieren en el crecimiento de la mayoría de los cultivos y plantas no especializadas (se evalúa mediante la conductividad eléctrica del extracto de saturación). En el segundo caso, se produce una acumulación de sodio intercambiable que tiene una acción dispersante sobre las arcillas y de solubilización de la materia orgánica, que afecta muy negativamente a las propiedades físicas del suelo (agregados menos estables, sellado del suelo, encostramiento y disminución de la conductividad hidráulica), por lo que el medio será menos apto para el crecimiento de los cultivos (DEDC/PAC, 1999).

d) Agroquímicos. Dentro de ellos se encuentran los plaguicidas y los fertilizantes. Son, generalmente, productos químicos de síntesis y sus efectos dependen tanto de las características de las moléculas orgánicas (mayoría de los plaguicidas) como de las características del suelo. Los fertilizantes además de contener metales pesados, producen diversos tipos de problemas a nivel del suelo y las plantas por su mal uso. A continuación se mencionan los efectos de los fertilizantes más importantes.

2.1.3.1 Efectos de los fertilizantes

a) Nitrogenados

- Aportación de otros elementos, aparte del N, como S, Mg, Ca, Na y B.
- Variación de la reacción el suelo (acidificación o alcalinización).
- Incremento de la actividad biológica del suelo con importantes efectos indirectos sobre la dinámica global de los nutrientes.
- Daños por salinidad y contaminación de acuíferos, causados por una dosificación muy alta.
- Daños causados por las impurezas y productos de descomposición.
- Efecto secundario, herbicidas y fungicida, de la cianamida cálcica

b) Fosforados

- Aportación de nutrientes, además del P, como el S, Ca, Mg, Mn y otros; así como sustancias inútiles, desde el punto de vista de la nutrición.
- Aportación de sustancias que mejoran la estructura: cal y yeso.
- Variación del pH del suelo.
- Inmovilización de metales pesados.

c) Potásicos

- Impureza en forma de aniones y cationes.
- Efecto salinizante, producido por los componentes que traen los abonos potásicos, fundamentalmente los cloruros.

Macronutrientes secundarios

Son aquellos elementos nutritivos que las plantas necesitan absorber en gran cantidad y que normalmente abundan en todos los suelos. A este grupo pertenecen el Ca, Mg y S. El efecto del exceso de S, Ca y Mg en el medio ambiente pueden ser los siguientes:

d) **Fuentes de Mg.** Los efectos secundarios de los abonos magnésicos, son de poca importancia. Se debe especialmente evitar que se apliquen grandes cantidades de $MgCl_2$ a las plantas sensibles al cloro.

e) **Fuentes de Ca.** Se utiliza para enmiendas, para mejorar la estructura del suelo, más que como fertilizante y para elevar el pH. El uso en cantidades adecuadas no presenta problemas de contaminación importantes.

f) **Azufre.** este elemento tiene varios efectos:

- Efecto tóxico del SO_2 sobre las plantas.
- Efecto acidificante del SO_2 por la lluvia ácida. El suelo se acidifica debido a la liberación de Al^{3+} (soluble hasta $pH < 4,5$) que es un elemento tóxico para las plantas.
- En algunas regiones una alternativa o fuente adicional de la acidez proviene de las minas de carbón y otros minerales que puedan dejar al descubierto cantidades significantes de pirita, que expuesta al aire se oxida y una consecuencia es la liberación de H_2SO_4 en las vías fluviales.

2.1.4 Salinización

Consiste en la concentración de sales solubles del suelo interfiriendo con el crecimiento de las plantas y degradando el suelo. Varias son las causas de la salinización una es el abuso en el empleo de fertilizantes químicos. Otra, es la drástica disminución del agua del suelo, debido a evaporación, escurrientías o drenajes profundos. Un exceso de evaporación puede presentarse en zonas áridas, desprovistas de vegetación o erosionadas (Cox, 1999).

Los suelos salinizados se caracterizan por la formación de costras blancas de sales en su superficie; y un pH alto. Los efectos generales de la salinización se muestran por la presencia de plantas enanas y raquíticas, a medida que el contenido salino aumenta, es mayor el raquitismo y las hojas pueden presentar marchitamiento o color azul-verdoso. La pérdida de cosechas por efectos de la salinización del suelo puede superar el 20% del rendimiento total.

2.2 ELEMENTOS DE LA CALIDAD DE SUELO

La calidad de suelo lo determinan las propiedades físicas, químicas y biológicas que proporcionan un medio para el desarrollo óptimo de las plantas, sirve como filtro y regulador del agua, y además de que actúa como un efectivo filtro en el medio ambiente (Brady y Weil 1999).

Los elementos de la calidad del suelo para optimizar las tres funciones en forma similar pero en diferente grado y que describen la calidad de suelo son:

- Aceptar, almacenar y liberar nutrientes y otros constituyentes químicos.
- Aceptar, almacenar y liberar agua a las plantas, arroyos y aguas subterráneas.
- Promover y sostener el crecimiento radicular.
- Mantener adecuado el hábitat biótico del suelo.
- Responder al manejo y resistir a los efectos de degradación.

Los atributos mensurables del suelo tienen muchas veces una alta correlación y tienen una relación compleja con los cinco elementos de la calidad de suelo citadas anteriormente. En el Cuadro 1 se explican algunas relaciones que existen entre los atributos del suelo y la calidad de la misma:

Cuadro 1. Atributos y calidad de suelo

Atributos del Suelo	Elementos de la calidad de suelo, habilidad de:				
	Acepta, retiene y libera nutrientes	Acepta, retiene y libera agua	Promueve el crecimiento radicular	Proporciona un hábitat biótico adecuado	Resistente a degradación
Horizontes superficiales					
- Materia orgánica					
* Total	X	X	X	X	X
* Lábil	X		X	X	X
-Aporte de nutrientes	X		X	X	X
-Textura superficial	X	X	X	X	
-Profundidad superficial	X	X	X		X
-Estructura superficial		X	X		X
-pH superficial	X	X	X	X	X
-Conductividad eléctrica	X		X	X	X
Horizontes límites					
-Textura del subsuelo	X	X	X	X	X
-Profundidad del subsuelo	X	X	X		X
-Estructura del subsuelo		X	X		X
-pH del subsuelo	X		X		X
-Conductividad eléctrica	X		X	X	X

Fuente: The soil quality concept USDA, 1996

2.3 FUNCIONES PRINCIPALES DEL SUELO DENTRO DEL ECOSISTEMA

- a) Recicla la materia orgánica para la obtención de nutrientes que se utilizan en la síntesis de nueva materia orgánica.
- b) Separa el agua de lluvia en agua superficial, infiltración y evaporada.
- c) Mantiene la biodiversidad de los hábitats a nivel de los poros del suelo, de la superficie; y la relación de presión entre agua y gases.
- d) Mantiene la estabilidad del hábitat, incluyendo una estructura estable resistencia a la erosión causada por viento y agua, además de amortiguar los rápidos cambios de temperatura, humedad y concentración de materiales potencialmente tóxicos.
- e) Almacena y regula la relación de nutrientes y agua.
- f) Distribuye la energía en la superficie lo cual es importante en el proceso global de circulación.

2.4 INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO

El potencial de un suelo para el crecimiento de las plantas puede ser evaluado en términos del medio ambiente que este proporciona para el desarrollo de las raíces. El medio ambiente para la raíz puede ser definido en términos de la cantidad (volumen) y calidad de las raíces. El volumen de enraizamiento requerido por una planta para su óptimo desarrollo depende de la especie, el potencial genético, y las condiciones ambientales impuestas por el clima, y las prácticas de manejo utilizadas en los sistemas de producción (Karlen y Stott 1994).

El crecimiento radicular se reduce por la presencia de compuestos inhibidores como aluminio intercambiable, sales etc., deficiencias de nutrientes, incluso muchos de ellos relacionados con el pH.

Las características físicas pueden ser de dos tipos: que influyen el desarrollo de las raíces debido al tipo y tamaño de los poros que pueden modificar o impedir la penetración y expansión de las raíces, la resistencia de la matriz de suelo a la deformación y el segundo es la capacidad del suelo para suplir agua y proporcionar una buena aeración.

El aspecto biológico puede estar más relacionado con el manejo pasado del suelo que con el desarrollo del mismo. La mayoría de los problemas de estos suelos pueden ser aliviados siempre y cuando se apliquen prácticas de manejo cultural.

El suelo es un elemento clave en la regulación del flujo del agua por esto es uno de los aspectos que más fuertemente influyen el paisaje de una área. Esto se debe a que el movimiento del agua arrastra consigo otro sinnúmero de factores que afectan el desarrollo vegetal como los nutrientes y efectos en varios otros aspectos químicos de importancia.

Un aspecto que también es de importancia en lo que respecta a la calidad de suelo es la efectividad del mismo en actuar como filtro medio ambiental, es decir la capacidad del mismo en eliminar mediante la descomposición orgánica de desechos humanos, lo cual es un creciente problema por el aumento en la cantidad del mismo. Esta capacidad de descomposición de materia orgánica e incluso la absorción de compuestos inorgánicos tales como metales pesados es variable de un suelo a otro. En este sentido la función benéfica de absorción del suelo es considerada como un aspecto de calidad de este.

A continuación en el Cuadro 2 se presentan cuatro de las funciones de mayor importancia de la calidad de suelo y los indicadores que se pueden usar para medirlos, además del grado de importancia de cada uno.

Cuadro 2. Funciones de la calidad de suelo y sus indicadores

Función de calidad de suelo		Importancia (%)	Indicador mensurable	Importancia (%)
1	Recepción de la entrada de Agua	50	Rango de infiltración	50
2	Resistencia a la degradación	35	Estabilidad de agregados	27
			Resistencia	4
			Textura del suelo	2
			Capacidad de transferencia de calor	2
3	Facilidad en la absorción y transferencia de agua	10	Conductividad hidráulica	5
			Porosidad	2
			Macroporos	3
4	Mantiene el crecimiento de las plantas	5	Profundidad de enraizamiento	1
			Relación de agua	2
			Relación de nutrientes	1
			Barreras químicas	1

Fuente Karlen y Stott (1994).

2.4.1 Cuantificación de calidad de suelo

El término calidad en referencia al suelo es usado en dos sentidos. Primero, calidad hace referencia al grado de excelencia, nivel o calibre, o grado de conformación estándar. Calidad de suelo puede ser definida como el grado de existencia de estándares relativos o de términos de grados de excelencia. En el pasado, la calidad de suelo ha sido definida solamente en términos de productividad. La calidad de suelo no es limitada simplemente a la productividad y el uso de sólo este parámetro no sirve como una buena guía para determinar el problema actual (Karlen y Stott 1994).

Como es discutido por Van Wambeke (1992), algunos procesos de formación y degradación de suelo determinan las propiedades intrínsecas de los suelos (como define calidad de suelo), mientras que la productividad es determinada por la efectividad y eficiencia en el manejo de los recursos productivos. Por otro lado, el término calidad es definido como algo distintivo, un rasgo inherente, y ésta es considerada también como sinónimo de atributo, propiedad y característica.

Estos atributos del suelo tales como textura, contenido de materia orgánica, capacidad de retención de agua, conductividad, etc. pueden ser definidos operacionalmente como calidad de suelo. En estos términos, la calidad general del suelo puede ser definida como la suma de parámetros o atributos individuales del mismo.

Suele fácilmente hacerse comparaciones entre suelos en base a términos expresados cuantitativamente. Varios métodos particularmente métodos de índice numérico han sido utilizados para cuantificar la dimensión productiva de los suelos, pero limitados a condiciones locales, con validez limitada a las áreas de estudio. Sin embargo, no ha sido encontrado ninguno que sea universalmente aceptable o aplicable. En este sentido, solamente el subconjunto de parámetros de la calidad de suelo puede formar parte de las bases para cuantificar la calidad general del suelo.

Se debe de considerar el cambio dinámico de la calidad de los suelos lo cual es muy significativo para la evaluación de sistemas de manejo de suelo con respecto a los procesos de degradación o mejoramiento. En esta conceptualización de calidad de suelo un sistema sostenible puede mantener o elevar la misma (Leopold, 1996).

Si este cambio puede ser medido a mediano o corto plazo se podrá saber el grado de efectividad de las prácticas actualmente aplicadas al suelo. Un ejemplo de esto puede ser el contenido de carbono orgánico que puede ser considerado como un parámetro el cual varía de acuerdo a la incorporación de rastrojos de cultivos al suelo.

Con los conocimientos actuales puede describirse la calidad de suelo en términos de todos sus atributos, así la calidad de suelo puede ser cuantificado en base a términos de atributos selectos lo que conforma el conjunto mínimo de datos (CMD).

2.4.2 Conjunto mínimo de datos para determinar la calidad

Se ha definido la calidad de suelo como su capacidad en desarrollar sus funciones dentro de los límites del ecosistema. La calidad del suelo depende de las características del ecosistema en el cual se encuentra y la función que desempeña. Mientras no sea definido cual atributo o propiedad es la que mejor define la calidad del suelo se propone el uso de un CMD de los atributos de calidad de suelo de donde se puede elegir uno como indicador de la calidad de suelo y ser monitoreado.

Los indicadores pueden tener interesantes cambios de un suelo a otro, pero las metodologías a utilizar para medir estos indicadores que componen el CMD deben ser comunes para todos, lo cual da cierto parámetro de comparación.

2.5 INFLUENCIA DEL HOMBRE SOBRE LA CALIDAD DEL SUELO

La calidad del suelo se ve influenciada tanto por procesos naturales como por efectos directos de la actividad humana. Esta última puede ser tanto perjudicial como benéfica ya que a pesar de las actividades que conllevan a un deterioro del suelo, también se aplican prácticas de conservación, esto se resume en la Figura 1.

