

Línea de base de fertilidad, condiciones físicas del suelo y relación beneficio – costo de un sistema agroforestal y un cultivo en ladera.

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura.

Presentado por

Osmán René Romero Melgar

Zamorano, Honduras
Abril, 2003

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas y jurídicas se reservan los derechos de autor.

Osmán René Romero Melgar

Zamorano, Honduras
Abril, 2003

**Línea de base de fertilidad, condiciones físicas del suelo y
relación beneficio – costo de un sistema agroforestal y un
cultivo anual en ladera.**

Presentado por:

Osmán René Romero Melgar

Aprobado:

Luis Alonso Caballero, M.Sc.
Asesor Principal

Mayra Falck, Licda.
Coordinadora Interina Carrera de
Desarrollo Socioeconómico y Ambiente

Carlos Gauggel, Ph.D.
Asesor

Antonio Flores, Ph. D.
Decano Académico

Marco Granadino, M.Sc.
Asesor

Kenneth Hoadley, Ph. D.
Rector

DEDICATORIA

A Dios por darme ésta nueva oportunidad.

A mis padres, por todo su apoyo, comprensión, amor y cariño que siempre me han mostrado.

A mi hermana y hermanos, por poder contar con Ellos en todo momento.

A mi abuela, por estar siempre pendiente de mí.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiarme a lo largo de mi camino.

A mi asesor principal Luis Caballero, M.Sc. Por todo su apoyo en la formulación y ejecución de éste trabajo.

A Carlos Gauggel, Ph.D. Por su esmero en hacer que éste trabajo se concluyera con los mejores resultados.

A Marco Granadino, M. Sc. Por ayudarme a ver las cosas de una forma integral.

Al Ing. Rony Estrada y a José Fernández. Por su constante apoyo en la obtención de toda la información necesaria para la realización de ésta trabajo.

A mis grandes amigos; Donaldo, Raúl y Allan. Por ser como mis hermanos durante éste año de PIA y porque con su ayuda logré sobreponerme a todos las pruebas que se me presentaron.

A Andrea, Paola y Rhina; por la gran amistad demostrada durante éste año de PIA.

A toda la Clase PIA 2003, porque juntos logramos ésta meta.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

A La Fundación Nippon, que a través del Programa de Becas Ryoichi Sasakawa – Norman Borlaug, financió mis estudios durante mi cuarto año.

Al Proyecto de Apoyo al Mejoramiento de Sistemas Productivos en el Municipio de Güinope, por su contribución financiera para el desarrollo de mi proyecto especial de graduación.

Resumen

Romero Melgar, O. 2003. Línea de base de fertilidad, condiciones físicas del suelo y relación beneficio – costo de un sistema agroforestal y un cultivo anual en ladera. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras. 50 p.

Los sistemas agroforestales manejados de forma adecuada representan una alternativa para el manejo de cuencas abastecedoras de agua. El objetivo del estudio fue determinar el impacto de los sistemas agroforestales que incluyen café como cultivo principal, plátano, árboles frutales, maderables y leguminosas, en diferentes estados de desarrollo, bajo las condiciones nutricionales y físicas del suelo, específicas de cada sitio, además de establecer la viabilidad financiera de los sistemas. El estudio se llevó a cabo entre los meses de mayo del 2002 y abril del 2003 en la microcuenca El Zapotillo, Güinope, Honduras, utilizando un diseño de bloques independientes. Se utilizaron bloques del sistema agroforestal de cero, uno, tres y seis años y un bloque del sistema anual de maíz como testigo, cada uno con tres repeticiones. Las variables medidas fueron materia orgánica, pH, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, además de establecer la relación beneficio – costo en cada sistema. Los niveles de pH y potasio fueron significativamente diferentes ($\alpha < 0.05$) en el sistema anual de maíz, sobre el resto de los bloques. Los mejores niveles de pH y potasio que se encontraron en el sistema anual pueden deberse a las aplicaciones de fertilizante que se hacen en cada ciclo y a que el lote fue quemado antes de iniciarse el ciclo productivo. En los bloques de cero y un año se encontraron mejores condiciones para la infiltración de agua debido a que han sido sometidas a menos prácticas convencionales de laboreo tales como limpia con azadón que en pendientes altas promueve altas tasas de erosión. Se calculó la relación beneficio – costo para los sistemas agroforestales de tres y seis años y para el sistema anual, obteniendo en todos los casos valores menores a uno. La relación beneficio – costo menor a uno encontrada en los bloques del sistema agroforestal de tres y seis años se debe principalmente a los bajos precios del café en el mercado internacional, a la falta de canales de comercialización adecuados y a la falta de un sistema organizacional por parte de los productores que les permita tener mejores opciones al incursionar en el mercado.

Palabras clave: Conservación del suelo, erosión, manejo de microcuenca, retención de agua.

Luis Alonso Caballero, M.Sc.

Nota de prensa

Los sistemas agroforestales ayudarán a conservar los recursos naturales

Entre mayo de 2002 y abril de 2003, se llevó a cabo un estudio de las condiciones de fertilidad y físicas del suelo y de la situación financiera de los sistemas agroforestales que incluyen café, plátano, árboles frutales y leguminosas, en la microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso.

El estudio determinó que la forma en que actualmente se manejan dichos sistemas no es la apropiada para las condiciones presentes en la zona, debido a que aún en los sistemas agroforestales con mayor desarrollo, la condición nutricional y de retención de agua del suelo es similar a la de un cultivo limpio, como el maíz.

El principal cultivo de la zona, es el café, cuyo precio presenta una caída muy fuerte en el mercado internacional, lo que ha significado grandes pérdidas para los productores. La falta de canales de comercialización es un obstáculo que impide un adecuado posicionamiento del producto al momento de llegar al mercado.

El análisis de fertilidad incluyó análisis químicos del suelo de los sistemas agroforestales y de un sistema anual de cultivo de maíz; el análisis de la situación financiera se realizó por medio de la información de costos y de producción de cada uno de los sistemas.

Los objetivos del estudio se enfocaron en la determinación del impacto que los sistemas agroforestales y de cultivos anuales tienen en la estabilidad de la microcuenca, fuente abastecedora de agua para la cabecera municipal de Güinope. Otro de los propósitos fue que los productores conocieran hasta que punto es económicamente viable el establecimiento de estos sistemas agroforestales, tomando en consideración todos los factores involucrados y no solamente el cultivo principal.

Posteriormente se harán estudios con el fin de establecer los beneficios que los sistemas agroforestales ofrecen al ser manejados adecuadamente, tanto en el mejoramiento de las condiciones de la microcuenca como en la situación financiera de los productores.

Lic. Sobeyda Álvarez

ÍNDICE DE CONTENIDO

Portadilla.....	i
Autoría.....	ii
Página de firmas.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Agradecimientos a patrocinadores.....	vi
Resumen.....	vii
Nota de prensa.....	viii
Índice de contenido.....	ix
Índice de cuadros.....	xii
Índice de anexos.....	xiii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 LÍMITES DEL ESTUDIO.....	3
1.4 HIPÓTESIS PLANTEADA.....	3
1.5 OBJETIVOS.....	4
1.5.1 Objetivo General.....	4
1.5.2 Objetivos Específicos	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 MARCO DE REFERENCIA DEL PROYECTO ZAMORANO– FAO	5
2.2 CONCEPTOS DE SUELOS.....	5
2.2.1 Definición de suelo.....	5
2.2.2 Perfil del suelo.....	6
2.2.3 Horizontes del perfil del suelo.....	6
2.2.4 Textura del suelo.....	6
2.2.5 Porosidad.....	6
2.2.6 Materia orgánica.....	7

2.2.7	Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo.....	7
2.2.8	Degradación del suelo.....	8
2.2.9	Factores que intervienen en la erosión	8
2.3	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO	9
2.4	CONCEPTOS Y ELEMENTOS DE MANEJO DE CUENCAS.....	9
2.4.1	Cuenca hidrográfica.....	9
2.4.2	Sistema agroforestal.....	9
2.4.3	Manejo de cuencas.....	9
2.4.4	Agricultura sostenible.....	10
2.4.5	Uso de la tierra.....	10
2.5	CONCEPTOS DE EFICIENCIA ECONÓMICA.....	10
2.5.1	Relación beneficio – costo.....	10
2.6	REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DEL SISTEMA AGROFORESTAL...	11
2.6.1	Café.....	11
2.6.2	Plátano.....	11
3	MATERIALES Y METODOS.....	13
3.1	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA.....	13
3.2	CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO.....	13
3.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	14
3.3.1	Diseño del estudio.....	14
3.3.2	Pruebas estadísticas de los datos.....	14
3.4	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.....	15
3.4.1	Condiciones físicas del suelo.....	15
3.4.2	Análisis químico del suelo.....	15
3.5	INVENTARIO FLORÍSTICO DE LOS BLOQUES.....	16
3.6	CÁLCULO DE PENDIENTES.....	16
3.7	ANÁLISIS EFICIENCIA ECONÓMICA.....	16

4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO.....	17
4.2	ESTADO NUTRICIONAL DEL SUELO.....	19
4.2.1	Reacción del suelo (pH).....	20
4.2.2	Materia orgánica	21
4.2.3	Nutrientes del suelo.....	21
4.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS CONDICIONES NUTRICIONALES DEL SUELO.....	22
4.4	PENDIENTE DE LOS BLOQUES	23
4.5	ANÁLISIS DE LA EROSIÓN DEL SUELO.....	23
4.6	INDICADORES DE EFICIENCIA ECONÓMICA.....	24
4.6.1	Relación Beneficio – Costo.....	25
4.7	COMPOSICIÓN FLORÍSTICA DE LOS BLOQUES.....	26
4.7.1	Bloque de cero años.....	26
4.7.2	Bloque de un año.....	26
4.7.3	Bloque de tres años.....	27
4.7.4	Bloque de seis años.....	27
4.7.5	Bloque de sistema anual maíz.....	27
5	CONCLUSIONES.....	28
6	RECOMENDACIONES.....	30
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
8	ANEXOS.....	34

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1. Concentración de nutrientes en el suelo requerida por el cultivo de café.....	11
2. Dosis de fertilizante para plátano.....	12
3. Uso actual del suelo en la microcuenca El Zapotillo.....	13
4. Distribución de los bloques y sus repeticiones.....	14
5. Parámetros, procedimientos y métodos utilizados para análisis químico del suelo	16
6. Resultados de análisis químico del suelo	20
7. Comparación del estado nutricional del suelo entre cada bloque.....	20
8. Resultado de la prueba de contrastes ortogonales del sistema de maíz con los bloques del sistema agroforestal.....	22
9. Pendientes de cada una de las repeticiones.....	23
10. Calibración de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.....	23
11. Calibración de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo utilizando prácticas de conservación de suelos.....	24
12. Resumen de costos e ingresos por hectárea.....	25
13. Resumen de costos e ingresos por hectárea incluyendo obras de conservación de suelo.....	26

INDICE DE ANEXOS

Anexo	Pág.
1. Descripción detallada de cada uno de los perfiles de suelo.....	35
2 Costos del sistema agroforestal de cero años.....	51
3 Costos del sistema agroforestal de un año.....	52
4 Costos del sistema agroforestal de tres años	53
5 Costos del sistema agroforestal de seis años	54
6 Costos del sistema anual de maíz.....	55

1 INTRODUCCION

En Honduras, el café es uno de los principales soportes de la economía, y se encuentra cultivado en 16 de los 18 departamentos que componen el Territorio Nacional (IHCAFE, 2001)¹. El café se cultiva tanto en monocultivo como en sistemas que incluyen especies de sombra del género *Inga*, árboles maderables en algunos casos y en asociación con plátano. Esta asociación la utilizan principalmente pequeños productores de bajos recursos que se ven afectados por la caída de los precios del café en el mercado internacional.

Estos sistemas agroforestales son asociaciones de cultivos agrícolas o animales con otras especies leñosas como árboles, arbustos, palmas, forrajes u otras en un mismo terreno en forma simultánea o en una secuencia ordenada según lo afirma Arias *et al* (2001). Además los sistemas agroforestales pueden incluir cortinas rompevientos, cercas vivas, y actividades de agricultura orgánica como ser la construcción de aboneras y cultivos de cobertura.

Para determinar el impacto que las actividades agrícolas tienen en la microcuenca, se realizó un estudio de línea de base en un sistema agroforestal que incluye café como cultivo principal y un sistema anual de maíz como testigo, para identificar y cuantificar el estado nutricional y las características físicas que determinan la retención y movimiento de agua en el suelo, con el propósito de evaluar cual es el cambio en las condiciones nutricionales y físicas del suelo a través de los años. Además se realizó el análisis de eficiencia económica de los dos sistemas.

La implementación de prácticas agroforestales a través de la siembra de especies de rápido crecimiento como la gravilea (*Grevilea robusta*), además de proporcionarle sombra al cultivo de café, también se aprovecha para madera, ya que tiene buena demanda en la zona. La producción de madera es una alternativa financiera para los productores, ya que según el IHCAFE (2001), en la cosecha 1999-2000, el país perdió aproximadamente el 50% de los ingresos con relación a la cosecha 1999 – 2000, por la reducción en la producción y la caída en el precio del grano en el mercado internacional. Aunque las exportaciones según Moneda, el periódico financiero (2002) para la cosecha 2001 - 2002 fueron 3,415,757 quintales, un 6% arriba de los 3,221,355 quintales exportados en el 2000 – 2001. La situación es todavía crítica para los productores debido a que los precios en el mercado internacional se encuentran en un nivel muy bajo y con mucha inestabilidad.

¹ <http://wwwa021.infonegocio.com/418/noticies/noticias33.htm>

1.1 ANTECEDENTES

En la microcuenca El Zapotillo desde hace varios años se han venido realizando estudios para el manejo sostenible de la misma, de los suelos, condiciones nutricionales entre otros. Según la caracterización realizada por Rodríguez (1999), el cultivo de café se encuentra en zonas con pendientes entre 30 – 50 %, el 85% de los productores hace aplicaciones de fertilizante, que debido a las condiciones de manejo del suelo y topografía de los mismos no son aprovechados en su totalidad. También encontró que el 80% de las tierras cultivables requieren obras intensivas de conservación de suelos. En los sistemas que incluyen café este problema tiende a disminuir, los sistemas agroforestales más complejos proveen condiciones para que la superficie del suelo se vuelva más estable.

