

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Efecto del uso de obras de conservación sobre las características del suelo y el rendimiento de maíz y sorgo en el sur de Honduras

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

presentado por

Claudia María Urrutia Tobar

Honduras: Diciembre, 2000

RESUMEN

Urrutia T. Claudia María, 2000. Efectos del uso de obras de conservación sobre las características del suelo y el rendimiento de maíz y sorgo en el Sur de Honduras. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras. 59 p.

El Sur de Honduras, es una región formada por montañas escabrosas formadas de basalto y granito que representan aproximadamente 62% del área. Las prácticas tradicionales de agricultura migratoria en las partes altas del Sur de Honduras, han causado un rápido deterioro de la cuenca. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del uso de obras de conservación sobre las características del suelo y el rendimiento de maíz y sorgo en pequeñas fincas de laderas en el Sur de Honduras. El estudio se realizó en dos etapas: 1) Campo: donde se estableció el cultivo y las parcelas de trabajo en el terreno de 5 agricultores. 2) Laboratorio: donde se realizaron los análisis de suelo. El diseño experimental utilizado para las variables de las características del suelo fue el de parcelas sub-subdivididas en bloques, donde cada uno de los agricultores representa un bloque. La parcela principal la representa el empleo de obras de conservación y las subparcelas o efectos aleatorios el punto y la profundidad de muestreo. Para las variables de rendimiento se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con un arreglo factorial de 2 x 5. El maíz que se utilizó fue el híbrido HR-15 de la casa comercial Seminal y para el sorgo se empleó semilla ériolla y la variedad mejorada DMV-198 (TAM x Porvenir). El efecto de obras de conservación no fue significativo para todos los agricultores productores de maíz y sorgo. Un mayor contenido de materia orgánica y valores altos de pH fueron encontrados en los primeros 15 cm del suelo en los puntos de muestreo 1 bajo los dos tratamientos. Sobre el rendimiento de maíz y sorgo, se observó un mayor rendimiento para las parcelas con obras de conservación. En el caso del sorgo, la variedad mejorada dio los mejores resultados (43% más de grano que la variedad criolla). En el análisis económico de la producción, la alternativa de emplear obras de conservación resultaron rentables.

Palabras claves: barreras vivas, escorrentía, erosión, muros de piedra, nutrientes, rastrojo.

Nota de prensa

¿ES EFECTIVO EL USO DE OBRAS DE CONSERVACION EN EL SUR DE HONDURAS?

Aproximadamente el 60% de la fuerza laboral en Honduras, se dedica a la agricultura. La topografía del país es montañosa en donde alrededor del 80% del territorio posee pendientes que exceden el 20%. Muchos agricultores de subsistencia, poseen terrenos con pendientes que sobrepasan el 40%.

Prácticas tradicionales de agricultura, han causado el deterioro del suelo de la región. La demanda de productos no tradicionales para exportación han llevado a utilizar los suelos fértiles del valle para su producción, ocasionando una sobreexplotación de suelos marginales o de laderas para la producción de granos básicos.

La tala y quema es una de las prácticas más comunes utilizada por los pequeños agricultores, lo que reduce la cobertura del suelo, exponiéndolo a los impactos de las gotas de lluvia, lo que ocasiona un desprendimiento de las partículas y un incremento en las pérdidas de suelo y nutrimentos por escorrentía.

Con la idea de determinar si son o no efectivas las obras de conservación de suelos, se llevó a cabo una investigación en el Sur de Honduras. El ensayo se montó en la finca de pequeños agricultores de laderas y se encontró que las obras de conservación son una práctica necesaria en esta región dado los datos de pérdida de suelo que se han reportado en la zona. Además se observó un incremento en el contenido de materia orgánica en parcelas que presentaban obras de conservación, lo cual beneficia propiedades del suelo tanto físicas como químicas.

Con el fin de determinar la rentabilidad del empleo de obras de conservación, se realizó un análisis económico que consideró únicamente las internalidades del proceso erosivo. Este análisis nos demostró que la práctica más rentable económicamente y sostenible en términos de tiempo, es el empleo de rastrojo (mulch), pues con ella se obtuvo la mayor tasa de retorno marginal comparado con el empleo de barreras vivas más rastrojo y con la práctica de tala y quema, aunque ésta última resultó ser rentable, no lo es desde el punto de vista de sostenibilidad, ya que conduce al deterioro acelerado del suelo.

CONTENIDO

	Portadilla.	i
	Autoría.	ii
	Página de firmas.	iii
	Dedicatoria.	iv
	Agradecimientos.	v
	Agradecimiento a patrocinadores.	vii
	Resumen.	viii
	Nota de prensa.	ix
	Contenido.	x
	Índice de cuadros.	xiii
	Índice de figuras.	xiv
	Índice de anexos.	xv
1..	INTRODUCCION.	1
1.1	GENERALIDADES.	1
1.2	OBJETIVOS.	2
1.2.1	General.	2
1.2.2	Específicos.	2
1.3	IMPORTANCIA DEL ESTUDIO	2
1.4	LIMITACIONES DEL ESTUDIO.	3
2.	REVISIONDELITERATURA	4
2.1	GENERALIDADES.	4
2.2	DEFINICIÓN DE EROSIÓN.	5
2.3	EROSIÓN POR EL AGUA VRS EROSIÓN POR EL VIENTO.	5
2.3.1	Erosión hídrica.	6
2.3.1.1	Tipos de erosión hídrica.	6
2.3.1.2	Factores que influyen en la erosión hídrica.	7
2.3.2	Erosión eólica.	8
2.4 2.5	MAGNITUD DE LAS PERDIDAS DEL SUELO.	8
2.5.1	DETERIORO INTERNO DEL SUELO.	9
	Degradación química.	10

2.5.1.1	Pérdida de nutrientes y/o materia orgánica.	10
2.5.1.2	Salinización.	12
2.5.1.3	La acidificación.	12
2.5.2.1	Estabilidad de los agregados.	12
2.5.2.2	Estado de compactación del suelo.	13
2.6	TÉCNICAS DE PROTECCIÓN DEL SUELO CONTRA LA EROSIÓN.	13
2.7	RENTABILIDAD DE LA PROTECCIÓN CONTRA LA EROSIÓN.	14
2.8	PROBLEMAS DE EROSIÓN EN EL SUR DE HNDURAS.	16
2.8.1	Generalidades de la problemática.	16
2.8.2	Sistema de cultivo.	17
2.8.3	El uso de terrazas como obras de conservación.	17
2.8.4	Conservación de suelos de ladera.	18
3.	MATERIALES Y METODOS.	20
3.1	LOCALIZACIÓN.	20
3.2	ESTUDIO.	20
3.2.1	Fase de campo.	22
3.2.1.1	Establecimiento del cultivo.	22
3.2.1.2	Establecimiento de parcelas.	22
3.2.1.3	Parámetros agronómicos.	24
3.2.1.4	Caracterización de la lluvia.	24
3.2.1.5	Pérdida de suelo y nutrimento.	24
3.2.2	Fase de laboratorio.	25
3.2.2.1	Variable respuesta física.	26
3.2.2.2	Variable respuesta química.	26
3.3	DISEÑO EXPERIMENTAL.	27
3.4	RECOLECCIÓN DE DATOS.	27
3.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	27
3.6	ANÁLISIS ECONOMICO	29
3.6.1	Parámetros económicos.	29
3.6.2	Análisis marginal comparativo.	29

4.	RESULTADOS Y DISCUSION	31
4.1	FERTILIDAD DEL SUELO DE LAS PARCELAS DE DONCUPERTINO Y DON SIMEON	31
4.1.1	Nitrógeno.	31
4.1.2	Fósforo.	31
4.1.3	Potasio.	31
4.1.4	Calcio.	31
4.1.5	Magnesio.	33
4.2	ESTABILIDAD DE LOS AGREGADOS.	33
4.3	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	34
4.4	TEXTURA.	34
4.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	35
4.5.1	Don Cupertino.	35
4.5.2	Doña Mercedes.	38
4.5.3	Doña Agustina.	39
4.5.4	Don Lorenzo.	41
4.5.5	Don Simeón.	42
4.6	RENDIMIENTO DE MAÍZ Y SORGO EN NAMASIGUE, CHOLUTECA.	43
4.6.1	Efecto de la interacción obras x punto de muestreo sobre el rendimiento de sorgo criollo, sorgo mejorado y maíz en Namasigüe, Cholteca.	44
4.7	ANÁLISIS ECONÓMICO.	47
5.	CONCLUSIONES.	50
6.	RECOMENDACIONES	52
7.	BIBLIOGRAFIA.	53
8.	ANEXOS	56

1. INTRODUCCION

El Sur de Honduras es una región de 6,840 km² aproximadamente y comprende los departamentos de Choluteca, Valle, el Sur de Francisco Morazán y El Paraíso (Anexo 1). El área adyacente a la costa del pacífico está cubierta por manglares y esteros que recientemente se han convertido en una vasta área de granjas marinas dedicadas al cultivo del camarón. La región está formada por montañas escabrosas formadas de basalto y granito que representan aproximadamente 62% del área (Thompson, 1992). Las tierras planas y fértiles de los valles están dedicadas a cultivos de exportación (melón, sandía, caña de azúcar y ajonjolí) y a la ganadería.

Las prácticas tradicionales de agricultura migratoria en las partes altas del sur de Honduras han causado un rápido deterioro de las cuencas. El uso de tierras marginales para la producción de granos básicos ha causado la degradación de extensas áreas de suelo. En 1972 se tenían reportadas 397,800 ha de suelos degradados, en 1983 el área se incrementó a 760,000 ha (Agencia Internacional para el Desarrollo de los Estados Unidos, 1989), un incremento del 91%. En Namasigüe, Choluteca se han reportado pérdidas de suelo por el orden de 92 t ha⁻¹ en suelos sembrados sin obras de conservación de suelo (Smith, 1997).

El Gobierno de Honduras y la Agencia Internacional para el Desarrollo de los Estados Unidos (USAID), implementaron el Proyecto de Manejo de los Recursos Naturales (PMRN) en 1980. La meta principal de este proyecto fue mejorar la eficacia en el uso de la tierra y mano de obra de los pequeños productores en laderas; así como proteger los recursos naturales. En 1990 el proyecto continuó su segunda etapa bajo el nombre de Proyecto de Mejoramiento del Uso y Productividad del Suelo (LUPE). La meta principal del proyecto LUPE fue la de promover el uso sostenible y el incremento en la producción de pequeños agricultores de laderas.

El Programa de Apoyo para la Colaboración en la Investigación sobre Manejo de Suelos (SMCRSP), inició trabajos de investigación en colaboración con el proyecto LUPE en el área de Namasigüe en el año de 1991. Thompson (1992) reportó que la producción de biomasa de sorgo en lotes con muros de piedra fue de 3,206 kg ha⁻¹ en comparación con lotes sin conservación de suelos que fue de 806 kg ha⁻¹. Sierra (1996), reportó que la producción de grano de sorgo fue 70% más alta en terrenos con barreras muertas que en los terrenos que no presentaban tales obras.

Diversos métodos de conservación de suelos han sido implementados en fincas de laderas tales como: barreras muertas, barreras vivas, uso de mantillo (mulch), zanjas en contorno y agroforestería. El principal problema con la implementación de estas tecnologías, ha sido que no existen datos que puedan cuantificar los beneficios debido al uso de estas obras de conservación de suelos.

Muchos estudios han comparado la pérdida del suelo y rangos de escorrentía por las estructuras de conservación de suelo como las terrazas con las prácticas o métodos tradicionales de los agricultores en el área de Namasigüe; pero ninguno de estos estudios ha incluido la relación beneficio/costo del uso de prácticas de conservación de suelo, con la obtenida en parcelas que no poseen este tipo de obras. En el presente trabajo se determinó la influencia que ejercen obras construidas hace más 10 años, sobre las características del suelo y sus efectos en el rendimiento de maíz y sorgo.

1.2 OBJETIVOS

Los objetivos del presente estudio fueron:

1.2.1 General

- Determinar el efecto del uso de obras de conservación sobre las características del suelo, y el rendimiento de maíz y sorgo en pequeñas fincas de ladera en el Sur de Honduras.

1.2.2 Específicos

- Comparar las características físicas y químicas del suelo utilizando o no obras de conservación.
- Determinar los efectos de las obras de conservación de suelo, construidas hace más de 10 años en el rendimiento de maíz y sorgo.
- Calcular la rentabilidad de las obras de conservación en suelos mediante un análisis económico de maíz y sorgo, usando la relación beneficio/costo de estas obras para 1997.

1.3 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

La relevancia del estudio radica en que las prácticas tradicionales de agricultura en el Sur de Honduras están causando un daño severo a los suelos de la región. La información que

se tiene sobre pérdidas de suelo alcanza un orden de 92 t ha⁻¹; por otro lado, el uso de obras de conservación reducen las pérdidas en los suelos de ladera.

El beneficio de utilizar estas obras de conservación requiere ser cuantificado. El presente estudio servirá para determinar si existe un mejoramiento en el uso del recurso suelo, e incrementos en los rendimientos de los cultivos con la implementación de obras de conservación, y por 10 tanto mayores ingresos.

1.4 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Este estudio es parte de un trabajo que se viene realizando por muchos años en esta área; por 10 que los resultados obtenidos son aplicables solamente a sistemas de producción de pequeños agricultores en laderas con características agroecológicas, económicas y tecnológicas similares a las imperantes en el Sur de Honduras.

Los resultados del estudio, estuvieron condicionados por los siguientes factores:

- Las condiciones climáticas (Huracán Mitch) interfirieron en la etapa de polinización del sorgo sembrado en 1998, afectando su rendimiento, por lo que se utilizaron los datos de rendimiento de 1997.
- SF utilizó una parcela como parámetro de medición de la fertilidad del terreno como muestra de las parcelas de todos los agricultores.
- Se utilizaron los datos obtenidos en el año de 1995 de pérdida de suelo y nutrimentos para realizar el análisis económico.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES

Según Parr *et al.* (1990), la productividad del suelo se ve disminuida por los procesos de degradación del suelo y al mismo tiempo mantenida o mejorada mediante prácticas de conservación de suelos (Fig. 1).

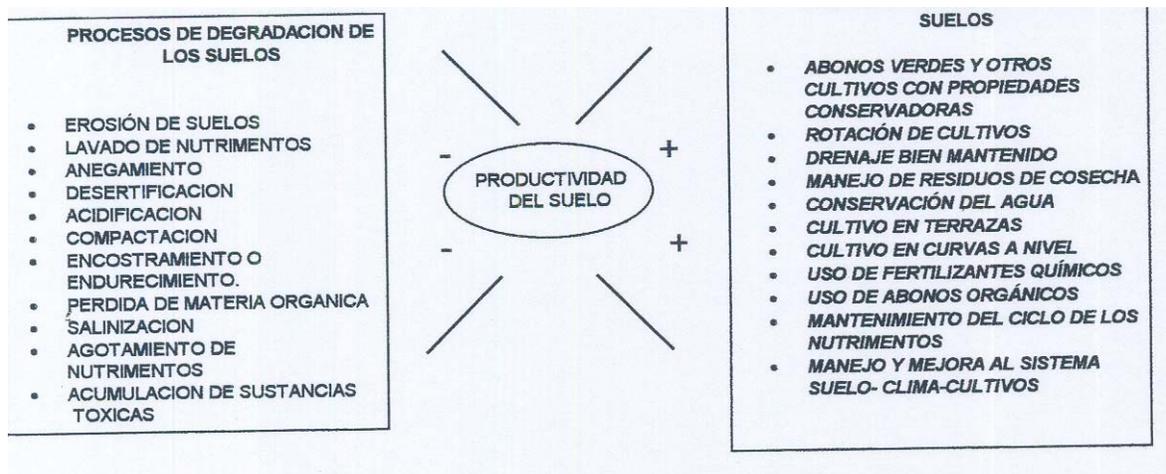


Figura 1. Factores que influyen en la productividad del suelo. Fuente: Parr *et al.* (1990)

Según Oldeman *et al.* (1990), la degradación o deterioro acelerado del suelo "es un proceso que describe los fenómenos inducidos por el hombre, que disminuyen la capacidad presente o futura del suelo para sostener la vida humana". Por otro lado, Daily (1995), define la degradación de los suelos como "la reducción de la capacidad de la tierra de suplir beneficios a la humanidad". La FAO en 1994 definió la degradación de los suelos como cualquier pérdida de las propiedades del suelo necesarias para un buen desarrollo y rendimiento de los cultivos.