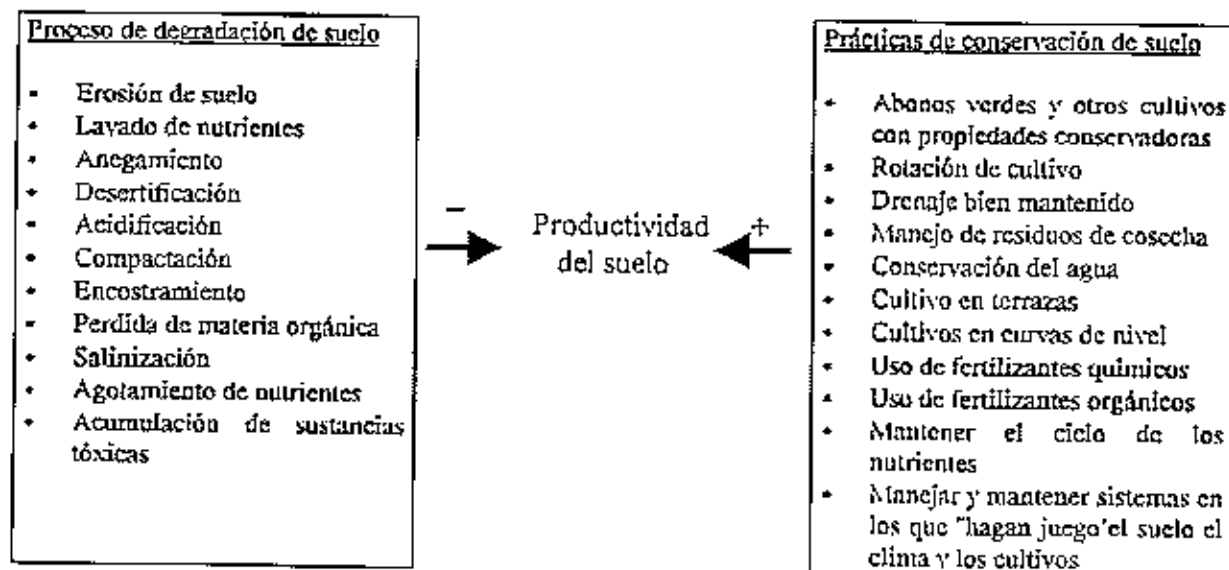


Figura 1. Factores que influyen la productividad del suelo. Adaptado de Parr y cols. 1990, citado por Paniagua (1997).

El crecimiento de la población humana es un factor de suma importancia sobre todo en esta región, ya que con esto también crecen las necesidades de seguridad alimentaria que deben de ser suplidas. Esto lleva a la población a la utilización desmedida de los recursos naturales causado por el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas en zonas de laderas no aptas para dichas actividades, causando fuertes deforestaciones.

En el caso particular de Honduras, la población ha tenido un crecimiento muy acelerado con respecto a otros países de la región, lo que ha aumentado la presión, que es uno de los factores de influencia sobre la situación actual de los recursos naturales, en especial en lo que respecta al recurso bosque, además de fuerte deterioro de los suelos.

Cuadro 3. Crecimiento de la población desde 1975 hasta 1991 en países seleccionados de América Latina (FAO, 1991).

País	Años		% de aumento
	1975	1991	
	Población en miles		
El Salvador	4,085	5,375	32
Rep. Dominicana	5,048	7,320	45
Belice	129	191	48
Costa Rica	1,968	3,088	57
Cuba	9,306	10,720	15
Honduras	3,081	5,299	72
Panamá	1,748	2,466	41
Nicaragua	2,408	3,999	66
Guatemala	6,022	9,467	57
Ecuador	7,025	10,851	54
Venezuela	12,665	20,226	60
Bolivia	4,894	7,522	54
Colombia	23,991	33,608	40
México	61,918	90,467	46
Perú	15,161	21,989	45
Brasil	108,032	153,322	42

2.5.1 Efectos de la agricultura intensiva sobre la calidad del suelo

Efectos positivos. La intensificación de la agricultura por lo general ha mantenido e incluso aumentado el contenido de macronutrientes en el suelo, desde que estos elementos han sido suplidos exteriormente mediante fertilizantes u otros (Cox, 1999).

Por otro lado la agricultura intensiva ha incrementado la producción de rastrojos o residuos de cosechas, que pueden ser retornados al suelo, cubriendo así la superficie del suelo lo que previene la erosión y aumenta la materia orgánica (Cox, 1999).

El tercero y probablemente el más significativo es la reducción de la presión sobre las tierras frágiles ya que en menores áreas se está aumentando la producción necesaria para suplir la demanda mundial.

Efectos negativos. La agricultura intensiva también trae efectos negativos sobre la calidad de algunos suelos.

Exceso de nutrientes. En muchas áreas del mundo, nutrientes como el N y P han sido aplicados más que lo que la planta absorbe lo que lleva a la contaminación de estos suelos y como consecuencia fuentes de agua y otros.

Salinización. La salinización inducida por el riego es otro punto negativo de la agricultura intensiva.

Pesticidas. La aplicación de químicos es una actividad muy común en este tipo de agricultura, lo que puede causar efectos secundarios en la calidad del suelo, puede verse afectado la biodiversidad, la abundancia de micro organismos y estos químicos pueden ser selectivos para ciertos organismos (Cox, 1999).

Dieta saludable. El hombre ha puesto más importancia a cultivos de cereales, básicos para su alimentación dejando con menos importancia otros cultivos como las leguminosas. Este exclusivo énfasis en los cereales dado en muchos países en el mundo ha creado un deterioro de los suelos (Cox, 1999).

Plantas enfermas. Al igual que la revolución verde en la agricultura intensiva se producen monocultivos temporada tras temporada lo cual favorece el desarrollo de plagas y enfermedades perjudiciales para los cultivos al igual que los que afectan la disponibilidad de micronutrientes en el suelo.

Reducción de la biodiversidad. El alto uso de insumos afecta la abundancia y biodiversidad de los organismos de los suelos. Por ejemplo, se sabe que la eliminación de bosques para la siembra de cultivos reduce la cantidad de hongos y eleva en número de bacterias, y se reduce la cantidad de organismos en general.

2.6 PARAMETROS CUANTIFICABLES PARA LA CALIDAD DEL SUELO

En la actualidad se usan varios parámetros para la determinación de la calidad de suelo, los más comunes son la cantidad de macronutrientes, el pH, el contenido de materia orgánica, y más recientemente utilizan otros métodos tales como la estabilidad de agregados, el carbono activo y la biomasa total (Brady y Weil, 1999).

En el campo, los agricultores son capaces de identificar parámetros que indican con cierta precisión la calidad del suelo. Estos suelen ser identificados por el agricultor de acuerdo a un orden de prioridad que ellos fijan según el factor que más está influenciando en ese momento la calidad de su suelo.

2.6.1 Macronutrientes

El contenido de macronutrientes es un parámetro muy utilizado sobre todo los primarios que son el N, P y K, con estos componentes. Además de la capacidad de intercambio

catiónico (CIC), se pueden dar ciertas consideraciones con respecto a la calidad química del suelo, y su capacidad para la producción de cultivos (Brady y Weil, 1999).

2.6.2 pH

Regula el desarrollo vegetal, así de acuerdo a éste se desarrollan diversos tipos de vegetación de acuerdo al grado de adaptación que tengan. Por ser un parámetro puramente químico no existe una forma de detectarlo en forma directa en el campo por parte de los agricultores, no obstante ellos pueden reconocer ciertas especies de plantas que crecen en áreas con alguna tendencia en el pH. Según Baver y cols. (1980) existen ciertas plantas que por su predominio en un área pueden ser indicativas de una tendencia en el pH. Existen métodos para determinar el pH mediante indicadores de color que dan rangos de pH que pueden ser utilizadas en el campo.

El efecto del pH en lo biológico, afecta algunos organismos que viven en el suelo y tienen una tolerancia bastante pequeña a las variaciones del pH, pero otros pueden tolerar una amplia gama de variación. Diversos estudios han demostrado que las concentraciones actuales de H^+ y OH^- no son muy importantes, excepto en las circunstancias mas extremas, tienen mas importancia las condiciones asociadas con ciertos valores de pH, tales como las concentraciones de Al^{3+} y la disponibilidad de los nutrientes (Baver y cols, 1980).

2.6.3 Materia orgánica (m.o.)

La presencia de m.o. en el suelo suele ser de fácil detección ya que es visible la presencia de la misma, no obstante se requieren de pruebas de laboratorio para determinar el contenido de la misma.

Este parámetro suele ser de suma utilidad para dar un diagnóstico de la calidad del suelo ya que contribuye enormemente a la calidad del suelo tanto en el aspecto físico, químico y biológico.

La m.o. influye en el color del suelo, así el color oscuro de las regiones templadas en general se debe a la m.o. en estado avanzado de descomposición, de hecho, con un poco de práctica es posible estimar con cierta precisión el porcentaje de materia orgánica de algunos suelos por su color (Baver y cols, 1980).

La m.o. imparte un color gris, gris oscuro o pardo oscuro, a menos que algún otro constituyente, como el óxido de hierro o una acumulación de sales modifique el color. También, el material parental puede ser la causa de la coloración oscura, como es el caso de los vertisoles. Sin embargo, muchos suelos tropicales que tienen un contenido elevado de hematita (óxido de hierro) son rojos, aún cuando tienen cantidades grandes de m.o.

2.6.4 Pendiente

Este parámetro es uno de los limitantes más comunes en Honduras debido a la gran cantidad de terrenos con fuertes pendientes, que favorece el alto deterioro por las fuertes erosiones hídricas que al utilizar estas tierras con propósitos agrícolas se elimina la vegetación original y propicia así el fuerte arrastre de las partículas de suelo (Brady y Weil, 1999).

2.6.5 Profundidad

Es la capa de suelo efectiva antes de llegar a la roca madre. Esta es variable dependiendo del estado de meteorización de la roca como de los diversos procesos que favorecen la formación del suelo, por otro lado existen otros factores que reducen la profundidad del suelo tales como la erosión y los derrumbes entre otros.

2.6.6 Color

El color puede ser utilizado por el empírico, el agricultor, el ingeniero, y el científico de suelos que comprendan las causas de su variación y las puedan interpretar en términos de propiedades del suelo (Trejo, *et al.*, 1999).

El contenido de materia orgánica, la condición del drenaje y la aireación son propiedades del suelo que están relacionadas con el color y son de interés para el agricultor. Los investigadores usan el color como auxiliar en la clasificación de los suelos y el color les sirve para inferir información acerca de las fuerzas activas que han operado durante la formación de los suelos (Baver, *et al.*, 1980).

2.7 INDICADORES LOCALES DE CALIDAD DE SUELO

Indicador es un parámetro que se usa para medir algo. Un descriptor puede tener varios indicadores, para cada descriptor se buscan uno o varios indicadores que miden el cambio, un ejemplo de un descriptor es el uso de fertilizantes en relación con la productividad agrícola y el indicador es el uso de fertilizantes por hectárea (Trejo, *et al.*, 1999).

La determinación de las propiedades diagnósticas permanentes y modificables de los suelos permite tomar mejores decisiones a un nivel de detalle más cercanos a la realidad, quizás acercándose más a lo que se enfrentan en los países en desarrollo donde los estudios no permiten llegar a los niveles de estudio necesarios para generar recomendaciones que sean aceptadas por los productores. De allí la importancia de combinar los conocimientos técnicos con los locales (Turcios, *et al.*, 1998).

El problema más grande de la mitología tendiente a la obtención de información local es la poca comunicación existente entre el agricultor y el técnico, en particular la falta de un lenguaje común y de un instrumento metodológico que permita recabar el conocimiento campesino con respecto al recurso suelo e integrado al conocimiento técnico aportado por las ciencias de la pedología y la edafología (Turcios, *et al.*, 1998).

2.8 IDENTIFICACION Y CLASIFICACION DE INDICADORES LOCALES DE CALIDAD DE SUELO

El CIAT ha venido trabajando en este tema en las microcuencas de Yorito y Sulaco en el Departamento de Yoro. Mediante un trabajo participativo desarrollaron una matriz de indicadores locales de calidad de suelo, para reconocer los distintos tipos de suelo de una región, los mismos que son en esencia parte de los indicadores de calidad de suelo técnicos basados en conocimientos científicos pero con otro nombre según la cultura de la comunidad (Turcios, *et al.*, 1998).

En el Cuadro 4 se presentan los indicadores de calidad de suelo elaborados por los agricultores y los utilizados por los técnicos para las microcuencas arriba mencionadas.

Cuadro 4. Correspondencia de indicadores locales con el lenguaje técnico, en Yorito y Sulaco, Honduras 1998.

Indicador local	Técnico
Opulento / poco fértil	Fertilidad del suelo
Verdolaga, quilete, chichiguaste, chango, pica pica, guama, tatascán / pino	Tipo de vegetación anual
Suelo profundo o grueso / suelo delgado	Profundidad efectiva
Color negro / colores amarillos, claros, colorados	Color
Por alta producción / por baja producción	Rendimiento
Sin manto o manto en descomposición	Materia orgánica
Suelta suave, terronosa, tablones	Estructura
Mucha penetración del arado / poca penetración del arado	Facilidad de arar
Poca piedra / piedra grande o mucha laja	Pedregosidad
Quema / no quema	Práctica de quema
Barrialosa, mucha arena / francos	Textura
No se hende / se hende	Tipo de arcilla / textura
No se aguachina/se aguachina, se empantana	Drenaje interno / externo
Poco declive / falda	Pendiente

Tomado del Manual de Indicadores Locales de Calidad de Suelo, Proyecto de Laderas. Centro Internacional de Agricultura Tropical (Turcios, *et al.*, 1998).

Estos indicadores han sido clasificados como permanentes o modificables a corto, mediano o largo plazo, clasificación de gran importancia y ayuda para la toma de decisiones en el uso de prácticas de conservación de suelo. Esto a la vez permite llegar a tomar mejores decisiones a nivel de detalle más cercanas a la realidad del agro con las que se puedan llegar a conclusiones y recomendaciones que puedan ser adaptadas a los productores (Turcios, *et al.*, 1998).

2.8.1 Clasificación local de suelos

Desde los mediados de los años 80, los científicos tanto sociales como técnicos han venido mostrando un creciente interés en la clasificación local o autóctona de los suelos. Este creciente interés en la clasificación local de suelos es plenamente justificado ya que ofrece un gran número de beneficios. Así, cuando se requiere un inventario detallado del recurso suelo la clasificación local, es de bajo costo y más rápido que las técnicas de inspección convencional de suelos. El uso de términos locales facilita enormemente la comunicación entre los agricultores, técnicos extensionistas e investigadores (Van Wambeke, 1992).

No obstante, esta forma de clasificar los suelos presenta ciertas desventajas que se mencionan a continuación:

- a) **Heterogeneidad en el conocimiento local de los suelos.** La complicación inicial es esta heterogeneidad, incluso características similares de suelo en regiones muy aledañas pueden usar denominación de diferentes para referirse a este parámetro. Esto puede ser de considerable importancia ya que lo que se busca es la facilitación de comunicación entre los agricultores y técnicos e investigadores y si la variabilidad dentro de una misma región sigue siendo alta este proceso se dificulta (Niemeijer 1995).
- b) **Correlación entre la clasificación local y la científica.** Otra posible complicación es el problema de la correlación entre la clasificación científica y la local las cuales muchas veces usan parámetros diferentes para clasificar. La clasificación científica hace énfasis en los horizontes profundos del suelo los cuales representan las características más fuertes del suelo; asimismo busca la aplicabilidad universal, y muchas veces hace uso de criterios pedogénicos para su organización semántica. La clasificación local por otro lado, hace énfasis en los horizontes superficiales, lo cual es más aplicable para la agricultura y la semántica usada, más bien se suele basar en los intereses de uso de la tierra de la comunidad.
- c) **Perspectiva de clasificación.** Dependiendo del punto de vista de la clasificación esta puede variar enormemente; así un antropólogo puede obtener una clasificación muy diferente que la de un científico de suelo. Esta es una variabilidad externa que puede ocurrir. Asimismo existe una variabilidad interna que resulta de diferencias en las opiniones de los pobladores de una misma región. Se han dado casos en que se

presentaron clasificaciones de suelo basados en textura, pendiente y color para una misma región, es decir no se pudo dar una clasificación única basada en un parámetro de prioridad para esa región (Niemeijer 1995).