En otro estudio realizado por García (2001), se encontró que un 58% del área de la microcuenca la mayoría del área se encuentra en descanso incluyendo áreas de pino, guamiles y áreas con pastos. Además encontró que en el horizonte A, los niveles de materia orgánica están en el rango alto, de 4.51 hasta 15.73%. Los sistemas que tienen café mas árboles para sombra obtuvieron valores de aproximadamente 6% de materia orgánica, lo que muestra que presentan muy buena estabilidad. Mediante la construcción de calicatas en áreas en descanso, se comprobó que la profundidad del primer horizonte no fue mayor de 20 centímetros, lo que muestra el grado de deterioro a que fueron sometidos los suelos al ser cultivados sin las medidas de protección adecuadas.

Es de hacer notar también que Villacís (1997), encontró que la práctica de incorporar abonos verdes al suelo es más común en la zona alta del municipio, lo cual puede deberse a que éstas tierras son de menor calidad que las de la zona baja.

Según Figueroa (1999), los incendios son otra causa de pérdida de fertilidad, ya que en la zona de influencia del Proyecto PROCUENCAS, que incluía al municipio de Güinope, la quema para cultivos agrícolas y quema de potreros de forma no controlada ha producido un impacto muy fuerte en la conservación de los suelos y agua.

Hernández (2002), en un sitio de referencia en la microcuenca El Zapotillo encontró que el 66% de los sitios tienen un espesor del horizonte A en los rangos de 0 – 20 centímetros. También encontró que en la parte alta de la microcuenca las áreas en descanso o bosque tienen un grosor de horizonte A menor de 10 centímetros, lo cual puede deberse a que anteriormente los suelos fueron severamente degradados, razón por la que actualmente se encuentran en descanso.

Los estudios anteriores muestran buena parte de la problemática presente en la microcuenca y que está generando un deterioro de los sistemas ahí presentes, motivo por el que en este estudio se presentarán algunas alternativas para minimizar el daño causado por las actividades agrícolas.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La degradación acelerada de los recursos naturales en zonas productoras de agua amerita de acciones integrales encaminadas a reducir los efectos de estos procesos de degradación mediante la implementación de sistemas adecuados de producción y conservación de recursos. En la microcuenca El Zapotillo, que abastece de agua a parte de la cabecera municipal de Güinope, los procesos de degradación han avanzado hasta la zona de recarga, por lo que se hace necesario el establecimiento de una línea de base de fertilidad y condiciones físicas que determinan la retención de agua en el suelo de los sistemas agroforestales, con el propósito de que en el futuro puedan hacerse comparaciones, a medida que estos sistemas avancen en su desarrollo.

Para que los sistemas agroforestales café – ingas – frutales – maderables, sean adoptados técnicamente, éstos tienen que ser una opción económica para los productores, por lo que se hizo un análisis financiero a fin de tener las bases para recomendar su uso con el propósito de mejorar las condiciones económicas de los productores en las zonas montañosas de Honduras. Sin embargo, a pesar de que técnicamente son conocidos los efectos positivos de los sistemas agroforestales, hasta la fecha no se han hecho estudios que demuestren el impacto que tienen en mantener y/o mejorar los nutrientes del suelo, la retención de humedad, reducción de la erosión en las condiciones particulares de las cuencas abastecedoras de agua principalmente.

1.3 LÍMITES DEL ESTUDIO.

Los resultados que el estudio generó únicamente podrán servir como base para inferir acerca de las condiciones de la microcuenca El Zapotillo. Para poder hacer inferencias acerca de otras zonas, deberán de tomarse en cuenta las condiciones particulares que se presenten, como ser clima, suelo, precipitación, entre otras.

1.4 HIPÓTESIS PLANTEADA.

Las hipótesis nulas planteadas para el estudio son las siguientes:

- La edad o nivel de desarrollo de los sistemas agroforestales no tiene influencia alguna en el nivel de fertilidad y en las características que determinan retención de agua en el suelo.
- El tipo de sistema de producción utilizado, agroforestal o anual, no influye en el nivel de fertilidad y en las características que determinan retención de agua en el suelo.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

- Contribuir al manejo sostenible de los recursos naturales en cuencas prioritarias abastecedoras de agua de la cabecera municipal del municipio de Güinope.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Determinar la línea base de fertilidad y características físicas del suelo en sistemas de producción agroforestal y anuales en la microcuenca El Zapotillo.
- Comparar el beneficio - costo de los sistemas de café - banano – especies maderables – leguminosas.

2 REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1 MARCO DE REFERENCIA DEL PROYECTO ZAMORANO – FAO

Los procesos de desarrollo rural requieren de continuidad de las intervenciones, a fin de obtener los resultados esperados. Es por ello que la Escuela Agrícola Panamericana a través de la Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente ha estado ejecutando una serie de proyectos como UNIR, PROCUENCAS, entre otros.

En el marco de lo anterior, actualmente se ejecuta en la microcuenca Capiro - El Zapotillo el Proyecto de Apoyo al Mejoramiento de Sistemas Productivos en el Municipio de Güinope, Departamento de El Paraíso. El objetivo del proyecto es ejecutar y validar procesos de transferencia de tecnología, mediante metodologías participativas enfocadas al mejoramiento de sistemas de producción agroforestal.

Zamorano/FAO (2002), plantea los siguientes objetivos en la ejecución de éste proyecto:

- Identificar los sistemas de producción representativos de la zona de estudio y luego caracterizarlos con base al uso tecnologías agroforestales.
- Seleccionar tecnologías agrícolas y agroforestales promisorias para la zona, tomando en cuenta la participación de los productores.
- Iniciar un proceso de investigación acción participativa por medio de la implementación de parcelas con las tecnologías seleccionadas.
- Divulgar los procesos de investigación entre los productores, organizaciones e instituciones locales, a fin de asegurar la adopción de tecnologías en el futuro.
- Promover iniciativas para el mercadeo de productos agrícolas y forestales.
- Brindar seguimiento a algunas actividades de manejo de suelos, microcuencas y fortalecimiento Institucional para el manejo de las mismas.

2.2 CONCEPTOS DE SUELOS

2.2.1 Definición de suelo.

Según PNUMA y La Agencia Europea del Medio Ambiente (2002), el suelo “es un medio complejo formado por una matriz porosa, en la que el aire, el agua y la biota actúan conjuntamente con los flujos de sustancias y líquidos que existen entre estos elementos”. Esta definición nos muestra que para poder hacer un adecuado manejo del suelo tienen que tomarse en cuenta una serie de factores que influyen en la estabilidad del mismo.

Desde el punto de vista de medio de crecimiento para las plantas Ludwick, *et al.* (1995), define al suelo como un material complejo resultante de la descomposición y desintegración de la roca y materia orgánica, que proporciona soporte, nutrimentos y humedad para las plantas. Pero sobretodo el suelo es un cuerpo natural, que forma parte del medio ambiente y es función de cinco factores: material parental, organismos, clima, topografía y tiempo. (Bual, *et al.*, 1981).

2.2.2 Perfil del suelo.

Perfil del suelo es definido por Ludwick, *et al.* (1995) como la estratificación que muestra un suelo en su sección vertical. Típicamente un suelo presenta tres horizontes o estratos: A, B y C, pero su ocurrencia depende del clima, manejo y grado de meteorización que presente el material parental. Según lo definido por Plasler (2000), perfil del suelo es un corte transversal del suelo que se extiende dentro del material no meteorizado, en el cual se pueden ver cada una de sus capas u horizontes, cada uno de estos presenta diferencias en color, composición química y física.

2.2.3 Horizontes del perfil del suelo.

Plasler (2000), define horizonte como cada una de las capas en que se encuentra dividido el perfil del suelo, dependiendo del grado de meteorización que este presente. Los horizontes O, A, B, C y R son conocidos como horizontes básicos.

Existen muchas variantes de éstos horizontes, que se diferencian en el grado de desarrollo del color y la estructura, (Bw), acumulación de arcilla (Bt), drenaje interno pobre (Bg), uso agrícola (Ap) o compactación inducida (Ad) (Sumner, 2000).

2.2.4 Textura del suelo

La textura, según Plasler (2000), determina la proporción de tres tamaños fundamentales de partículas presentes, (grandes – arena, medianas – limo y pequeñas – arcilla) El tamaño de las partículas es lo que determina características como retención de agua y aireación, ya que estas son las que determinan el número y tamaño de los poros, permitiendo que el agua permanezca o se lixivie con mayor o menor velocidad.

2.2.5 Porosidad

Gauggel (2002) define porosidad del suelo como una propiedad del suelo que está determinada por el arreglo y tamaño de las partículas del suelo y es una medida de la capacidad del suelo para retener agua y para permitir el desarrollo adecuado de las raíces. Plasler (2000) dice que en la medida que los poros son más grandes, el agua fluye mas rápidamente. También dice que los suelos arcillosos poseen poros más pequeños, por lo que tienden a retener mas agua y a dificultar el proceso de aireación del suelo.

2.2.6 Materia orgánica

La materia orgánica es la porción del suelo que se compone por restos de animales y plantas en diferentes estados de descomposición. Según Plasler (2000), la lignina que es el compuesto que le da rigidez a las plantas y que son moléculas que resisten la descomposición, es lo que origina la mayor parte del humus en el suelo. También afirma que la descomposición del suelo ocurre en dos etapas: la primera donde los microorganismos del suelo digieren rápidamente los materiales orgánicos liberando dióxido de carbono y carbohidratos. Los materiales mas resistentes como la lignina permanece por mas tiempo y son descompuestos en una segunda fase que demora mucho mas tiempo. Según Fassbender (1993), la mineralización, que es la descomposición de la materia hasta sus componentes elementales que permite que se liberen compuestos importantes desde el punto de vista de nutrición de las plantas como ser nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio, magnesio entre otros.

2.2.7 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

La modelación de la erosión es el método mas ampliamente utilizado para generar mapas de erosión y la estimación de las pérdidas futuras de suelo con información presente, siendo el método más empleado para realizar estas mediciones la Ecuación Universal de Perdida de Suelo, desarrollada por Wischmeier y Smith, ya que representa la mejor aplicabilidad en términos de deposición o formación y pérdida de suelo, de acuerdo con lo que expresa The American Society of Agricultural Engineers (1999), esta ecuación fue desarrollada para predecir las pérdidas de suelo en toneladas por hectárea por año: $A = R K L S C P$, donde:

A: Es la pérdida anual de suelo.

R: Factor de erosividad de la lluvia.

K: Factor de erodabilidad del suelo.

L: Factor de largo de la pendiente.

S: Factor de magnitud de la pendiente.

C: Factor de cobertura vegetal.

P: factor de prácticas de conservación de suelos.

Para hacer la calibración de la formula, se tomó el valor R de 208, calibrado para la zona de Güinope por Hernández (2002). El valor de K que se utilizó de 0.40, que es para un suelo con alto potencial de erosión. Debido a las fuertes pendientes que se tienen en cada uno de los bloques, se utilizó un valor LS de 5, mientras que para C se utilizó 0.03 para el sistema agroforestal y 0.35 para el sistema anual. Debido a la falta de prácticas de conservación de suelo, se utilizó un valor de 0.90 para el sistema de cero años, 0.95 para uno y tres años y 0.85 para seis años y maíz (Tragsa, Tragsatec y Ministerio de Medio Ambiente, 1998).

Según Landon (1991), la clasificación de los suelos por clase hidrológica es la siguiente:

- Bajo potencial de escorrentía, con una pérdida total anual entre 0 y 7 TM/Ha/año.
- Potencial de escorrentía moderado, con una pérdida anual entre 7 y 14 TM/Ha/año.
- Potencial de escorrentía alto, con una pérdida total anual entre 14 y 40 TM/Ha/año.
- Potencial de escorrentía muy alto, con una pérdida total anual mayor de 40 TM/Ha/año.

2.2.8 Degradación del suelo.

La degradación del suelo según lo expuesto por Young (1997) es la disminución temporal o permanente de la capacidad productiva del mismo. La degradación incluye declinación en la fertilidad, salinización, degradación de recursos hídricos y de vegetación.

USAID-LUPE (1994), explican que la degradación del suelo se debe más a las grandes pérdidas de nutrientes y materia orgánica que es producida por el arrastre de las partículas por cualquier tipo de erosión y a la quema rutinaria del suelo, y no tanto a la pérdida de espesor del mismo, ya que lo que es arrastrado principalmente es la materia orgánica y el limo y no tanto las arenas y la piedra, lo que hasta cierto punto mantiene el espesor del mismo. También puede definirse como el proceso mediante el cual se elimina la capa arable del suelo, que es la que contiene el mayor volumen de materia orgánica. Con lo anterior se disminuye su espesor y la zona para el desarrollo de las raíces, además genera grietas en el suelo que pueden llegar a formar cárcavas que dividen los campos en parcelas en forma irregular (Plasler, 2000).

2.2.9 Factores que intervienen en la erosión

Los factores que en alguna medida intervienen en la ocurrencia o no de los procesos de erosión, son la lluvia, el tipo de suelo, la pendiente, la vegetación y la temperatura, los cuales según Fuentes (1994), tienen las siguientes implicaciones:

La lluvia afecta desintegrando los agregados superficiales y luego arrastrándolos. El impacto de este proceso dependerá de la intensidad, ya que a mayor intensidad, la tierra tendrá menor capacidad de retener agua. El tipo de suelo afecta porque los suelos con fragmentos más gruesos tendrán poros más grandes facilitando de esta forma la infiltración, mientras que los suelos con agregados más finos, los poros serán también más finos permitiendo una infiltración más lenta. En los terrenos con pendiente más pronunciada, el desplazamiento del agua de escorrentía es más rápido, con lo que se incrementa la erosión. Cuando se tiene una cubierta vegetal, el riesgo por erosión se disminuye, ya que el agua no golpea directamente sobre el suelo y la escorrentía disminuye su efectividad de arranque y transporte de partículas de suelo. La temperatura afecta más en zonas frías, donde al congelarse el agua del suelo, este se expande

rompiendo sus agregados que al aumentar la temperatura y generarse escorrentía se produce el arrastre de las partículas.