Oldeman *et al.* (1990), distinguió dos categorías de procesos de degradación del suelo. La primera, se refiere a la degradación del suelo por arrastre y transporte de material, y la segunda, abarca procesos de degradación por deterioro físico y/o químico de las propiedades internas del suelo.

2.2 DEFINICION DE EROSION

La erosión que ocurre en condiciones naturales (esto es, cuando la superficie terrestre y la cubierta nativa no han sido perturbadas por las actividades humanas), es llamada *erosión natural o geológica*. Por otra parte, cuando se tala un bosque o se rotura una pradera, los procesos de erosión se aceleran y se tiene una *erosión no-natural o erosión del suelo*. Dondequiera que la erosión se acelera como resultado de las actividades humanas en tal forma que se elimina toda o parte de la capa superior del suelo, a ese proceso se le llama *erosión del suelo* (Foth, 1987).

La FAO (1994), definió a la erosión como el arrastre de la superficie terrestre. Las lluvias fuertes y el viento son los principales agentes causantes de este fenómeno. Ambos son muy destructivos donde la cobertura vegetal, como bosques y pastos, ha sido eliminadas por el desmonte, el sobre pastoreo y/o por una aradura inadecuada.

Según el Proyecto LUPE, (1994), el concepto tradicional de la erosión del suelo considera que sus mayores daños son los siguientes:

- 1- La reducción de los rendimientos agrícolas debido a: disminución de la profundidad del suelo, pérdida de agua por escorrentía y el desprendimiento y arrastre de las siembras poco desarrolladas o recién sembradas.
- 2- La sedimentación en las represas, ríos, lagos y manglares que reduce su vida útil y la productividad, elevando los lechos de los mismos hasta causar inundaciones dañinas.
- 3- Inundaciones, derrumbes y grandes fluctuaciones de los caudales, quebradas y ríos provocados por la creciente cantidad de la escorrentía.

2.3 EROSION POR EL AGUA Vrs. EROSION POR EL VIENTO

Los principales agentes responsables de la erosión son el viento y el agua. La erosión por el agua (erosión hídrica), es el proceso de erosión dominante en las tierras de ladera, especialmente donde las lluvias son de alta intensidad. La erosión por el viento, es un problema de importancia en la región centroamericana, mayormente en las zonas sub-húmedas donde existen grandes extensiones de tierras planas. Sin embargo, puede ocurrir en laderas donde las quemadas rutinarias o el sobre pastoreo deja el suelo desprotegido y expuesto al viento (LUPE, 1994).

Según Oldeman *et al.* (1990), tanto la erosión hídrica como la eólica, corresponden a la categoría 1 de degradación del suelo. Esta categoría implica efectos en el lugar y fuera de éste; dichos efectos se describen con mayor detalle en el Cuadro 1.

2.3.1 Erosión hídrica

La erosión hídrica ocurre especialmente luego de una precipitación pluvial fuerte; entre otros efectos provoca los siguientes daños y pérdidas: pérdida de agua por escurrimiento, pérdida de partículas fértiles del suelo, suelo desnudo que disminuye su fertilidad y capas bajas poco fértiles del suelo que son arrastradas y depositadas sobre terrenos fértiles disminuyendo su productividad (FAO, 1994).

Cuadro 1. Tipos de degradación por arrastre y transporte de material de suelo.

Tipo de erosión	En el lugar	Fuera del lugar
Erosión Hídrica	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de la capa fértil del suelo. • Deformación de la superficie del terreno fuera del lugar. • Cambio de textura. • Pérdida de nutrientes y materia Orgánica. • Cambios adversos en propiedades del suelo(baja CIC, baja retención de agua, pérdida de estructura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sedimentos de embalses lagos y puertos. • Inundaciones incluyendo sedimentación de causes, erosión de orillas de río y depósito excesivo de sedimentos en tierras planas. • Destrucción de corales, criaderos de mariscos y algas marinas.
Erosión eólica	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de la capa fértil del suelo • Deformación de la superficie del terreno 	<ul style="list-style-type: none"> • Deposición de materia en la cobertura vegetal, caminos, cuerpos de agua, encostramiento, etc.

Fuentes: Oldeman *et al.*, 1990.

Según LUPE (1994), la erosión hídrica consiste de tres etapas: desprendimiento de partículas, transporte de partículas y sedimentación de partículas.

2.3.1.1. Tipos de erosión hídrica. La F AO (1994), clasifica la erosión hídrica en tres tipos:

- Erosión laminar: es el arrastre uniforme del suelo, que ocurre mayormente en terrenos planos y en suaves depresiones.
- Erosión por riachuelo: se caracteriza por la formación de pequeños canales, debido al paso del agua por desagües excesivos en ligeras depresiones.

- Erosión por cárcavas: es consecuencia de fuertes precipitaciones en terrenos bastantes accidentados.

LUPE (1994), detalla cinco formas de erosión, añadiendo dos más a las tres anteriores:

- Erosión en surcos: en las pequeñas ondulaciones del terreno se concentra el agua de la escorrentía. Esta acumulación de agua arrastra y transporta más partículas del suelo formando pequeñas zanjas o surcos en la dirección de la pendiente, indicando las zonas de mayor concentración de la escorrentía.
- Remoción en masa (deslizamiento): son movimientos rápidos de suelo en masa provocados por saturación y aumento de peso de la masa.

2.3.1.2 Factores que influyen en la erosión hídrica. Hudson (1995), y Kohnke y Franzmeier (1995), describen básicamente cuatro factores como los de mayor influencia en la erosión hídrica:

1. Lluvia. La intensidad (mm de agua en determinado período) y la frecuencia (el tiempo transcurrido entre aguaceros) de la lluvia influyen mucho más en la erosión que la cantidad de lluvia caída por año. Las lluvias tropicales usualmente consisten de grandes gotas las cuales tienen una mayor duración y energía cinética para destruir las partículas del suelo. Hudson (1995) explica una vital diferencia entre las características de lluvia en climas templados y tropicales, la cual radica básicamente en que aproximadamente el 95 % de las lluvias de las regiones templadas son de baja intensidad erosiva, mientras que en regiones tropicales la intensidad de erosión por las lluvias probablemente sea mucho mayor. Wischmeier y Smith (1978) definen el evento de lluvia erosiva como la tormenta que muestra más de 12.5 mm o con una duración de 15 minutos e intensidad mayor a los 6.4 rom. Smith en 1997, utilizando esta: relación, determinó que el 95% de las lluvias ocurridas en Namasiñe durante 1995, fueron consideradas erosivas.

2. Topografía. El grado y longitud de la pendiente influyen en la erosión ya que estos dos factores determinan la velocidad del agua de escorrentía, y en consecuencia; su capacidad erosiva. El grado de pendiente tiene mayor influencia que la longitud, por ejemplo: duplicando el grado de la pendiente se aumenta la erosión por un factor de 3.4 (200300%), en cambio, duplicando la longitud de la pendiente aumenta la erosión en 50%. Por otra parte, disminuyendo la longitud desde 30 m hasta 7.5 m en una pendiente de 40%, se reduce la erosión en 50%.

3. Cobertura del suelo. La presencia de una cubierta viva o de rastrojo (mulch) sobre el suelo, es el factor más combativo de la erosión del suelo. Esta es más efectiva que las barreras vivas u obras físicas de conservación y oftee varios beneficios a saber: la cobertura amortigua el impacto de las gotas de la lluvia; aumenta la capacidad de infiltración y almacenamiento del agua lluvia mejorando la estructura y porosidad del

suelo; la cobertura aminora la velocidad del agua de la escorrentía por medio del colchón de los rastrojos y los tallos de las plantas; el aporte de nutrimentos al suelo también es importante. Bolaños en 1992 determinó que el rastrojo de maíz tiene un contenido de N y P de 1.3 y 0.3 % respectivamente. En tanto que el cultivo de sorgo es capaz de acumular hasta 120 y 43 kg de N y P respectivamente (Granados, 1992).

4- Suelos. Los suelos más resistentes a la erosión son los que tienen un buen nivel de humus y una textura ni muy arenosa, ni muy limosa, lo cual produce una estructura granular o migajosa de buena permeabilidad.

2.3.2 Erosión eólica

La erosión eólica ocurre luego de períodos prolongados de sequía, generalmente en terrenos desprotegidos o parcialmente cubiertos por vegetación. El viento fuerte arrastra fácilmente las partículas del suelo que son más diminutas, como el limo y arcilla, disminuyendo la capacidad productiva de éste (FAO, 1994).

Según Oldeman *et al.* (1990), la erosión eólica trae tres tipos de degradación al suelo: pérdida del horizonte superficial del suelo; deformación del terreno y deposición de partículas acarreadas por el viento.

El proceso funciona en diversos ambientes naturales que carecen de una cubierta vegetal protectora, y es particularmente importante en los desiertos tanto mos como cálidos, en áreas de dunas y áreas costeras y en regiones montañosas expuestas. Las consecuencias son indudablemente más serias en las áreas agrícolas sujetas a una precipitación pluvial baja, variable e impredecible; temperatura y tasas de evaporación altas; y elevada velocidad del viento, como es el caso de las áreas semiáridas, así como de algunas de las regiones más húmedas que experimentan sequía periódica. En tales áreas, el proceso natural de erosión eólica se puede acelerar en virtud de prácticas agrícolas inadecuadas y pueden ocasionar efectos negativos tales como: daño al suelo, daño a los cultivos y problemas relacionados, así como numerosas consecuencias económicas indeseables (Kohnke, y Franzmeier, 1995).

2.4. MAGNITUD DE LAS PERDIDAS DE SUELO

Según el Proyecto LUPE (1994), las pérdidas de suelo de ladera ocasionadas por la erosión hídrica varían mucho según los factores mencionados; sin embargo, se encuentran dentro de los siguientes rangos:

- En el caso de terrenos bien protegidos, es decir con buena cobertura y barreras vivas, las pérdidas pueden reducirse hasta 3.5 t mz-l año.1 (5 t ha-1 año-1 = 1.1 lb m2 año-1) En terrenos descubiertos con fuerte pendiente y expuestos a aguaceros intensos, las pérdidas pueden sobrepasar 210 t-1 mz-l año.1 (300 t-1 ha-1 año.1 = 66 lb m2 año-1).

Las investigaciones realizadas en Honduras indican que las pérdidas típicas en los terrenos de ladera bajo prácticas tradicionales oscilan entre 40 a 100 r1 mz-l año-1 (55-145 r1 ha-1 año-1) lo que equivale a una reducción de 4 a 10 mm de espesor por año es decir 4- 10 cm cada 10 años (LUPE, 1997).

Smith, cuantificó las pérdidas de suelo en Namasigüe durante tres años 1995-1997 (Cuadro 2). Los resultados obtenidos muestran que laderas cultivadas bajo el sistema tradicional de roza y quema son más vulnerables a la erosión. La reducción de la cobertura de suelo combinada con la alta intensidad de las lluvias producen una mayor cantidad de escorrentía y pérdida de suelo.

Cuadro 2. Valores observados de pérdidas anuales de suelo (t ba-1) en Namasigüe, Choluteca.

Campos de tratamiento	1993	1994	1995
Roza y quema	0.3	45.8	138.2
Sólo mulch	0.7	0.4	39.1
Valeriana y mulch	1.2	0.5	1.0

Fuente: Smith (1997).

Por muchas prácticas de protección que una parcela en ladera posea, siempre existirá cierta pérdida del suelo. El concepto "erosión tolerable" pretende fijar límites máximos de erosión para evitar que la reducción del espesor del suelo sobrepase la tasa de formación del mismo, la cual varía entre unos 25-50 mm por siglo (LUPE, 1994). Estos límites varían de acuerdo con la profundidad efectiva del suelo y la tasa de su formación, ya que suelos profundos a base de material casajosa pueden tolerar más erosión que otro muy superficial a base de roca dura (Cuadro 3).

En base a lo anterior se puede señalar que la degradación del suelo en tierras de laderas proviene principalmente de la erosión, pero ésta acarrea como consecuencias deterioro de la fertilidad del suelo, de las condiciones físicas y de la actividad biológica benéfica del suelo.

2.4 DETERIORO INTERNO DEL SUELO

La categoría II de deterioro del suelo corresponde al deterioro de las características internas de éste. Según Oldeman *et al.* (1990), una consecuencia de este tipo de deterioro es el abandono de estos suelos o su aprovechamiento forzoso mediante una forma de uso menos intensiva. En el Cuadro 4 se describe el deterioro interno del suelo y se incluye un componente sobre degradación biológica.

Cuadro 3. Patrones de erosión tolerables.

Patrón	Tipo de suelo	Erosión tolerable t ha⁻¹ año⁻¹	Reducción de espesor por siglo¹(cm)
Servicio de Conservación	Suelos poco profundos sobre roca madre	2.2	0
de los EE.UU.	Suelos profundos sobre materia cascaiosa	11.0	5
Normas de Hudson para los países en desarrollo	Suelos poco profundos de alta erosividad	5.0	1
	Suelos profundos de baja erosividad	15.0	8
Normas realistas propuestas para la agricultura de subsistencia	Suelos poco profundos de alta erosividad	10.0	4.5
	Suelos profundos de baja erosividad	25.0	15

Fuente: LUPE, (1994).

2.4.1 Degradación química

Oldeman *et al.* (1990), señalan cuatro tipos de degradación que se clasifican bajo esta categoría: pérdida de nutrientes y/o materia orgánica, salinización, acidificación y contaminación.

2.4.1.1 Pérdida de nutrientes y/o materia orgánica. Se presenta en casos en que se realizan actividades agrícolas en suelos pobres o moderadamente fértiles que no recibieron una aplicación adecuada de estiércol o fertilizante químico, lo que causa un agotamiento general de la fertilidad de los mismos y provoca una reducción en la producción (Oldeman *et al.*, 1990).

Smith (1997), cuantificó las pérdidas de nitrógeno (N) y fósforo (P) por escorrentía en terrenos bajo tres tratamientos: tala y quema, rastrojo y rastrojo más valeriana (Cuadro 5). Los terrenos más afectados, resultaron ser aquellos en los que no se realiza ningún tipo de práctica de conservación de suelo.

¹ Se considera la formación de 2.5 cm de suelo nuevo por siglo mediante la intemperización.

Cuadro 4. Deterioro interno del suelo.

Tipo de degradación	Efecto en el lugar
Deterioro químico	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de nutrimentos • Contaminación y acidificación • Salinidad • Discontinuidad de fertilización por inundación • Otros problemas químico
Deterioro físico	<ul style="list-style-type: none"> • Encostramiento y sellamiento de la capa del suelo • Compactación por maquinaria y animales pesado • Deterioro estructural por sales de Na y Mg • Deterioro de características hidrológicas por saturación e inundación • Desertificación • Hundimiento de suelos orgánicos por drenaje y oxidación
Deterioro biológico	<ul style="list-style-type: none"> • Desequilibrio en la actividad microbiológica en la capa superior del suelo por cambios drásticos en el ecosistema o por el énfasis exagerado en la aplicación de agroquímicos

Fuente: Oldeman *et al.* (1990).

La materia orgánica es uno de los factores más importantes y mayormente conocido por la acción estabilizadora que ejerce sobre el pH, así como por ser un agente cementante de los agregados del suelo. Es considerado como el segundo factor más importante que afecta la erosión del suelo después de la textura (Agassi, 1997).

Cuadro 5. Pérdida total anual de N y P (kg ha⁻¹) en Namasigñe, Choluteca.