Además de estos aspectos considerados de mayor importancia se deben de estudiar también aspectos tales como la influencia de las características culturales (lenguaje y religión) para la denominación de los suelos y cuales son del resultado de influencias de las condiciones ambientales y de prácticas de manejo, como las de cultivo. Otro aspecto de interés es el estudio de usos o culturas por ejemplo pastorales u otras no agrícolas, la clasificación local que se da de acuerdo a la perspectiva de uso del suelo (Niemeijer, 1995).

3. MATERIALES Y METODOS

Para la toma y el procesamiento de datos se utilizaron materiales en los talleres participativos con los agricultores, la toma de muestras de suelo, y se utilizó equipo de sistema de información geográfica (SIG) para la referenciación de los puntos de muestreo. También se usaron datos previos obtenidos por estudios anteriores CIAT en esta región.

3.1 MATERIALES PARA LOS TALLERES PARTICIPATIVOS CON PRODUCTORES DE LA ZONA

- ♦ Guía número uno del CIAT para la identificación y priorización de indicadores de calidad de suelo (Método Participativo para Identificar y Clasificar Indicadores Locales de Calidad de Suelo a Nivel de Microcuenca).
- ♦ Fotografías aéreas escala 1:20000, del año 1995
- ♦ Hojas cartográficas de escala 1:50000.
- ♦ Marcadores, papeles, y papelógrafos.

3.2 MATERIALES EN EL MUESTREO DE SUELOS

Para la toma de muestras de suelos se abrieron calicatas, en donde se realizaron las mediciones de campo. Para la profundidad se utilizó una cinta métrica; el color mediante la tabla Munsell; agua oxigenada al 35% para la determinación de la presencia de materia orgánica en el campo, ésta busca medir el grado de reacción que tiene el agua oxigenada con la m.o.

Se realizó la prueba de ácido clorhídrico al 10% para determinar la presencia de calcáreos. Para la toma de la muestra se utilizaron bolsas plásticas, además de otras herramientas como cuchillo, clinómetro (para la medición de la pendiente), palas, penetrómetro (para mediciones de la compactación), así como boletas de campo, goteros y altímetro (para la determinación de la altura).

Las 27 muestras fueron analizadas para materia orgánica, pH, textura, estructura, contenido de N, P, K, Ca, Mg y la CIC, utilizando la metodología del Laboratorio de Suelos de Zamorano.

3.3 MATERIALES PARA LA RECOLECCION DE INFORMACION GEOGRAFICAMENTE REFERENCIADA

El equipo utilizado fue un GPS portátil GeoExplorer II, marca Trimble. Se usó una base "Pathfinder Basic Community" para transferir los datos a la computadora, y un programa Pathfinder Office versión 2.11, para el procesamiento.

3.4 MATERIALES PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAMPO

Para el procesamiento de los mapas se utilizaron los programas arc-info, y arc-view

El análisis estadístico se realizó mediante el programa SPSS® versión 7.6.

3.5 METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL TRABAJO

Se siguió la metodología participativa desarrollada por el CIAT para la identificación y priorización de indicadores locales de calidad de suelo, con los agricultores. Se trabajó con los productores a nivel de finca de donde se obtuvieron los datos de las características y categorías de calidad de suelo que ellos determinaban; éstos se analizaron al mismo tiempo desde el punto de vista técnico y de laboratorio para luego comparar y valorizar las denominaciones que ellos daban a cada suelo.

3.5.1 Selección del sitio

La microcuenca de Luquique se seleccionó en base a los trabajos de investigación que en la actualidad desarrolla el CIAT en la región, a través de su finca demostrativa El SOL. En esta zona se está promoviendo el uso de diversas técnicas de conservación de suelos, uso de nuevas variedades de cultivos como de técnicas de cultivo adecuadas para la región, todo lo cual se proyecta a otras zonas aledañas a esta microcuenca. El conocimiento de los indicadores locales utilizados por los agricultores de la región y la cuantificación de dichos indicadores puede facilitar la transmisión de conocimiento a los mismos (Turcios, *et al.*, 1998).

3.5.2 Características del sitio

La microcuenca de Luquique presenta las siguientes peculiaridades:

3.5.2.1 Ubicación de la comunidad de Luquique. Esta comunidad se localiza en el municipio de Yorito en el Departamento de Yoro, Honduras. Se encuentra a una distancia de aproximadamente 317 km al norte de la ciudad capital Tegucigalpa. Luquique se

encuentra en un rango de elevación de 600 -1700 msnm, lo que corresponde a la parte media y alta de la subcuenca del río Tascalapa y cuenta con una superficie aproximada de 16 km²

3.5.2.2 Población. Luquigüe cuenta con aproximadamente 1474 habitantes en base al censo de 1988 proyectado para el año 2000, concentrados mayormente en el área de la comunidad de Luquigüe, ubicada en la parte baja, mientras que el resto conforma básicamente las zonas de fincas de producción.

3.5.2.3 Clima. La cima corresponde básicamente al subclima intra- montano que es la predominante en esta región. La precipitación en las zonas de montañas está entre los 1600mm y 2000mm anuales, en las áreas bajas de valles la precipitación es menor. La distribución de las lluvias a lo largo del año es poco uniforme, alrededor del 87% del total cae en los meses de mayo a octubre y el resto en lo que se conoce como estación seca, de noviembre a abril. Estas cifras son muy variables de acuerdo al punto que se estudie, debido a la gran variabilidad de la topografía (Trejo, *et al.*, 1998).

3.5.2.4 Uso de la tierra. La actividad predominante es la agrícola. En el caso específico de Luquigüe, la parte alta de la microcuenca se encuentra predominada básicamente por el cultivo de café, casi en su totalidad bajo el sistema de cultivo bajo cobertura. La cobertura es vegetación arbórea latifoliada remanente, vegetación boscosa primaria es prácticamente nula, ya que el café requiere de cierta cantidad mínima de sol que lleva a una fuerte deforestación de este bosque latifoliado.

En la zona baja de la microcuenca predomina el cultivo de granos básicos, básicamente frijol y maíz. Esta agricultura es de subsistencia, asimismo se puede observar unas pocas siembras de hortalizas y frutales en muy pequeña escala, a nivel de huertos familiares.

El uso de potrero se sitúa en la zona altitudinal media de la microcuenca, donde se desarrolla la ganadería en pequeña escala.

La vegetación arbórea presente es de pino joven intervenido casi en su totalidad, se encuentran árboles de hoja ancha en los márgenes de ríos y quebradas, es decir, bosques de galería y guamiles altos en pequeña escala.

Según el reporte de reconocimiento general del área de Yorito- Sulaco elaborado por el CIAT (Turcios, *et al.*, 1998) presumiblemente la secuencia en el uso de la tierra en esta región es el siguiente:

- Aprovechamiento del bosque original o secundario o tala de limpieza para su posterior uso agrícola.

- Uso de los terrenos para la agricultura estableciéndose el sistema de agricultura migratoria, lo que está propiciando un grave proceso de erosión del suelo y deterioro de la biodiversidad.
- Bajo estas condiciones las áreas de mayor pendiente y suelos más frágiles rápidamente pasan de un uso de cultivo anual a pasturas naturales para ganadería de tipo extensivo.
- Las tierras de menor pendiente continúan bajo un sistema de uso de cultivos anuales, donde la exposición de la misma suele llegar a niveles graves de erosión. Estos suelos suelen seguir siendo manejados como un sistema de agricultura migratoria es decir se rotan monocultivos anuales con otros algunos ciclos de cultivo en descanso.
- En ambos casos y dependiendo de los atributos del recurso tierra estas terminan en "guamil alto" el cual es utilizado principalmente para la extracción selectiva de leña o en áreas donde se establecen plantas de bajo porte o valor, disminuyendo así el potencial de los recursos productivos.

3.6 SELECCION DE LOS AGRICULTORES

La selección de los agricultores se realizó considerando los siguientes puntos:

3.6.1 Trabajos previos con agricultores

El CIAT ha venido trabajando en esta región en diversas actividades de investigación y desarrollo. Los productores se están vinculando cada vez más con las actividades de la institución. Esto facilita enormemente la identificación de un número de agricultores que se destacan por su dinamismo y participación en la región y ubicados en forma uniforme dentro de la microcuenca.

3.6.2 Visitas de reconocimiento y observación

Al comenzar la investigación se realizaron dos visitas de reconocimiento, en donde se recorrió la microcuenca. En la primera fueron los coordinadores y profesionales del CIAT y se conoció más que todo el área y se determinaron las condiciones del lugar y las áreas de trabajo; en la segunda visita, se recorrieron otras zonas, en especial la correspondiente a la zona alta de cultivo de café en donde se identificaron las fincas ubicadas en las diferentes zonas y los agricultores que trabajan en estos lugares, y luego se les planteó el trabajo que se pretendería realizar.

3.6.3 Taller participativo con la comunidad

Se desarrolló en el centro comunal de la localidad de Luquique el 25 de junio de 1999 con la participación de 21 agricultores, estudiantes de Ingeniería Agronómica de Zamorano, profesores y profesionales del CIAT. En éste se trató los temas de investigación de tres tesis que se desarrollaron en la región.

3.6.3.1 Objetivos del taller

- Dar a conocer el propósito del estudio a los agricultores de la región y los beneficios como para los técnicos que trabajan en Luquique.
- Desarrollar un mapa con la participación de los agricultores para determinar las condiciones generales de los suelos de la microcuenca y peculiaridades de cada zona.
- Seleccionar y priorizar los indicadores locales de calidad de suelo mediante la metodología participativa del CIAT.
- Identificar los agricultores ubicados en las diferentes regiones dentro de la microcuenca interesados en la participación del trabajo.

El taller permitió que los agricultores del lugar tengan una amplia participación en aspectos como la identificación y priorización de los indicadores locales de calidad de suelo, de diversos aspectos relevantes para el estudio. Se utilizaron métodos participativos que son herramientas que permiten desarrollar un proceso de discusión en plenaria o en grupo acompañado de una reflexión personal. Una importante característica de estas técnicas es que parte de la práctica, es decir, de lo que la gente sabe, vive y siente (Alforja, 1988).

3.6.3.2 Metodología. El marco metodológico se explica en el Cuadro 5

Cuadro 5. Guía metodológica del primer taller llevado a cabo en la comunidad de Luquique.

Objetivos	Técnicas	Tema	Responsables	Observaciones
	Entrega de invitaciones		Técnicos del CIAT en la localidad de Yorito	
Presentación del propósito del estudio y los responsables	Exposiciones y presentaciones personales	Qué es Zamorano CIAT trabajos y objetivo. Calidad de suelo, indicadores	Representante del CIAT, y estudiantes que trabajaron en el estudio	
Desarrollo del mapeo participativo	Uso de fotografías aéreas para la ubicación y trabajo de los agricultores	Zonas de la microcuenca con ciertas características de suelo según un indicador de suelo	Estudiantes de Zamorano, profesores y profesional del CIAT	A partir de las 21 personas se formaron 3 grupos de trabajo de 7 personas cada uno para el trabajo en los temas a investigar con los estudiantes. La distribución de las personas se hicieron por afinidad al tema
Identificación y priorización de indicadores de calidad de suelo	Método participativo para identificar y priorizar indicadores de calidad de suelo (CIAT)	Los parámetros que los agricultores mas utilizan para determinar el grado de calidad que presenta el suelo	Profesional del CIAT Estudiante de Zamorano que desarrolló el estudio	
Refrigerio				
Identificación de los agricultores que pueden participar en el estudio	Elaboración de una lista de los más activos y los ubicados en zonas claves	Ventajas del estudio en sus parcelas y compromiso de participación en eventos próximos	Profesores, profesional del CIAT, al igual que los estudiantes	Se definieron las posibles fechas de trabajo.
	Agradecimiento a la gente por la participación y despedida		Estudiantes del Zamorano que realizaron el trabajo de tesis y profesores	

3.6.4 Identificación de los agricultores y de las zonas aptas para el estudio

Una vez determinado el grupo de agricultores potenciales para el estudio se realizó una visita en los lugares de interés para el estudio, de esta forma se ubicaron las fincas de los agricultores que habían sido identificados durante el mapeo participativo. Así se consideraron también otros agricultores que se encuentran en áreas de interés para el estudio. Los criterios de elegibilidad fueron:

a) Para los agricultores:

- Disposición de ellos para participar en actividades de investigación con respecto a los suelos de la región.
- Disposición para brindar información con respecto a las características de su suelo, según los diversos parámetros que se miden.
- Poseer fincas propias o en las que el productor trabaje desde hace el tiempo suficiente para conocer las características del mismo.
- Corresponder a la zona o área en la que se ubica el terreno con respecto a la microcuenca.

b) Para la selección de las áreas donde se encuentran las fincas de estudio:

- Pertenecer al área delimitada por la microcuenca.
- Tener uno de los tres tipos de usos requeridos de café, granos básicos o potreros.
- Poseer diversos niveles de calidad dentro de la misma finca, que permita la comparación de intravariaciones de los suelos.

3.6.4.1 Primera actividad con los agricultores. Una vez determinados los productores participantes del estudio se inició la toma de datos de las parcelas, basados en una previa clasificación de los suelos de la finca por parte del agricultor en bueno, medio y malo. Posteriormente, se realizó una entrevista al productor con el que se obtuvo la opinión y los valores que el mismo da con respecto a los diversos indicadores que se habían identificado anteriormente.

3.7 SELECCION Y MEDICION DE LAS VARIABLES INCLUIDAS EN EL ESTUDIO

Para la selección de las variables a medir se consideraron en primer lugar los resultados de la identificación y priorización de los indicadores de calidad de suelo, de donde se obtuvieron los parámetros que los productores utilizan con mas frecuencia en la región para determinar la calidad de sus suelos. Las variables medidas fueron puramente de tipo técnicos, sin considerar la parte social o económica. Los indicadores medidos fueron los siguientes:

Pendiente. Medida directamente en el campo con clinómetro para determinar la pendiente exacta que el agricultor determina en términos locales. Este indicador es de importancia en esta región y en muchas en Honduras debido a las características accidentadas que presenta la topografía.

Profundidad. Para su medición se realizaron calicatas directamente con profundidades en muchos casos variables según la profundidad del suelo de la zona, pero con un máximo de 1 mt para los profundos.