2.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO.

Las propiedades químicas de importancia del suelo son reacción del suelo (pH), conductividad eléctrica, saturación de bases, capacidad de intercambio catiónico, elementos mayores y elementos menores.

2.4 CONCEPTOS Y ELEMENTOS DE MANEJO DE CUENCAS

2.4.1 Cuenca hidrográfica.

Cuenca hidrográfica es un área definida, con una salida de agua hacia un solo punto, incluyendo un complejo de suelos, paisajes, vegetación y uso de suelo (Lal, 2000), lo que indica que no solamente se trata del agua que se produce en una determinada zona, sino de todos los factores que influyen desde que el agua llega hasta que sale de esa zona delimitada por condiciones topográficas.

2.4.2 Sistema agroforestal.

Un sistema agroforestal es la asociación de árboles con plantas anuales, cultivos, arbustos, pastos y forrajes o animales; arreglados en espacio y/o tiempo. El arreglo espacial puede ser en forma de mezcla de especies o zonificado en el cual los árboles pueden ser establecidos en forma sistemática. El arreglo en el tiempo se da cuando se establecen sistemas en rotación, lo que permite la inclusión de nuevas especies a medida que se avanza en el tiempo (Young, 1997).

2.4.3 Manejo de Cuencas

En términos generales el manejo de una cuenca como unidad productiva se define como el conjunto de actividades que se realizan en la cuenca para proteger y evaluar todos los recursos naturales que se encuentren en ella, con el propósito de obtener una producción optima y sostenida en el tiempo. Actualmente se está manejando el concepto de manejo integrado de cuencas mediante el cual se pretende llegar a tener un mejor control de muchos factores tales como: las causas de la degradación de las cuencas para mitigar sus efectos en el área de influencia, preservación y disponibilidad de agua, pérdida de suelos agrícolas, biodiversidad y contribución del equilibrio ambiental y seguridad en las inversiones de infraestructura de todo tipo por medio de protección contra inundaciones y escurrimientos violentos, según lo expresado por PROMIC (sf).

2.4.4 Agricultura sostenible.

Agricultura sostenible, según Young (1997), implica el uso del suelo haciendo coincidir las necesidades de producción de los usuarios presentes mientras se conservan para las futuras generaciones, los recursos básicos de los que depende la producción. La conservación de estos recursos incluye tanto agua como plantas, animales, fertilidad del suelo y todos los recursos que de una u otra forma inciden en la sostenibilidad de los sistemas en general.

2.4.5 Uso de la tierra

La planeación en el uso de la tierra es la asignación sistemática de recursos y potencialidades de sistemas alternativos de uso de la tierra, iniciando con los tipos de uso que mejor se adapten a las condiciones particulares de cada zona. La planeación en el uso de la tierra inicia con la evaluación y estudio y debe de incurrirse en una serie de etapas hasta llegar a la mejor opción de uso (Young, 1997). También afirma que la planeación en el uso de la tierra en una microcuenca es un caso especial, y debe de ponerse especial atención al control de la erosión y manejo de fuentes de agua.

2.5 CONCEPTOS DE EFICIENCIA ECONÓMICA.

El cálculo de los indicadores de eficiencia económica es muy importante ya que por medio de estos podemos determinar rendimiento económico de los sistemas agroforestales, lo cual tiene una gran relevancia ya que debido a que el ciclo productivo de estos sistemas, la cosecha se inicia luego de algunos años de establecido, permitiendo hacer una mejor planificación de los recursos con que cuenta el productor.

2.5.1 Relación beneficio – costo

La relación beneficio – costo representa cuanto genera cada unidad monetaria en calidad de beneficios, Guzmán (sf) afirma que debe de tenerse la información completa en lo que a costos y producción se refiere, asegurando que el índice sea lo más confiable posible. Esta relación debe de ser > 1 , con lo que por cada unidad monetaria invertida, tendremos al menos una unidad monetaria como beneficio. Al momento tomar una decisión con base en éste indicador y comparar dos proyectos o actividades deberá de seleccionarse el que tenga la relación más alta.

2.6 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DEL SISTEMA AGROFORESTAL

2.6.1 Café

El café es un cultivo que requiere niveles relativamente altos de nutrientes en el suelo, los que se incrementan a medida que se incrementa la producción, debiendo suplir primero lo necesario para el crecimiento vegetativo y luego los requerimientos para asegurar la producción.

Normalmente se estima que el café requiere 100 kilogramos de Nitrógeno, 10 Kilogramos de P_2O_5 y 90 Kilogramos de K_2O . Por cada 1,250 Kilogramos de café pergamino seco producido se requieren 322, 4 y 40 Kilogramos por hectárea por año de Nitrógeno, P_2O_5 y K_2O respectivamente. (Gauggel, 2002)

Las concentraciones requeridas en el suelo, por el cultivo de café se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Concentración de nutrientes en el suelo requerida por el cultivo de café

Parámetro	Rangos adecuados	Rangos manejables
pH	4.9 – 5.6	4.5 – 6.0
Materia orgánica (%)	11.4 - 12.6	>4
K (cmol/kg)	0.29 – 0.70	-
Ca (cmol/kg)	1.6 – 4.2	<4.2
Mg (cmol/kg)	0.5 – 1.4	-
P (cmol/kg)	6 - 14	<6
Relación K:Ca:Mg	1:6:2	-
Textura	Franco	Franco
Arcilla(%)	8 – 14	>8 o >41
Profundidad efectiva (cm)	>30	30

Fuente: Gauggel, 2002. Apuntes de clase de Nutrición Vegetal.

2.6.2 Plátano

El plátano es un cultivo que requiere dosis relativamente altas de fertilización, especialmente Nitrógeno especialmente durante la etapa vegetativa y Fósforo durante las

primeras tres cosechas, momento en el cual se disminuye hasta cierto punto. (Gauggel, 2002). Las dosis que normalmente se utilizan se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Dosis de fertilizante para plátano.

Dosis de fertilizante							
Kg/ Hectárea / Año							
Nivel	N	P	K	Mg	S	Zn	B
Bajo	250	30	300	30	30	25	3
Alto	300	100	700	100	70	75	5

Fuente: Gauggel, 2002. Apuntes de clase de Nutrición Vegetal.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA.

El estudio se llevó a cabo en la microcuenca El Capiro – Zapotillo, en el sur del municipio de Güinope en el departamento de El Paraíso. La microcuenca cuenta con un área aproximada de 986 hectáreas incluyendo parte del casco urbano de la cabecera municipal y se extiende desde los 1300 hasta los 1630 metros sobre el nivel del mar. La precipitación media anual en la zona oscila entre 1000 – 1100 milímetros, siendo los meses más lluviosos los comprendidos entre junio y octubre. La microcuenca en su mayoría posee una topografía ondulada a escarpada poco apta para la agricultura. Zamorano / FAO (2002) encontraron el siguiente uso de suelo:

Cuadro 3. Uso actual del suelo en la microcuenca El Zapotillo

Uso actual	Parámetros	
	Área (hectáreas)	Porcentaje (%)
Ladera sin cultivo	112.73	11.43
Bosque denso	39.80	4.04
Bosque ralo	78.24	7.93
Café	114.56	11.62
Hortalizas	8.18	0.83
Granos básicos	104.44	10.59
Potreros o pasto	32.12	3.26
Plantac. árboles forestales	4.56	0.46
Urbanización	491.37	49.83
Total	986.00	100.00

Fuente: Rodríguez, 1999.

3.2 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO.

El sitio de estudio se ubica en la parte alta de la microcuenca, ya que presenta una alta intervención por establecimiento de cultivos anuales y agroforestales en menor escala, principalmente granos básicos y café. Se tomaron en consideración algunos criterios de selección como ser: topografía, composición florística en los bloques, tipo de suelo, manejo del cultivo, edad del cultivo, con el propósito de minimizar la variabilidad. Los bloques seleccionados tienen un área total de 300 M².

3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

3.3.1 Diseño del estudio.

Se seleccionó un diseño experimental de Bloques Independientes, con cinco tratamientos: 0 años, 1 año, 3 años, 6 años del sistema agroforestal y el tratamiento del sistema de cultivo anual (Maíz), lo anterior permite realizar los contrastes ortogonales entre cada uno de los bloques, que es la prueba estadística mas importante, ya que lo que mas interesa determinar es la diferencia entre cada uno de los estados de desarrollo de los sistemas.

El estudio se realizó con cuatro bloques del sistema agroforestal que tiene café como cultivo principal, plátano, sombra de *Ingas* y especies maderables y un bloque en el sistema de cultivo de maíz, que sirvió de testigo. En cada uno de los bloques se hicieron tres repeticiones continuas espacialmente, para mantener en lo posible cierta uniformidad del suelo.

Cada una de las repeticiones tuvo un área de 100 metros cuadrados (10 M x 10 M). Los bloques de cero, uno y tres años se encuentran en el mismo lote de terreno, existiendo una separación entre cada bloque de aproximadamente 15 metros, mientras que el de seis años y el sistema anual se encontraban en parcelas separadas, debido a que fue imposible obtener un lote en la microcuenca donde se pudieran establecer los cinco bloques que se estudiaron.

Cuadro 4. Distribución de los bloques y sus repeticiones

Bloque*	Repeticiones		
Cero años ¹	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
Un año ¹	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
Tres años ¹	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
Seis años ²	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
Maíz ³	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3

* Bloques con el igual número se encuentran en el mismo lote.

3.3.2 Pruebas estadísticas de los datos.

Para el análisis estadístico se utilizó el programa SAS®. Las pruebas que se realizaron fueron: Separación de Medias (Student – Newman – Keuls) de cada una de las variables en cada bloque y Contrastes ortogonales entre cada uno de los bloques para aceptar o rechazar la hipótesis nula.

3.4 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.

3.4.1 Condiciones físicas del suelo.

Para describir las condiciones físicas del suelo se construyeron calicatas en cada una de las repeticiones. Cada una de las calicatas tiene una dimensión de 1 x 1 x 1 M. Seguidamente se procedió a la descripción de cada calicata, contando con el apoyo de la Unidad de Suelos de la Carrera de Ciencia y Producción de la Escuela Agrícola Panamericana describiendo el procedimiento a seguir en cada una de las calicatas. Luego se continuó con la lectura de cada uno de los perfiles siguiendo procedimientos estándar.

Las propiedades físicas y morfológicas caracterizadas fueron las siguientes:

- Número horizontes, profundidad de cada horizonte.
- Límite de los horizontes, basándose en observación visual diferenciado en: plano, ondulado inclinado; la topografía de los límites: brusco, gradual y difuso.
- Color, basándose en simbología de la tabla Munsell.
- Textura (método de tacto), arena, limo y arcilla entre cada una de los horizontes.
- Resistencia a la penetración (método de penetrómetro)
- Consistencia: friable, firme, muy firme.
- Raíces muchas, frecuentes, pocas, escasas, ninguna y apreciación visual en un área separando en raíces muy finas, finas, medianas y grandes.
- Estructura: fragmentos (gruesos, medianos, finos) y forma (angular, redonda y plana)
- Erosión: apreciación visual basándose en pendiente, cobertura vegetal y presencia o ausencia de horizonte A.
- Pendiente.

3.4.2 Análisis químico del suelo.

Para determinar los niveles de fertilidad del suelo se realizarán análisis químico de los primeros 30 centímetros de suelo en cada una de las repeticiones tanto en el sistema agroforestal como en el cultivo anual. Los parámetros evaluados, los métodos de extracción y su determinación se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Parámetros, procedimientos y métodos utilizados para análisis químico del suelo.

Parámetros	Procedimiento
Materia orgánica	Método Walkley and Black
pH en agua	Determinado con potenciómetro relación suelo: agua 1:1
Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio	Extracción por medio del método Melich 3, el Fósforo se determinó por Colorimetría, los otros elementos por Absorción Atómica.

3.5 INVENTARIO FLORÍSTICO DE LOS BLOQUES.

El inventario se realizó en cada repetición haciendo un conteo de las especies presentes y obteniendo un promedio para las tres repeticiones de cada bloque después se obtuvo la densidad poblacional de cada especie por hectárea. Esta información sirvió para inferir sobre la influencia de la cobertura vegetal en el estrado nutricional y físico del suelo. Además sirvió para dar una idea de la estabilidad o vulnerabilidad a la erosión de la superficie del suelo en cada uno de los tratamientos.

3.6 CÁLCULO DE PENDIENTES.

La pendiente se calculó para cada repetición haciendo uso de un nivel de burbuja, una cuerda y cinta métrica. Con esta información se calculó la pendiente por repetición y además el promedio de cada uno de los bloques.

3.7 ANÁLISIS DE EFICIENCIA ECONÓMICA

Para análisis de la eficiencia económica de los sistemas agroforestales, se recopilaron los datos de costos y de producción de cada una de las repeticiones. El indicador que se calculó es la Relación Beneficio – Costo. Para calcular este índice se diseñó una ficha que contiene todas las variables involucradas en los costos así como los ingresos de la producción de los dos sistemas.

Los costos de producción se obtuvieron mediante entrevistas con los productores. La información de producción se obtuvo mediante medición en cada parcela y obteniendo así un promedio de producción para cada bloque. Esta información se extrapoló para obtener la producción por hectárea.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO.

A continuación se presentan y analizan los resultados para el establecimiento de la línea de base de características físicas, fertilidad y costo beneficio de un sistema agroforestal y de un sistema anual de cultivo de maíz. Para hacer un análisis detallado de las condiciones físicas del suelo, se abrieron calicatas en cada una de las repeticiones.

a) Sistema agroforestal

En el caso del sistema agroforestal de cero años de edad se presenta un alto grado de erosión, ya que en ningún caso se encontró el horizonte O y el horizonte Ap se encuentra con un grosor de aproximadamente 20 centímetros. En ninguna de las tres calicatas se encontró el horizonte E, que indica que el horizonte A ha permanecido por mucho tiempo sin ser removido, permitiendo la lixiviación de arcillas, materia orgánica y sustancias químicas.