Tratamiento	1993		1994		1995	
	N	P	N	P	N	P
Tala y quema	2.4	0.2	11.2	0.9	29.1	2.6
Rastrojo (mulch)	2.2	0.7	1.5	0.3	2.4	0.9
Barreras vivas	6.0	1.0	2.4	0.3	2.3	0.3

Fuente: Smith, (1997).

Según Agassi (1997), la materia orgánica tiene dos efectos sobre la estabilidad de los agregados, a través de la interacción materia orgánica-arcilla y proporcionando protección física a la superficie del suelo.

2.4.1.2 Salinización. La Salinización de los suelos puede ser el resultado de tres fenómenos (Oldeman *et al.*, 1990): mal manejo de esquemas de riego, alto contenido de sales en el agua de riego y falta de drenaje en áreas irrigadas. El primero ocurre mayormente en regiones áridas. El segundo ocurre cuando el agua con alta concentración de sales llega a mezclarse con el agua subterránea de buena calidad que se encuentra en acuíferos cercanos. El tercero ocurre cuando las actividades humanas tienden a incrementar la evapotranspiración en áreas de suelo provenientes de material parental que contiene sales o agua subterránea salina.

2.4.1.3 La acidificación. La acidificación de los suelos es un tipo de degradación frecuente en suelos que tienen una baja capacidad tampón, y es descrita como "una disminución de la capacidad de neutralización de ácido (CAN) y/o un incremento en la capacidad de neutralización de bases (CNB) y/o un incremento en la fuerza ácida (pH que decrece)". La reducción del pH del suelo es una indicación del aumento de su acidez que se traduce en efectos negativos sobre las plantas; los mismos que no se deben a la presencia de los iones H_3O^+ , sino a la toxicidad del Al^{3+} y Mn^{2+} presentes en los lugares de intercambio y en la solución del suelo (Oldeman *et al.*, 1990).

2.4.1.4 La contaminación de los suelos. Oldeman *et al.* (1990), reconocieron diversos tipos de contaminación de los suelos entre los cuales señalan que los más comunes son la acumulación de desechos industriales y urbanos. Otros tipos de contaminación del suelo también se derivan del uso excesivo de pesticidas (o acumulación de productos de su degradación), acidificación por contaminantes atmosféricos, utilización excesiva de estiércol, aguas residuales empleadas para riego, y fertilizantes utilizados en forma intensiva y en exceso.

2.4.2. Degradación física

2.4.2.1. Estabilidad de los agregados. Dentro de las características principales del suelo que se ven mayormente afectadas por la degradación física, está la estabilidad de los agregados del suelo. Esta se ve mayormente afectada por la textura del suelo, materia orgánica, sodio y otros cationes (Agassi, 1997).

Según Agassi (1997), es importante distinguir dos situaciones que ocurren en los principales tipos de erosión, como consecuencia de alteración en la estabilidad de los agregados: cambio pequeño en la capacidad de infiltración del suelo, reducción en la capacidad de infiltración del suelo.

La intensidad y frecuencia de las lluvias, pueden alterar los factores involucrados en el mantenimiento de la estabilidad de los agregados.

2.4.2.2. Estado de compactación del- suelo. Porta *et al.* (1990), señalan que en sentido dinámico, la compactación es un proceso mediante el cual se produce la compresión de un suelo bastante húmedo (no saturado), durante la cual se reduce la fracción porosa y consiguientemente aumenta la densidad aparente.

La compactación del suelo se define como el aumento de la densidad aparente en los suelos, lo que implica un empaquetamiento más denso de partículas y por ende la disminución del espacio poroso, en especial de macro poros. Valores elevados de densidad aparente son característicos de suelo compactados y constituyen un impedimento para el crecimiento de las raíces (paniagüa, 1997).

La compactación afecta la estructura del suelo y puede ser descrita en forma indirecta por la medición de la densidad aparente del suelo, del radio de los huecos, de la porosidad y estabilidad de los agregados. La compactación produce cambios en el tamaño y forma geométrica de los huecos, por lo que otra forma de estudiarla es analizando otros aspectos que pueden verse afectados como son la velocidad de infiltración, curva característica de retención de humedad, conductividad hidráulica, difusividad suelo-agua, permeabilidad al aire y difusión de gases (paniagüa, 1997).

2.5 TECNICAS DE PROTECCION DEL SUELO CONTRA LA EROSION

Según Carls *et al.* (1997), el objetivo de proteger el suelo contra la erosión es reducirla a niveles que permitan un aprovechamiento económico sostenible de la tierra. Este objetivo puede alcanzarse con las siguientes técnicas:

- Planificación del uso de la tierra desde la perspectiva ecológica. En este sentido, es necesario considerar como unidad de planificación una cuenca, sub cuenca o microcuenca. De nada sirve realizar acciones aisladas a nivel de finca, si en el entorno hay vecinos que utilizan prácticas inadecuadas en el uso de la tierra. El proceso de planificación del uso de la tierra comprende desde la evaluación del sitio geográfico hasta una planificación regional.
- Uso de técnicas adecuadas para reducir la erosión

Se han desarrollado numerosas prácticas para conservar y proteger los suelos. A continuación se presenta un resumen de ellas:

- Reforestación de las superficies taladas
- Utilización de cultivos de cobertura que proporcionen protección al suelo
- Uso de cultivos mixtos o cultivos sucesivos

- Utilización de las técnicas de cultivo en curvas de nivel
 - Empleo de abonos orgánicos y abonos verdes
 - Uso de mulch (mantillo)
 - Producción con sistemas agroforestales
 - Establecimiento de labranzas mínimas o labranza cero
- Medidas mecánicas para la conservación del suelo

Las obras de conservación de suelos denominadas mecánicas tienen la ventaja., no sólo de conducir adecuadamente las aguas pluviales, sino también de proteger el suelo de la acción del viento. Entre estas medidas se mencionan las siguientes:

- Terrazas
- Diques de tierra
- Zanjas de infiltración
- Canales y vías de desagüe
- Obstrucción de la erosión por medio de zanjas
- Siembra de árboles y cercas vivas a lo largo de las curvas a nivel

Según Carls *et al.* (1997), estas técnicas no impiden la fase inicial de la erosión, puesto que es necesario alterar o destruir la estructura del suelo para su construcción. Además, las gotas de lluvia producen efectos negativos sobre el suelo alterado inicialmente. Aunque las obras mecánicas son medidas más permanentes, son también de costo elevado, y se justifican en las laderas con un alto porcentaje de pendiente, o cuando se desee proteger un poblado, una obra de infraestructura o un área de reserva situada aguas abajo.

2.6 RENTABILIDAD DE LA PROTECCION CONTRA LA EROSION

Pearce y Atkinson (1992) estimaron el valor monetario de las pérdidas por erosión en varios países, expresado como porcentaje del producto interno bruto (pm) convencional de cada país. Algunos de los resultados fueron 3.15 % en Burkina Faso; 12% en Costa Rica; 0.5% en Indonesia; 2.3% en Madagascar; 6.0% en Mali y 1.0% Y en México. Estas cifras no son despreciables, aunque debe considerarse que, por ejemplo, si en Mali se implementan medidas que reducen la erosión a niveles insignificantes no quiere decir que el pm vaya a incrementar en un seis por ciento. Desde luego, el control de la erosión también tiene costos que van a reducir el pm y es necesario cuantificar hasta dónde conviene evitar el perjuicio que causa. Sin embargo, Pearce y Atkinson (1992) sugieren que muchas de las medidas de conservación involucran la remoción de distorsiones a la economía (control de precios, subsidios, derechos no definidos sobre el recurso), por lo que en muchos casos el costo de la conservación será bajo.

En países en vías en desarrollo, la sola posibilidad de ejecución técnica de medidas de protección contra la erosión no justifica la aplicación de estas medidas. Es necesario que haya también una trascendencia económica (Hudson, 1995). La medida de protección es

adoptada sólo cuando su trascendencia económica es suficientemente atractiva a los agricultores (CIMMYT, 1988).

Desde los años treinta, en Estados Unidos y en Australia se realizan investigaciones con énfasis en la cuantificación de las pérdidas de producción por erosión. Así en un lugar de Estados Unidos se pudo comprobar una reducción en la productividad del suelo de un 4% en un lapso de 30 años (Agassi, 1997).

Estudios de casos realizados en Centro América y El Caribe, muestran datos interesantes sobre pérdidas de productividad, reflejada en muchos casos en rápidas disminuciones de rendimiento. Por ejemplo, en la región de Tatumbla, Honduras, el rendimiento del maíz podría bajar hasta aproximadamente un 50% en 10 años si no se aplican obras de conservación (Carls *et al.*, 1997).

Desde el punto de vista económico, las consecuencias de la erosión del suelo pueden ser consideradas como costos internos y externos. Los costos internos son aquellos que se refieren al mismo terreno erosionado. Los costos externos, por su parte, son todos aquellos que se manifiestan fuera de las áreas erosionadas. Tanto la erosión hídrica como la eólica producen externalidades mayormente negativas, tales como la deposición no deseada de materiales infértiles producto de un aumento de la erosión en campos vecinos (Tisdell, 1991).

Evaluando las externalidades de la erosión proveniente de las laderas del Sur de Honduras y el impacto en las fincas productoras de camarones, Samayoa (1999) encontró que el costo de remover los sedimentos en las fincas de camarones es de aproximadamente \$ 105 por hectárea por año.

Las técnicas de análisis costo-beneficio ofrecen una aproximación útil, simple y relativamente fácil de analizar problemas de conservación de suelos. El método se adapta bien al análisis aplicado de situaciones específicas. El análisis costo-beneficio se desarrolló originalmente como una herramienta para examinar los beneficios económicos de los proyectos involucrados en el aprovechamiento del recurso agua (Carls *et al.*, 1997).

Un caso destacable en América Latina es el del cultivo de maíz en laderas del Litoral Atlántico en Honduras, donde el sistema de abonera fue adoptado espontáneamente por más del 70% de los agricultores propietarios de tierra. Esto es consistente con el resultado de una variante del análisis beneficio-costos, en la que se expande el análisis de presupuesto parcial y el análisis incremental (CIMMYT, 1988) de uno o varios períodos, con el objeto de tener en cuenta los efectos a través del tiempo (Carls *et al.*, 1997).

Una estrategia de manejo enfocada solamente en minimizar las pérdidas del suelo puede retrasar la disminución de la productividad pero no logrará mejorarla, salvo en el caso de aquellas prácticas conservacionistas (muros de piedra, zanjas a nivel) que aumentan la retención de agua en zonas de lluvias erráticas. Por eso, es necesario elaborar e implementar sistemas integrales de manejo que a la vez reduzcan la erosión y reparen los

daños de la degradación al restaurar la fertilidad, condición física y actividad biológica benéfica del suelo en forma sostenible (LUPE, 1994).

2.7 PROBLEMAS DE EROSIÓN EN EL SUR DE HONDURAS

2.7.1 Generalidades de la problemática

Las prácticas tradicionales en la región de laderas en el sur de Honduras han causado un rápido deterioro de la cuenca. A través de la costa pacífica de Honduras, se pueden observar cambios ecológicos como resultado de la presión demográfica y la tendencia económica con miras a talar los bosques y dedicar dichas áreas para la siembra de cultivos (Boyer, 1986). Después de la Segunda Guerra Mundial y la globalización de mercados con países desarrollados como Estados Unidos y otros, dieron como resultado el incremento de la producción de cultivos exportables (Stonich, 1989). Las zonas planas con acceso a riego rápidamente fueron convertidas a explotaciones intensivas para satisfacer la rápida demanda de cultivos exportables como: sandía, melón, caña de azúcar y ganadería. Consecuentemente estas áreas que antes se utilizaban para la producción de granos básicos ahora se utilizan principalmente para el crecimiento de cultivos de exportación. La falta de acceso a tierras planas y la explosión demográfica, obligaron a los pequeños agricultores a producir granos básicos en tierras marginales de ladera. El área dedicada a la ganadería se incrementó de 41.9% en 1950 a 61.1% en 1974 (De Walt y De Walt, 1983). Estimaciones indican que más de dos millones de hectáreas de bosque fueron cortadas en Honduras entre 1960 y 1980 (Campanella *et al.*, 1982).

La agricultura de tala y quema es la práctica más común usada por los agricultores de ladera. La falta de obras de conservación y la remoción de la vegetación natural en terrenos con pendiente pronunciadas exponen al suelo al impacto de la lluvia, disgregándose las partículas de suelo e incrementando la cantidad de sedimentos y nutrimentos que se pierden por escorrentía (Sierra, 1996).

2.7.2 Sistema de cultivo

El método tradicional de siembra empleado por los agricultores de laderas en Honduras es la práctica de agricultura migratoria. Los campos de laderas son cultivados durante tres a cuatro años hasta que la productividad baja drásticamente. Para restaurar la productividad del suelo, los campos son abandonados y se les deja un periodo de "descanso" que puede durar de 3-5 años para que este pueda recuperar su fertilidad (Smith, 1997). El uso de mantillo o mulch es otra práctica de conservación que se implementa en esta zona.

El sistema tradicional de cultivo consiste en siembras tempranas de cultivares precoces de maíz intercalados con cultivares de sorgo foto sensitivos a días largos (Arias y Gallaher, 1987). Los maicillos criollos se caracterizan por ser altos, tardíos, foto sensitivos, y de bajo pero estable rendimiento (menor a 1 t ha-l). Este sistema de siembra está asociado predominantemente a factores ambientales como el patrón bimodal de lluvia, a la vez que permite el incremento de la productividad total por unidad de área de agricultores a pequeña escala. Este tipo de siembra proporciona al agricultor un seguro por si fracasa con el cultivo de maíz. El maicillo se utiliza como un sustituto del maíz en la elaboración de tortillas y otras comidas. Su forraje llamado "guate", constituye la principal fuente de alimento para el ganado en la época seca. Campos de maíz y sorgo bajo estas condiciones producen de 330 a 2,000 kg ha-l Y de 370 a 1,700 kg ha-l, respectivamente (Arias y Gallaher, 1987). En otras partes de Centro América, donde el patrón de lluvia es menos irregular, fríjol intercalado con maíz es utilizado para reemplazar al sorgo (Smith, 1997).

2.7.3 El uso de terrazas como obras de conservación

Las terrazas han sido utilizadas como obras de conservación de suelos por diferentes civilizaciones alrededor del mundo. Las dinastías chinas y los Incas en América del Sur implementaron esta tecnología para reducir la erosión del suelo en terrenos con pendientes pronunciadas. En las Filipinas, Java, India y Sri Lanka los pequeños agricultores de ladera han estado construyendo terrazas por más de 2,000 años (Tonnes, 1996).

La función de las terrazas es reducir la longitud de la pendiente, la escorrentía y la erosión tanto laminar como la de surcos (Sierra, 1997). Las terrazas con muros de piedra previenen el transporte de sedimento en la escorrentía, permitiendo la acumulación de sedimentos atrás de la barrera y eventualmente formando una terraza.

Básicamente existen dos formas principales de terrazas:

- Terrazas en donde el cultivo está sembrado en las mismas estructuras niveladas
- Terrazas donde el cultivo está sembrado en los espacios entre las estructuras de conservación de suelos

Sheng (1989) menciona cinco factores básicos que se deben considerar al momento de determinar el tipo de técnica de conservación de suelo a emplear:

- Control de escorrentía. El tipo de conservación de suelos debe reducir la velocidad de la escorrentía y facilitar la desviación de ésta en un lugar donde no cause problema.
- Control de erosión. El tipo de conservación debe proporcionar una reducción en la pérdida de suelo.
- Efectividad de costo. Los costos deben de ser razonables y accesibles a las personas que lo implementan.

- Manejo integrado del suelo. Las medidas de conservación de suelo no deben ser aisladas en la parcela. La conservación de suelos es un sistema integrado que debe incluir esfuerzos para conservar el suelo y mejorar la productividad a través de un programa de mejoramiento de suelo- y nutrientes.
- Oportunidad de opciones. Las obras de conservación de suelos deben adaptarse a satisfacer las necesidades y preferencias de cada agricultor.