Color. Para su medición y clasificación en el campo se utilizaron las tablas Munsell, haciendo las mediciones en el campo con la humedad del suelo, la cual fue relativamente alta debido a que se determinaron en la época en la temporada de lluvia.

Pedregosidad. En el campo se midió en forma ocular otorgando medidas porcentuales a la cobertura de piedras en la superficie del terreno, y también se tomó en cuenta la presencia de piedras en la capa más superficial del suelo, que impide el desarrollo de cultivos de raíces poco profundas.

Materia orgánica. Para su medición se realizó análisis laboratorial, y en el campo se utilizó el método de reacción al H_2O_2 al 35% utilizado por el CIAT.

Textura. En el campo se utilizó el método manual de determinación de la textura con la ayuda de la clave dicótoma para su clasificación, aparte se realizaron análisis de laboratorio en donde se determinó con porcentajes exactos los contenidos de arena, limo y arcilla.

Compactación. En el campo se midió con un penetrómetro, considerándose como profundidad uniforme 12 pulgadas, las unidades se obtuvieron en libras por pulgada cuadrada (psi), de esta forma para todos los puntos de muestreo se tomó la misma profundidad, excepto para aquellas con profundidades menores.

3.8 MUESTREO DE SUELOS

Básicamente la información obtenida de los muestreos se basó en tres partes del mismo: los datos brindados por el agricultor con respecto a las características de su suelo en lo que respecta a los indicadores en estudio, la obtención de muestras analizadas en laboratorio, y las mediciones directas hechas en el campo.

La muestra de suelo extraída es única ya que no es el resultado de la mezcla de varias submuestras. La muestra de suelo se obtuvo a una profundidad de 0-30 cm, dentro de la calicata en la parcela del agricultor.

3.8.1 Determinación de la parcela

Para esto se consideró exclusivamente el criterio del productor, en base a la clasificación del suelo en bueno, regular y malo. Clasificación que se pidió al agricultor realice para tener en cuenta el criterio del mismo y el grado de conocimiento del mismo en cuanto a los tipos de suelo.

3.8.2 Métodos utilizados en el laboratorio para el análisis de las muestras

3.8.2.1 Textura. El método utilizado es el de Bouyoucus o del hidrómetro. Este método se basa en la ley de Stokes. Según esta ley, la velocidad de caída de un cuerpo esférico por la acción de la gravedad en el seno de un líquido es proporcional al cuadrado del radio del cuerpo. De esta ley se puede asumir que las partículas que están en solución y en suspensión en un medio líquido se sedimentan después de cierto tiempo de acuerdo a su diámetro. Para esto se utilizan probetas que están diseñadas para que la arena se sedimente en 40 segundos, el limo grueso en 1 horas, y el limo fino en 2 horas, al final de este tiempo solo la arcilla queda en suspensión. Se usa el hidrómetro para medir los cambios en las densidades de la solución y un dispersante para romper los agregados del suelo. Se utilizan ciertos reactivos como el NaOH 0.1 N, el calgon que es una preparación comercial de hexametáfosfato de sodio

3.8.2.2 Materia orgánica. El método usado para el mismo es el de Walkley & Black el cual se basa en determinar indirectamente el carbono orgánico que se oxida al agregar un exceso medido de solución estándar de dicromato de potasio el cual a su vez se reduce. Esta reacción se lleva a cabo con la ayuda del calor producido por la adición de ácido sulfúrico concentrado. Luego por titulación con sulfato ferroso estandarizado, se cuantifica la cantidad de ión dicromato que no se redujo. Por diferencia se sabe la cantidad que reacciona con el C orgánico de la muestra.

Se sabe que este método no oxida todo el C orgánico de la muestra, sino solo el 77% esto se compensa multiplicando por el factor 1.3 ($1/0.77$). Luego, conociendo que la m.o. contiene en promedio un 58% de C orgánico reactivo, se convierte usando el factor 1.724 ($1/0.58$). Se utilizan como reactivos dicromato de potasio, ácido sulfúrico, ácido fosfórico, solución de 0.5 N de sulfato ferroso y el indicador ferroin.

3.8.2.3 pH. Para este caso fue usado el método del potenciómetro con electrodos de vidrio en la relación peso: volumen de 1:1, (suelo: agua). La mezcla se dejó en reposo durante 30 min y se lee el pH en el potenciómetro. Este aparato determina el pH por medio de la diferencia de potencial eléctrico generado entre un electrodo de referencia de potencial constante y un electrodo de vidrio que genera un potencial dependiendo de la acidez de la solución en que se sumerge.

3.8.2.4 Nitrógeno. Para la determinación del N total se utilizó el método de micro-Kjeldahl el cual consta de dos partes, la primera es la digestión del N a amonio con la ayuda de catalizadores y ácido sulfúrico, este último promueve la oxidación de la materia

orgánica y la conversión del N-orgánico a amonio durante el calentamiento. El sulfato de cobre sirve como catalizadores para acelerar la oxidación de la materia orgánica.

El segundo paso es la de determinar la cantidad de amonio producido en la digestión. Para esto se agrega NaOH concentrado lo que provoca que el NH_4^+ se convierta en gas amoníaco (NH_3) el cual se destila y se recoge en una muestra de indicadores que contiene ácido bórico neutralizado. La titulación del destilado con ácido de concentración conocida determina la cantidad de N total existente en la muestra.

Los reactivos que se utilizan para esto son: como catalizador sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), ácido sulfúrico concentrado, indicador de ácido bórico, solución de NaOH 10 N y H_2SO_4 al 0.01 N.

3.8.2.5 Potasio, calcio y magnesio. Para estos parámetros se uso el método de espectrofotometría de absorción atómica. Los elementos aprovechables son extraídos por medio de la solución extractora Mehlich I y filtrados posteriormente. La cantidad de elementos aprovechables en el filtrado se determinada directamente en el espectrofotómetro de absorción atómica.

3.8.2.6 Fósforo. El método usado para el P es el método colorimétrico. El P es extraído por la solución extractora de Mehlich I.

La cantidad de P en el filtrado es determinada por la reacción del P con el molibdato de amonio en un medio ácido, formando un complejo de color azul, llamado fosfomolibdeno azul. La intensidad del color en la solución es proporcional a la cantidad de P presente en la muestra analizada.

La intensidad del color azul se mide por medio del espectrofotómetro, con el cual se mide la intensidad de la luz que atraviesa en complejo. La lectura obtenida se compara con una serie de patrones de concentración conocida.

3.9 MEDICIONES DIRECTAS EN EL CAMPO

En el campo se realizaron medidas de profundidad de suelo, pendiente, presencia de materia orgánica, color, altura y pedregosidad.

orgánica y la conversión del N-orgánico a amonio durante el calentamiento. El sulfato de cobre sirve como catalizadores para acelerar la oxidación de la materia orgánica.

El segundo paso es la de determinar la cantidad de amonio producido en la digestión. Para esto se agrega NaOH concentrado lo que provoca que el NH_4^+ se convierta en gas amoníaco (NH_3) el cual se destila y se recoge en una muestra de indicadores que contiene ácido bórico neutralizado. La titulación del destilado con ácido de concentración conocida determina la cantidad de N total existente en la muestra.

Los reactivos que se utilizan para esto son: como catalizador sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), ácido sulfúrico concentrado, indicador de ácido bórico, solución de NaOH 10 N y H_2SO_4 al 0.01 N.

3.8.2.5 Potasio, calcio y magnesio. Para estos parámetros se uso el método de espectrofotometría de absorción atómica. Los elementos aprovechables son extraídos por medio de la solución extractora Mehlich I y filtrados posteriormente. La cantidad de elementos aprovechables en el filtrado se determinada directamente en el espectrofotómetro de absorción atómica.

3.8.2.6 Fósforo. El método usado para el P es el método colorimétrico. El P es extraído por la solución extractora de Mehlich I.

La cantidad de P en el filtrado es determinada por la reacción del P con el molibdato de amonio en un medio ácido, formando un complejo de color azul, llamado fosfomolibdeno azul. La intensidad del color en la solución es proporcional a la cantidad de P presente en la muestra analizada.

La intensidad del color azul se mide por medio del espectrofotómetro, con el cual se mide la intensidad de la luz que atraviesa en complejo. La lectura obtenida se compara con una serie de patrones de concentración conocida.

3.9 MEDICIONES DIRECTAS EN EL CAMPO

En el campo se realizaron medidas de profundidad de suelo, pendiente, presencia de materia orgánica, color, altura y pedregosidad.

3.10 ANALISIS ESTADISTICO

Se realizaron análisis factoriales de los componentes principales y el grado de asocio entre las categorías dadas por los agricultores y las medias en el campo y laboratorio.

3.10.1 Análisis de correlación de la percepción de los agricultores

Esto se realizó aplicando como herramienta estadística un análisis de correlación entre la designación que el agricultor dio a una categoría de cierto parámetro medido en el campo, de acuerdo a la percepción del mismo y las mediciones realizadas del mismo parámetro también categorizadas según rangos dados por la literatura al respecto.

3.11 CATEGORIAS UTILIZADAS PARA CADA PARAMETRO MEDIDO CON EL AGRICULTOR

Pendiente Se utilizó la categoría dada por la FAO (1979) para los porcentajes de pendiente en un punto de muestreo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Categorías de pendientes

Categoría	Rango en %
Llano o casi llano	0 - 2
Suavemente inclinado	2 - 6
Inclinado	6 - 13
Moderadamente inclinado	13 - 25
Escarpado	25 - 55
Muy escarpado	> 55

Materia orgánica. Se categorizó la m.o. de acuerdo a la escala que utiliza el Laboratorio de Suelos de Zamorano. El Cuadro 7 muestra los rangos utilizados para la misma.

Cuadro 7. Categorías de materia orgánica para clima cálido

Categoría	Rango en %
Alto	< 2
Medio	2-4
Bajo	> 4

Color. Se utilizó la categorización dada por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 1994), en donde se dan las coloraciones de los suelos, teniendo en cuenta la posible implicancia que puede presentar cierto grupo de colores sobre las características químicas del suelo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Categorías de colores dadas por el CIMMYT

Categorías	Colores incluidos
Muy oscuro	Negro, gris muy oscuro, café muy oscuro, rojo oscuro
Medio o brillante	Café oscuro, café amarillento o rojizo, café, amarillo pálido, rojo pálido
Muy claro	Blanco, gris claro, café pálido, amarillo pálido, rojo pálido
Opaco o moteado	Gris opaco, oliva, gris azulado, café grisáceo, moteado amarillo

Profundidad. Se utilizaron las categorías dadas por el CIMMYT (1994), la que categoriza en cuatro grupos, según las profundidades convenientes para el desarrollo radicular de los cultivos de granos básicos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Rangos de profundidad según clasificación del CIMMYT

Categorías	Rango (m)
Profundo	> 1.5
Moderadamente profundo	1 - 1.5
Poco profundo	0.5 - 1
Muy profundo	< 0.5

Pedregosidad. Es uno de los parámetros también medidos con el agricultor en el campo, la cual fue correlacionada con las categorías dadas por la FAO (1979) según la influencia de las piedras sobre el laboreo, considerándose como roca a partir de un diámetro de 7 cm. En el Cuadro 10 se detallan las categorías.

Cuadro 10. Categorías de pedregosidad

Categorías	Rango en %
Moderadamente pedregoso	0.01 - 0.1
Pedregoso	0.1 - 3
Muy pedregoso	3 - 15
Excesivamente pedregoso	15 - 90
Riposo	> 90

3.12 CATEGORÍAS DE LOS PARAMETROS QUÍMICOS

Estas fueron utilizadas para la creación de los índices de calidad de suelo, se requirieron las categorías de los siguientes elementos, las cuales fueron incluidas en alguno de los índices. Se resume en los Cuadros 11 y 12

Cuadro 11. Categorías de los niveles de CIC, N, CCA, P, MG

Categorías	CIC (meq/100g)	Nitrógeno (%)	Calcio	Fósforo	Magnesio
			ppm		
Alto	> 20	> 0.2	> 1200	> 30	> 300
Medio	10 - 20	0.1 - 0.2	800 - 1200	17 - 30	180 - 300
Bajo	0 - 10	< 0.1	< 800	< 17	< 180

Fuente: Laboratorio de Suelos de Zamorano

Cuadro 12. Categorías de pH utilizadas por el Laboratorio de Suelos de Zamorano

Categorías	Rango de pH
Fuertemente ácido	5 - 5.5
Moderadamente ácido	5.5 - 5.9
Levemente ácido	6 - 6.5
Muy levemente ácido	6.6 - 6.9
Muy levemente alcalino	7 - 7.5
Levemente alcalino	7.6 - 8
Moderadamente alcalino	8.1 - 8.5
Fuertemente alcalino	8.6 - 9

3.13 ELABORACION DE INDICES DE CALIDAD DE SUELO

Para la elaboración de este índice se siguieron los siguientes pasos:

- a) Análisis de componentes principales para determinar cuales variables explican mejor la variabilidad existente entre los diferentes suelos. Esto se desarrolló a través de un análisis de relación en una matriz de correlación.
- b) Se determinó el número de agrupaciones óptimo que se puede obtener de las variables seleccionadas, y agrupadas de acuerdo a la relación que presentó cada una tanto estadísticamente como la explicación científica y los factores sobre los que influye este grupo de variables.
- c) Una vez agrupado los elementos según afinidad estadística y técnica se procedió a la elaboración de los índices.
 - 1) Se le designó una escala de categorías a cada una de las variable de acuerdo a una clasificación recomendada por la literatura.
 - 2) Se asignó un puntaje a cada una de las categorías de manera a que el puntaje mayor correspondió a la categoría más conveniente para el desarrollo de los cultivos.
 - 3) A cada una de las variables se le asignó una ponderación de acuerdo al peso que podría tener con respecto a los demás en la calidad del suelo.
 - 4) Debido a que no todas las variables tienen una escala uniforme se realizó un ajuste en la ponderación. Para esto se tomó la media del valor máximo que alcanza la variable, se multiplicó por la ponderación concedida; este producto se sumó y se multiplicó por la ponderación concedida y dividida por 100; por último este producto se dividió por la media del valor máximo que alcanza la variable, obteniéndose la ponderación ajustada.
- 5) Estos índices fueron aplicados a cada una de las parcelas para la determinación del valor que esta alcanza en ese índice en particular.
- d) Se clasificaron de bajo, medio y alto en cada uno de los índices a través de un análisis de varianza delimitando los rangos de acuerdo a la media que toma los valores y la desviación estándar de la misma.

3.13.1 Grupos para la formación de índices

Para efectos de un mejor manejo de las variables se agruparon los indicadores de mayor importancia, y de afinidad con respecto a una característica del suelo. Los grupos formados fueron los siguientes:

- a) Índice de fertilidad del suelo. Este grupo encierra alguno de los componentes que tienen más influencia en la retención de los nutrientes del suelo, como así la contribución de estos en la mejora de las características generales del suelo. En el Cuadro 13 se detallan los valores de cada uno de los componentes y la ponderación o peso de cada una de ellas.