En las calicatas del sistema agroforestal de un año, la situación es diferente, ya que si se encontró el horizonte E en una de las calicatas, pero también se encontraron fragmentos del horizonte B en el horizonte A y un porcentaje mayor de arcilla principalmente en los horizontes Bt, lo que lo hace un suelo menos propenso a la erosión.

En estos dos bloques puede notarse que el suelo posee una alta capacidad de infiltración ya que los agregados de la superficie principalmente poseen poca cohesión entre partículas, lo que también lo hace muy susceptible a la erosión superficial ya que por su alta pendiente, de 44 – 61%, y la falta de prácticas de conservación de suelo, en el caso de altas precipitaciones el material superficial puede ser fácilmente removido.

En el sistema de tres años las condiciones son muy similares en dos calicatas a las del sistema de un año, no así en una donde puede observarse que la edad superficie es menor, por la presencia de horizontes Bw, lo que hace que el suelo sea del Orden Andosol, y no Alfisol como en el resto de las calicatas. Es de hacer notar que en este bloque por razones de alta pendiente, 54%, y por la falta de prácticas de conservación de suelo, la capa de suelo con poca cohesión entre partículas ya ha sido removida por los procesos erosivos, reduciendo la capacidad de infiltración.

El sistema agroforestal de seis años se encuentra separado del resto por condiciones de disponibilidad, razón por la que las condiciones físicas del suelo son relativamente diferentes.

Este sistema presenta muy buena producción de materia orgánica, pero ésta se pierde durante el proceso de cosecha, ya que debido al tránsito de personas a través de la pendiente material es movido hacia abajo, dejando el resto de la ladera prácticamente sin la cobertura de materia orgánica

b) Sistema anual maíz.

En el sistema anual de maíz, se presenta una situación diferente, ya que en uno de los puntos se pudo observar el inicio de la formación de un nuevo horizonte, debido a que sobre el horizonte Bt que presenta fragmentos gruesos, se ha comenzado a desarrollar un nuevo horizonte Ap pero aun no se presenta el horizonte E. Una característica común es que su horizonte Ap posee una estructura franca.

A continuación se hace una descripción de los perfiles de cada bloque.

1 Bloque de cero años.

En el perfil de la parcela uno principalmente, puede apreciarse alto grado de erosión / depositación al encontrarse horizontes sepultados, al tener la presencia de un horizonte Ab. Además puede notarse la lixiviación de arcillas en todos los perfiles debido a que se tiene la presencia de horizontes Bt, donde se depositan las arcillas. La organización de los horizontes en los perfiles de las parcelas 2 y 3 es constante, diferenciándose únicamente en la profundidad de los horizontes.

2 Bloque de un año.

El perfil de la parcela uno es el que muestra mayor estabilidad, debido a que tiene la presencia de un horizonte E, del que se han lixiviado las arcillas y han sido depositadas en los horizontes Bt. Este perfil se puede utilizar de referencia y en el futuro poder medir el avance en formación o erosión de suelo. En los perfiles 2 y 3 puede notarse que ha existido cierto grado de erosión, ya que aunque cuentan con horizontes Bt, ya no existe el horizonte E, que fue removido por procesos erosivos.

3 Bloque de tres años.

El perfil de las parcelas 1 y 3 muestra un desarrollo normal de los horizontes, pero en la parcela 2 los horizontes Bw y Bw 2 indican un suelo desarrollado en una superficie mas joven y no ha habido tiempo para la formación de horizontes argílicos (Bt). En este bloque puede observarse mas la degradación del suelo producida por la escorrentía, ya que aunque el sistema está en un mayor nivel de desarrollo, este ha sido manejado de forma inapropiada, sin prácticas de conservación de suelos.

4 Bloque de seis años.

La estratigrafía de los horizontes en estos perfiles presenta diferencias muy marcadas, lo que puede verse en el perfil 3 donde el horizonte Ap no alcanza mas de 5 centímetros de profundidad, lo cual pudo deberse a que no se hace un manejo uniforme del sistema.

Este bloque a pesar de encontrarse casi en su máximo desarrollo y producir muy buenas cantidades de materia orgánica, esta no es aprovechada al máximo ya que no se practican obras de conservación de suelos. Debido a lo anterior, la mayor parte de las partículas de suelo que se encuentran en la superficie ya no poseen la característica de permeabilidad que pudo observarse en los bloques de cero y un año mayormente.

5 Bloque sistema anual maíz.

En este bloque puede observarse que existe diferencia bastante marcada entre las repeticiones, ya que en el perfil de la parcela 1 se puede apreciar que se ha iniciado la formación de un nuevo horizonte A, notándose también que en el horizonte Bt la acumulación de arcillas ha sido en menor grado que en los perfiles 2 y 3. El perfil 3 es el que muestra un mayor desarrollo por la presencia de los horizontes E y Bt. El perfil de la parcela 3 muestra una mayor capacidad de retención de agua, debido a que tiene una estructura con mayor porosidad, permitiendo al mismo tiempo un menor grado de erosión.

Una descripción detallada de cada uno de los perfiles se muestra en el Anexo 1.

4.2 ESTADO NUTRICIONAL DEL SUELO.

Se tomó una muestra compuesta de suelo de los primeros 30 centímetros de profundidad por ser la zona de mayor concentración de raíces a través del perfil de suelo.

Mediante los análisis químico de suelo para cada tratamiento, se pudo inferir acerca de la situación nutricional de los mismos en sistemas agroforestales de diferentes edades y la de los suelos bajo cultivo anual. Debido a que los objetivos del estudio incluyen la elaboración de la línea de base de fertilidad de los suelos, únicamente se realizó un análisis químico del suelo, sin incluir repeticiones en el tiempo.

Los resultados obtenidos del análisis químico del suelo se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Resultado de análisis químico del suelo.

Bloques/ Repeticiones		pH	%		Fósforo	Nutrientes (ppm)		
			Mat. Orgánica	Nitrógeno Total		Potasio	Calcio	Magnesio
Cero años/	1	5.02	10.20	0.51	2	216	810	190
	2	5.35	12.40	0.62	3	268	1600	400
	3	5.14	8.34	0.42	2	116	680	160
Un año/	1	4.87	7.84	0.39	4	348	1010	250
	2	5.11	11.30	0.57	2	256	1290	310
	3	5.31	9.25	0.46	2	312	1590	310
Tres años/	1	5.17	9.11	0.46	2	114	1120	260
	2	5.36	10.10	0.51	3	144	1140	220
	3	5.43	9.89	0.49	2	176	1830	320
Seis años/	1	5.62	6.35	0.32	2	152	1280	180
	2	5.52	5.50	0.27	2	196	1300	200
	3	5.71	8.55	0.26	2	228	1880	250
Maíz/	1	5.63	7.53	0.38	2	276	1510	240
	2	5.60	7.70	0.38	2	372	1540	280
	3	5.78	8.68	0.43	2	610	1770	300

Para poder tener una mejor idea de cual es la situación nutricional de los suelos de los bloques estudiados, en el Cuadro 7 se muestran los promedios de cada uno de los bloques, haciendo una comparación con los niveles aceptables de cada una de las variables para el cultivo de café que es el cultivo principal en los sistemas agroforestales estudiados.

Cuadro 7. Comparación del estado nutricional del suelo entre cada bloque

Variables	Bloques					Rangos aceptables
	Maíz	6 Años	3 Años	1 Año	0 Años	
pH	5.67	5.62	5.32	5.10	5.17	4.5 – 6.0
MO (%)	7.97	6.80	9.70	9.46	10.31	>4
N (%)	0.40	0.30	0.49	0.47	0.52	0.2
P (ppm)	2.00	2.00	2.33	2.67	2.33	370
K (ppm)	419.33	192.00	144.67	305.33	200.00	114 - 275
Ca (ppm)	1606.67	1486.67	1026.67	1296.67	1030.00	320 - 840
Mg (ppm)	273.33	210.00	266.67	290.00	250.00	60 - 168

4.2.1 Reacción del suelo (pH).

Se midió el pH de cada una de las repeticiones, utilizando el método del potenciómetro con una relación agua:suelo 1:1, encontrándose que en todas las repeticiones el pH está

dentro del rango adecuado para el cultivo de café, cultivo principal, aunque para plátano y para maíz está un poco bajo, ya que este requieren pH entre 5.5 – 7.5.

En el caso de los bloques de seis años y maíz resultaron con valores mas altos que pueden atribuirse a las aplicaciones de Urea 46% que se hacen durante el ciclo de cultivo que ayuden a reducir la acidez presente en el suelo.

4.2.2 Materia orgánica

El contenido de materia orgánica en el suelo se obtuvo mediante el Método de Walkly and Black, de la que se le calculó el Nitrógeno, asumiendo un 5% de la misma como Nitrógeno. La materia orgánica se encuentra dentro de los niveles manejables, ya que se acepta desde 4%, siempre y cuando se lleven a cabo las medidas necesarias para elevar el nivel de la misma. Los valores mas altos encontrados en los bloques de cero y un año pueden deberse a que acá los procesos erosivos han afectado en menor grado debido a que estas parcelas anteriormente se encontraban bajo bosque y las condiciones físicas del primer horizonte principalmente permiten una mayor infiltración evitando la escorrentía que arrastraría las partículas que se encuentran en la superficie.

4.2.3 Nutrimientos del suelo

El fósforo se encuentra en un nivel deficiente para el cultivo principal, ya que debería de encontrarse en niveles superiores a 6 cmol/Kg de suelo (370 partes por millón, ppm), lo que hace necesaria la suplementación en los dos sistemas a fin de asegurar una producción adecuada.

En el caso de potasio, si se encuentra dentro de los rangos adecuados ya que en promedio se encuentra en 252 ppm, que equivale a 0.64 cmol/Kg y el cultivo de café requiere entre 0.29 – 0.70 cmol/Kg.

El calcio en promedio se encuentra en niveles altos, ya que se los niveles actuales están alrededor de 1356 ppm (6.78 cmol/Kg), y el cultivo de café requiere entre 1.6 – 4.2 cmol/Kg.

En el caso de magnesio, también se encuentra en niveles altos, requiriendo el cultivo de café de 0.5 – 1.4 cmol/Kg, y actualmente los niveles se encuentran en 2.15 cmol/Kg (258 ppm), esto tomando los promedios para cada una de las variables.

Para todas las variables, los valores son bastante similares en todos los bloques, excepto para potasio que presenta valores mucho más altos especialmente en el sistema anual, lo cual puede deberse a que en el pasado ciclo agrícola esta parcela fue quemada y a las aplicaciones que se hacen de fertilizante en cada ciclo de producción.

4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CONDICIONES NUTRICIONALES DEL SUELO

Según el análisis estadístico de las siete variables en estudio: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, pH y Materia Orgánica; únicamente se encontró diferencia significativa (a 0.05) en el caso de la variable potasio (K). El bloque de maíz presentó los valores más altos con diferencia significativa sobre el resto de los bloques, mientras que el bloque de un año resultó estadísticamente diferente al de tres años. Entre el resto de los bloques no se encontró ninguna diferencia significativa. Esta diferencia puede deberse a que en el cultivo de maíz se hacen aplicaciones de fertilizante como fuente de potasio, además que este lote en particular fue quemado antes de la siembra, lo cual puede generar que se acumulen las cenizas que tienen un alto contenido de potasio.

En el caso de la variable pH, los bloques de seis años y maíz resultaron con diferencia significativa al 0.05 sobre los bloques de cero y un año, mientras que entre maíz, tres y seis años no hubo diferencia significativa, lo mismo que entre cero, uno y tres años. La diferencia significativa encontrada en maíz puede darse debido a las aplicaciones de Urea 46% que se hacen durante el ciclo de cultivo ayuden a reducir la acidez presente en el suelo.

Los datos obtenidos de la prueba de contrastes ortogonales del sistema de maíz con el resto de los bloques se presentan en el Cuadro 8. La utilización de la prueba de contrastes ortogonales se dio porque lo que más interesa representar es la diferencia o similitud entre los bloques.

Cuadro 8. Resultados de la prueba de contrastes ortogonales del sistema de maíz con los bloques del sistema agroforestal.

Variable	Valor F	Probabilidad
pH	13.42	0.01
Materia orgánica	0.47	0.52
Nitrógeno	0.00	1.00
Fósforo	1.00	0.36
Potasio	6.78	0.04
Calcio	3.28	0.13
Magnesio	0.64	0.46

Se utilizó el sistema de maíz en ladera como testigo, debido a que es uno de los sistemas de producción que más daño causa al suelo en lo que a erosión y degradación del suelo se refiere.

4.4 PENDIENTE DE LOS BLOQUES

La determinación de la pendiente de cada uno de las repeticiones se hizo utilizando una cuerda, un nivel y cinta métrica, con la cual se obtuvo la diferencia de altura en una distancia determinada. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Pendiente de cada una de las repeticiones.

	Bloque 0 años	Bloque 1 año	Bloque 3 años	Bloque 6 años	Bloque maíz
Repeticiones	% de pendiente				
1	44	52	55	30	29
2	46	61	61	38	35
3	55	55	48	35	37
Promedio	48	56	54	34	34

Como puede observarse, los bloques de cero, uno y tres años de edad son los de mayor susceptibilidad a los procesos erosivos, tanto por factores de suelo, pero mucho mas por el alto grado de pendiente además de que no se cuenta con obras de conservación de suelo y agua. El bloque agroforestal de seis años y el de maíz, aunque presentan menos susceptibilidad por poseer una menor pendiente, si presentan indicios de haber sido afectados por la erosión, ya que en algunos casos el horizonte A, ha sido removido casi en su totalidad.

4.5 ANÁLISIS DE LA EROSIÓN DEL SUELO.

Para calcular la erosión en cada uno de los bloques se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, obteniendo los datos que se muestran en el cuadro 10.

CUADRO 10. Calibración de la Ecuación Universal de Pérdida de suelo.