2.7.4 Conservación de suelos de ladera

La rápida conversión de bosques a tierras bajo cultivo en zonas de ladera representa un grave peligro para los residentes de toda la cuenca. La degradación de las partes altas de las cuencas puede causar ramificaciones negativas distantes en tiempo y espacio de las pequeñas fincas de estos agricultores de ladera (Thurow y Jou, 1995). La pérdida de nutrientes y acumulación de estos en zonas no deseadas es otro de los grandes problemas ocasionados por la erosión de estas zonas. El Cuadro 6 presenta un resumen del contenido de nutrientes perdidos por erosión y acumulados en diferentes lugares de la región.

Cuadro 6. Pérdida de elementos en diferentes lugares de la región de Choluteca, Honduras (1998).

	Elemento disponible (ppm)						
	N	p	K	Ca	Mg	Na	S
Bosque	1	9	97	2525	728	110	85
Bosque	1	18	130	3478	549	131	89
Muros de piedra	5	13	635	4032	635	122	99
Muros de piedra	5	15	408	4243	646	114	97
Estuarios	1	88	1098	2864	1614	10900	3295
Estuarios	1	457	1577	1697	1710	22254	1370

Fuente: Wilding et al. (1998)²

El rápido incremento en la población y la escasez de tierra en zonas planas han ocasionado el uso intenso de zonas montañosas con pendientes mayores de 15%. Las lluvias intensas y la falta de prácticas de conservación de suelos ocasionan una rápida degradación de los suelos de ladera.

² Wilding et al. (1998). Información de pérdidas de nutrientes por escorrentía en diferentes lugares de la región de Choluteca, Honduras (Poster publicado en la Reunión Anual The American Agronomy Society realizado en Baltimore, Maryland October 18-22, 1998)

Estudios cuantitativos de pérdida de P y N en Namasigüe (Choluteca), demuestran que el uso de sistemas tradicionales de siembra como la tala y quema ocasionan la mayor pérdida de P y N. La acumulación de nutrientes en las partes bajas debido a la escorrentía puede disminuir la capacidad productiva de las zonas de laderas y afectar negativamente la calidad de las aguas de los ríos y la zona de los estuarios en el Golfo de Fonseca.

Wilding et al. (1998)³ encontraron una gran acumulación de P, K, Mg, Na y S disponible en muestras de sedimentos provenientes de lagunas de camarones que están próximas a la desembocadura de los riachuelos que provienen del sector de Namasigüe.

Existe aproximadamente un billón de hectáreas de terrenos de ladera tropical lo que constituye una significativa porción de muchas regiones del mundo. En América Latina y El Caribe más del 25% del área total corresponde a áreas de ladera. En Honduras alrededor de 80% del área total es considerada como zonas montañosas (Thurow y Iou, 1995).

³ Wilding et al. (1998). Información de pérdidas de nutrientes por escorrentía en diferentes lugares de la región de Choluteca, Honduras (Poster publicado en la Reunión Anual The American Agronomy Society realizado en Baltimore, Maryland October 18-22, 1998)

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 LOCALIZACION

Los ensayos se realizaron en fincas de pequeños agricultores de laderas del área de Namasigüe en el sur de Honduras, ubicada a 13° 14' N; 87° 05' O Y una elevación de 230 msnm, aproximadamente a 15 km al sureste de la ciudad de Choluteca.

El promedio mensual de temperatura es de 27. °C en el mes de septiembre, y 30° C durante el mes de abril. La precipitación anual tiene un rango de 1,800-2,900 mm. El clima es caracterizado por una estación lluviosa (mayo-octubre) y una estación seca (noviembre-abril). La lluvia presenta un patrón de distribución bimodal (Anexo 2). La primera mitad de la estación lluviosa conocida como "primera" comienza a finales de abril y principios de mayo, y termina a inicios de julio. La segunda mitad de la estación lluviosa conocida como "postrera" comienza a finales de julio o principios de agosto, y termina a inicios de noviembre. La estación lluviosa es interrumpida por un corto periodo seco durante el mes de julio conocido como "canícula".

Los suelos de Namasigüe incluyen entisoles, alfisoles y molisoles. La pendiente del terreno varía de 30-65%. Los suelos de esta área presentan una profundidad de 50-60 cm. Los análisis químicos muestran un alto contenido de materia orgánica en los primeros 15 cm (6%), alta capacidad de intercambio catiónica (20 cmol kg⁻¹), niveles moderadamente bajos de P según Bray 1 (15-27 ppm), y un pH de 5.5 a 6.5. Presentan un rango de infiltración de 23.4 cm h⁻¹ y baja capacidad de retención de humedad (Thompson 1992).

Las rocas parentales del área son andosita, y en el caso de la arena y limo la mayor parte corresponde a feldespata plagioclasa. El tipo de arcilla encontrada está formada por caolinita, o mezclas de vermiculita y caolinita ocasionalmente con trazas de mica y esmectita, (Wilding *et al.*, 1998).⁴

3.2 ESTUDIO

El estudio se dividió en dos fases: campo y laboratorio. La Fig. 2 muestra un resumen de las etapas que se desarrollaron en el experimento.

⁴ Wilding *et al.* (1998). Información de pérdidas de nutrientes por escorrentía en diferentes lugares de la región de Choluteca, Honduras (Poster publicado en la Reunión Anual de The American Agronomy Society [reajizado](#) en Baltimore, Maryland October 18-22 1998).

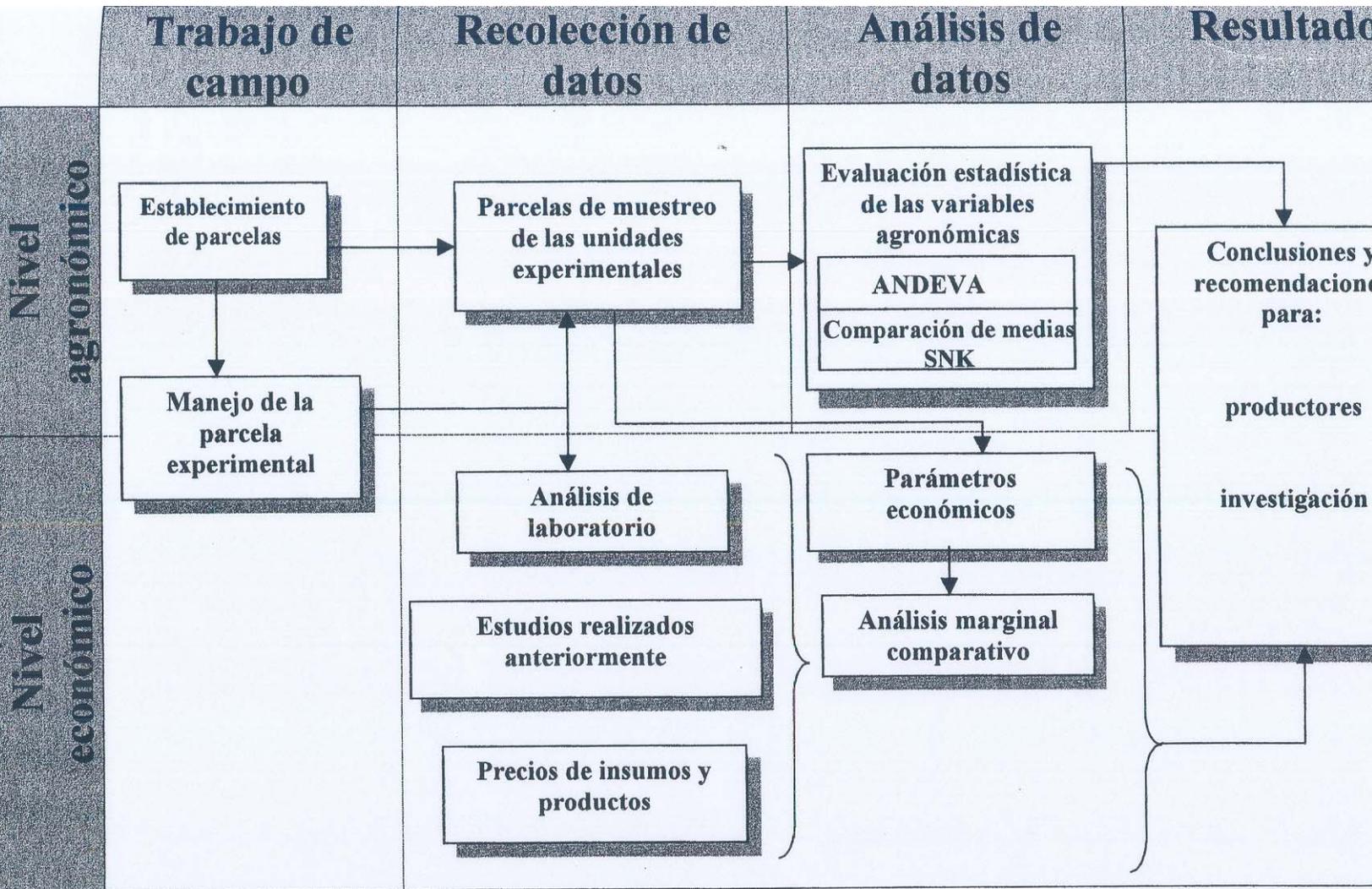


Figura 2. Procedimiento general de la investigación realizada en Namasigüe, Choluteca, 1999.

3.2.1 Fase de campo

3.2.1.1 Establecimiento del cultivo. Se trabajó en parcelas de cinco agricultores. No se utilizó ningún tipo de preparación del terreno. En las primeras semanas del mes de abril se realizó una limpia dejando los residuos y el barbecho de cultivos anteriores en la superficie.

La siembra la realizó el personal de la Estación Experimental "La Lujosa"; se hizo bajo el sistema intercalado maíz/sorgo durante el inicio de la época lluvioso en la tercera semana de mayo. Se utilizó el sistema de surco alterno en el cual el maíz se siembra antes que el sorgo. Diez días después de la emergencia del maíz se sembró el sorgo. La distancia entre surcos fue de 80 cm; entre plantas se dejó una distancia de 10 cm.

La variedad de maíz utilizado fue HR-15 de la casa comercial Seminal. Se colocaron dos semillas por postura. Después de 10 días de haber sembrado el maíz se sembró el sorgo. En este caso, se utilizaron dos variedades: criolla y la variedad mejorada DMV -198 (TAM 428 x Porvenir) desarrollada por el Proyecto de Sorgo/Intsormil/EAP. Las dos variedades de sorgo son foto sensitivas y el crecimiento del sorgo no se ve afectado por el del maíz.

La semilla de maíz y sorgo fue tratada con Semevin 350 SA para controlar insectos del suelo y brindar protección a la plántula durante los primeros 15 días de establecimiento del cultivo.

El control de malezas se llevó a cabo de forma manual por los agricultores. Al momento de la siembra del maíz se aplicaron 2 quintales de 18-46-0 ha-l. Después de haber sembrado el maíz se efectuó una aplicación en banda de N en forma de urea (45 kg de N ha-l).

La cosecha de maíz se realizó la primera semana de septiembre El sorgo no se cosechó ya que se presentaron problemas en la etapa de polinización por la tormenta tropical ocurrida en Honduras en 1998.

3.2.1.2 Establecimiento de parcelas. El cultivo se estableció en parcelas que tienen obras de conservación y en parcelas adyacentes sin obras de conservación. La Figura 3 nos muestra la distribución de las parcelas en el campo.

En cada uno de los terrenos se establecieron dos parcelas de 10m² (5 m de ancho x 2 m de largo) con una repetición dentro de cada sistema de siembra. Dentro de cada parcela se formaron cinco sub parcelas de 2 m² ya que entre muro y muro hay una distancia de 5 m, formándose una sub parcela a cada metro.

Las parcelas con valeriana fueron establecidas a 4 m de distancia por lo que solamente se formaron cuatro sub parcelas de 2 m² dentro de cada una de ellas.

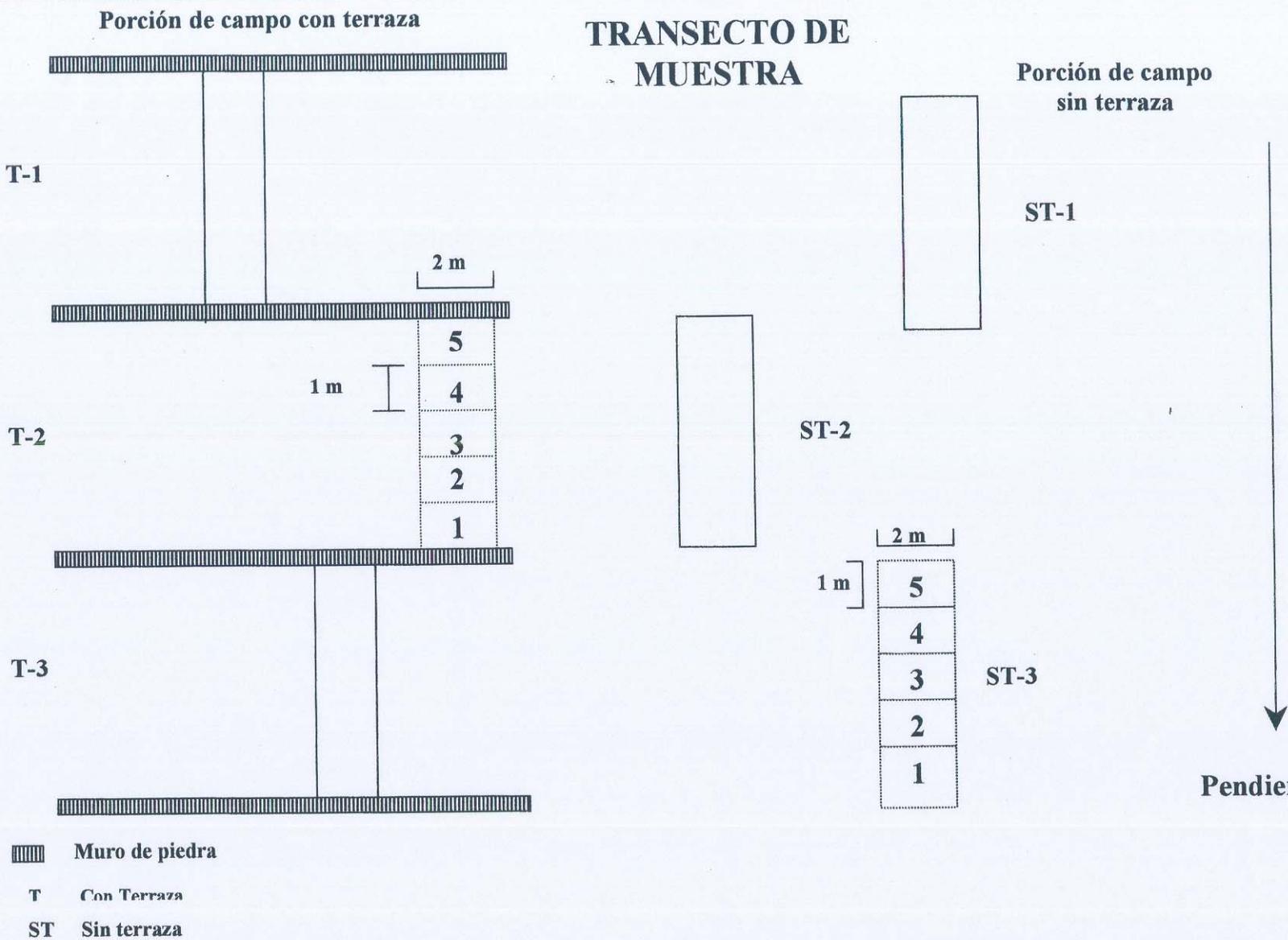


Figura 3. Distribución de parcelas en el campo. Fuente: SIERRA, (1996).