Cuadro 13. Índice de fertilidad del suelo

Variable	Categoría	Puntaje	Valor máximo A	Ponderación B	Media C	Ponderación ajustada E/C
Materia orgánica	Alto	3	3	45	1.5	45
	Medio	2				
	Bajo	1				
CIC	Alto	3	3	31	1.5	31
	Medio	2				
	Bajo	1				
N	Alto	3	3	24	1.5	24
	Medio	2				
	Bajo	1				
Total			9	100	4.5	100
Máximo					3	
Mínimo					1	

b) Índice de acidez y alcalinidad del suelo. Este grupo reúne algunos de los elementos influyentes en el factor de acidez del suelo e incluye el contenido de Ca, Mg, P y el pH del suelo. Las categorías de estos fueron tomadas de la escala que utiliza el Laboratorio de Suelos de Zamorano, en el Cuadro 14 se aprecian los valores que puede tomar.

Cuadro 14. Índice de acidez y alcalinidad del suelo

Variable	Categoría	Puntaje	Valor máximo	Ponderación	(B* Tot.D) /100	Ponderación ajustada
			A	B		E/C
Ca	Alto	3	3	30	42.75	28.5
	Medio	2				
	Bajo	1				
Mg	Alto	3	3	30	42.75	28.5
	Medio	2				
	Bajo	1				
P	Alto	3	3	10	14.25	9.5
	Medio	2				
	Bajo	1				
pH	Levemente ácido	4	4	30	42.75	21.375
	Moderadamente	3				
	Fuertemente	2				
	Extremadamente	1				
Total			13	100	142.5	87.875
Máximo					2.849	
Mínimo					0.8787	

c) Índice de componentes físicos poco modificables. Este agrupó algunas de las características físicas como profundidad, color, compactación, pedregosidad y pendiente, las cuales son de fuerte influencia sobre la calidad de los suelos desde el punto de vista agrícola, y que a la vez son poco modificables; en el Cuadro 15 se observan los valores de cada uno de los indicadores, los cuales fueron categorizados en base a diversas fuentes.

Cuadro 15. Índice de componentes físicos poco modificables

Variable	Categoría	Puntaje	Valor máximo	Ponderación	Media	Ponderación ajustada
			A	B	C	E/C
Profundidad	Profundo	4	4	25	2	29.0625
	Moderadamente profundo	3				
	Poco profundo	2				
	Muy poco profundo	1				
Color	Muy oscuro	4	4	25	2	29.0625
	Medio brillante	3				
	Muy claro	2				
	Opaco	1				
Compactación	Alta	1	3	5	1.5	7.75
	Media	2				
	Baja	3				
Pedregosidad	Poco pedregoso	5	5	20	2.5	18.6
	Pedregoso	4				
	Muy pedregoso	3				
	Excesivamente pedregoso	2				
	Ripioso	1				
Pendiente	Llano	6	6	25	3	19.375
	Suavemente inclinado	5				
	Inclinado	4				
	Moderadamente escarpado	3				
	Escarpado	2				
	Muy escarpado	1				
Total						103.85
Máximo					4.799	
Mínimo					1.038	

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 IDENTIFICACION Y PRIORIZACION DE INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO

4.1.1 Identificación de los indicadores locales

Los indicadores identificados por el agricultor en los talleres fueron los siguientes:

- a) Pendiente
- b) Profundidad
- c) Color
- d) Pedregosidad
- e) Materia orgánica
- f) Textura
- g) Compactación

Estos indicadores fueron dados en el léxico local y luego fueron interpretados en los términos reconocidos técnicamente.

4.1.2 Priorización de los indicadores identificados

En esta etapa se notaron ciertas discrepancias entre los agricultores, ya que fue evidente que el indicador más importante para cada agricultor varia de acuerdo a la situación particular de cada uno de ellos. En este sentido, no se pudo determinar en forma exacta cual es el parámetro común y más importante para todos los agricultores en general para esta microcuenca en particular.

Sin embargo, se notó cierta tendencia en algunos de los agricultores hacia los indicadores más resaltantes como son el contenido de materia orgánica, la pendiente, el color, la pedregosidad y el drenaje.

4.2 MAPEO PARTICIPATIVO

Este trabajo fue desarrollado por los agricultores en diversas etapas, ellos dibujaron sobre una fotografía aérea las áreas que resaltan con algunos indicadores como color, pendiente, drenaje y otros dentro de la microcuenca. En el Anexo 1 se presentan las delimitaciones sugeridas por el productor según sus conocimientos de la microcuenca.

Dicho mapa fue contrastado con el mapa de puntos de muestreo en el cual se identifica las características de cada punto. Según las observaciones y mediciones de campo y los análisis de laboratorio, se observaron discrepancias así como aciertos por parte de los agricultores. Se pudo apreciar como los productores se ubican y conocen su microcuenca y la efectividad de la metodología (Anexo 2).

Para cada zona seleccionada, los agricultores consideraron los parámetros más resaltantes según su percepción. Es por eso que no todos los parámetros son considerados para cada una de las zonas.

Se pudo comprobar que en forma general los agricultores conocen o identifican las características generales de su microcuenca. Sin embargo a nivel de algunos parámetros sus percepciones no concuerdan con las mediciones y observaciones del campo (Anexo 2).

4.3 VARIABLES FISICO-QUÍMICA DEL ESTUDIO Y SU TENDENCIA

En la mayoría de los suelos muestreados las variables químicas mostraron niveles bajos.

Las variables químicas medidas en el laboratorio fueron los macronutrientes (N, P, K) y los niveles de Ca, y Mg. Para ello se utilizaron las escalas (alto, medio y bajo). A continuación se describen las tendencias de los elementos antes mencionados.

4.3.1 Niveles de N

Este parámetro siguió una tendencia similar a la del contenido de materia orgánica, debido a la relación existente entre ambos parámetros (Figura 2).

4.3.2 Niveles de materia orgánica

Este parámetro presentó una tendencia a los niveles medios, sin embargo un buen número de las parcelas corresponden a la categoría de niveles bajos de m.o. Los niveles altos de m.o. corresponden a una mayor frecuencia en la zona de producción de café, ubicadas en la parte alta de la microcuenca (Figura 3).

Niveles de P, K, Ca y Mg

Para estos elementos se puede observar una tendencia muy fuerte de parcelas con contenidos bajos en todos los puntos muestreados. Por lo que se puede decir que se tratan de suelos con contenidos de nutrientes sumamente bajos, los valores obtenidos se pueden observar en las Figuras 4,5,6,7.

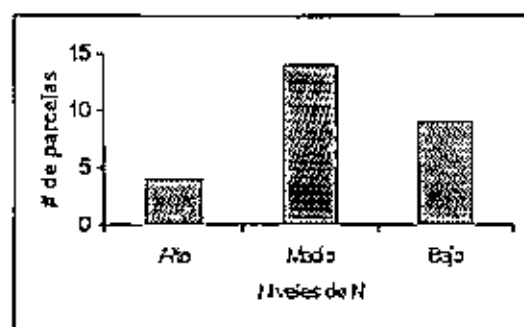


Figura 2. Niveles de nitrógeno

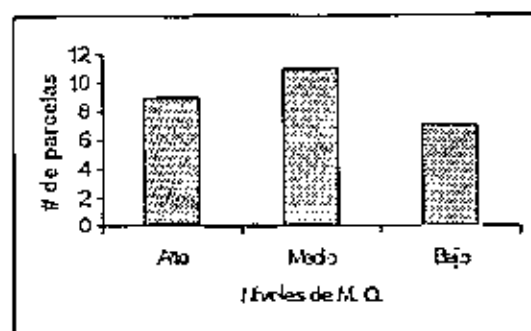


Figura 3. Niveles de materia orgánica

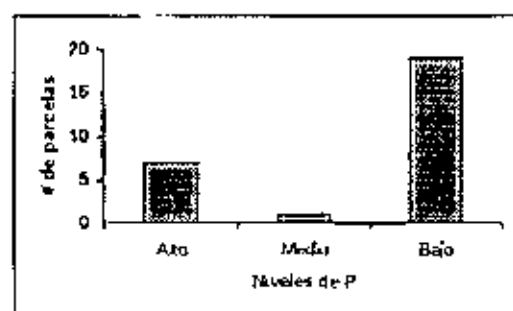


Figura 4. Niveles de fósforo

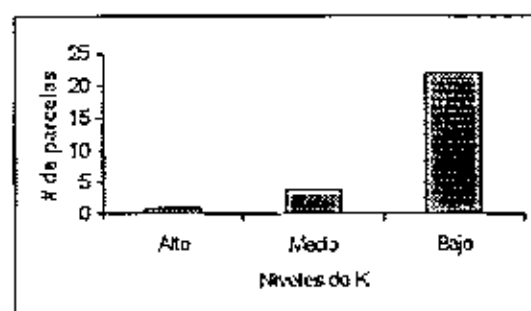


Figura 5. Niveles de potasio

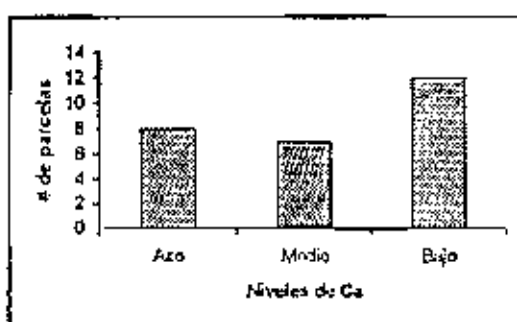


Figura 6. Niveles de calcio

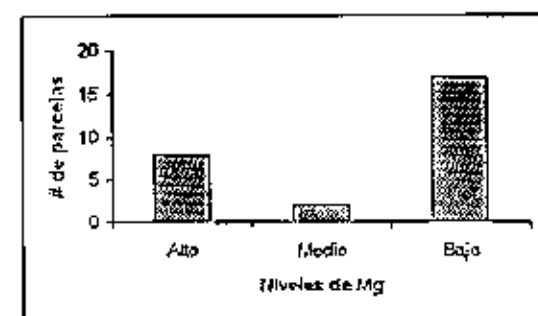


Figura 7. Niveles de magnesio

2.4 PROPORCION DE LAS CATEGORIAS DADAS POR LOS AGRICULTORES

a) Pedregosidad. Para este parámetro se usaron tres categorías, la de mayor proporción es "no hay piedra" la cual representa el 40% del total de las muestras. Otra categoría corresponde a la de moderadamente pedregoso y pedregoso según la clasificación del CIMMYT (1994). En la categoría de balastro se encuentra el 11% del total de las muestras corresponde claramente a la categoría de excesivamente pedregoso. Se encontró que la categoría de "poca piedra" dada por los agricultores, presentó mucha variabilidad, por lo que no se puede definir en forma clara a la categoría a la que corresponde. En el Cuadro 16 se observan los valores numéricos.

b) Color. Los agricultores usaron con mas frecuencia tres categorías de colores para los suelos de su región. En este caso "Colorado" (Cuadro 16) fue usado en un 40 % del total de muestreos. Este color descrito por los agricultores, corresponde a la categoría del CIMMYT (1994) de muy oscuro. La designación de color negro es la segunda categoría más frecuente, ésta corresponde a la categoría de medio o brillante. Según la tabla de valores dentro de esta categoría se incluyen las designaciones de morena, café y rojo claro que utilizan los agricultores.

En el caso del color se observó un alto grado de relación entre la clasificación del agricultor y la categorización del CIMMYT ya que según los análisis estadísticos es una de las que presentó una correlación con mayor significancia (0.003), esto da lugar a elaborar una clasificación mas completa de las categorías de colores dadas por los agricultores.

c) Profundidad. De las categorías mencionadas por los agricultores la más frecuente fue la de "profundos" (Cuadro 16) la cual corresponde a la categoría del CIMMYT (1994) de moderadamente profundo y profundo. La segunda más frecuente fue la de 2-3 cuartas la que corresponde a la categoría de poco y muy poco profundo. En este indicador hubo un alto grado de variabilidad, por lo que no existe una correlación suficientemente significativa, por lo anterior sería totalmente válido realizar una categorización de las designaciones que usan los agricultores para la profundidad del suelo.

d) Textura. Para este parámetro la designación textura "suave" con un 41 por los agricultores. Si se relaciona con las proporciones de arena, limo y arcilla que contiene esta clasificación corresponde a un suelo de textura media según la clasificación del CIMMYT (1994). La otra designación frecuente fue la de "arenosito", no obstante ésta también cae dentro de la clasificación de suelo de textura media; la de barro mas frecuentemente corresponde a la clase de suelos finos.

e) Materia orgánica. Dentro de este parámetro resaltaron dos categorías que son: "no tiene capa" y "tiene capa". La primera es la más frecuente, representando el 70 % del total de las muestras colectadas. Este parámetro no se puede relacionar con la clasificación dada del contenido de materia orgánica, ya que no existe ningún grado de correlación entre ellos según el análisis. Esto puede deberse a que los agricultores no tienen el concepto claro y no pueden identificarla correctamente. La segunda clasificación de "tiene

capa" dada por los agricultores tampoco sigue una tendencia que permite relacionarlo con los niveles dados según la cantidad de m.o. presente en los suelos.

f) **Pendiente.** Para este indicador los agricultores mencionaron en la misma proporción los términos de "parejo" y "falda", que fue del 18.5 %, para los tipos de pendiente en la zona. La primera tiene más correspondencia con la categoría de inclinado que es una de las categorías dadas por la FAO (1979) para la clasificación de niveles de pendiente en un punto de muestreo. El término "falda" es menos uniforme en cuanto a su correspondencia con las categorías de la FAO, pero se observan que en varios de ellos corresponde a las de moderadamente escarpado y escarpado. Por otro lado se pudo notar que el término "medio inclinado" también salió con cierta frecuencia, (11% del total de muestras). Este parámetro tiene cierta correspondencia con la clasificación de "escarpado" (Cuadro 16).

Este indicador no presentó una correlación significativa en la clasificación utilizada por los agricultores y las categorías utilizadas por la FAO.

Cuadro 16. Cantidades relativas de los términos de mayor uso por los agricultores

Categorías	Porcentaje (%)
Pedregosidad	
No hay piedras	40
Poca piedra	15
Balastro	11
Otros	34
Color	
Colorado	40
Negro	30
Café	11
Otros	19
Profundidad	
Profundos	51
2-3 Cuartas	18,5
Otros	30,5
Textura	
Suave	41
Arenosito	18,5
Barro	11
Otros	29,5
Materia orgánica	
No tiene capa	70
Tiene capa	18,5
Otros	11,5
Pendiente	
Parejo	18,5
Falda	18,5
Medio inclinado	11
Otros	52

4.5 ANALISIS ESTADISTICO

4.5.1 Resultados del análisis de correlación de parámetros físicos

4.5.1.1 Pendiente. Para este parámetro se hizo un análisis de correlación entre lo que el agricultor utiliza más frecuentemente para designar un tipo de pendiente determinado y la medida de éste en unidades de porcentaje, pero transformado a categorías mencionadas en el capítulo de métodos (Cuadro 17).