Bloque	R	K	LS	C	P	Erosión TM/Ha/Año
Cero años	208	0.4	16	0.03	0.90	35.94
Un año	208	0.4	16	0.03	0.95	37.93
Tres años	208	0.4	16	0.03	0.95	37.93
Seis años	208	0.4	16	0.03	0.85	33.94
Sistema maíz	208	0.4	16	0.35	0.85	396.03

Como puede observarse, todos los bloques del sistema agroforestal se encuentran dentro de la categoría de moderado potencial de escorrentía, mientras que el sistema anual de maíz clasifica como de muy alto potencial de escorrentía. Los valores que acá se presentan pueden ser mejorados si se llevan a cabo obras de conservación de suelos, con

lo que bajaríamos el factor P, que es el que se determina de acuerdo al uso de prácticas de conservación de suelos.

Para hacer una comparación de las tasas de erosión que podrían presentarse si se llevaran a cabo estas prácticas, se asumió la construcción de terrazas continuas de base ancha, las cuales de acuerdo a la pendiente que se presenta en los bloques deberán de ubicarse a una distancia de 7 metros. Teniendo éstas obras construidas, el valor de P para los bloques de cero, uno y tres años será de 0.36 y para el de seis años y el sistema anual de maíz será de 0.27. Los valores de erosión que podrían presentar los sistemas estudiados se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Calibración de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo utilizando prácticas de conservación de suelos.

Bloque	R	K	LS	C	P	Erosión TM/Ha/año
Cero años	208	0.4	16	0.03	0.36	14.37
Un año	208	0.4	16	0.03	0.36	14.37
Tres años	208	0.4	16	0.03	0.36	14.37
Seis años	208	0.4	16	0.03	0.27	10.78
Sistema maíz	208	0.4	16	0.35	0.27	10.78

Como puede observarse, con la construcción de obras de conservación de suelos, se reduce la erosión en un 60% aproximadamente, por lo que sí amerita la construcción de dichas obras, a fin de evitar la pérdida de grandes cantidades de suelo, que además producen contaminación de las fuentes de agua.

4.6 INDICADORES DE EFICIENCIA ECONÓMICA.

Para poder calcular los indicadores se recolectó la información de costos y de producción de cada uno de los sistemas. Para el sistema agroforestal de cero años se tomaron los costos desde el establecimiento del vivero. Para los otros tres sistemas agroforestales se tomaron los costos en los que se incurrió en el último año. Para el sistema anual de maíz se tomaron en consideración los costos del último ciclo de producción. La información de producción únicamente fue posible obtenerla de los sistemas agroforestales de tres y seis años debido a que es a la edad de tres años cuando se inicia la producción de café, que es el cultivo principal. En el caso del sistema de maíz si pudo obtenerse los datos de producción de igual forma que se obtuvieron los costos incurridos. Los costos fueron obtenidos en Moneda Nacional (Lempira), pero para hacer los cálculos fueron convertidos a Dólares americanos para evitar el efecto de la devaluación acelerada del Lempira, además de ser el Dólar la moneda mas conocida a nivel internacional. La tasa cambiaria que se utilizó fue la oficial del Banco Central de Honduras, que para el 03 de abril del 2003 se estableció en L. 17.30 por 1 US Dólar.

Es de relevancia destacar que en el caso del problema de control erosión del suelo, utilizando terrazas continuas de base ancha, los costos de producción se ven incrementados en la siguiente proporción por hectárea protegida, incluyendo lo que son las terrazas y un canal con protección para evacuación del agua que se genere de las terrazas:

Mano de obra US \$ 18.90

Materiales US \$ 40.46

Como puede observarse, la implementación de éstas prácticas requiere de una inversión considerable por parte del productor, requiriendo de un esfuerzo adicional, pero que es compensado a largo plazo por el aumento en la producción y por la disminución en el uso de insumos para la producción, principalmente fertilizantes, además por ser una inversión con una vida útil que puede prolongarse por varios años, dependiendo del manejo a que sea sometida.

4.6.1 Relación Beneficio – Costo

La relación beneficio - costo fue calculada para el sistema agroforestal de tres y seis años y para el sistema de maíz, por ser los que presentan ingresos en forma regular, siendo este para el sistema agroforestal fue de tres años fue de 0.29, para el de seis años de 0.91 y para el sistema anual de maíz fue de 0.97.

La información que se presenta en el Cuadro 12. fue estandarizada a una hectárea para facilitar su análisis. El desglose de los costos e ingresos se presenta en los Anexos del 2 – 6.

Cuadro 12. Resumen de costos e ingresos por hectárea

Bloque	Costos	Ingresos	Relación beneficio - costo
Cero años	797.89	0	-
Un año	210.97	0	-
Tres años	243.45	72.25	0.29
Seis años	316.58	289.00	0.91
Sistema maíz	250.23	242.90	0.97

En los sistemas agroforestales de tres y seis años la relación beneficio costo es bastante menor que uno, indicando una pérdida, lo cual es debido en primer lugar a los bajos precios de venta de la producción y a que la productividad es baja, aún en el sistema agroforestal de seis años. En el caso de maíz, aunque aun es menor que uno, hay que tomar en cuenta el valor social de la producción, ya que de esta forma el productor en cierta medida asegura la alimentación de su familia.

En el Cuadro 13. podemos ver cual es la relación beneficio - costo de los bloques estudiados, tomando en consideración el incremento de los costos que genera la implementación de obras de conservación.

Cuadro 13. Resumen de costos e ingresos por hectárea, incluyendo obras de conservación de suelos.

Bloque	Costos	Ingresos	Relación beneficio - costo
Cero años	857.19	0	-
Un año	269.3	0	-
Tres años	302.75	72.25	0.24
Seis años	375.88	289.00	0.77
Sistema maíz	309.53	242.90	0.78

La baja relación beneficio – costo que se obtiene en todos los casos, puede deberse a que en un solo año es cargado todo el valor de la inversión que tendrá una vida útil de varios años, además de considerar el peor de los casos en cuanto a ingresos, que es que las prácticas no tengan ningún efecto positivo en la producción, y por lo tanto en los ingresos.

Posteriormente deberán hacerse estudios que incluyan un análisis detallado por ingresos de madera, frutales y otros que generen los sistemas.

4.7 COMPOSICIÓN FLORÍSTICA DE LOS BLOQUES.

4.7.1 Bloque de cero años.

En este bloque por encontrarse en sus primeras etapas de desarrollo, la vegetación presente aún se encuentra con una altura muy pequeña. Como en el resto de los sistemas agroforestales estudiados, la mayoría de la vegetación esta compuesta por café, que en este caso cuenta con una densidad poblacional de 3,266 plantas por hectárea; plátano con una densidad de 566 plantas por hectárea; otras especies presentes son *Ingas* con densidad de 100 plantas por hectárea y *gravilea* con una densidad de 66 plantas por hectárea.

Es de hacer notar que en este bloque se esta trabajando por medio del Proyecto Zamorano – FAO, razón por la cual se cuenta con la presencia de especies maderables como la *gravilea* (*Grevilea robusta*).

4.7.2 Bloque de un año.

La composición florística de este bloque es bastante similar a la del bloque de cero años, con la diferencia que se tienen mas especies que han crecido de forma natural. La densidad poblacional del cultivo de café acá es de 3, 433 plantas por hectárea; plátano con 366 plantas por hectárea, *Ingas* con 133 plantas por hectárea y aproximadamente 100 plantas por hectárea de otras especies como encino de montaña y pino. El incremento en la densidad del café con relación al sistema de cero años, se da porque acá se tuvo un mayor porcentaje de pegue al momento de hacer la siembra en el campo.

4.7.3 Bloque de tres años.

En este caso la densidad del café alcanza 2,833 plantas por hectárea, plátano con 766 plantas por hectárea, que además de tener una alta población también presenta un gran número de plantas en cada postura, incrementando de esta forma la cobertura vegetal. Otras especies presentes son Ingas y encino con una densidad aproximada de 100 árboles por hectárea cada una.

4.7.4 Bloque de seis años

Este bloque presenta una densidad de 3,333 plantas de café por hectárea, que es el cultivo principal, mientras que el plátano tiene una densidad de 533 plantas por hectárea, mientras que el género de Ingas tiene una densidad de 133 plantas por hectárea. Un dato importante en este bloque es la presencia de un número considerable de árboles frutales, ya que de durazno se encontró una densidad de 300 árboles por hectárea y de aguacate una densidad de 133 árboles por hectárea.

4.7.5 Bloque de sistema anual maíz

En este bloque la vegetación predominante durante el ciclo de cultivo de maíz es el mismo cultivo, pero a partir del momento de la cosecha predominan las malezas especialmente anuales.

En todos los casos únicamente se tomó en cuenta la cobertura de arbustos y árboles, debido a que son los que permanecerán a lo largo de la vida de los sistemas agroforestales, ya que a medida que avanzan en su desarrollo, las especies de malezas tienden a desaparecer por falta de luz principalmente.

5 Conclusiones

Por medio del análisis químico del suelo de cada bloque se pudo establecer las condiciones nutricionales del suelo, lo cual servirá como línea de base con relación a nutrición del suelo, encontrándose que los elementos estudiados se encuentran en rangos adecuados para el cultivo de café.

Las condiciones nutricionales del suelo son uniformes en las diferentes etapas de desarrollo de los sistemas agroforestales, excepto para potasio y pH, que si presentaron diferencia significativa, lo que puede ser debido a que no se hace un adecuado manejo del suelo en lo referente a conservación, lo que genera que los procesos erosivos afecten drásticamente aún en los sistemas completamente desarrollados, siendo necesarias evaluaciones posteriores. Las mejores condiciones de pH y contenido de potasio encontrados en el sistema anual de cultivo de maíz, pueden deberse a las aplicaciones de fertilizante que se hacen en cada ciclo y a la quema que ocurrió en este lote antes de iniciarse con el cultivo.

La falta de prácticas de conservación de suelos y aguas en el bloque de tres años ha generado que la superficie del suelo haya perdido la capa fértil original que se encuentra en los bloques de cero y un año, afectando la capacidad de infiltración y acelerando la degradación del mismo.

La secuencia de los horizontes en los perfiles estudiados, indica que en muchos sitios la erosión ha sido severa.

Los bajos precios del café en el mercado internacional afectan de forma aguda las condiciones económicas de los productores de café, ya que aun en los sistemas agroforestales que se encuentran en producción, no son cubiertos los costos asociados con los procesos productivos. Debido a lo anterior y las actividades que se llevan a cabo por parte del Proyecto de Apoyo al Mejoramiento de Sistemas Productivos en el Municipio de Güinope, ejecutado por la Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, los productores de la microcuenca muestran muy buena disponibilidad para establecer sistemas agroforestales permanentes que ayuden a mejorar tanto las condiciones de manejo de la microcuenca y la sostenibilidad económica de sus plantaciones.

El sistema anual de cultivo de maíz, aunque financiera y técnicamente no es adecuado representa un soporte para los productores, debido a que asegura el alimento para la familia en el transcurso del año.

La implementación de los sistemas agroforestales, representa un incremento en el valor de la inversión, representando un egreso extra para los productores, pero deberá de valorarse también los beneficios relacionados con su implementación, como ser el valor a futuro de la madera que se obtendrá, el valor por venta de frutas y sobre todo el valor que pueda asignársele al agua producida por la microcuenca.

La implementación de obras de conservación de suelo, es una actividad necesaria para la conservación de los recursos suelo y agua en la microcuenca, ya que con su implementación se reduce de forma significativa las tasa de erosión, además se pueden combinar con otras prácticas como ser la siembra de barreras de pastos o caña para proteger los taludes, las que al mismo tiempo que pueden ser utilizadas en la alimentación animal, generando de ésta forma un ingreso adicional para los productores.

6 Recomendaciones

Debido a que la mayoría de las parcelas de la microcuenca poseen características topográficas no aptas para la agricultura, se hace necesaria la implementación de un programa general de conservación de suelos y agua, a fin de asegurar la estabilidad de la cuenca, tanto en sistemas agroforestales, como en sistemas anuales, donde se presenta mayor pérdida de suelo por erosión.

Continuar con el establecimiento de procesos productivos integrados y fomentando la organización, para asegurar la comercialización de los productos por canales adecuados.

Promover el establecimiento de especies frutales y maderables a lo largo de toda la microcuenca, a fin de aprovechar su doble propósito, reforestación y generación de ingresos por la venta de sus productos.

Realizar estudios acerca del balance hídrico y de las condiciones edáficas del resto de la microcuenca, con el propósito de determinar las especies que mejor se adapten a las condiciones climáticas y de suelo de la microcuenca.

Establecer las áreas de recarga que tengan mayor impacto sobre la producción de agua de la microcuenca para diseñar un plan de manejo que asegure su estabilidad y producción de agua a través del tiempo.

Continuar con estudios acerca de las condiciones nutricionales y de las condiciones que determinan la retención de agua del suelo.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAFIN (Asesores Bancarios y Financieros). (sf). Análisis de inversiones en activos. Tasa interna de retorno. (en línea) España. Consultado el 22 de febrero del 2003. Disponible en <http://www.abanfin.com/dirfinan/inversiones/inversiones7.htm#Definición>

Arias, K.; Ruiz-Silvera, C.; Milla, M.; Messa, H.; Escobar, A. Almacenamiento de carbono por *Gliricidia sepium* en sistemas agroforestales de Yaracuy, Venezuela. Consultado el 24 de febrero del 2003. Disponible en <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd13/5/ruiz135.htm>

Bual, S.W.; Hole, F.D.; McCracker, R.J. 1981. Génesis y clasificación de suelos. Edit. Trillas. México. p 125.

Fassbender, H.W. 1993. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2 ed. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 492 p.

Figueroa, J. P. 1999. Monitoreo de incendios forestales y respuesta de las comunidades en el área de acción del proyecto “PROCUENCAS”. Tesis Ing. Agr. Escuela Agrícola Panamericana. Honduras. 55 p.

Fuentes Yagüe, J L. 1994. El suelo y los fertilizantes. 4 ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 327p.

García Puentes, L. E. 2001. Estudio de línea de base de suelos en un sitio de referencia en la microcuenca de El Zapotillo, Güinope, Honduras. Tesis Ing. Agr. Escuela Agrícola Panamericana. Honduras. 59 p.