El establecimiento de parcelas y sub parcelas también sirvió para la obtención de muestras de suelo. Dentro de cada sub parcela se realizó un muestreo de suelo a tres profundidades, obteniéndose muestras de 0-15, 15-30, 30-45 cm. Las muestras de suelo se usaron para determinar las características químicas y físicas del suelo.

3.2.1.3 Parámetros agronómicos. Las variables de campo que fueron analizadas dentro del nivel agronómico son:

- Rendimiento en peso fresco de la biomasa de sorgo criollo y mejorado (t ha-1).
- Rendimiento en grano de maíz y sorgo criollo y mejorado (t ha-1).

3.2.1.4 Caracterización de la lluvia. La profundidad, duración e intensidad fueron determinados para cada evento de lluvia durante todo el año de 1995.

Se instaló un pluviómetro (medidor de lluvia) cuyo funcionamiento depende de una batería. El equipo opera trazando gráficas de lluvia durante las 24 horas del día. Un digitalizador electrónico (Numonics 1224) fue interfazado con una computadora personal habilitada en el Departamento de Ecología y Manejo de la Universidad de Texas A&M para convertir los trazos o líneas de los gráficos de lluvia en un formato digital. El índice de erosión de cada tormenta fue calculado utilizando el procedimiento de contorno o trazo de Wischmeir y Smith (Smith, 1997).

Debido a las condiciones de laderas, la profundidad de lluvias fue ajustada para la pendiente de cada campo de medición, multiplicando el tiempo de lluvia por un factor de corrección. El factor de corrección fue basado en la siguiente relación trigonométrica:

$$FC = (L \cos e) / L$$

Donde: FC

- L e = Factor de corrección
- = Largo de la pendiente del campo
- = Angulo de la pendiente

3.2.1.5 Pérdida de suelo y nutrientes. En un esfuerzo para lograr homogeneidad, tres campos fueron escogidos con pendiente, área, suelo y cobertura similar. Los campos han sido manejados de igual forma por aproximadamente los últimos 50 años (Smith, 1997).

El largo de la parcela fue de 60-70 m, mientras que el área tenía un rango de 0.12-0.27 ha. La pendiente fue medida por un clinómetro, el rango de ésta fue de 55-63% (Cuadro 7).

Se utilizaron tres tipos de parcelas para determinar la pérdida de suelo y nutrientes:

- Parcelas con roza y quema
- Parcelas sólo con cobertura o rastrojo
- Parcelas con valeriana y rastrojo

En la base de cada parcela se instalaron aforadores-H para medir la cantidad de escorrentía. Cada aforador estaba equipado con un medidor portátil de líquidos (Serie 5FW-1), el cual es operado por baterías y grafica los volúmenes de escorrentía. Posteriormente, las gráficas fueron digitalizadas en la Universidad de Texas A & M Y los trazos convertidos a mm de lluvia. Cada evento de lluvia convertido a mm fue sumado por mes y año para cada parcela durante los tres años de estudio.

En cada aforador se instalaron tanques de 19 litros de capacidad. Después de cada lluvia se recolectaron muestras homogéneas compuestas en contenedores de plástico de un litro para los análisis de pérdida de suelo.

Para determinar la pérdida de suelo por litro de escorrentía, las muestras fueron filtradas usando filtros Whatman y una aspiradora.

Cuadro 7. Parámetros físicos para cada campo de estudio.

Campo de tratamiento	Longitud (m)	Área (ha)	Pendiente (%)
Roza y Quema	60	0.12	57
Sólo mulch	70	0.27	63
Vetiver y mulch	60	0.16	55

Fuente: Smith (1997).

Después que el suelo fue secado en un horno a 105° C por 24 h, fue pesado y convertido a pérdida de suelo en toneladas por hectárea. Una regresión lineal entre los compuestos de las muestras de pérdidas de suelo y la correspondiente cantidad de escorrentía fue usada para estimar las pérdidas de suelo observadas. Luego, las pérdidas de suelos fueron sumadas en toneladas por hectárea por mes para cada campo a través de los tres años de estudio. Estos análisis fueron realizados por el Laboratorio de Calidad de Agua de la Estación Experimental "La Lujosa".

3.2.2 Fase de laboratorio

Esta fase de se realizó en el Laboratorio de Suelos del Departamento de Agronomía, El Zamorano.

Se analizaron variables respuesta, que son variables tanto cuantitativas como cualitativas, afectadas por las actividades humanas. Dichas variables son el reflejo del estado de salud del suelo, el cual puede deberse a la degradación que haya recibido o al grado de recuperación que está teniendo bajo ciertos estadios de sucesión de vegetación.

3.2.2.1 Variable respuesta física. Dentro de esta variable, se estudiaron las siguientes:

- Densidad aparente. La densidad aparente de un volumen de suelo en el campo, puede variar de acuerdo con la cantidad de espacio poroso que hay en él. La porosidad y la estructura están directamente relacionadas con la densidad aparente. Suelos con buena estructura y preparación pueden tener baja densidad. La densidad en el suelo fue determinada por el método de Core (Blake y Hartge, 1982). Para su cálculo se secaron en un horno a 105-110° C por 48 h. Al cabo de este tiempo se eliminó el agua de gravedad y capilar de las muestras, las cuales se pesaron para calcular su densidad aparente.

Densidad aparente

Masa de suelo seco (g)

Volumen del muestreador (cm³)

- Textura. El análisis de textura se llevó a cabo utilizando el método de Bouyoucos o del hidrómetro.
- Estabilidad de los agregados. El método que se utilizó fue el que se emplea en la Universidad de Maryland. Este consiste básicamente en hacer pasar partículas del suelo de aproximadamente 1-4 mm por un minitamiz. Se llenan dos frascos con 80 ml de agua hasta que el minitamiz queda cubierto. En el frasco A se quedan las partículas que pasan sin ningún esfuerzo. El frasco B posee las partículas que no pasan libremente por el A y a las que se les fuerza a pasar por el minitamiz. Luego se colocaron en el horno por aproximadamente dos días a 80°C. Después se tomaron los pesos de los frascos que contenían el suelo seco, se estableció una relación entre el peso inicial y final, y se calculó el porcentaje de estabilidad de los agregados del suelo.

3.2.2.2 Variable respuesta química. Se analizaron los siguientes parámetros:

- pH: El pH se determinó por el método del potenciómetro con electrodos de vidrio en la reacción peso: volumen 1: 1.
- Materia orgánica (m. o.). Se determinó por el método de Walkley y Black.
- Determinación de N. Para la determinación del N, se utilizó el método de micro Kjeldahl.

- Potasio, calcio y magnesio. La determinación de potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) aprovechables, se efectuó por el método de la solución extractora Mehlich 1 con filtrado posterior y espectrofotómetro de absorción atómica.
- Determinación de P. Se realizó por medio del método colorimétrico. El P es extraído utilizando la solución extractora Mehlich 1 con filtrado posterior y espectrofotómetro de absorción atómica.

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para las variables de rendimiento se utilizó un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial de 2 x 5 (obras x punto de muestreo).

Para el análisis de las características físicas y químicas los tratamientos se distribuyeron en un diseño de parcelas sub-subdivididas (obras x puntos de muestreo x profundidades), realizándose el análisis para cada agricultor. La parcela principal la representan las obras de conservación; las sub-parcelas son los puntos de muestreo y la sub-sub parcela es la profundidad de muestreo empleada para cada uno de ellos.

3.4 RECOLECCION DE DATOS

La recolección de datos relacionados con el rendimiento se realizó a lo largo del período del cultivo. Los datos se recolectaron en todas las unidades experimentales, durante los meses de septiembre-enero.

3.5 ANALISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron análisis de varianza para cada campo de los cinco agricultores, utilizando la prueba SNK de separación de medias con un $\alpha = 0.10$. Además se efectuó un análisis de residuales. Para los cálculos se usó el paquete estadístico SAS® "Statistical Analysis System" versión 6.12 (1996).

Se utilizó el procedimiento "General Linear Model" (GLM) para el ajuste de los modelos lineales, y la opción SS3 para el cálculo de sumas de cuadrados y cuadrados medios, debido a que la estructura de los datos no fue ortogonal (desbalanceada).

El modelo lineal para el análisis de rendimiento fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \tau * \beta_{ij} + E_{ij}$$

Y_{ij} = Conjunto de las variables de rendimiento

- μ = Media común para el experimento
- τ_i = Efecto del uso de obras de conservación
- β_j = Efecto de los puntos de muestreo de la parcela
- $(\tau*\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción simple $i * j$
- E_{ij} = Error experimental

Hipótesis:

Ho: No existen diferencias significativas en rendimiento dentro de las parcelas con obras o sin obras de conservación y los puntos de muestreo.

Ha: Si existen diferencias significativas en rendimiento dentro de las parcelas con obras o sin obras de conservación y los puntos de muestreo.

Para las variables respuestas del suelo el modelo lineal ajustado fue el siguiente:

En donde:

Y_{ijklm} = Conjunto de las variables respuesta del suelo para cada agricultor, uso de obras, punto de muestreo y profundidad

μ = Media común para el experimento

β_j = Repetición

O_j = Efecto de obras

BO_{ij} = Error A

M_k = Efecto de punto de muestreo

$Omsk$ = Efecto de la interacción $j * k$ (obras x punto de muestreo)

$BM_{l(k)}$ = Error B

P^1 = Efecto de profundidad

OP_{jl} = Efecto de la interacción $j * l$ (obras x profundidad)

MPkl = Efecto de la interacción k*l (punto de muestreo x profundidad)

OMPjkl = Efecto de la interacción j*k*l (obras x punto de muestreo x profundidad)

Ejklm = Error C

Hipótesis:

Ho = No existen diferencias significativas de las variables del suelo con el uso de obras de conservación, puntos de muestreo y profundidades.

Ha = Si existen diferencias significativas de las variables del suelo con el uso de obras de conservación, puntos de muestreo y profundidades.

3.6 ANALISIS ECONOMICO

3.6.1 Parámetros económicos

Las variables económicas fueron aplicadas a los tratamientos utilizados por Smith, (1997). Las variables estudiadas fueron: ingreso bruto, costos de producción, ingreso neto, relación beneficio/costo, y tasa de retorno marginal

Los costos de producción fueron calculados para todos los tratamientos en dos tipos de costos: costos comunes, y costos diferenciales.

Según el CIMMYT (1988), los costos comunes de producción son aquellos costos que no varían con el tratamiento que se aplica; mientras que los costos diferenciales son específicos para cada tratamiento.

3.6.2 Análisis marginal comparativo.

Para dicho análisis se utilizó la metodología desarrollada por el CIMMYT (1988). Esta metodología permite la evaluación de nuevas tecnologías en base a los rendimientos agronómicos y al incremento y/o disminución de costos de producción e ingresos netos. Se realizó el análisis siguiente:

- Elaboración de presupuestos parciales, para determinar los beneficios y costos diferenciales de cada alternativa a evaluar.
- Análisis marginal, en el cual se evalúan las alternativas dominantes basándose en la relación entre el incremento de los beneficios netos y el incremento de los costos, al adoptar otra alternativa. Esta relación se expresa mediante la tasa de retorno marginal (TRM).

$$\text{TRM} = \frac{\Delta \text{Beneficios netos}}{\Delta \text{Costos}}$$

En este punto cabe destacar que para cada situación existe una tasa de retorno marginal mínima. Esta es utilizada para discriminar entre alternativas dominantes, y las tasas de retorno marginal entre éstas. Por ejemplo, el CIMMYT (1988) cita que en la mayoría de agricultores se utilizan tasas de retorno mínimas de entre 50 y 100%, o sea que las alternativas con tasas menores a éstas no son tomadas en cuenta.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 FERTILIDAD DEL SUELO DE LAS PARCELAS DE DON CUPERTINO Y SIMEON

4.1.1 Nitrógeno

El contenido de N fue mayor en los primeros 15 cm de suelo y tiende a disminuir a medida que aumenta la profundidad del suelo (Cuadro 8). No se observaron diferencias en el contenido de N en las parcelas bajo diferente manejo. El contenido de materia orgánica que se encontró en el horizonte superficial explica el mayor contenido de N en los primeros 15 cm de profundidad.

No se aprecian diferencias entre los datos observados en los diferentes puntos de muestreo, ya que en los puntos próximos como en los alejados a las obras de conservación se observa la misma tendencia en el contenido de este nutrimento. Sierra (1996) encontró un mayor contenido de N en la porción del terreno que está por encima y debajo de los muros de piedra; este comportamiento lo atribuyó a la presencia de árboles de *leucaena* que se encuentran a lo largo de la base de la pared de piedra; ya que dichos árboles tienen la capacidad de fijar N₂ atmosférico.

4.1.2 Fósforo

El contenido de P fue bajo (Mehlich 1) en todas las parcelas, a diferentes puntos y profundidades de muestreo. Estudios anteriores muestran resultados similares a los presentados en el Cuadro 9. Sierra (1996) Y Smith (1997) encontraron niveles bajos de P (Bray 1) en campos con obras y sin obras de conservación. Por lo general suelos tropicales son deficientes en P; además la tracción de arcillas de estos suelos está dominada por óxidos de Al y Fe, los cuales fijan el P. Estos niveles de P son una limitante para el crecimiento y la producción de cultivos, por lo que el agricultor debe de mantener un buen nivel de P en la solución del suelo para incrementar la producción.

4.1.3 Potasio

Los niveles de K en campos con obras (muros de piedra y barrera viva) y sin obras de conservación bajo los diferentes puntos y profundidades de muestreo, muestran niveles medios de K en su mayoría (Mehlich I) (Cuadro 9). La concentración de K tiende a ser mayor en los primeros 30 cm de suelo en todas las parcelas. Los niveles más bajos de K se obtuvieron en parcelas con barreras vivas a profundidades de 30-45 cm. Los valores

bajo este tratamiento se encuentran en un rango que van desde los 17 hasta los 80 ppm de este elemento. En los muros de piedra, el nivel de K fue cuatro veces más alto en la parte más baja (punto 1) de la terraza en relación al punto más alto (punto 5). Esto es debido a que el K es un catión que puede ser lixiviado o transportado con el sedimento proveniente de las partes más altas de la terraza. Los niveles de K presentes en la mayoría de los campos muestreados son suficientes para el desarrollo normal de los cultivos. La mayoría del K proviene de minerales poco solubles como el feldespato ortoclasa, resultando en K soluble disponible en forma muy esparcida para toda la planta.

Cuadro 8. Niveles de nitrógeno y materia orgánica encontrados en parcelas con y sin obras de conservación (muros de piedra y valeriana) en Namasigüe, Choluteca (1999).

Punto de muestreo	Profundidad (cm)	Con muro I		Barrera viva		Sin obras	
		N	I M.O. T	N	M.O.	N	M.O.
(%)							
1	0-15	0.26	5.99	0.23	4.55	0.25	5.77
	15-30	0.11	4.01	0.11	2.16	0.17	3.79
	30-45	0.04	2.63	0.12	1.32	0.10	2.50
2	0-15	0.12	3.52	0.21	4.87	0.20	4.83
	15-30	0.10	2.56	0.08	1.35	0.11	2.00
	30-45	0.10	2.14	0.08	1.28	0.09	1.55
3	0-15	0.19	4.62	0.19	4.07	0.24	5.27
	15-30	0.07	1.54	0.10	1.53	0.15	2.90
	30-45	0.06	1.13	0.08	1.21	0.10	1.96
4	0-15	0.20	4.8	0.22	4.08	0.27	6.80
	15-30	0.13	1.67	0.10	2.96	0.15	4.27
	30-45	0.08	1.69	0.08	1.96	0.11	2.36
5	0-15	0.18	5.13	NSD		0.25	5.30
	15-30	0.13	3.14			0.16	4.87
	30-45	0.08	1.93			0.10	3.14

NSD = no se determinó

M.O. = materia orgánica

4.1.4 Calcio

Los niveles de Ca son altos en parcelas con obras (muros de piedra y barreras vivas) como sin obras de conservación. Se puede observar en el Cuadro 9, que los niveles más bajos se encuentran en parcelas con muros de piedra a una profundidad de 30-45 cm. En cambio en parcelas con barreras vivas y sin obras de conservación se encuentran niveles altos de Ca bajo todas las profundidades, y en los diferentes puntos de muestreo de las parcelas. Los niveles altos de Ca se debe a que los minerales de Ca son predominantes

Cuadro 9. Niveles de fertilidad encontrados en las diferentes parcelas con obras y sin obras de conservación de don Cupertino don Simeón..