Según el análisis estadístico no existe correlación entre las categorías dadas por los agricultores y la utilizada en este caso el de la FAO.

4.5.1.2 Profundidad. Los valores dados por los agricultores para este parámetro son comparables con las categorías dadas por el CIMMYT (1994). Sin embargo, el grado de correlación de Spearman para comparaciones entre categorías dio no significativo y un valor negativo en el coeficiente (Cuadro 17).

4.5.1.3 Textura. En este indicador se midió la percepción del agricultor en cuanto a la proporción de los componentes arena, limo y arcilla del suelo. Para este caso según los resultados estadísticos, no fue significativa la correlación de los agricultores y la categorización utilizada para la clasificación de las texturas, dadas por el CIMMYT (1994), la cual clasifica la textura en gruesa, media, fina y muy fina. Los valores numéricos del análisis estadístico se detallan en el Cuadro 17.

4.5.1.4 Materia orgánica. La correlación obtenida en cuanto a la opinión del productor no fue significativa lo que puede deberse a la baja percepción de los agricultores en cuanto a este parámetro, o la relación que los mismos pueden hacer en cuanto a otros aspectos. En el Cuadro 17 se detallan los valores numéricos del análisis estadístico.

4.5.1.5 Pedregosidad. Este indicador es probablemente uno del mismo, los que el agricultor lo determina de manera más fácil, debido a la visualización de la misma. Este indicador tuvo un alto grado de correlación con las clasificaciones utilizadas para los distintos rangos de pedregosidad, para este caso fue utilizado en dado por el CIMMYT (1994). Los valores estadísticos son detallados en el Cuadro 17.

4.5.1.6 Color. Este es probablemente uno de los indicadores más importantes desde el punto de vista del agricultor. Los agricultores expresan muchos comentarios con respecto a las características que este indicador puede expresar e influir, tales como el contenido de

materia orgánica y la productividad. En el análisis estadístico se obtuvo como resultado un grado de correlación muy significativa del 0.003, por lo que se puede inferir que los agricultores poseen una percepción buena de los niveles de colores de los suelos. En este caso se agruparon en cuatro categorías de acuerdo a la clasificación dada por el CIMMYT (1994), según la relación de la coloración del suelo con otros parámetros químicos de la misma (Cuadro 17).

Cuadro 17. Valores numéricos del análisis de correlación de las categorías sugerida por el agricultor y las categorías técnicas

Correlación de los niveles de pendiente		
Correlación de Spearman	Coefficiente de correlación	0.01
	Significancia	0.961
	N	27
Correlación de categorías de profundidad		
Correlación de Spearman	Coefficiente de correlación	-0.186
	Significancia	0.353
	N	27
Correlación de las categorías de clases de textura		
Correlación de Spearman	Coefficiente de correlación	0.054
	Significancia	0.789
	N	27
Correlación de las categorías de materia orgánica		
Correlación de Spearman	Coefficiente de correlación	-0.05
	Significancia	0.803
	N	27
Correlación de los niveles de pedregosidad		
Correlación de Spearman	Coefficiente de correlación	0.658
	Significancia	0.0001
	N	27
Correlación de las categorías de colores		
Correlación de Spearman	Coefficiente de correlación	0.543
	Significancia	0.003
	N	27

De los análisis estadísticos se puede inferir que los agricultores son capaces de hacer una clasificación adecuada de los colores, por lo que es válido hacer una categorización de los nombres que ellos utilizan para designar los colores de los suelos en esta región, para cuantificar en una escala paralela e interpretable en unidades técnicas.

La clasificación usada para este análisis fue la dada por el CIMMYT (1994), la cual fue utilizada para realizar una cuantificación de las categorías utilizadas por los agricultores de la zona, la clasificación se resume en el Cuadro 18.

La gama de colores que se incluyen para esta clasificación son cinco categorías de tintes, que son: 10 R, 2.5 YR, 5 YR, 7.5 YR, 10 YR.

Cuadro 18. Categorización de los colores usados en Luquique, Yoro, Honduras

Categorías	Colores incluidos	Categorías incluidas de la tabla Munsell	Designaciones utilizadas por los agricultores de la región
Muy oscuro	Negro, gris muy oscuro, café muy oscuro, rojo oscuro	10 R: 3/6 2.5 YR: 4/6, 4/8, 3/6 5 YR: 2.5/1, 3/2, 3/3, 3/4, 2.5/2, 4/1, 4/2, 3/1, 7.5 YR: 5/6, 5/8, 4/6, 2.5/2, 2.5/3, 3/2, 3/3, 4/3, 2.5/1, 3/1, 4/1, 10 YR: 2/2, 2/1, 3/1, 4/1,	Colorado
Medio o brillante	Café oscuro, café amarillento o rojizo, café, amarillo pálido, rojo grisáceo	10 R: 5/2, 5/3, 5/4, 4/2, 4/3, 3/2, 3/3, 3/4, 2.5/24/4, 5/6, 5/8, 4/6, 4/8, 2.5 YR: 6/6, 6/8, 5/6, 5/8, 5 YR: 5/3, 5/4, 4/3, 4/4, 3/2, 3/3, 3/4, 2.5/2, 4/2, 4/3, 4/4, 3/2, 3/3, 3/4, 2.5/2, 2.5/3, 2.5/4, 7.5 YR: 5/2, 5/3, 5/4, 4/2, 4/3, 4/4, 10 YR: 4/4, 4/6, 3/4, 3/6, 5/4, 5/6, 5/8,	Rojo claro Morena Café Negro
Muy claro	Blanco, gris claro, café pálido, amarillo pálido, rojo pálido	10 R: 5/2, 5/3, 5/4, 4/2, 4/3, 4/4, 6/1, 5/1, 5 YR: 6/3, 6/4, 7/1, 7.5 YR: 7/1, 6/3, 6/4,	Amarillo
Opaco o moteado	Gris opaco, oliva, gris azulado, café grisáceo, moteado amarillo	7.5 YR	Bareteado

4.6 CALIFICACION DE LOS SUELOS SEGUN INDICES DESARROLLADOS

Para esto se desarrollaron índices con los que se pudo clasificar los suelos desde un punto de vista mas objetivo y considerando la menor cantidad de variantes que pudieran influir en la determinación calidad general de un suelo y al mismo tiempo que pudiera explicar de la mejor manera la variación total que se presenta en esos suelos en particular.

4.6.1 Índice de fertilidad del suelo (IFS)

Para este se obtuvieron valores tan altos como 3 y bajos como 1.31, la media se ubicó en un valor de 2.06, muy poco por arriba del valor medio que puede tomar este índice que es de 2.00. El 18.5 % de las parcelas estudiadas se situaron en el rango bajo, la misma

cantidad para los de rango alto, y el 63% se situaron como medios para este índice. En la Figura 8 se observa la tendencia hacia los valores medios de la misma.

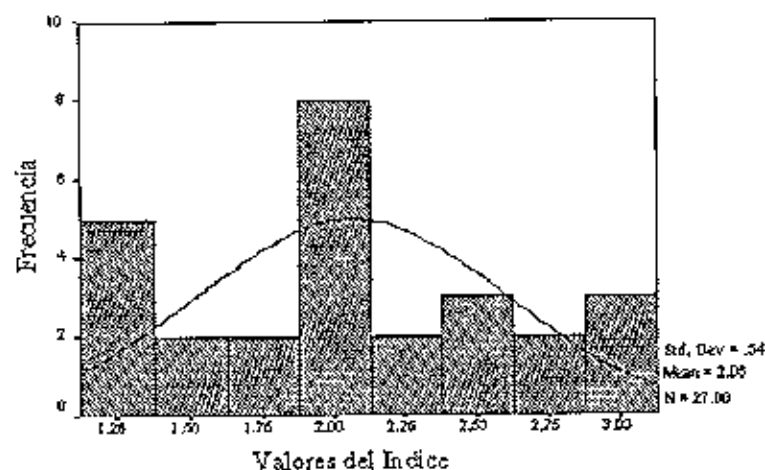


Figura 8. Distribución de frecuencias de los valores del índice de fertilidad del suelo

4.6.2 Índice de acidez y alcalinidad del suelo (IAA)

Este índice mostró una media de 1.47, lo cual está por debajo del valor medio que puede tomar este índice de 1.85. Así el 67% de los valores están por debajo de la media.

La mayor parte de las parcelas resultó con valores del índice bajos y regulares. Los bajos corresponden al 41% y en regulares representan en 33% del total, es decir, estas dos categorías suman 74 % mientras que el 26% de las parcelas corresponden a la categoría de alta. Pocas muestras corresponden a esta categoría, razón por la cual se puede considerar como uno de los factores con mayor dificultad en estos suelos. En la Figura 9 se observa la fuerte tendencia de las parcelas a adquirir valores bajos en este índice.

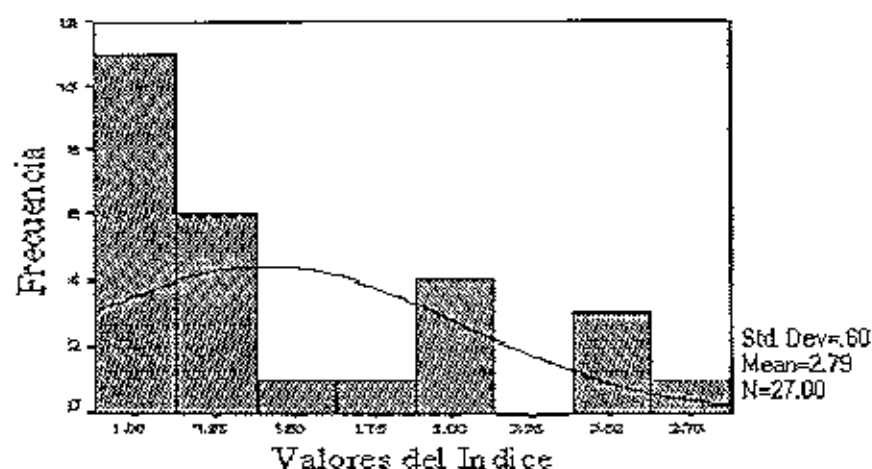


Figura 9. Tendencia de las frecuencias del índice de acidez y alcalinidad del suelo

4.6.3 Índice de componentes físicos poco modificables (ICFPM)

Para este índice los valores para bueno fueron del 19%, mientras que en 21% cayeron en la clasificación de malos, y el 60% como medios, la media fue de 2.79, también por debajo del valor medio que puede tomar este índice el cual es de 2.92. Como se puede apreciar en la Figura 10 no se presentaron valores mas altos que 3.38, a pesar de que puede tomar valores de hasta 4.8.

En general, se puede decir que la tendencia de los tres índices fue muy parecida, y los valores tienden a ser bajos.

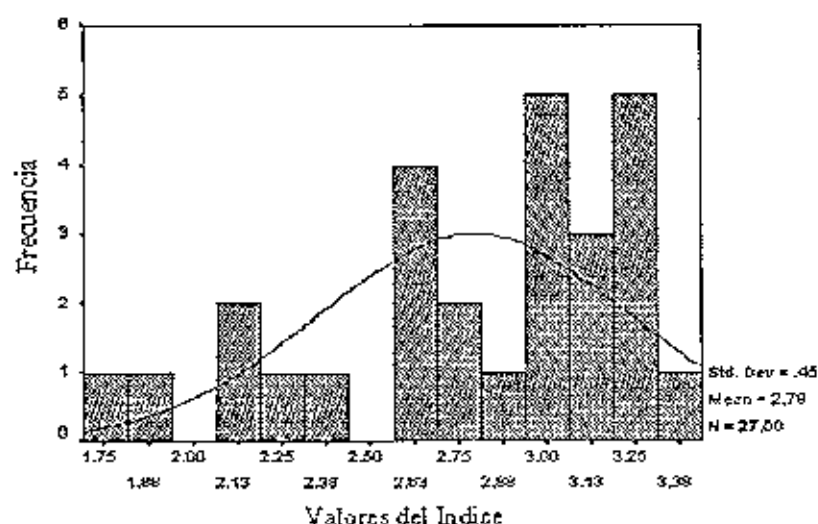


Figura 10. Distribución de frecuencias del índice de componentes físicos poco modificables

4.6.4 Clasificación de los suelos según los tres índices

Se pretendió con esto crear una clasificación de los suelos lo mas cerca posible a la calidad verdadera del suelo, incluyendo muchas de las variables de mayor influencia.

Cuadro 19. Clasificación según los índices y la comparación con la del agricultor

Parcela	Índice de fertilidad del suelo	Índice de acidez y alcalinidad del suelo	Índice de componentes físicos poco modificables	Índice general	Categorías según los índices	Clasificación dada por el agricultor
1	2.69	0.88	3.22	6.79	Medio	Medio
2	2.45	0.88	3.29	6.62	Medio	Bueno
3	1.31	0.88	3.03	5.22	Malo	Malo
4	1.31	0.88	2.62	4.81	Malo	Bueno
5	2	0.88	3.21	6.09	Medio	Malo
6	1.32	0.88	3.21	5.41	Malo	Medio
7	3	0.88	1.78	5.66	Malo	Malo
8	3	0.88	3.1	6.98	Bueno	Bueno
9	2	0.88	3.13	6.01	Medio	Medio
10	3	2.02	3.05	8.07	Bueno	Bueno
11	2	2.02	2.65	6.67	Medio	Medio
12	1.76	0.88	1.9	4.54	Malo	Malo
13	2	1.16	2.67	5.83	Medio	Bueno
14	2.45	1.16	2.38	5.99	Medio	Malo
15	1.69	0.88	2.76	5.33	Malo	Medio
16	2.76	2.02	2.09	6.87	Medio	Bueno
17	1.62	1.73	2.27	5.62	Malo	Malo
18	2.21	2.41	2.09	6.71	Medio	Medio
19	2	1.94	2.84	6.78	Medio	Bueno
20	2.45	1.35	2.73	6.53	Medio	Medio
21	1.62	2.63	3.23	7.48	Bueno	Malo
22	2	2.42	3.01	7.43	Bueno	Bueno
23	2	1.54	2.65	6.19	Medio	Medio
24	2.31	2.42	3.04	7.77	Bueno	Malo
25	2	1.16	3.03	6.19	Medio	Bueno
26	1.31	1.16	3.13	5.6	Malo	Malo
27	1.31	1.16	3.32	5.79	Malo	Medio
Niveles	Rangos				-----	-----
Alto	<1.46	>0.81	<2.34	<5.72	-----	-----
Medio	1.46 - 2.54	0.81 - 2.01	2.34 - 3.24	5.73 - 6.90	-----	-----
Bajo	>2.54	>2.01	>3.24	>6.91	-----	-----

Del total de las comparaciones realizadas entre la clasificación en base a los índices y la de la percepción de los agricultores se observó que de las 27 muestras 14, (52 %) coinciden, es decir, existe un grado de correlación con significancia de 0.087, por lo que los productores tienen una buena percepción de lo que es un suelo bueno, regular y malo. Los índices incluyen componentes químicos que los agricultores no pueden percibir en forma directa, pero se dan cuenta de ello a través de otros factores que se pueden detectar en el campo tales como el desarrollo de las plantas y la producción de los cultivos.