Gauggel, C. 2002. Apuntes de clase Nutrición Vegetal. Zamorano, Francisco Morazán, Honduras.

Guzmán Castillo, W. (sf). ¿Cómo aplicar los conceptos de costo de oportunidad y costo-beneficio para la toma de decisiones en la producción agroforestal? (en línea). Costa Rica. Consultado el 5 de marzo del 2003. Disponible en <http://www.catie.ac.cr/informacion/RAFA/rev25/tc25.htm>

Hernández Carvajal, J. I. 2002. Comparación costo – beneficio entre sistemas productivos y su relación con el estado nutricional de los suelos en tres microdrenajes de la microcuenca El Zapotillo, Güinope, Honduras. Tesis Ing. DSEA. Escuela Agrícola Panamericana. 89 p.

IHCAFE. 2001. Honduras pierde \$ 160 millones en café. (en línea). Consultado el 5 de septiembre del 2002. Disponible en <http://www.a021.infonegocio.com/418/noticias/noticias33.htm> Lal, R. comp. 2000. Integrated watershed management in the global ecosystem. Boca Raton, Florida, United States of America. CRC Press LLC. 395 p.

Landon, J.R. 1991. comp. Booker tropical soil manual. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. Longman Scientific & Technical. USA. 550 p.

Ludwick, A. E.; Campbell, K.; Johnson, R.; McClain, L.; Millaway, R.; Purcell, S.; Phillips, I.; Rush, D.; Waters, J. comp. 1995. Manual de fertilizantes para horticultura. México. Editorial LIMUSA. 297p.

Plasler, E. J. 2000. La ciencia del suelo y su manejo. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 419 p.

PNUMA; Agencia Europea del Medio Ambiente. 2002. Con los pies en la Tierra: la degradación del suelo y el desarrollo sostenible en Europa. (en línea). Roma. Consultado el 13 de febrero del 2003. Disponible en http://reports.eea.eu.int/Environmental_issue_series_16/es/Spanish%20soil%20for%20the%20www.pdf

Proyecto Manejo Integral de Cuencas. (sf). Protección, desarrollo y servicios ambientales. (en línea). Bolivia. Consultado el 5 de marzo del 2003. Disponible en http://www.promic-bolivia.org/servicios/c_servicios/s_mic.htm

Reconco, R. 2003. Apuntes de clase Sistemas de Decisión Gerencial. Zamorano, Francisco Morazán, Honduras.

Rodríguez Tablas, V. V. 1999. Caracterización y evaluación participativa de aspectos biofísicos y socioeconómicos de las microcuencas El Capiro y El Zapotillo, Güinope, El Paraíso. Tesis Ing. Agr. Escuela Agrícola Panamericana. Honduras. 89 p.

Sumner, M.E. 2000. Handbook of soil science. CRC. Press. Boca Ratón, Florida, EE UU. E – 1.

The American Society of Agricultural Engineers. 1999. Handbook of agricultural engineering: Land and water engineering. Volume I. Edited by The International Commission of Agricultural Engineering. USA. 558 p.

Tragsa, Tragsatec y Ministerio de Medio Ambiente. 1998. Restauración hidrológico forestal de cuencas y de la erosión. Ingeniería ambiental. 2 ed. Madrid, España. Mundi Prensa. 920 p.

USAID-LUPE, 1994. Manual práctico de manejo del suelo en laderas. Modulo 1. Tegucigalpa, Honduras. Pág. 3-14.

Villacís, V. M. 1997. Determinantes de adopción de abonos verdes en productores de maíz en laderas. Tesis Ing. Agr. Escuela Agrícola Panamericana. Honduras. 76 p.

Young, A. 1997. Agroforestry for soil management. 2nd ed. Oxon, United Kingdom. CAB International. 320 p.

Zamorano/FAO. 2002. Proyecto de apoyo al mejoramiento de los sistemas productivos en el municipio de Güinope, departamento de El Paraíso. Plan de actividades. Zamorano, Honduras.

8 Anexos

Anexo No 1

Descripción detallada de cada uno de los perfiles de suelo.

Sistema agroforestal de cero años**Perfil N° 1****Fecha de descripción:** 07 de marzo del 2003**Propietario:** Marco Antonio Garay**Ubicación:** Microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso**Describió:** Dr. Carlos Gauggel, José Fernández**Posición geomorfológica:** Ladera media**Material parental:** Ceniza volcánica**Drenaje superficial:** Muy bueno**Drenaje interno:** Muy bueno**Clasificación:** Haploustalf Ándico

Horizonte	Profundidad	Características
Ap	0 – 12 cm	Café muy oscuro (10YR 2/2), franco limoso, granular mediana a muy fina fuerte, friable, poros muchos continuos de medianos a finos, raíces pocas de todos los tamaños, límite ondulado y gradual, resistencia a la penetración 1.75 Kg/cm ² .
Ap2	12 – 24 cm	Café oscuro (7.5YR 3/3), franco arcillo limoso, bloques subangulares de todos los tamaños moderados, friable, poros muchos continuos medianos y finos, raíces pocas de todos los tamaños, límite ondulado y gradual, resistencia a la penetración 2.3 Kg/cm ² .
Ab	24 – 33 cm	Café oscuro (7.5YR 3/3), franco arcillo limoso, bloques subangulares de todos los tamaños fuertes, friable, poros pocos planos verticales finos, frecuentes continuos finos y muy finos, raíces pocas finas, límite plano gradual, resistencia a la penetración 4.45 Kg/cm ² .
Btb	33 – 50 cm	Café rojizo oscuro (5YR 3/3), franco arcillo limoso, bloques subangulares débiles de todos los tamaños, friable, cutanes color igual a la matriz, poros pocos planos verticales finos y muy finos y frecuentes continuos finos, raíces pocas finas, límite ondulado gradual, resistencia a la penetración 4.5 + Kg/cm ² .
Btb2	50 – 70 cm	Café rojizo oscuro (5YR 4/3), arcillo limoso, de bloques subangulares de medios a finos débiles, friable, cutanes color igual a la matriz, poros continuos pocos medianos y finos, límite ondulado y claro, resistencia a la penetración 4.5 + Kg/cm ² .
BC	70+ cm	Café olivo (2.5YR 4/4), arcillo limoso, masiva, friable, poros nulos, sin raíces, resistencia a la penetración 4.5 + Kg/cm ² .

Este perfil presenta la características particular de tener horizontes sepultados como puede observarse por su horizonte Ab y la acumulación de arcilla iluvial en los horizontes Btb. La alta resistencia a la penetración que presentan los horizontes puede deberse en parte a que el perfil se encontraba con muy poca humedad, ya que presenta una consistencia friable en todos los horizontes.

Perfil N° 2**Fecha de descripción:** 07 de marzo del 2003**Propietario:** Marco Antonio Garay**Ubicación:** Microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso**Describió:** Dr. Carlos Gauggel, José Fernández**Posición geomorfológica:** Ladera media**Material parental:** Ceniza volcánica**Drenaje superficial:** Muy bueno**Drenaje interno:** Muy bueno**Clasificación:** Haploustalf ándico

Horizonte	Profundidad	Características
Ap	0 – 20 cm	Café muy oscuro (10YR 2/2), franco limoso, bloques subangulares medianos débiles que parten a granular fuerte de todos los tamaños, friable, poros muchos medianos y finos, muchas gruesas, finas y muy finas, límite ondulado y claro, resistencia a la penetración 1.05 Kg/cm ² .
Bt	20 – 47 cm	Café (7.5YR 4/4), franco arcillo limoso, bloques subangulares de todos los tamaños moderados, friable, cutanes color igual a la matriz, poros frecuentes continuos medianos, raíces muchas finas y pocas medianas, límite ondulado gradual, resistencia a la penetración 3.3 Kg/cm ² .
Bt2	47 – 66 cm	Café (7.5YR 4/4), bloques subangulares de todos los tamaños débiles, firme, cutanes color igual a la matriz, poros pocos continuos finos, raíces muy pocas finas, límite plano y claro, resistencia a la penetración 4.45 Kg/cm ² .
CB	66 – 85 cm	Café (7.5YR 4/3), arcillo limoso, masiva, friable, poros pocos discontinuos, raíces muy pocas muy finas, resistencia a la penetración 3.85 Kg/cm ² .

En este perfil con una profundidad efectiva de 66 cm, puede verse la acumulación de arcilla en los horizontes Bt, horizontes argílicos, así como un horizonte transicional CB, predominando las características del horizonte C. La alta resistencia a la penetración principalmente en los horizontes Bt y CB pudo deberse a la textura y a la poca humedad que tenía el suelo al momento de hacer las mediciones. Como puede verse por el tipo y tamaño de poros presentes, la infiltración / precolación en este suelo es muy buena.

Perfil N° 3**Fecha de descripción:** 07 de marzo del 2003**Propietario:** Marco Antonio Garay**Ubicación:** Microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso**Describió:** Dr. Carlos Gauggel, José Fernández**Posición geomorfológica:** Ladera media**Material parental:** Ceniza volcánica**Drenaje superficial:** Muy bueno**Drenaje interno:** Muy bueno**Clasificación:** Haploustalf ándico

Horizonte	Profundidad	Características
Ap	0 – 20 cm	Café muy oscuro (10YR 2/2), franco limoso, granular mediana a muy fina fuerte, muy friable, poros muchos continuos de todos los tamaños, raíces muchas de todos los tamaños, límite ondulado y claro, resistencia a la penetración 0.75 Kg/cm ² .
Bt	20 – 58 cm	Café (7.5YR 4/4), franco limoso, fragmentos gruesos en un 20% del volumen, bloques subangulares gruesos y medianos, muy friable, cutanes color igual a la matriz, poros muchos finos y muy finos, raíces frecuentes gruesas y pocas finas, límite ondulado y claro, resistencia a la penetración 1.55 Kg/cm ² .
Bt2	58 – 73 cm	Café amarillento oscuro (10YR 4/4), franco arcillo limoso, bloques subangulares de todos los tamaños, friable, cutanes color igual a la matriz, poros frecuentes continuos finos y muy finos, raíces frecuentes finas, límite ondulado y claro, resistencia a la penetración 2.85 Kg/cm ² .
CB	73 + cm	Café amarillento oscuro (10YR 4/4), arcilloso, masiva, poros pocos discontinuos finos, sin raíces, resistencia a la penetración 3.30 Kg/cm ² .

En este perfil al hacer las observaciones del entorno, puede notarse que ha existido un proceso erosivo que pudo eliminar una parte del horizonte A. Igual que los perfiles anteriores, puede notarse la acumulación de arcillas en los horizontes Bt. La infiltración del agua en este perfil de profundidad efectiva de 78 cm, se ve favorecida por la presencia de muchos poros principalmente en los primeros 58 cm, reduciendo el riesgo de erosión laminar. La presencia de pocos poros discontinuos y la estructura masiva del horizonte CB, se ve reflejada en la ausencia de raíces en el mismo debido a la reducida aireación y falta de espacio para desarrollo normal de las raíces.

Sistema agroforestal de un año**Perfil N° 1****Fecha de descripción:** 07 de marzo del 2003**Propietario:** Marco Antonio Garay**Ubicación:** Microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso**Describió:** Dr. Carlos Gauggel, José Fernández**Posición geomorfológica:** Ladera media**Material parental:** Ceniza volcánica**Drenaje superficial:** Muy bueno**Drenaje interno:** Muy bueno**Clasificación:** Haploustalf ándico

Horizonte	Profundidad	Características
Ap	0 – 17 cm	Café muy oscuro (10YR 2/2), franco limoso, granular de todos los tamaños fuerte, friable, poros muchos continuos finos y muy finos, raíces frecuentes gruesas y muchas finas y muy finas, límite ondulado gradual, resistencia a la penetración 1.05 Kg/cm ² .
E	17 – 32 cm	Café fuere (7.5YR 4/6), franco limoso, granular de todos los tamaños fuerte, friable, poros muchos continuos de medianos a muy finos, raíces pocas gruesas y medianas y muchas finas y muy finas, límite ondulado y claro, resistencia a la penetración 1.58 Kg/cm ² .
E2	32 – 54 cm	Café oscuro (7.5YR 3/3), franco arcillo limoso, fragmentos gruesos en un 10% del volumen, bloques subangulares medianos y muy finos que parten a granular, friable, poros muchos continuos finos y muy finos, raíces pocas medianas y muchas finas y muy finas, límite ondulado y gradual, resistencia a la penetración 0.65 Kg/cm ² .
Bt	54 – 73 cm	Café oscuro (7.5YR 3/4), franco arcillo limoso, bloques subangulares de todos los tamaños débiles, friable, cutanes color igual a la matriz, poros frecuentes continuos y muy finos, raíces frecuentes finas y muy finas, límite plano y difuso, resistencia a la penetración 2.70 Kg/cm ² .
Bt2	73 + cm	Café oscuro (7.5YR 3/4), franco arcillo limoso, estructura de bloques subangulares de todos los tamaños débiles, friable, cutanes color igual a la matriz, poros muchos discontinuos muy finos, raíces nulas, resistencia a la penetración 2.35 Kg/cm ² .

Debido a tener un perfil que muestra de forma mas clara el desarrollo de los horizontes Ap, E, E2, Bt y Bt2, este perfil puede ser utilizada como referencia y poder determinar el nivel de erosión que puede haber ocurrido en el resto de los perfiles estudiados. La presencia de un horizonte E indica un alto grado de estabilidad, ya que se ha permitido la lixiviación de muchos materiales como hierro y arcilla hacia los horizontes Bt. La presencia de muchos poros continuos en los primeros 73 cm provee una buena tasa de infiltración del agua. En el horizonte E2 puede notarse la presencia de fragmentos rocosos angulares, lo que indica meteorización en el sitio.