Punto de muestreo	Profundidad (cm)	Disponible (ppm)											
		P			K			Ca			Mg		
		CMP	CBV	SOC	CMP	CBV	SOC	CMP	CBV	SOC	CMP	CBV	
1	0-15	2.0	2.0	2.0	358	69	183	3862	2287	1080	472	337	2
	15-30	0.4	1.0	0.4	90	37	86	1380	2077	2512	202	367	2
	30-45	3.0	0.8	0.3	116	35	74	427	2235	1995	75	390	2
2	0-15	0.4	1.0	1.0	121	61	179	1050	2227	1747	165	352	2
	15-30	1.0	0.4	0.1	112	24	59	1567	1875	1650	210	337	2
	30-45	0.8	0.3	0.1	103	21	67	1147	2032	1290	172	375	3
3	0-15	1.0	1.0	2.0	132	68	174	1980	2542	2482	232	330	2
	15-30	0.4	0.4	0.8	76	22	68	1027	1905	17.92	195	345	2
	30-45	0.8	0.3	1.0	75	17	48	720	1905	1500	150	337	2
4	0-15	0.5	1.0	2.0	123	80	140	1927	2227	2707	210	360	3
	15-30	0.3	0.6	0.6	65	38	104	1582	1987	1822	210	427	2
	30-45	1.0	0.3	0.4	47	34	87	1185	1822	1597	202	435	2
5	0-15	1.0		4.0	70		105	1875		2535	202		
	15-30	1.0	NSD	1.0	112	NSD	54	1972	NSD	1972	225	NSD	
	30-45	0.4		0.6	42		44	1080		1815	135		

CMP = con muro de piedra

CBV = con barrera viva (vaieriana)

SOC = sin obras de conservación

NSD = no se determinó

por lo que los suelos rara vez son deficientes de este elemento. Esto indica que la presencia de niveles altos de Ca permite un aprovechamiento de este elemento por la planta, y se puede obviar la necesidad de aplicar al suelo sustancias que lo contengan.

4.1.5 Magnesio.

Para el caso del Mg, el contenido de este elemento es muy variable en los tres campos de estudio tal como se observa en el Cuadro 9. Las parcelas con muros de piedra presentan una disminución conforme aumenta la profundidad de muestreo; la tendencia es aumentar en los puntos de muestreo donde la pendiente del terreno es mayor. Sin embargo, los resultados obtenidos en parcelas con barreras vivas muestran un alto contenido de Mg en las diferentes profundidades y puntos de muestreo. Parcelas sin obras de conservación poseen niveles que se encuentran entre 225-332 ppm de este elemento. Este resultado se atribuye al material parental que constituyen estos suelos.

4.2 ESTABILIDAD DE LOS AGREGADOS

Esta es una de las principales características que se ven afectadas por la degradación del suelo. Pero en los resultados obtenidos se observa que los suelos de la región en estudio conservan un porcentaje intermedio de estabilidad de los agregados (Cuadro 10); esto se atribuye al alto contenido de m. o. que existe en dichos suelos. Según Agassi (1997), la m. o. contribuye a mantener la estabilidad de los agregados del suelo a través de la interacción que establece con la arcilla, y por la protección física que ésta le proporciona a la superficie del suelo. La m. o. opone resistencia a la energía cinética que poseen las gotas de lluvia, protegiendo así la estabilidad de los agregados del suelo.

Cuadro 10. Estabilidad de los agregados dados en porcentaje en parcelas con obras y sin obras de conservación en Namasigüe, Choluteca (1999).

Punto de muestreo	Muro de piedra		Barreras vivas		Sin obras	
	0--5 cm	5-7.5 cm	0--5cm	5-7.5 cm	0--5 cm	5-7.5 cm
1	78	83	73	84	73	87
2	73	81	72	87	69	77
3	77	84	68	83	68	79
4	76	87	71	79	76	81
5	72	89	77	83	-	-

4.3 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

Los valores de CJC encontrados oscilan de medios a altos (17.5-21 meq r1) (Cuadro 11). Estos valores corresponden a los encontrados por Thompson (1992) y Smith (1997), en donde reportaron datos desde los 20 y 23.8 a 30.2 cmolc kg⁻¹ respectivamente. Dichos resultados indican que estos suelos poseen una gran cantidad de cargas negativas por unidad de suelo y que dichas cargas pueden ser sustituidas por elementos esenciales para la nutrición de las plantas, por lo que, la aplicación de enmiendas puede ser realmente aprovechable en este caso. Estos valores están asociados con los contenidos de materia orgánica, más las arcillas contenidas en las parcelas de los agricultores, la cual favorece la CJC del suelo.

Cuadro 11. Capacidad de intercambio catiónico para las parcelas de cinco agricultores con obras de conservación en Namasigüe, Choluteca (1999).

	CIC (meq I ")				
	Cupertino	Mercedes	Agustina	Lorenzo	Simeón
Profundidad 0-15 cm	20.0	17.5	19.0	21.0	20

4.4 TEXTURA

Las texturas en parcelas con obras y sin obras de conservación son similares, así como también entre los campos de los diferentes agricultores (Anexo 3). Se puede observar que a medida avanza la profundidad de muestreo los niveles de arena disminuyen y que el mayor contenido de arcilla se encuentra a profundidades de 15-30 cm. Según Sierra (1996), este incremento en el contenido de arcilla se debe a la presencia de un horizonte argílico típico de un alfisol, que corresponde a la clasificación del suelo dada por Thompson (1992). Este resultado se atribuye también a que la erosión hídrica transporta partículas del suelo de un lugar a otro, por lo que las partículas pequeñas son las más afectadas en dicho proceso; esto contribuye a encontrar valores bajos de arcilla en el horizonte superficial del suelo.

4.5 ANALISIS ESTADISTICO

4.5.1 Don Cupertino

Los análisis de varianza y sus niveles de significancia se presentan en el Cuadro 12. No fue necesaria la transformación de ninguno de sus datos, ya que todos presentan una distribución normal. El uso de bloques resultó altamente significativo con una $p < 0.0001$, esto indica que la variabilidad de los tratamientos ha sido explicada por el efecto de los bloques, reduciendo así el efecto del error experimental.

De las variables en estudio se pudo observar que:

pH: se vio afectado por la interacción obras x punto de muestreo, siendo mayor en parcelas con obras de conservación en el punto de muestreo 1 ($P < 0.0214$) (Cuadro 12). La profundidad afectó el valor del pH, siendo mayor a profundidades de 0-15 cm ($P < 0.0017$). No hubo efectos significativos ($P > 0.10$) para el uso de obras físicas de conservación de suelos, posiblemente debido a que todas las parcelas han sido manejadas con barbecho por más de 14 años.

Cuadro 12. Niveles de significancia para las parcelas de don Cupertino, Namasigüe Cholteca (1999).

Fuente de variación	pH	Materia orgánica	Densidad aparente
Bloque	0.0005	0.0071	0.0086
Obras	(0.3532)	(0.6389)	0.0001
Punto de muestreo	0.0705	0.0003	0.0070
Profundidad	0.0017	0.0001	0.0001
Obras x Profundidad	(0.7867)	(0.2169)	(0.8964)
Obras x Punto de muestreo	0.0214	0.0618	0.0022
Punto de muestreo x Profundidad	(0.8374)	0.0016	(0.6407)
Obras x Punto de muestreo X Profundidad	(0.7264)	(0.6069)	(0.6610)
Profundidad			
R ²	0.9317	0.9814	0.9845
CV (%)	4.94	10.74	2.87

Las significancias que aparecen entre paréntesis no son significativas ($P < 0.10$)

Materia orgánica: esta variable se vio afectada por la interacción entre obras con punto de muestreo ($P < 0.0618$), así como por la interacción punto de muestreo con profundidad ($P < 0.0016$); siendo mayor en parcelas con obras de conservación en los puntos de muestreo 1 a profundidades de 0-15 cm (Cuadro 12).

Densidad aparente: este parámetro se vio afectado por la interacción obras x punto de muestreo ($P < 0.0022$); la profundidad fue otro factor que influyó en la densidad aparente ($P < 0.0001$) (Cuadro 12), siendo mayor a profundidades de 30-45 cm.

Se notaron diferencias significativas ($P < 0.10$) en el pH, materia orgánica y densidad aparente entre bloques, lo que sugiere que el bloqueo pudo aislar las diferencias del terreno (Cuadro 12). Básicamente estas diferencias se deben al gradiente de humedad y pendiente existentes dentro del terreno.

Se puede decir que el modelo fue altamente significativo y su coeficiente de determinación es alto. Los factores de variación en los datos de pH, materia orgánica y densidad aparente, están presentes en el modelo y dichos factores explican muy bien la variación de los datos obtenidos en el ensayo.

Para la interacción obras x punto de muestreo, se observa como el uso de obras de conservación contribuye a disminuir el deterioro interno del suelo (Cuadro 13). La reducción del pH del suelo, indica el aumento de su acidez, y afecta negativamente el crecimiento de las plantas. Las parcelas con obras de conservación presentan valores de pH mayores que las parcelas que no cuentan con dichas obras; los puntos de muestreo más cercanos a los muros de piedra (1 Y 5), son los que presentan un mayor valor debido a la mayor acumulación de residuos vegetales que influyen en un mayor contenido de m. o., la cual actúa como un agente estabilizador del pH del suelo. Sin embargo, los valores encontrados no representan mayores problemas para el buen crecimiento y desarrollo de las plantas; debido a que las gramíneas toleran rangos de pH desde los 5.6 a 6.4, no es necesario el empleo de carbonatos y sulfatos como correctivos del pH en el suelo.

Obras	Punto de muestreo	pH	Materia orgánica (%)	Densidad aparente (g cm ³)
Con obras	1	5.79 a	3.87 ^a	1.11 b
	2	ab	3.43 bc	1.12 b
		5.64		
	3	5.54 b	3.3 c	1.18 a
	4	5.46 b	3.33 c	1.17 a
Sin obras	5	5.73 a	3.63 b	1.14 b
	1	5.39	3.25 c	1.12 b
	2	5.23	3.11 c	1.22 a
	3	5.56	3.14 d	1.24 a
	4	5.27	3.06 d	1.27 a
	5	5.36	3.31 c	1.27 a

Medias con diferente letra son diferentes significativamente (SNK, $P \leq 0.10$)

Todos los valores de la materia orgánica son medios; sin embargo, la materia orgánica es más alta en parcelas con obras de conservación que en parcelas que no presentan dichas obras (Cuadro 13). La tendencia o comportamiento de esta variable es similar en parcelas con y sin obras de conservación; un mayor contenido de materia orgánica se encuentra en los puntos de muestreo 1 y 5 bajo las dos tratamientos. Un mayor contenido de materia orgánica en parcelas con obras de conservación es atribuible a una mayor retención de humedad la cual contribuye en la tasa de descomposición de los residuos vegetales dando lugar a la formación de ésta.

La densidad aparente fue menor en parcelas con obras de conservación que en las parcelas que no cuentan con obras (Cuadro 13); sus valores son similares en los diferentes puntos de muestreo bajo los dos tratamientos. Esto está relacionado con la cantidad de residuos vegetales que se encuentran en estas parcelas las cuales contribuyen a mejorar la porosidad y estructura del suelo. Los valores encontrados indican que las raíces de las plantas, pueden crecer y desarrollarse sin mayores problemas en este tipo de suelo.

Cuadro 14. Efecto del punto de muestreo x profundidad sobre el contenido de materia orgánica, Namasigüe, Choluteca (1999).

Punto de muestreo	Profundidad (cm)	Materia orgánica (0.10)
1	0-15	4.22 a
	15-30	3.82 a
	30-45	2.87 e
2	0-15	3.90 a
	15-30	3.47 b
	30-45	2.67 e
3	0-15	3.23 b
	15-30	3.20 b
	30-45	2.42 d
4	0-15	3.07 be
	15-30	2.95 e
	30-45	2.80 e
5	0-15	3.03 be
	15-30	2.80 e
	30-45	2.60 e

Medias con diferente letra son diferentes significativamente (SNK, $P \sim 0.10$).

El contenido de m. o. fue significativamente mayor en los primeros 15 cm del suelo en todos los puntos de muestreo y disminuyó a medida aumenta la profundidad de muestreo (Cuadro 14). El mayor contenido de m. o. se encontró en los primeros 30 cm del suelo ya que ésta es el producto de la descomposición de plantas y residuos de cosecha por los microorganismos como bacterias y hongos, y la mayor acumulación de residuos vegetales

se encuentra en el horizonte superficial del suelo. Existen diferencias significativas en el contenido de m. o. entre los diferentes puntos de muestreo. El contenido de m. o. fue mayor en el punto de muestreo 1. La mayor acumulación de m. o. en el punto 1 es atribuida a la retención de residuos que ejerce el muro de piedra lo que ocasiona una mayor acumulación de m. o. en este punto

El pH Y la densidad aparente se ven afectados por la profundidad (Cuadro 15). Valores de pH a profundidades de 0-15 y 15-30 cm no mostraron diferencias significativas, pero sí a profundidades de 30-45 cm. Valores bajos de pH pueden interferir con la absorción de algunos elementos, pues elementos como el Ca, Mg y K Y P son menos disponibles. La densidad aparente es similar en los primeros 30 cm del suelo, y diferente a la profundidad de 30-45 cm. Esto es atribuible al menor contenido de materia orgánica que se encuentra a mayores profundidades, lo que hace que el suelo esté más compactado y posea menos espacio poroso; esto puede perjudicar el crecimiento y desarrollo de las raíces de las plantas

Cuadro 15. Efecto de la profundidades de muestreo sobre el pH y la densidad aparente en las parcelas de don Cupertino, en Namasigñe, Choluteca.

Profundidad (cm)	pH		Densidad aparente (gr cm ³)	
	Media	Error St.	Media	Error St.
0-15	5.33 a	0.531	1.13 a	0.753
15-30	5.15 a	0.575	1.21 a	0.954
30-45	4.87 b	0.660	1.32 b	1.127

4.5.2 Doña Mercedes

Los análisis de varianza y los niveles de significancia se detallan en el Cuadro 16. No fue necesaria la transformación de los datos, debido a que en el análisis de residuales estos presentaban una distribución normal. El efecto de bloques fue altamente significativo con una $P < 0.0001$ para el pH y materia orgánica. El bloqueo ayudó a explicar la variabilidad de los tratamientos, reduciendo así el error experimental.

pH: la interacción entre los factores obras por profundidad, tuvo un efecto importante ($P < 0.0561$) para esta variable.

Materia orgánica: el efecto de la interacción obras x profundidad resultó importante ($P < 0.0833$) obteniéndose mayores resultados en parcelas con obras de conservación a profundidades de 0-15 cm.

Densidad aparente: esta variable no tuvo respuesta significativa para las parcelas de esta agricultora.

Cuadro 16. Niveles de significancia de la parcela de doña Mercedes, Namasigñe, Choluteca (1999).

Fuente de variación	pH	Materia Orgánica	Densidad Aparente
Bloque	0.0001	0.0001	(0.5206)
Obras	0.0083	0.0001	(0.3331)
Punto de muestreo	(0.1819)	(0.3585)	(0.4251)
Profundidad	0.0169	0.0003	0.3789)
Obras x profundidad	0.0561	0.0833	(0.3892)
Obras x punto de muestreo	(0.7605)	(0.3990)	(0.4271)
Punto de muestreo x profundidad	(0.9620)	(0.9773)	(0.4617)
Obras y punto de muestreo x profundidad	(0.9804)	(0.9726)	(0.4614)
R ²	0.771	0.860	0.7303
CV (%)	11.057	28.770	25.934

Las significancias que aparecen entre paréntesis no son significativos ($P < 0.10$)

Excepto para la densidad aparente, el modelo expresa la variación en los valores de pH y en el contenido de materia orgánica. La variación que se presenta en los datos es poca y se le puede atribuir al tiempo que llevan los agricultores aplicando las prácticas de conservación de suelos que son más de 14 años.