4.6.5 Frecuencia de las categorías de suelos para cada índice

Como se observa en la Figura 11 la tendencia que tienen las parcelas en cuanto a los diferentes índices son similares. Por ejemplo para el índice de acidez y alcalinidad se puede observar que la proporción más alta corresponde a suelos malos. Es por ello que este índice debería ser considerado de primer orden al momento de planificar un programa de mejoramiento de los suelos en la microcuenca.

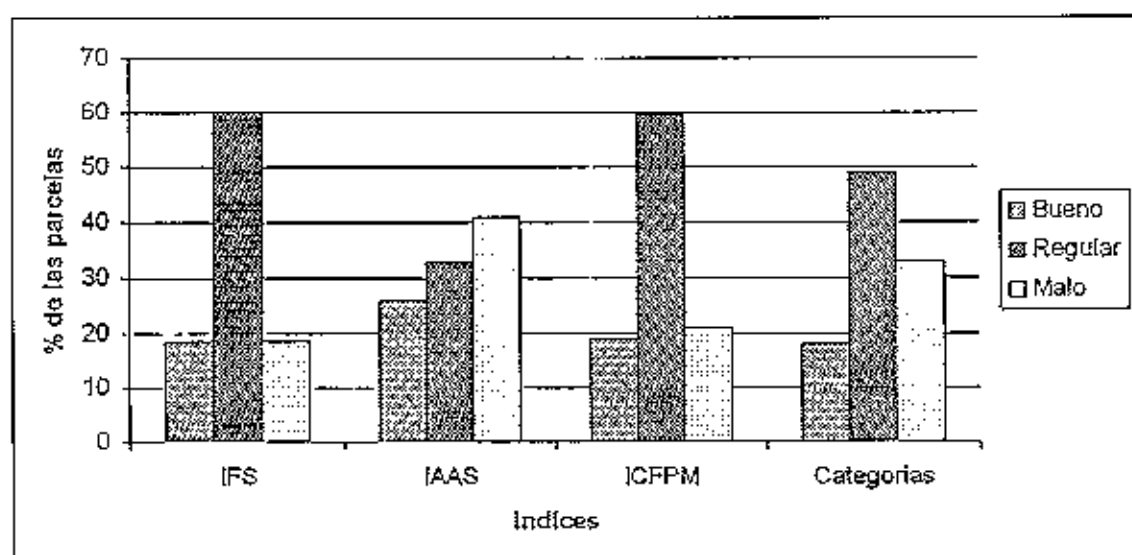


Figura 11. Frecuencia de las categorías para cada uno de los índices

4.7 EXPLICACION DE LAS VARIABLES

Con los tres índices elaborados se logró explicar el 79.4 % de la variabilidad de los suelos, estudiados con las 12 variables que fueron seleccionadas y agrupadas. La explicación de cada uno se aprecia en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Variabilidad explicada por los índices elaborados

Índices	Variabilidad explicada (%)
Índice de componentes físicos poco modificables	32.8
Índice de acidez y alcalinidad del suelo	23.7
Índice de fertilidad del suelo	22.9
Total	79.4

5 CONCLUSIONES

Sobre la percepción de los agricultores

- La percepción de los agricultores en cuanto a la pedregosidad y el color presentó la mayor correlación con las mediciones técnicas de campo.
- La variabilidad en la opinión para los otros indicadores, al menos en lo que respecta a este estudio, fue muy alta por lo que no pueden ser considerados como indicadores cuantificables.

Sobre índices de la calidad de suelos

- Los niveles de nutrientes en los suelos de Luquigüe son en general bajos, asimismo hay ciertos parámetros físico-químicos desfavorables que influyen en la productividad. Según los índices calculados los suelos de la microcuenca se clasifican en su mayoría como suelos malos y regulares.

Sobre los agricultores

- Los agricultores clasificaron los suelos en bueno, regular y malo y para ello utilizaron otros parámetros que determinan la calidad del suelo y que para este estudio no fueron considerados. En este sentido probablemente, ellos le dan menos importancia a los parámetros físicos visibles.

6 RECOMENDACIONES

A los agricultores de la zona:

- Implementar medidas de protección y mejoramiento de los suelos que ayuden a incrementar la productividad.

A las instituciones que trabajan en la región:

- Continuar con los programas capacitación de los agricultores en la identificación y categorización de los indicadores de calidad de suelo, por medio de metodologías como ferias de suelos del CIAT.
- Implementar un programa agresivo de mejores prácticas de manejo de suelos para aumentar la productividad.

Para estudios futuros:

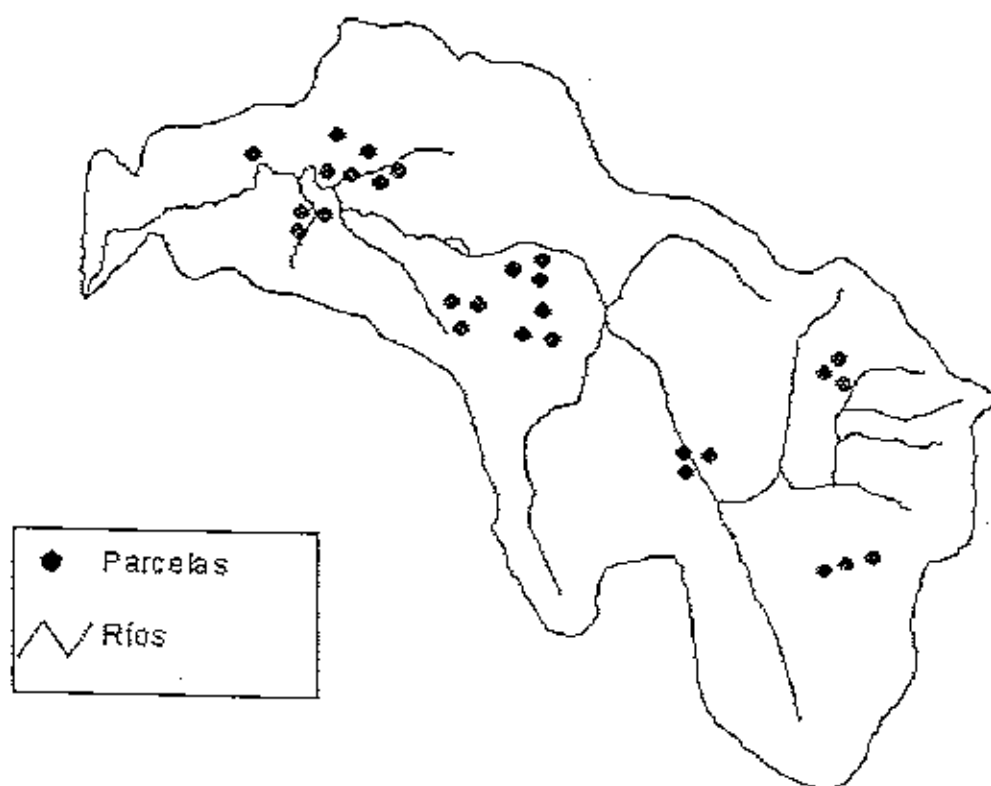
- Evaluar las características de los suelos utilizando para ello grupos de agricultores que en conjunto juzguen los sitios y suelos y de esta forma reducir la variabilidad individual en las percepciones.
- Realizar una clasificación de los suelos de la microcuenca como base para analizar la calidad, y así uniformizar los criterios de juzgamiento de los suelos.
- Elevar el número de agricultores, fincas y muestras de suelo para disminuir el grado de error.
- Utilizar formatos de encuestas para la toma de datos de las fincas de forma facilitar la clasificación posterior de los términos utilizados por los agricultores.
- Relacionar los índices de calidad obtenidas a través de este estudio con la productividad de los cultivos.

7. BIBLIOGRAFIA

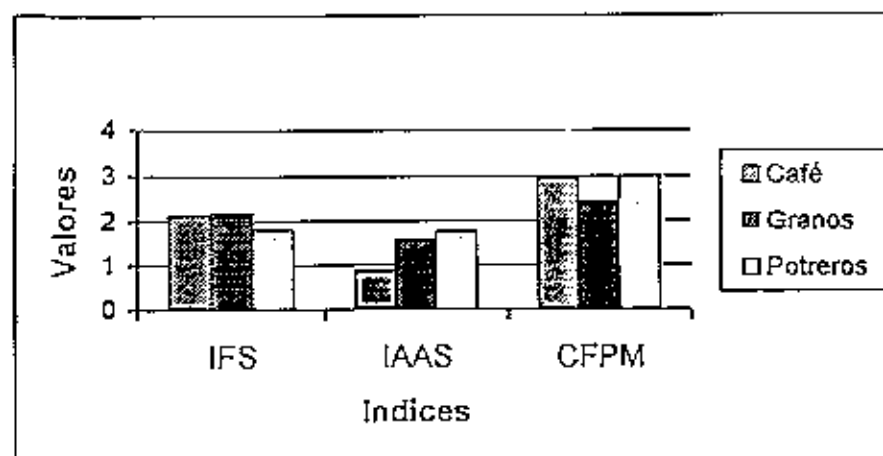
- ALFORJA, 1988. Técnicas prácticas para la educación popular. CEP, Centro de Estudios y Publicaciones. Tomo I y II. 8 ed. San José, Costa Rica
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. 1980. Física de Suelos. México. Editorial Hispano-Americana. 529p.
- BRADY, N.; WEIL, R. 1999. The Nature and Properties of Soils 12 th, Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey USA. 881p.
- CAMINO, R.; MULLER, S. 1993. Sostenibilidad de la agricultura y los recursos naturales: bases para establecer indicadores. San José, Costa Rica, IICA-GTZ 117 p.
- CIMMYT 1994. Diagnóstico de factores que limitan la productividad del suelo. Manual didáctico. México. 70p.
- COX C., 1999. The Soil and Water Conservation Society. 1999. http://www.swcs.org/t_resources.htm
- DEDC/PAC, 1999. United Nations Environment Program. Drylands Ecosystem and Desertification Control Program Activity Center <http://www.unep.org/unep/convention/sec.htm>
- FAO, 1979. Suelos y fertilización. Dirección General de Educación y Tecnología Agropecuaria, México, D.F. Litográfica Ingramex S.A. p. 1-37. Serie de manuales para la educación agropecuaria: suelos y agua.
- GARCÍA, I.; DORRONSORO, C.; 1999. Contaminación del suelo <http://www.geocities.com/athens/Crete/9082>
- KARLEN, D.; STOTT, D. 1994 A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment, Special publications No. 35 Wisconsin USA. Soil Sciences Society of America
- LEOPOLD, A.; 1996. The Soil Quality Concept United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

- NIEMEIJER, D. 1995 Indigenous soil classifications: complications and considerations. Indigenous Knowledge and Development Monitor Volume. The Netherlands, 23p.
- PANLAGUA, P.A. 1997. Caracterización y Análisis Comparativo de los Niveles de Degradación en Suelos de la Microcuenca La Lima, Tatumbla, Fco. Morazan. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Zamorano, Honduras. 92p.
- REICOSKY, D.; FONCELLA, F. 1998. Cover crop and soil quality interactions in agroecosystems. Journal of Soil and Water Conservation. 59 p.
- TURCIOS W.; TREJO M.; BARRETO H.; BRIZUELA L. CIAT, Indicadores Locales de Calidad de Suelo, Reporte octubre de 1998, 19 p.
- TREJO M.; BARRIOS E.; TURCIOS W.; BARRETO H. 1999. Instrumentos Participativos para la Toma de Decisiones en el Manejo de los Recursos Naturales. Cali, Colombia. 255p.
- VAN WAMBEKE, A. 1992. Soils of the Tropics, Properties and Appraisal. Ithaca New York. McGraw-Hill, Inc. 343p.

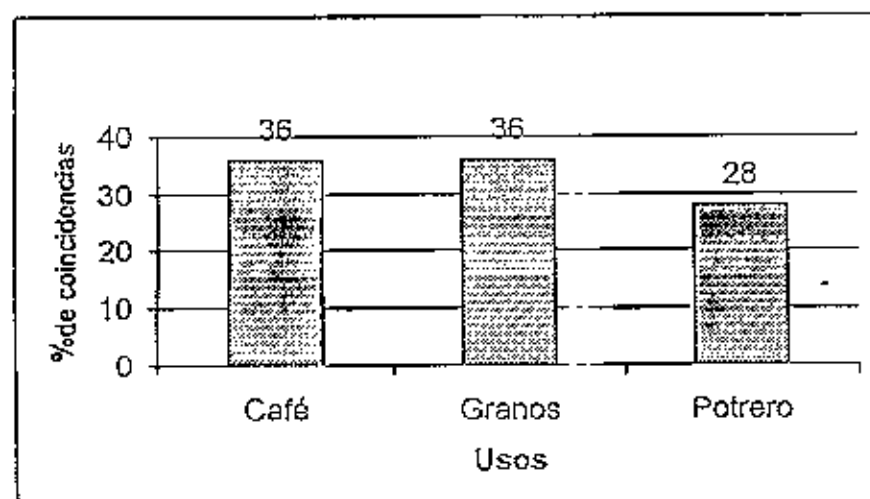
Anexo 1. Ubicación de las fincas y puntos de toma de muestras de la microcuenca de Luquigüe



Anexo 2. Distribución de índices según uso del suelo



Anexo 3. Percepción del agricultor por tipo de uso



Anexo 4. Equivalencias entre la clasificación del CIMMYT de niveles de pedregosidad y el agricultor

Categorías de la FAO	Categorización por el agricultor
Moderadamente pedregoso	No hay piedra
Pedregoso	No hay piedra
Muy pedregoso	Poca piedra
Excesivamente pedregoso	Piedroso
Ripioso	Balastro

Anexo 5. Comparación entre los análisis y las características dadas por los agricultores