Perfil N° 2**Fecha de descripción:** 07 de marzo del 2003**Propietario:** Marco Antonio Garay**Ubicación:** Microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso**Describió:** Dr. Carlos Gauggel, José Fernández**Posición geomorfológica:** Ladera media**Material parental:** Ceniza volcánica**Drenaje superficial:** Muy bueno**Drenaje interno:** Muy bueno**Clasificación:** Haploustalf ándico

Horizonte	Profundidad	Características
A/B	0 – 26 cm	Café oscuro (7.5YR 3/3), franco limoso, bloques subangulares medianos débiles que parten a granular de todos los tamaños fuertes, friable, poros muchos continuos medianos, finos y muy finos, raíces frecuentes medianas y grandes, muchas finas y muy finas, límite claro y plano, resistencia a la penetración 1.60 Kg/cm ² .
Bt	26 – 70 cm	Café fuerte (7.5YR 4/6), franco limoso, presencia de grava en un 5% del volumen, granular de todos los tamaños fuerte, friable, cutanes color igual a la matriz, poros muchos continuos de medianos a muy finos, raíces pocas gruesas y medianas y muchas finas y muy finas, límite ondulado y claro, resistencia a la penetración 1.9 Kg/cm ² .
BC	70 + cm	Café fuerte (7.5YR 4/6), arcillo limoso, bloques subangulares débiles medianos y finos, friable, poros frecuentes muy finos, raíces pocas medianas, frecuentes finas y muy finas, resistencia a la penetración 2.0 Kg/cm ² .

En este perfil se observa que en el primer horizonte se encuentran mezclados los horizontes A y B, siendo el horizonte A el de mayor magnitud. Este efecto es similar al producido por el volteo producido por la aradura. Por la presencia muy buena de poros medianos, finos y muy finos puede notarse un muy buen equilibrio entre la infiltración y retención de agua a través del perfil del suelo. La presencia de cutanes en el horizonte Bt muestra la lixiviación de arcillas que ha existido a través del perfil, además que la presencia de grava en el horizonte Bt muestra un proceso de meteorización incompleto.

Perfil N° 3**Fecha de descripción:** 07 de marzo del 2003**Propietario:** Marco Antonio Garay**Ubicación:** Microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso**Describió:** Dr. Carlos Gauggel, José Fernández**Posición geomorfológica:** Ladera media**Material parental:** Ceniza volcánica**Drenaje superficial:** Muy bueno**Clasificación:** Haploustalf ándico

Horizonte	Profundidad	Características
Ap	0 – 17 cm	Negro (10YR 2/1), franco limoso, granular de todos los tamaños fuerte, friable, poros muchos continuos finos y muy finos, raíces frecuentes medianas y muchas finas y muy finas, límite ondulado y claro, resistencia a la penetración 2.5 Kg/cm ² .
Bt	25 – 70 cm	Café oscuro (7.5YR 3/4), arcilloso, en bloques subangulares gruesos y medianos fuertes, firme, cutanes del mismo color de la matriz, poros muchos continuos medianos, finos y muy finos, raíces pocas medianas y frecuentes finas y muy finas, límite ondulado y difuso, resistencia a la penetración 4.5 + Kg/cm ² .
Bt2	70 + cm	Café fuerte (7.5YR 4/6), arcilloso, bloques subangulares gruesos y medianos fuertes, friable, cutanes color café oscuro (7.5YR 3/4), poros pocos discontinuos finos, raíces pocas finas, resistencia a la penetración 4.5 + Kg/cm ² .

Este perfil muestra una mayor cantidad de arcilla principalmente en los horizontes Bt, la que al tener un bajo nivel de humedad presenta altos rangos de resistencia a la penetración. Este mismo factor puede verse reflejado en la cantidad de raíces presentes en los horizontes, notándose ya que en el horizonte Bt1 las raíces medianas son pocas. La presencia de cutanes en los horizontes Bt es indicador de la lixiviación de las arcillas del horizonte Ap hacia los horizontes Bt, constituyéndose en un horizonte argílico.

Sistema agroforestal de tres años**Perfil N° 1****Fecha de descripción:** 07 de marzo del 2003**Propietario:** Marco Antonio Garay**Ubicación:** Microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso**Describió:** Dr. Carlos Gauggel, José Fernández**Posición geomorfológica:** Ladera media**Material parental:** Ceniza volcánica**Drenaje superficial:** Muy bueno**Drenaje interno:** Muy bueno**Clasificación:** Haploustalf ándico

Horizonte	Profundidad	Características
Ap	0 – 17 cm	Café muy oscuro (10YR 2/2), franco limoso, bloques subangulares gruesos y medianos débiles que parten a granular de todos los tamaños fuertes, friable, poros muchos continuos medianos, finos y muy finos, raíces pocas medianas y muchas finas y muy finas, límite ondulado y claro, resistencia a la penetración 1.05 Kg/cm ² .
E	17 – 35 cm	Café oscuro (7.5YR 3/4), franco arcillo limoso, bloques subangulares de todos los tamaños fuertes, firme, poros muchos continuos finos y muy finos, raíces pocas medianas y frecuentes finas, límite ondulado claro, resistencia a la penetración 4.5 + Kg/cm ² .
Bt	35 – 60 cm	Café oscuro (7.5YR 3/3), arcillo limoso, bloques subangulares de todos los tamaños fuertes, firme, cutanes del mismo color de la matriz, poros continuos frecuentes finos y muy finos, raíces pocas finas, límite ondulado difuso, resistencia a la penetración 4.25 Kg/cm ² .
Bt2	60 + cm	Café oscuro (7.5YR 3/4), arcilloso, estructura masiva, friable, cutanes color igual a la matriz, poros pocos continuos muy finos y pocos discontinuos finos y muy finos, sin raíces, resistencia a la penetración 4.35 Kg/cm ² .

Debido a que este perfil posee un buen desarrollo, puede ser utilizado también como referencia para medir el grado de deterioro y/o que han sufrido los suelos en la zona. Como puede observarse hasta una profundidad de 60 cm posee una estructura que permite aireación adecuada, notándose una presencia relativamente buena de raíces. A pesar de haberse obtenido valores altos de resistencia a la penetración, hay que hacer notar que estos fueron tomados en condiciones de suelo seco, por lo que se puede inferir que bajo humedad adecuada estos deben de ser considerablemente mas bajos, además de que la consistencia de los agregados aun bajo condiciones secas es friable.

Perfil N? 2**Fecha de descripción:** 07 de marzo del 2003**Propietario:** Marco Antonio Garay**Ubicación:** Microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso**Describió:** Dr. Carlos Gauggel, José Fernández**Posición geomorfológica:** Ladera media**Material parental:** Ceniza volcánica**Drenaje superficial:** Muy bueno**Drenaje interno:** Muy bueno**Clasificación:** Haplustand típico

Horizonte	Profundidad	Características
Ap	0 –30 cm	Café oscuro (7.5YR 3/2), franco limoso, bloques subangulares medianos y débiles que parten a granular fuerte, friable, poros muchos continuos finos y muy finos, raíces muchas finas y muy finas, límite ondulado y claro, resistencia a la penetración 2.0 Kg/cm ² .
Bw	30 – 60 cm	Café oscuro (7.5YR 3/4), arcillo limoso, bloques subangulares de todos los tamaños moderados, friable, poros muchos medianos, finos y muy finos, raíces pocas finas, límite plano y claro, resistencia a la penetración 2.95 Kg/cm ² .
Bw2	60+ cm	Café oscuro (7.5YR 3/3), arcillo limoso, bloques subangulares medianos, finos y muy finos débiles, friable, poros pocos continuos finos y muy finos y frecuentes discontinuos finos y muy finos, sin raíces, resistencia a la penetración 4.05 Kg/cm ² .

La presenciadle horizonte Bw, indica que la superficie en la cual esta el sitio de estudio es relativamente mas joven que los otros y que ha sufrido episodios de inestabilidad mas frecuentes. Debido a la presencia de muchos poros continuos finos y muy finos principalmente en los primeros 60 cm de profundidad permiten una adecuada retención de agua, favoreciendo el desarrollo de raíces a través del perfil.

Perfil N° 3**Fecha de descripción:** 07 de marzo del 2003**Propietario:** Marco Antonio Garay**Ubicación:** Microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso**Describió:** Dr. Carlos Gauggel, José Fernández**Posición geomorfológica:** Ladera media**Material parental:** Ceniza volcánica**Drenaje superficial:** Muy bueno**Drenaje interno:** Muy bueno**Clasificación:** Haploustalf ándico

Horizonte	Profundidad	Características
Ap	0 – 20 cm	Gris muy oscuro (7.5YR 3/1), franco limoso, bloques subangulares débiles que parten a granular de todos los tamaños, friable, poros muchos continuos finos y muy finos, raíces pocas gruesas y frecuentes finas y muy finas, límite ondulado y claro, resistencia a la penetración 3.45 Kg/cm ² .
E	20 – 35 cm	Café oscuro 7.5YR 3/3, franco arcillo limoso, bloques subangulares medianos finos fuertes, firme, poros frecuentes continuos finos y muy finos y muy pocos plano vertical mediano, raíces pocas gruesas y frecuentes finas y muy finas, límite ondulado gradual, resistencia a la penetración 4.5 + Kg/cm ² .
Bt	35 – 68 cm	Café oscuro (7.5YR 3/4), arcilloso, estructura prismática débil, friable, cutanes del mismo color de la matriz, poros frecuentes continuos medianos y finos y pocos planos verticales finos, raíces pocas finas, límite ondulado y gradual, resistencia a la penetración 4.5 + Kg/cm ² .
Bt2	68+ cm	Café oscuro (7.5YR 3/3), arcilloso, estructura masiva, friable, cutanes del mismo color de la matriz, poros pocos planos verticales, sin raíces, resistencia a la penetración 4.5 + Kg/cm ² .

El incremento de la arcilla a partir de los 20 cm de profundidad evita que este perfil sea tan propenso a la erosión pero también disminuye la capacidad de precolación de agua, ya que los poros que posee son finos y muy finos en su mayoría. Un dato importante es que debido al bajo nivel de humedad al momento de hacer la descripción pudo notarse la presencia de poros planos verticales en los horizontes con presencia de arcilla. Este mismo factor también afectó la medición de la resistencia a la penetración, ya que los mismos horizontes mostraron valores superiores a los 4.45 Kg/cm².

Sistema agroforestal de seis años**Perfil N° 1****Fecha de descripción:** 28 de febrero del 2003**Propietario:** Guadalupe Valladares**Ubicación:** Microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso**Describió:** Dr. Carlos Gauggel, José Fernández**Posición geomorfológica:** Ladera media**Material parental:** Ceniza volcánica**Drenaje superficial:** Muy bueno**Drenaje interno:** Muy bueno**Clasificación:** Haploustalf ándico

Horizonte	Profundidad	Características
Ap	0 – 9 cm	Café oscuro (7.5YR 3/2), franco limoso, granular fuerte de todos los tamaños, friable, poros muchos continuos de distribución horizontal y vertical, muchas raíces medianas, finas y muy finas, límite ondulado claro, resistencia a la penetración 4.05 Kg/cm ² .
E	9 – 28 cm	Café rojizo oscuro (5YR 3/3), franco arcillo limoso, bloques subangulares débiles medianos que parten a granular de todos los tamaños, extremadamente friable, poros muchos continuos horizontales finos, discontinuos pocos, raíces muchas de gruesas a muy finas, límite ondulado gradual, resistencia a la penetración 1.95 Kg/cm ² .
Bt	28 – 59 cm	Café muy oscuro (7.5YR 2.5/3), arcillo limoso, bloques subangulares de todos los tamaños moderados que parten a granular de todos los tamaños moderados, friable, cutanes color café oscuro (7.5 YR 3/3), poros muchos continuos finos, raíces muchas de todos los tamaños, limite ondulado gradual, resistencia a la penetración 4.5 + Kg/cm ² .
Bt2	59 + cm	Color café oscuro (7.5YR 4/4), arcillo limoso, bloques subangulares fuertes de todos los tamaños, friable, cutanes color café oscuro (7.5 YR 3/4), poros muchos continuos y finos, raíces pocas muy finas, pocos discontinuos, resistencia a la penetración 4.5 + Kg/cm ² .

En este perfil se observa la presencia de gran cantidad de poros que permiten al suelo tener buena combinación entre retención de humedad y drenaje por medio de la combinación de poros de diferente tamaño. Esta característica influye mucho en la presencia de raíces que puede notarse a través de todo el perfil. Por la presencia del horizonte E puede inferirse que en este perfil ha existido relativamente poca erosión, dando lugar a la acumulación de arcillas en los horizontes Bt u horizonte argílico. Los altos valores de resistencia a la penetración pueden deberse mayormente a las condiciones de baja humedad en el suelo. La resistencia a la penetración podría ser menor en condiciones de mayor humedad ya que presenta una consistencia friable.

Perfil N? 2**Fecha de descripción:** 28 de febrero del 2003**Propietario:** Guadalupe Valladares**Ubicación:** Microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso**Describió:** Dr. Carlos Gauggel, José Fernández**Posición geomorfológica:** Ladera media**Material parental:** Ceniza volcánica**Drenaje superficial:** Muy bueno**Drenaje interno:** Muy bueno**Clasificación:** Haploustalf ándico

Horizonte	Profundidad	Características
A	0 – 23 cm	Café rojizo oscuro (5YR 2.5/2), franco arcillo limoso, bloques subangulares débiles que parten a granular de todos los tamaños, friable, poros muchos continuos y muy finos, raíces muchas medianas, finas y muy finas, límite ondulado gradual, resistencia a la penetración 3.05 Kg/cm ² .
E	23 – 53 cm	Café rojizo oscuro (5YR 3/3), franco arcillo limoso, bloques subangulares de todos los tamaños, friable, poros muchos continuos finos y muy finos, raíces muchas medianas, finas y muy finas, límite ondulado gradual, resistencia a la penetración 3.5 Kg/cm ² .
Bt	53 + cm	Café rojizo (5Y R 4/4), arcillo limoso, bloques subangulares gruesos y medianos débiles que parten a granular de todos los tamaños, friable, cutanes color café rojizo oscuro (5YR 3/4), poros muchos continuos de finos a muy finos, raíces pocas de medianas a muy finas, resistencia a la penetración 3.4 Kg/cm ² .
Observaciones: Se encontró carbón en los horizontes E y Bt		

Debido al buen desarrollo de sus tres horizontes, este perfil puede ser usado como referencia para medir el grado de erosión presente en el resto del sistema agroforestal. Puede notarse además la presencia de muy buena porosidad. Por esta razón y por su textura arcillosa, la retención de agua se ve favorecida, generando el crecimiento de raíces a través de todo el perfil.