Las parcelas con obras de conservación presentaron valores más altos de pH que las parcelas sin obras de conservación, bajo las tres diferentes profundidades de muestreo. Existieron diferencias significativas en el contenido de materia orgánica en las diferentes profundidades, tanto en las parcelas con obras como sin obras de conservación ($P < 0.0003$) (Cuadro 17). El contenido de materia orgánica fue mayor en los primeros 30 cm del suelo; esto obedece a que tanto los campos con obras como sin obras de conservación presentan una mayor acumulación de residuos vegetales en el horizonte superficial del suelo. Esto promueve una mayor actividad microbiana que favorece la descomposición del material vegetal y aumenta el contenido de m. o.

Cuadro 17. Efecto de la interacción obras x profundidad de muestreo sobre el pH y la materia orgánica, Namasigñe, Choluteca (1999).

Obras	Profundidad (cm)	pH	Materia orgánica (%)
Con obras	0-15	5.94 a	3.87 a
	15-30	5.54 a	3.37 a b
	30-45	5.03 c	2.96 b
Sin Obras	0-15	5.23 b	3.65 a
	15-30	5.13 bc	2.98 b
	30-45	4.73 d	2.54 b

Medias con diferente letra son diferentes significativamente (SNK, $P \leq 0.10$).

4.2.3 Doña Agustina

El modelo es significativo para pH y m. o. con un coeficiente de detenninación de 0.74 y 0.91, respectivamente (Cuadro 18). Esto indica que factores importantes en la variación de los datos de pH y materia orgánica están presentes en el modelo y que dichos valores explican muy bien la variación, salvo el caso de la densidad aparente en donde el modelo no resultó significativo. El uso de obras de conservación no tuvo efecto sobre ninguna de las variables. El efecto del bloqueo resultó significativo para pH y m. o., lo que indica que el haber establecido bloques en nuestras parcelas nos ayudó a explicar la variabilidad de los tratamientos disminuyendo así el error en el ensayo.

pH: se vio afectado significativamente por la profundidad ($P < 0.0040$) Y punto de muestreo ($P < 0.0904$) respectivamente (Cuadro 18).

Materia orgánica: se vio afectado por la profundidad ($P < 0.0001$), siendo mayor a profundidades de 0-15 cm. El punto de muestreo también afectó a esta variable ($P < 0.0006$) (Cuadro 18), siendo mayor en el punto de muestreo 1.

Densidad aparente: esta variable no se vio afectada por ninguna de las factores considerados en nuestro ensayo (Cuadro 18).

Cuadro 18. Niveles de significancia para la parcela de doña Agustina en Namasigñe, Choluteca (1999)

Fuente de variación	pH	Materia orgánica	Densidad aparente
Bloque	0.0904	0.0006	(0.3774)
Obras	(0.3093)	(0.9969)	(0.3341)
Punto de muestreo	0.0904	0.0006	(0.4244)
Profundidad	0.0040	0.0001	(0.3815)
Obras x Profundidad	(0.1355)	(0.9903)	(0.3840)
Obras x Punto de muestreo	(0.9773)	(0.1907)	(0.4270)
Punto de muestreo x Profundidad	(0.9719)	(0.1114)	(0.4625)
Obras x Punto de muestreo X Profundidad	(0.9727)	(0.9218)	(0.4626)
Profundidad			
R_s^2	0.744	0.908	0.730
CV(%)	9.263	19.803	1.338

Las significancias que aparecen entre paréntesis no son significativas ($P < 0.10$)

La tendencia observada en los datos de la parcela de doña Agustina (Cuadro 19) es muy similar a las del resto de agricultores; aunque los rangos son muchos más variables en este caso. Los valores de pH oscilan desde los 5.83 hasta los 4.98 Y los de m. o. van desde

4.04 hasta los 2.99. Los valores de pH y m. o. tienden a ser más altos en el punto de muestreo 1, este es el punto de menor pendiente dentro de la parcela y donde hay una mayor acumulación de residuos vegetales, generando un mayor contenido de m. o. Valores de pH tienden a ser similares entre los puntos 2,3,5 pero difieren con el punto 4. En cambio los resultados obtenidos en m. o. muestran similitudes entre los puntos 1 Y 2 pero diferentes a los puntos 3, 4 y 5.

Cuadro 19. Efecto del punto de muestreo sobre las variables pH y materia orgánica en parcelas ubicadas en Namasigüe, Choluteca (1999).

Punto de muestreo	pH		Materia orgánica	
	Media	Error Sto	Media	Error Sto
1	5.83 a	0.494	4.04 a	1.073
2	5.14 be	0.638	3.98 a	1.033
3	5.19 b	0.286	3.09 b	0.858
4	4.98 e	0.747	3.35 ab	0.772
5	5.22 b	0.463	2.99 b	0.811

Medias con diferente letra son diferentes significativamente (SNK, $P \leq 0.10$).

El pH y la m. o. se ven afectados por la profundidad (Cuadro 20). Valores de pH a profundidades de 0-15 y 15-30 cm son muy similares entre sí pero difieren de los valores encontrados a 30-45 cm. Nutrientos como el Ca, Mg, K Y P no pueden estar disponibles con valores tan bajos de pH, aunque otros elementos como el Fe y Mn si se encuentran más disponibles a un menor pH. La respuesta en el contenido de m. o. varió en las diferentes profundidades; los mayores valores se presentan entre los 0-15 y 15-30 cm, pero difieren de los valores encontrados de 30-45 cm. Esto se debe a que el mayor contenido de residuos vegetales se encuentra sobre la superficie del suelo y hay una mayor acumulación de m. o. en el horizonte superficial.

Cuadro 20. Efecto de la profundidad de muestreo sobre el pH y la materia orgánica en Namasigüe, Choluteca (1999).

Profundidad (cm)	pH		Materia orgánica	
	Media	Error Sto	Media	Error Sto
0-15	5.55 a	0.406	3.53 a	0.877
15-30	5.14 a	0.463	2.73 b	0.657
30-45	4.81 b	0.476	2.01 e	0.531

Medias con diferente letra son diferentes significativamente (SNK, $P \leq 0.10$).

4.2.4 Don Lorenzo

Las variables pH y densidad aparente no fueron afectados por ninguno de los factores del ensayo. El contenido de materia orgánica fue la única variable afectada ($P < 0.0001$) por

la profundidad (Cuadro 21). El modelo resultó poco significativo en este caso, aunque su coeficiente de determinación fue alto no explica mucho, solo para el contenido de materia orgánica. El efecto de bloques no resultó significativo, salvo para la materia orgánica en donde se obtuvo una $p < 0.0190$; esto indica que el establecer bloques en nuestras parcelas nos ayudó a disminuir el error en nuestro experimento.

Cuadro 21. Niveles de significancia para la parcela de don Lorenzo en Namasigüe, Choluteca, (1999).

Fuente de Variación	pH	Materia orgánica	Densidad aparente
Bloque	(0.4453)	0.0190	(0.5131)
Obras	(0.4644)	(0.8731)	(0.9937)
Punto de muestreo	(0.1721)	(0.1291)	(0.9840)
Profundidad	(0.8329)	0.0001	(0.1965)
Obras x Profundidad	(0.6565)	(0.4867)	(0.7547)
Obras x Punto de muestreo	(0.6540)	(0.4754)	(0.9885)
Punto de muestreo x Profundidad	(0.6263)	(0.2202)	(0.7248)
Obras x Punto de muestreo X profundidad	(0.8355)	(0.9807)	(0.5499)

Al igual que en las parcelas de los agricultores anteriores se determinó un mayor contenido de materia orgánica a niveles de 0-15 y 15-30 cm. Valores medios encontrados en estas parcelas (Cuadro 22), se pueden atribuir al tiempo que lleva el agricultor dejando residuos de cosechas en el campo, aproximadamente 14 años, lo que contribuye a mantener similares características en sus parcelas tanto con muros de piedra como en las parcelas que no cuentan con tales obras.

Cuadro 22. Efecto de la profundidad de muestreo sobre la variable materia orgánica en Namasigüe, Choluteca (1999).

Profundidad (cm)	Materia orgánica	
	Media	Error Sto
0-15	3.73 a	1.13
15-30	3.21 a	1.16
30-45	2.83 b	1.21

Medias con diferente letra son diferentes significativamente (SNK. $P < 0.10$).

4.2.5 Don Simeón

La parcela de don Simeón fue diferente, las obras que posee consisten de barreras vivas (valeriana). El modelo expresa muy bien la variación en los valores de pH y m. o.

encontrados (Cuadro 23). El modelo resultó significativo y la variación que hubo en los datos fue baja. El pH se vio afectado por la profundidad, siendo mayor a profundidades de 0-15 cm ($P < 0.0073$) (Cuadro 23). La materia orgánica resultó afectada por la profundidad ($P < 0.0516$) (Cuadro 23), los valores más altos de ésta se obtuvieron a profundidades de 0-15 cm. Se notaron diferencias significativas ($P < 0.10$) para pH y m. o., lo quiere decir que el bloquear nuestras parcelas tuvo un efecto en la disminución del error en nuestro ensayo, ya que corrigió fuentes de variación con ciertos gradientes que no fueron medibles en el estudio.

Cuadro 23. Niveles de significancia para las parcelas del agricultor Simeón en Namasigüe, Choluteca, (1999).

Fuente de variación	pH	Materia Orgánica
Bloque	0.019	0.0130
Punto de muestreo	(0.6151)	(0.48767)
Profundidad	0.0073	0.0516
Punto de muestreo x profundidad	(0.3990)	(0.3832)
R ²	0.8412	0.886
CV (%)	8.196	11.087

Las significancias que aparecen entre paréntesis no son significativas ($P < 0.10$)

Tanto el pH como la m. o. se vieron influenciadas solamente por el factor de la profundidad de muestreo (Cuadro 24). En este sentido los resultados son muy similares a los encontrados en las parcelas del resto de agricultores que utilizan como obras de conservación muros de piedra, lo que viene a confirmar que la diferencia en el empleo de barreras vivas o muertas es su durabilidad, pero que los beneficios obtenidos son muy parecidos en ambos casos (LUPE, 1994).

Cuadro 24. Efecto de la profundidad de muestreo sobre el pH y la materia orgánica en Namasigüe, Choluteca (1999).

Profundidad (cms)	pH		Materia Orgánica (%)	
	Media	Error St.	Media	Error St.
0-15	5.61 a	0.293	4.29 a	1.591
15-30	5.42 a	0.261	3.80 a	1.496
30-45	5.33 b	0.238	2.72 b	1.027

Medias con diferente letra son diferentes significativamente (SNK, $P \sim 0.10$).

4.6 RENDIMIENTO DE MAIZ Y SORGO EN NAMASIGÜE, CHOLUTECA.

En forma general se puede decir que el modelo es significativo y expresa muy bien la variación en el rendimiento de *los* cultivos de maíz y sorgo. El coeficiente de determinación es alto. Esto indica que valores importantes en la variación del rendimiento están presentes en el modelo y que dichos resultados explican muy bien la variación de los datos. El empleo de bloques en nuestra parcela fue importante, ya que resultaron significativos para todas las variables en estudio; esto indica que disminuyó el error del ensayo.

Los análisis de varianza y sus niveles de significancia para las variables de rendimiento en los cultivos se presentan en el Cuadro 25. De acuerdo a los resultados de estos análisis se observa:

- Sorgo criollo: el rendimiento en biomasa se vio afectado por las obras de conservación ($P < 0.0129$), obteniéndose mayores resultados en parcelas con obras. No hubo efectos significativos ($P > 0.10$) para los puntos de muestreo y la interacción obras por punto de muestreo. Para el rendimiento del grano, la interacción entre obras x punto de muestreo tuvo influencia sobre los resultados ($P < 0.0706$), se obtuvo mayores resultados en parcelas con obras de conservación en los puntos de muestreo 1.
- Sorgo mejorado: se vio afectado por la interacción obras x punto de muestreo, obteniéndose mayores rendimientos en parcelas con obras de conservación tanto en biomasa como en grano.
- Maíz: hubo diferencias en el rendimiento en grano causada por la interacción obras x lugar de muestreo con una ($P < 0.0961$). Se obtuvo un mayor rendimiento en grano en parcelas con obras de conservación en el punto de muestreo 1.

Cuadro 25. Niveles de significancia para las variables de rendimiento en Namasigüe,

Fuente de variación	Sorgo criollo		Sorgo mejorado		Maíz
	Biomasa	Grano	Biomasa	Grano	Grano
Bloque	0.0118	0.0185	0.0165	0.0244	0.0951
Obras	0.0129	0.0244	0.0686	0.0105	0.0135
Puntos de muestreo	(0.6710)	0.0166	0.0832	0.0993	0.0715
Obras x punto de muestreo	(0.6951)	0.0706	0.0915	0.0165	0.0961
R ²	0.8713	0.8424	0.8554	0.8302	0.8713
CV %	9.08	2.15	13.56	4.80	1.96

Las significancias que aparecen entre paréntesis no son significativas ($P < 0.10$)

4.6.1 Efecto de la interacción obras x punto de muestreo sobre el rendimiento de sorgo criollo, sorgo mejorado y maíz en Namasigüe, Choluteca (1999).

La interacción obras x punto de muestreo afectó los rendimientos de los cultivos tal como se observa en los cuadros 26, 27 Y 28.

- Sorgo criollo: las diferencias de medias se presentan en el Cuadro 26. Sólo se encontró diferencia en lo que se refiere a la producción de grano. Con respecto a esta variable la producción de grano alcanzó valores de 1.74 t ha-1 en parcelas con obras de conservación, contra 1.33 t ha-1 en parcelas sin obras de conservación en el punto de muestreo 1. Esta diferencia representa un 23.61 % más de grano con el empleo de dichas obras.

Cuadro 26. Efecto de la interacción obras x punto de muestreo en la producción de grano de sorgo criollo en t ha-1 en Namasigüe, Choluteca.

Obras	Punto de muestreo	Sorgo criollo
Con obras	1	1.74 a
	2	1.68 a
	3	1.37 b
	4	1.22 be
	5	1.38 b
Sin obras	1	1.33 b
	2	1.02 e
	3	1.11 e
	4	1.13 e
	5	1.07 e

Medias con diferente letra son diferentes significativamente (SNK, P ~ 0.10).

Una mayor producción se presenta en los puntos 1 Y 2, se encuentra diferencia entre estos puntos y los puntos 3, 4 Y 5 en parcelas con obras de conservación. Mientras que en parcelas sin obras el punto de muestreo 1 resultó con mayores valores y diferentes al resto de puntos de muestreo. Los rendimientos de grano tan bajos obedecen a que los sorgo s criollos, aunque tienen una producción estable poseen un bajo potencial de rendimiento.

- **Sorgo mejorado:**

Producción de biomasa: los valores obtenidos en cuanto a biomasa (Cuadro 27) muestran una mayor producción en parcelas con obras de conservación. Dichas parcelas presentan una diferencia del 39.8 % entre los puntos de muestreo 1 y 5; mientras que parcelas sin obras de conservación presentan una diferencia del 21.5 % entre los mismos puntos. Los puntos de muestreo con menor pendiente (1 y 2)

presentaron una mayor producción bajo los dos tratamientos, aunque los valores encontrados son diferentes para parcelas con obras y sin obras de conservación. La mayor acumulación de sedimentos, nutrimentos y m. o. en el punto 1 favorecen un mejor desarrollo de las plantas de sorgo. La profundidad de suelo en el punto 1 es mayor, lo que también permite una mayor acumulación de humedad en el suelo la cual puede ser aprovechada por la planta. La diferencia con el sorgo criollo se debe a que esta es una variedad mejorada de sorgo en la cual la relación fuente: demanda ha sido modificada. El porte más bajo de esta variedad, la resistencia a enfermedades y la respuesta a fertilización permiten que tenga un mejor rendimiento de grano y calidad de forraje.