Parámetro	Áreas zonificadas por los agricultores											
	1		2		3		4		5		6	
Color	Agricultor	Análisis	Agricultor	Análisis	Agricultor	Análisis	Agricultor	Análisis	Agricultor	Análisis	Agricultor	Análisis
	Rojo	Rojo grisáceo	Negros	Rojo grisáceo	Rojo	Rojo grisáceo	Amarillo	Rojo oscuro	Negro	Rojo oscuro	Negros	Gris rojo oscuro
Profundidad	Delgado	Más de 1 m	Profundos	Más de 1 m	Delgados	50 cm		Más de 1 m	Delgados	Más de 1 m	Profundidad media	50 cm
Textura	Barrialoso	Francos	Arenoso	Franco arcillosos	Barrialoso	Franco arcilloso		Arcilloso	Arenoso	Arcillo arenoso	Barrialosos	Franco
Pendiente	Faldoso	35%	Muy faldoso	25%	Declives	25%	Fuente declive	38%	Faldoso	45%	Andabics	15%
Materia orgánica		Media	Buena capa	Medio		Alto		Bajo		Alto	Lavados	Medio

Anexo 6. Elaboración de los índices

Índice de componentes físicos poco modificables

Variable	Categoría	Puntaje	Valor máximo		Ponderación		Media	Producto B x C		(B* Tot. D)/100	Ponderación ajustada	
			A		B			D			E	E/C
Profundidad	Profundo	4										
	Moderadamente profundo	3	4		25		2	50		58.125		29.0625
	Poco profundo	2										
	Muy poco profundo	1										
Color	Muy oscuro	4										
	Medio brillante	3	4		25		2	50		58.125		29.0625
	Muy claro	2										
	Opaco	1										
Compactación	Alta	1										
	Media	2	3		5		1.5	7.5		11.625		7.75
	Baja	3										
Pedregosidad	Poco pedregoso	5										
	Pedregoso	4										
	Muy pedregoso	3	5		20		2.5	50		46.5		18.6
	Excesivamente pedregoso	2										
	Ripioso	1										
Pendiente	Llano	6										
	Suavemente inclinado	5										
	Inclinado	4	6		25		3	75		58.125		19.375
	Moderadamente escarpado	3										
	Escarpado	2										
	Muy escarpado	1										
Total			232.5		232.5		232.5		232.5		103.85	
			Máximo		4.799		Máximo		4.799			
			Mínimo		1.038		Mínimo		1.038			

Índice de acidez y alcalinidad del suelo

Variable	Categoría	Puntaje	Valor máximo		Ponderación		Media		Producto B x C		(B* Tot, D)/100		Ponderación ajustada	
			A		B		C		D		E		E/C	
Ca	Alto	3	3		30		1.5	45		42.75		28.5		
	Medio	2												
	Bajo	1												
Mg	Alto	3	3		30		1.5	45		42.75		28.5		
	Medio	2												
	Bajo	1												
Fosforo	Alto	3	3		10		1.5	15		14.25		9.6		
	Medio	2												
	Bajo	1												
Ph	Levemente ácido	4	4		30		2	60		42.75		21.375		
	Moderadamente	3												
	Fuertemente	2												
	Extremadamente	1												
Total		13		100	6.5	165	142.5	87.875						
		Máximo		2.849										
		Mínimo		0.8787										

Índice de fertilidad del suelo

Variable	Categoría	Puntaje	Valor máximo	Ponderación	Media	Producto B x C	$((B \times \text{Tot. D})/100)$	Ponderación ajustada E/C
Materia orgánica	Alto	3	3	45	1.5	67.5	67.5	45
	Medio	2						
	Bajo	1						
CIC	Alto	3	3	31	1.5	46.5	46.5	31
	Medio	2						
	Bajo	1						
Nitrógeno	Alto	3	3	24	1.5	36	36	24
	Medio	2						
	Bajo	1						
Total			9	100	4.5	150	150	100
				Máximo	3			
				Mínimo	1			

Anexo 7. Mapa de zonificación sugerida por los agricultores en el mapeo participativo



1- Zona con características de coloración roja, delgados (poco profundos), barrialosos (arcillosos) y faldosos (fuerte pendiente)

2- Son suelos muy faldosos, pero gruesos (profundos), son de coloración negra, con buena capa (materia orgánica) y son arenosos.

3- Corresponde a suelos de color rojo, delgados, con pendiente "faldosa" y barrialosos.

4- Suelos de coloración amarilla y con fuertes declives

5- Son de coloración negra, también faldosos, suelos arenosos pero delgados mas útiles para potreros

6- Suelos lavados, de color negro, barrialosos, de profundidad media y andables (poca pendiente)

Factor Analysis

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	Analysis N	Missing N
MO	3.3056	1.6822	27	0
N	.1404	6.875E-02	27	0
P	38.3370	97.2749	27	0
PEDREG	18.3889	21.8088	27	0
PENDIENT	28.3333	18.9635	27	0
PH	4.4744	.7082	27	0
PROFUNDI	.7667	.4031	27	0
PSI	162.9330	71.3369	27	0
CA	881.7407	689.4930	27	0
CIC	16.9556	5.3991	27	0
MG	199.4444	196.7297	27	0
INDI2	1.4067	.6029	27	0
INDI3	2.7937	.4473	27	0
INDI1	2.0581	.5378	27	0

Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	5.197	37.123	37.123	4.592	32.800	32.800
2	3.636	25.967	63.109	3.324	23.744	56.544
3	2.296	16.411	79.520	3.217	22.976	79.520
4	1.025	7.319	86.839			
5	.598	4.271	91.110			
6	.458	3.271	94.380			
7	.262	1.872	96.253			
8	.185	1.319	97.572			
9	9.929E-02	.709	98.281			
10	8.542E-02	.610	98.891			
11	7.306E-02	.522	99.413			
12	4.165E-02	.298	99.711			
13	2.620E-02	.187	99.898			
14	1.431E-02	.102	100.000			

Extraction Method: Principal Component Analysis.

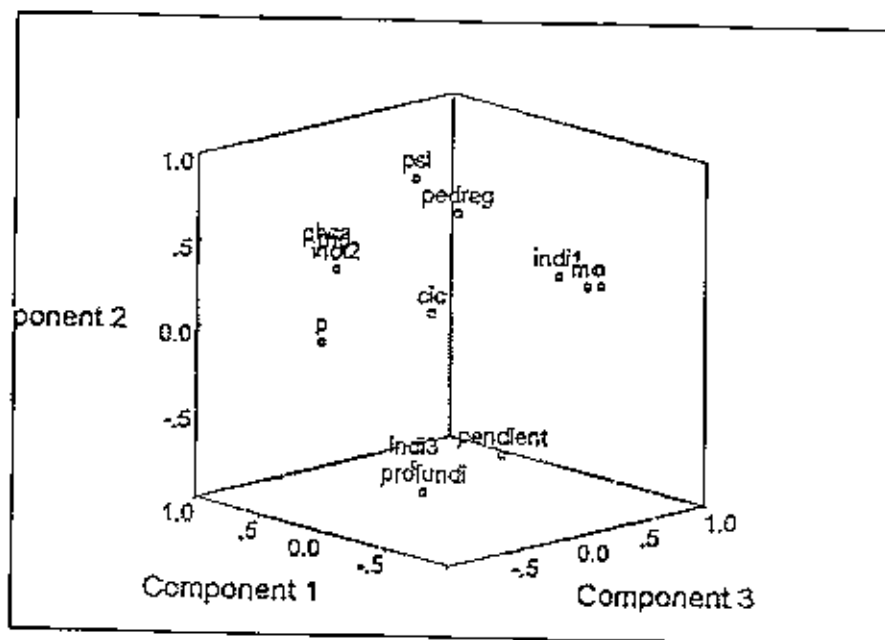
Component Transformation Matrix

Component	1	2	3
1	.861	.505	.051
2	-.330	.462	.823
3	.388	-.729	.565

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Equamax with Kaiser Normalization.

Component Plot in Rotated Space



Component Score Coefficient Matrix

	Component		
	1	2	3
MO	-.010	-.017	.294
N	-.040	.003	.286
P	.194	-.111	-.039
PEDREG	.017	.159	.058
PENDIENT	-.035	-.197	.045
PH	.186	.040	-.048
PROFUNDI	.064	-.293	-.008
PSI	-.051	.303	-.114
CA	.183	.027	.003
CIC	.186	-.135	.198
MG	.193	.012	.004
INDI2	.208	-.024	.025
INDI3	.070	-.249	-.015
INDI1	.048	-.036	.308

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Equamax with Kaiser Normalization.

Component Scores.

Correlations

Correlations^aCorrelations^a

	ARCILLA	ARENA	CA	CALIDAD DE SUELO	CIC	COLOR	COMPACTA	K	LIMO	M/G	MD	N
Pearson Correlation												
ARCILLA	1.000											
ARENA	-.020**	1.000										
CA	-.030**	1.000	1.000									
CALIDAD DE SUELO	-.057	-.057	1.000	1.000								
CIC	-.245	-.245	-.056	1.000	1.000							
COLOR	-.078	-.078	-.055**	-.057	1.000	1.000						
COMPACTA	-.178	-.178	-.050	-.124	-.110	1.000	1.000					
K	-.084	-.084	-.089*	-.318	-.037	-.118*	1.000	1.000				
LIMO	-.169	-.169	-.243	-.099	-.075	-.048	-.280	1.000	1.000			
M/G	-.197	-.197	-.284	-.343	-.002	-.041	-.279	-.378	1.000	1.000		
MD	-.264	-.264	-.791**	-.004	-.548**	-.047	-.262	-.387*	-.366*	1.000	1.000	
N	-.347	-.347	-.053	-.352	-.288	-.257	-.071	-.375	-.053	-.124	1.000	1.000
P	-.187	-.187	-.162	-.182	-.284	-.217	-.041	-.109	-.094	-.240	-.240	1.000
PEDREGOC	-.313	-.313	-.534**	-.168	-.431*	-.166	-.030	-.066	-.273	-.503**	-.369	-.408*
PENDIENT	-.280	-.280	-.266	-.038	-.090	-.351	-.327	-.500**	-.406*	-.406*	-.289	-.217
PH	-.404	-.404	-.544**	-.166	-.108	-.336	-.721**	-.215	-.120	-.372	-.057	-.018
PROFUNDI	-.364	-.364	-.379**	-.055	-.400*	-.002	-.376	-.360	-.210	-.879**	-.220	-.375
RELACCION	-.221	-.221	-.280	-.092	-.103	-.455*	-.792*	-.379	-.379	-.238	-.248	-.282
ARCILLA	-.385*	-.067	-.184	-.292	-.050	-.028	-.066	-.687*	-.350	-.274	-.470*	-.181
ARENA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
CA	-.441	-.441	-.779	-.217	-.688	-.376	-.070	-.398	-.000	-.824	-.284	-.385
CALIDAD DE SUELO	-.749	-.749	-.744	-.744	1.000	-.776	-.034	-.222	-.151	-.002	-.771	-.418
CIC	-.598	-.598	-.744	-.744	-.776	-.538	-.107	-.622	-.090	-.584	-.072	-.365
COLOR	-.587	-.587	-.775	-.775	-.584	-.584	-.853	-.712	-.981	-.003	-.145	-.137
COMPACTA	-.148	-.148	-.034	-.107	-.653	-.030	-.030	-.816	-.836	-.816	-.195	-.277
K	-.578	-.578	-.722	-.822	-.712	-.030	-.143	-.143	-.159	-.167	-.728	-.811
LIMO	-.719	-.719	-.722	-.822	-.712	-.030	-.143	-.143	-.052	-.040	-.380	-.580
M/G	-.324	-.324	-.151	-.080	-.891	-.036	-.159	-.052	-.041	-.041	-.794	-.675
MD	-.183	-.183	-.000	-.981	-.063	-.816	-.187	-.340	-.041	-.041	-.539	-.278
N	-.076	-.076	-.771	-.077	-.143	-.195	-.726	-.280	-.794	-.539	-.000	-.000
P	-.350	-.350	-.418	-.365	-.137	-.277	-.941	-.588	-.075	-.228	-.000	-.000
PEDREGOC	-.112	-.112	-.004	-.352	-.025	-.408	-.775	-.735	-.069	-.002	-.036	-.036
PENDIENT	-.177	-.177	-.107	-.664	-.072	-.072	-.086	-.000	-.035	-.034	-.144	-.276
PH	-.037	-.037	-.003	-.409	-.681	-.087	-.000	-.281	-.552	-.058	-.776	-.927
PROFUNDI	-.062	-.062	-.000	-.786	-.039*	-.991	-.052	-.065	-.294	-.000	-.270	-.099
RELACCION	-.267	-.267	-.157	-.649	-.755	-.017	-.000	-.051	-.063	-.233	-.212	-.140
ARCILLA	-.047	-.047	-.333	-.139	-.836	-.889	-.782	-.000	-.074	-.167	-.013	-.422

** Correlation is significant

* Correlation is significant at

a 1 level (2-tailed)

Correlations*

Pearson Correlation	P	PEDREGOC	PENDIENT	PH	PROFUND	RELACCN
ARCILLA	.313	.268	.401*	.384	.221	.385*
ARENA	.380	.049	.215	.134	.083	.087
CA	.531*	.268	.644*	.879*	.280	.104
CALIDAD DE SUELO	.100	.030	.160	.055	.092	.292
CIC	.431*	.090	.108	.400*	.163	.050
COLOR	.165	.361	.336	.002	.468*	.028
COMPACTA	.058	.327	.721*	.378	.792*	.046
K	.028	.500*	.215	.350	.378	.687*
LIMO	.273	.408*	.120	.210	.378	.360
MO	.603*	.408*	.072	.879*	.238	.274
MO	.350	.289	.057	.220	.246	.470*
N	.403*	.217	.018	.325	.287	.101
P	1.000	.038	.214	.686*	.150	.003
PEDREGOC	.000	1.000	.282	.384	.410*	.447*
PENDIENT	.214	.792	1.000	.552*	.591*	.189
PH	.686*	.364	.562*	1.000	.246	.270
PROFUNDI	.150	.418*	.591*	.246	1.000	.207
RELACCN	.003	.442*	.198	.220	.207	1.000
ARCILLA	.112	.177	.037	.052	.262	.047
ARENA	.050	.807	.282	.505	.754	.738
CA	.004	.107	.003	.000	.167	.303
CALIDAD DE SUELO	.352	.849	.409	.788	.649	.135*
CIC	.025	.654	.591	.039	.755	.803
COLOR	.109	.072	.087	.981	.017	.800
COMPACTA	.776	.006	.000	.052	.000	.762
K	.735	.000	.251	.035	.051	.000
LIMO	.168	.035	.552	.204	.053	.078*
MO	.002	.034	.056	.000	.233	.787*
MO	.058	.144	.778	.270	.212	.013
N	.038	.270	.927	.098	.140	.422
P	.847	.847	.284	.000	.437	.988
PEDREGOC	.139	.139	.139	.062	.033	.621*
PENDIENT	.284	.602	.003	.003	.001	.323
PH	.000	.000	.001	.215	.215	.270
PROFUNDI	.437	.000	.001	.270	.301	.301
RELACCN	.989	.071	.373	.270	.301	.301

at the 0.01 level (2-tailed).

(* the 0.05 level (2-tailed)).