Perfil N° 3**Fecha de descripción:** 28 de febrero del 2003**Propietario:** Guadalupe Valladares**Ubicación:** Microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso**Describió:** Dr. Carlos Gauggel, José Fernández**Posición geomorfológica:** Ladera media**Material parental:** Ceniza volcánica**Drenaje superficial:** Muy bueno**Drenaje interno:** Muy bueno**Clasificación:** Haploustalf ándico

Horizonte	Profundidad	Características
Ap	0 – 5 cm	Rojo muy oscuro (7.5YR 2.5/2), franco arcillo limoso, bloques subangulares medianos débiles que parten a granular de todos los tamaños fuertes, friable, poros muchos continuos, medianos finos y muy finos, raíces pocas de todos los tamaños, límite ondulado y claro, resistencia a la penetración 4.4 Kg/cm ² .
Bt	5 – 47 cm	Café rojizo oscuro (5YR 3/3), franco arcillo limoso, bloques subangulares de todos los tamaños débiles, friable, cutanes color café rojizo oscuro 5YR 3/4, poros muchos finos y muy finos, raíces muchas de finas a muy finas, límite ondulado gradual, resistencia a la penetración 2.8 Kg/cm ² .
Bt2		Café rojizo oscuro (5YR 3/3), arcillo limoso, bloques subangulares medianos débiles que parten a granular de todos los tamaños, friable, cutanes color café (5 YR 4/4), raíces pocas finas y muy finas, resistencia a la penetración 2.35 Kg/cm ² .

Como puede verse en este perfil se dificultan un poco más los procesos de infiltración y retención de agua por tener un contenido mayor de arcilla a través de todo el perfil. Por la presencia de cutanes en los horizontes Bt, puede afirmarse que anteriormente si se encontraba un horizonte E, el cual fue erosionado. Un detalle importante es que el horizonte A ha sido prácticamente removido, quedando únicamente una capa muy delgada que en algunas zonas tiende a desaparecer.

Sistema cultivo anual - Maíz**Perfil N° 1****Fecha de descripción:** 28 de febrero del 2003**Propietario:** Reynerio Borjas**Ubicación:** Microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso**Describió:** Dr. Carlos Gauggel, José Fernández**Posición geomorfológica:** Ladera media**Material parental:** Ceniza volcánica**Drenaje superficial:** Muy bueno**Drenaje interno:** Muy bueno**Clasificación:** Haploustalf ándico

Horizonte	Profundidad	Características
Ap	0- 25 cm	Café grisáceo muy oscuro (10YR 3/2), franco, granular fuerte de todos los tamaños, friable, poros muchos continuos finos y muy finos, raíces pocas de todos los tamaños, límite ondulado y claro, resistencia a la penetración 2.8 Kg/cm ² .
Bt	25 – 40 cm	Café fuerte (7.5YR 4/6), franco arcillo limoso, fragmentos gruesos en un 20% del volumen del horizonte, bloques subangulares de medianos a finos débiles, que parten a granular de todos los tamaños, friable, poros muchos continuos de finos a muy finos, raíces pocas finas, límite ondulado difuso, resistencia a la penetración 4.5+ Kg/cm ² .
C1	40 – 70 cm	Café oscuro (7.5YR 3/4), arcilloso, fragmentos de todos los tamaños en un 20% del volumen, masiva, firme, poros muchos finos y muy finos continuos, raíces muy pocas finas y muy finas, límite ondulado gradual, resistencia a la penetración 4.5+ Kg/cm ² .
C2	70 + cm	Café fuerte (7.5YR 4/6), arcilloso, masiva, friable, poros pocos continuos, raíces ninguna, resistencia a la penetración 4.5+ Kg/cm ² .

En este perfil el material parental puede clasificarse como coluvial y además se observa que el horizonte A fue removido completamente y ha iniciado la formación de un nuevo horizonte A. La presencia de fragmentos rocosos angulares en el horizonte Bt y C1 muestran que la meteorización se ha dado en el sitio y que no ha existido movimiento del mismo. Como en la mayoría de los perfiles estudiados, la alta resistencia a la penetración puede deberse mas a factores de baja humedad que a factores del suelo propiamente. Una situación importante que puede notarse es la poca cantidad de raíces presentes a través del perfil, lo cual es una consecuencia de la poca estabilidad que hay en un sistema debido a que el cultivo es de carácter anual.

Perfil N? 2**Fecha de descripción:** 28 de febrero del 2003**Propietario:** Reinerio Borjas**Ubicación:** Microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso**Describió:** Dr. Carlos Gauggel, José Fernández**Posición geomorfológica:** Ladera media**Material parental:** Ceniza volcánica**Drenaje superficial:** Muy bueno**Drenaje interno:** Muy bueno**Clasificación:** Haploustalf ándico

Horizonte	Profundidad	Características
Ap	0 – 10 cm	Café muy oscuro (10YR 2/2), franco, bloques subangulares débiles que parten a granular de todos bs tamaños fuertes, friable, poros muchos continuos de finos a muy finos, raíces pocas de todos los tamaños, límite ondulado claro, resistencia a la penetración 2.9 Kg/cm ² .
Bt	10 –30 cm	Café muy oscuro (7.5YR 2.5/3), franco arcillo limoso, fragmentos gruesos en un 5% del volumen, bloques de todos los tamaños moderados, friables, cutanes del mismo color de la matriz, poros planos verticales pocos y continuos finos y muy finos frecuentes, raíces muy pocas y muy finas, límite ondulado difuso, resistencia a la penetración 4.45 Kg/cm ² .
Bt2	30 – 50 cm	Café oscuro (7.5YR 3/3), arcillo limoso, bloques subangulares de todos los tamaños fuertes, friable, cutanes del mismo color de la matriz, poros planos verticales medianos, poros continuos muy finos frecuentes, sin raíces, límite ondulado difuso, resistencia a la penetración 4.5 + Kg/cm ² .
CB	50 – 90 cm	Café (7.5YR 4/3), arcilloso, bloques subangulares de medianos a finos débiles, friable, poros pocos muy finos discontinuos, raíces pocas finas, resistencia a la penetración 4.5 + Kg/cm ² .

En este perfil puede notarse que ha existido una mayor estabilidad a lo largo del tiempo, ya que se tiene la presencia de dos horizontes Bt donde se ha acumulado arcillas por medio del proceso de lixiviación desde el horizonte A. Una característica importante en este perfil es la presencia de pocos poros, afectando la retención y movimiento de agua a través del perfil de suelo, con lo que se propicia procesos erosivos en forma de escorrentía.

Perfil N° 3**Fecha de descripción:** 28 de febrero del 2003**Propietario:** Reineri Borjas**Ubicación:** Microcuenca El Zapotillo, Güinope, El Paraíso**Describió:** Dr. Carlos Gauggel, José Fernández**Posición geomorfológica:** Ladera media**Material parental:** Material de origen volcánico**Drenaje superficial:** Muy bueno**Drenaje interno:** Muy bueno**Clasificación:** Haploustalf ándico

Horizonte	Profundidad	Características
Ap	0 – 12 cm	Café muy oscuro (10YR 2/2), franco, granular de mediana a fina firme, friable, poros muchos continuos medianos y finos, raíces pocas y finas, límite ondulado y claro, resistencia a la penetración 1.7 Kg/cm ² .
E	12 – 27 cm	Café rojizo oscuro (5YR 3/3), franco limoso, bloques subangulares de todos los tamaños moderados, friable, poros planos horizontales finos, muchos continuos finos, raíces pocas muy finas, límite ondulado gradual, resistencia a la penetración 3.4 Kg/cm ² .
Bt	27 – 70 cm	Café rojizo oscuro (5YR 3/3), franco limoso, bloques subangulares de todos los tamaños débiles, friable, cutanes del mismo color de la matriz, poros planos verticales y horizontales muy finos, continuos frecuentes muy finos, raíces pocas muy finas, límite plano gradual, resistencia a la penetración 1.7 Kg/cm ² .
Bt2	70+ cm	Café rojizo oscuro (5YR 3/3), arcillo limoso, bloques subangulares de medianos a pequeños débiles, friable, cutanes del mismo color de la matriz, poros pocos finos y muy finos continuos, raíces muy pocas muy finas, resistencia a la penetración 4.45 Kg/cm ² .

Este perfil muestra algunas diferencias con relación a los dos anteriores, ya que se encuentra en una concavidad del terreno. El material parental en este caso se identificó como de origen volcánico. La presencia de gran cantidad de poros favorece los procesos de lixiviación de las arcillas y la infiltración de agua

Anexo 2. Costos del sistema agroforestal de cero años.

Productor: Marco Antonio Garay				
Cultivo: Café cero años				
Área: 0.35 hectáreas (costo en US Dólares por hectárea)				
Concepto	Unidad	Cantidad	Costo / unidad	Total
Mano de obra				
Chapia				
Preparación de suelo	Hectárea	Una	57.80	57.80
Construcción de vivero	Plantas	3500	0.40	141.62
Siembra	Plantas	3500	0.0364	127.40
Control de malezas	Hectárea	Dos	57.80	115.60
Aplicación de Fertilizantes	Jornales	Dos	2.89	5.78
Aplicación de Insecticidas	-			
Aplicación de Herbicidas	-			
Poda	-			
Cosecha	-			
Insumos				
Semilla	-			
Fertilizante	-			
Formula Completa	-			
Urea	-			
Gallinaza	Sacos	40	1.156	46.24
Insecticidas				
Transporte (de vivero)	Plantas	3500	0.0867	303.45
TOTAL COSTOS				797.89
Producción				
Maíz	-			-
Café	-			-
TOTAL INGRESOS				-

Anexo 3. Costos del sistema agroforestal de un año

Productor: Marco Antonio Garay				
Cultivo: Café un año				
Área: 0.35 hectáreas (costo en US Dólares por hectárea)				
Concepto	Unidad	Cantidad	Costo / unidad	Total
Mano de obra				
Chapia				
Preparación de suelo				
Construcción de vivero				
Siembra				
Control de malezas	Hectárea	Tres	57.80	173.4
Aplicación de Fertilizantes	Jornales	Uno	2.89	2.89
Aplicación de fertilizante foliar	Jornales	Tres	2.89	8.67
Aplicación de Herbicidas	-			
Poda	-			
Cosecha	-			
Insumos				
Semilla	-			
Fertilizante	-			
Formula Completa	Sacos	2	9.54	19.08
Urea	-			
Gallinaza	-			
Fertilizantes foliares	Litro	1	6.93	6.93
Transporte				
TOTAL COSTOS				210.97
Producción				
Maíz	-			-
Café	-			-
TOTAL INGRESOS				-

Anexo 4. Costos y producción del sistema agroforestal de tres años

Productor: Marco Antonio Garay				
Cultivo: Café tres años				
Área: 1.5 hectáreas (costo en US Dólares por hectárea)				
Concepto	Unidad	Cantidad	Costo / unidad	Total
Mano de obra				
Chapia				
Preparación de suelo				
Construcción de vivero				
Siembra				
Control de malezas	Hectárea	Tres	57.80	173.40
Aplicación de Fertilizantes	Jornales	Tres	2.89	8.67
Aplicación de Fertilizante Foliar	Jornales	Tres	2.89	8.67
Aplicación de Herbicidas	-			
Poda	-			
Cosecha	Jornales	Seis	2.89	17.16
Insumos				
Fertilizante	-			
Formula Completa	Sacos	Tres	9.54	28.62
Urea	-			
Gallinaza	-	-	-	-
Fertilizantes foliares	Litro	1	6.93	6.93
Transporte				
TOTAL COSTOS				243.45
Producción				
Maíz	-			-
Café	Galones	50	1.445	72.25
TOTAL INGRESOS				72.25

Anexo 5. Costos y producción del sistema agroforestal de seis años

Productor: Guadalupe Valladares				
Cultivo: Café seis años				
Área: 1.40 hectáreas (costo en US Dólares por hectárea)				
Concepto	Unidad	Cantidad	Costo / unidad	Total
Mano de obra				
Chapia				
Preparación de suelo				
Construcción de vivero				
Siembra				
Control de malezas	Jornales	45	2.31	103.95
Aplicación de Fertilizantes	Jornales	16	2.31	36.96
Aplicación de Insecticidas	-			
Aplicación de Herbicidas	-			
Poda	Jornales	6	2.31	13.83
Cosecha	Galones	200	0.578	115.60
Insumos				
Semilla	-			
Fertilizante	-			
Formula Completa	-			
Urea	-			
Gallinaza	Sacos	40	1.156	46.24
Insecticidas				
Transporte				
TOTAL COSTOS				316.58
Producción				
Maíz	-			-
Café	Galones	200	1.445	289.00
TOTAL INGRESOS				289.00

Anexo 6. Costos y producción del sistema anual de maíz

Productor: Reynerio Borjas				
Cultivo: Maíz				
Área: 0.35 hectáreas (costo en US Dólares por hectárea)				
Concepto	Unidad	Cantidad	Costo / unidad	Total
Mano de obra				
Chapia	Jornales	5	2.31	11.55
Preparación de suelo	Jornales	23	2.31	53.13
Construcción de vivero				
Siembra	Jornales	8	2.31	18.48
Control de malezas	Jornales	32	2.31	73.92
Aplicación de Fertilizantes	Jornales	4	2.31	9.24
Aplicación de Insecticidas	-			
Aplicación de Herbicidas	-			
Cosecha	Jornales	12	2.31	27.72
Desgrane	Jornales	8	2.31	18.48
Insumos				
Semilla	Libras	40	0.147	5.88
Fertilizante				
Formula Completa	Sacos	2	9.54	19.08
Urea	Sacos	2	6.36	12.75
Gallinaza				
Transporte				250.23
TOTAL COSTOS				250.23
Producción				
Maíz	Quintales-	35	6.94	242.90
Café	-			
TOTAL INGRESOS				242.90