Cuadro 27. Efecto de la interacción obras x punto de muestreo en biomasa y rendimiento en grano de sorgo crioUo en Namasigñe, Choluteca (1999)

	Punto de muestreo	Biomasa	Grano
Con obras	1	12.8 a	3.30 a
	2	12.7 a	3.07 a
	3	10.7 b	2.79 b
	4	8.2 c	2.65 bc
	5	7.7 cd	2.44 c
Sin obras	1	9.3 b	2.07 c
	2	8.1 c	1.98 d
	3	8.3 c	1.63 d
	4	7.6 d	2.10 c
	5	7.3 d	1.90 d

Medias con diferente letra son diferentes significativamente (SNK. $P \sim 0.10$).

- Producción de grano: la mayor producción de grano se dió en parcelas con obras de conservación en los puntos 1 y 2 (3.30 Y 3.07 t ha⁻¹, respectivamente) (Cuadro 27). Los valores de los puntos de muestreo 3, 4 Y 5 difieren de los primeros dos. Parcelas sin obras de conservación presentan mayores valores en los puntos 1 Y 4 (2.07 Y 2.10 t ha⁻¹, respectivamente), estos difieren de los puntos 2, 3 Y 5. La diferencia entre ambos tratamientos obedece a una mayor retención de humedad en parcelas con obras de conservación, lo que contribuye a un mejor desarrollo de las gramíneas y a una mayor producción de biomasa y grano.
- Producción de grano de maíz: un mayor rendimiento se encontró en parcelas con obras de conservación en los puntos de muestreo 1 y 2 (Cuadro 28), los cuales fueron diferentes del resto de puntos en la parcela. Para las parcelas sin obras de conservación, el rendimiento en grano fue menor, los valores más altos los encontramos en el punto de muestreo 1, el cual difiere de los otros cuatro. El comportamiento de esta variable se puede atribuir a las condiciones que proporcionan las parcelas con obras

de conservación, las cuales brindan una mayor retención de humedad y una mayor acumulación de nutrimentos en comparación con las parcelas que no poseen dichas obras.

Cuadro 28. Resultados de rendimiento en grano de maíz (t ha⁻¹) en Namasigüe, Choluteca.

Obras	Punto de muestreo	Maíz
Con obras	1	3.11 a
	2	3.04 a
	3	2.38 b
	4	2.22 b
	5	1.83 b
Sin obras	1	1.88 b
	2	1.61 c
	3	1.71 c
	4	1.68 c
	5	1.72 c

Medias con diferente letra son diferentes significativamente (SNK, P _s: 0.10).

4. 7 ANALISIS ECONOMICO

Para el análisis económico se realizaron las siguientes consideraciones:

El valor de la producción de maíz y sorgo se obtiene al multiplicar el precio de campo (precio de venta menos costos proporcionales al rendimiento o cosecha). El valor del rastrojo se obtuvo tomando en cuenta la producción de éste por ha y lo que se paga por si se vendiera para consumo animal.

Para los costos variables se consideraron además del precio de insumos por el empleo de obras de conservación, la mano de obra que involucra actividades como la siembra y mantenimiento de éstas, la reducción del rendimiento de los cultivos, así como la pérdida de nutrimentos por escorrentía. El precio de los nutrimentos se obtuvo como el valor de reposición del N y P en forma de urea y 0-46-0 respectivamente.

La base de datos presentada en el Anexo 4, se utilizó para el análisis económico de las diferentes alternativas.

Cuadro 29. Presupuesto parcial en L/ha de la evaluación del uso de obras de conservación en Namasigüe, Choluteca (1999).

Descripción	Tratamientos		
	Tala y quema	Rastrojo (mulch)	Rastrojo y barreras vivas
1. Beneficios brutos	22,239.00	30,791.00	44,428.70
1.1. Beneficios de maíz en grano	16,952.00	22,42.80	32,860.80
1.2. Beneficio de sorgo en grano	4,887.00	8,362.20	11,567.90
1.3. Rastrojo	400.00	-	-
2. Costos variables	1,247.40	2,009.00	3,809.77,
2.1 Mano de obra	876.00	1,637.60	2,377.20
Preparación	240.00	480.00	480.00
Establecimiento de barreras	-	-	160.00
Mantenimiento de barreras	-	-	80.00
Trillado de sorgo	198.00	338.80	468.60
2.2. Insumos	371.40	371.40	1,432.57
Maíz	240.00	240.00	186.00
Sorgo	131.40	131.40	95.57
Rizomas	-	-	1,151.00
3. Costos comunes	1,519.97	1,519.97	1,519.97
3.1. Mano de obra	1,360.00	1,360.00	1,360.00
Siembra	160.00	160.00	160.00
Deshierba	160.00	160.00	160.00
Fertilización	40.00	40.00	40.00
Cosecha de maíz	160.00	160.00	160.00
Cosecha de sorgo	160.00	160.00	160.00
3.2. Insumos	159.95	159.95	159.95
Semevin	9.97	9.97	9.97
Urea	150.00	150.00	150.00
4. Costo de oportunidad	11,996.00	3,212.95	11,584.50
4.1. Rastrojo	-	400.00	400.00
4.2. Tierra	-	-	11,103.00
4.3. Incorporación de rastrojo	1,874.00	-	-
4.4. Uso de obras	10,122.05	2,812.98	84.80
Pérdida de nutrientes	240.75	17.33	13.30
Pérdida de suelo	9,881.30	2,795.65	71.50-
5. Costos totales	14,923.37	7,272.91,	17,074.19
6. Ingreso neto	7,315.63	23,518.09	27,354.51

El empleo de rastrojo más barrera viva (Cuadro 29), aumentan los costos variables con respecto al de las otras alternativas. Esto se explica porque al no producir en las áreas donde se siembra valeriana se pierde la producción en este terreno; en tanto que al empleo de rastrojo con el campo de tala y quema, se le asignan solamente el costo de siembra, cosecha, insumos y costo de pérdidas de nutrientes por escorrentía.

Otro aspecto importante son los bajos costos variables vinculados a la alternativa de tala y quema; ya que solamente incurre en el costo de insumos y mano de obra. La reducción del rendimiento de maíz y sorgo en grano como el costo más importante por no poner en práctica ninguna técnica de conservación de suelo.

Sin embargo, cuando se analizaron los beneficios netos de todas las alternativas y se compararon con los respectivos costos variables (Cuadro 30), no se obtuvo ninguna alternativa dominada económicamente, ya que los tratamientos que obtuvieron los menores costos variables, obtuvieron también los menores beneficios netos.

El Cuadro 30 nos muestra que es altamente rentable la alternativa de usar rastrojo o mulch (TRM 2127%), respecto a los tratamientos de tala y quema y al uso de rastrojo en combinación con barreras vivas. Sin embargo, la alternativa de combinar barreras vivas con rastrojo produjo los mayores beneficios netos de las alternativas evaluadas y una TRM del 782 %.

Cuadro 30. Análisis marginal en la evaluación del uso de obras de conservación, en parcelas localizadas en Namasigüe, Choluteca (1999).

Tratamiento	Costos Variables	Beneficios netos	Incremento en costos variables	Incremento en beneficios netos	<i>RICo</i>	TRM
	Lempiras				(%)	
Tala y quema	1,247.4	7,315.63	1,247.4	7,315.63	138	586
Rastrojo (mulch)	2009	23,518.09	761.6	16,202.46	323	2127
Rastrojo y barrera viva	3809.77	27,354.51	2,562.67	20,038.88	160	782

B/Co = rentabilidad (razón beneficio-costos)

TRM = tasa de retorno marginal

5. CONCLUSIONES

1- En cuanto al efecto del uso de obras de conservación sobre las características del suelo:

Las respuestas de las variables en cuanto a punto de muestreo y profundidad en los diferentes campos de los agricultores fue muy parecida: un mayor contenido de materia orgánica y valores más altos de pH se encuentran a profundidades de 0 - 15 cm en los puntos de muestreo I.

Los contenidos de P fueron bajos en todas las parcelas, bajo los diferentes tratamientos, lo que indica la necesidad de emplear obras de conservación y la aplicación de fertilizantes con P para mantener el nivel adecuado de P en el suelo.

Durante el año 1998 hubo bastante precipitación, por lo que la humedad no fue una limitante. Esto contribuyó a no encontrar diferencias en parcelas con y sin obras de conservación.

No hubo! diferencias en emplear obras como los muros de piedra o barreras vivas, debido a que los campos bajo los dos tratamientos emplean el uso de rastrojo, lo que contribuye a mantener la humedad y aumentar las propiedades del suelo tal como el contenido de materia orgánica.

2- En cuanto al efecto sobre el rendimiento de maíz y sorgo:

Sorgo criollo: 1997 fue un año bastante seco, esto afectó el rendimiento de grano en parcelas sin obras de conservación, ya que los muros de piedra contribuyen a mantener la humedad por lo que parcelas con obras de conservación obtuvieron mayores rendimientos.

Sorgo mejorado: parcelas con obras de conservación presentaron mayores rendimientos tanto en biomasa como en grano que parcelas sin obras. El rendimiento de la variedad mejorada superó al de la variedad criolla en ambos tratamientos.

Maíz: el uso de obras de conservación afectó el rendimiento de maíz en grano. Parcelas con obras de conservación presentaron rendimientos más altos que parcelas sin obras de conservación.

3- En cuanto a la rentabilidad de las obras de conservación:

La evaluación económica que ha considerado únicamente las internalidades del proceso erosivo, proporciona una idea corto "placista", ya que aunque resultó ser rentable la práctica de tala y quema; no lo es desde el punto de vista de sostenibilidad; pues es necesario retomarle al sistema parte de lo que se obtiene de él y no caer en una sobre utilización del recurso suelo que resulta en un empobrecimiento de sus elementos nutritivos y lo que es peor aún, en el deterioro de este recurso no renovable.

7. BIBLIOGRAFIA

- AGASSI, M. 1997. Soil erosion, conservation and rehabilitation. 1a. ed. Estados Unidos. P 45-48.
- ARIAS, F. R and RN. GALLAHER. 1987. Maize sorghum farming systems in Central America: Situational analysis. Journal of agronomic Education 16: 5-11.
- BOLAÑOS, I 1992. Desarrollo del follaje, intercepción de radiación y un modelo simplificado de la productividad potencial del maíz. Informe del Programa Regional del Maíz. Junio-Julio 1992. Vol. 3.
- BOYER, IC. 1986. Capitalism, campesinos and calories in southern Honduras. Urban Anthropology 15:3-24.
- CAMPANELLA, P.J. DICKINSON, R DU BOIS, P. DULIN, and D. GLICK. 1982. Honduras country environmental profile: A field study. JRB Associates, Inc, Mc Lean, VA
- CARLS, J.; REICHE, C.; JAUREGUI, M.; 1997. Experiencias Internacionales en protección de suelos. Serie de documentos de discusión sobre agricultura sostenible y recursos naturales. 36 p.
- CIMMYT, 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos un manual metodológico de evaluación económica. Mexico D.F., Mexico, CIMMYT, 79 p.
- DAIL Y, G. C. 1995. Restoring value to the world's degraded lands. In Science. Vol. 269 July 1995. P 350-354.
- DE WALT, B. RAND K. M. DE WALT. 1983. Farming systems research in southern Honduras. Report No. 1, University of Kentucky. Lexington, KY.
- FAO/UNEP. 1994. Land degradation in South Asia its severity, causes and effects upon the people. FAO Roma. World Soil Resources Reports, number 78-95 p.
- FOTH, H.D. 1987. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. 1a. ed. México, D. F. p. 28-47.

- GRANADOS, M. A. 1992. Crecimiento y absorción en dos híbridos de sorgo granífero bajo tres densidades. Proyecto especial del programa de Ing. Agrónomo, Zamorano, Honduras, 48 p.
- HUDSON, N. W. 1995. Research needs for soil conservation in developing countries. In FAO bulletin no. 33. Roma Italia p. 169-184.
- KOHNKE, H and FRANZMEIER, D.P, 1995. Soil Science Simplified.
- OLDEMAN, L. R ; HAKKELING, R.T.; SOMBROEK, W. G. 1990. World status of human induced soil degradation: an explanatory note. The Global Assessment of Soil Degradation Project. (GLASOD). ISRIC/UNEP. 34 P.
- PANIAGUA, P. 1997. Caracterización y análisis comparativo de los niveles de degradación en suelos de la microcuenca La Lima, Tatumbula, Fco. Morazán, Honduras. Proyecto especial del Programa de Ing. Agrónomo, Zamorano, Honduras. 69 p.
- PARR, IA., TRAPA, G.B., SIDERIUS, W. R 1990. Rehabilitation of degraded arid range ecosystems. In Soil Conservation for Survival. Ed. Kebede T. and Hurni H. SWCS p. 356-372.
- PEARCE, D. W.; ATKINSON, G. 1992. Are national economics sustainable? Measuring sustainable development. Londres, Reino Unido, Center for Social and Economics Research on the Global Environment, University College.
- PORTA, I L.; JUAREZ, C.; MASIER, D. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Editorial España, Madrid, España. P 305-400.
- SAMA YOA, A. M. 1999. A watershed-level economic assessment of the downstream effects of steep land erosion on shrimp production, Honduras. M. Sc. Thesis Economic Department, Texas A&M University. 108 p
- SAS Institute Inc. 1996. SAS/STAT User's Guide (versión 6.12). Fourth edition. SAS Inst., Inc., Cary, N. C. 912 p.
- SCHWAB, G. O., FREVERT, R.K., EDMINSTER, T.W. and BARNES, K. K. 1981. Soil and Water Conservation engineering. John Wiley & Sons, New York, 182 p.
- SHENG, T.C. 1989. Runoff plots and erosion phenomena on tropical steep land. In: R.R. Ziemer, C.L. Oughlin, and L.S. Hamilton (eds.). Research needs and application to reduce erosion and sedimentation in tropical steep land. IAHS publication No. 192. International Association of Hydrological Science, pp. 154-161.

- SIERRA, H. E. 1997. Effectiveness of rock wall terraces on soil conservation and crop performance in a southern Honduras steep land farming system. M. Sc. Thesis Rangeland Ecology and Management Department, Texas A&M University. 80 p
- SMITH, I. E. 1997. Assessment of soil and water conservation methods applied to the cultivated steep lands of southern Honduras. M. Sc. Thesis Rangeland Ecology and Management Department, Texas A&M University, 160 p
- STONICH, S. C. 1989. The dynamics of social process and environmental destruction: A central American case study. *Population and Development Review* 15: 269-296.
- THOMPSON, M. 1992. The effect of stone retention walls on soil productivity and crop performance on selected hillside farms in southern Honduras. M. Sc. Thesis. Texas A&M University.
- THURLOW, T. AND JONAS, A.S.R. 1995. Land-forming Atlantic coastal plain soils: Crop yield relationship to soil physical and chemical properties. *Journal of Soil and Water Conservation* 34:20-24.
- TISDELL, C.A. 1991. Economics of environmental conservation. Economics for environmental and ecological management. Amsterdam, Holland.
- TONNES, K. 1996. Soil science and sustainable land management in the tropics. CAB International, Wallingford, United Kingdom, 290p.
- USAID; PROYECTO MEJORAMIENTO DEL USO Y PRODUCTIVIDAD DE LA TIERRA (L.U.P.E.) 1994. Manual práctico de manejo de suelos en laderas. Honduras. P 1-20.
- WISCHMEIER, W.H. and SMITH M. 1978. Use and misuse of the universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 31(1): 5-9.
- YOUNG, A., 1989. Agroforestry for Soil Conservation, CAB International ICRAF.