# MANEJO SUSTENIBLE DE TIERRAS DE LADERAS TROPICALES: UN ANALISIS DE TERRAZAS CON UNA TECNOLOGIA PARA LA CONSERVACION DE SUELO Y AGUA

[illegible] DESARROLLO INTERNACIONAL
PROGRAMA [illegible] COLABORATIVO DE MANEJO DE SUELO
DE LA UNIVERSIDAD DE TEXAS A&M

BOLETIN TECNICO NO. 98-1


Soil Management C•R•S•P

Cubierta Frente: Terrazas hecho de muros de piedra en parcelas agrícolas de laderas, Los Espabeles, el sur de Honduras.

# MANEJO SUSTENIBLE DE TIERRAS DE LADERAS TROPICALES: UN ANALISIS DE TERRAZAS CON UNA TECNOLOGIA PARA LA CONSERVACION DE SUELO Y AGUA

Anna S. Toness[1], Thomas L. Thurow[1] y Hector E. Sierra[2]

[1]Departmento de la Ecología y Manejo de Terrenos de Pastos
Texas A&M University
College Station, Texas 77843-2126 USA
(Solicite copias de T. Thurow)

[2]Departmento de Agronomía
Proyecto de Manejo del Suelo & INTSORMIL CRSP
Escuela Agrícola Panamericana
Apartado Postal 93
Tegucigalpa, D.C., Honduras

Esta publicación tiene por fin resumir la difusa literatura disponible que se trata del uso de terrazas en sistemas agrícolas en tierras de ladera y presentar información sobre las investigaciones conducido en el sur de Honduras sobre este asunto. Este trabajo fue hecho posible, en parte, a través del apoyo de la Oficina Global de la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos, bajo los términos de Convenio No. LAG-G-00-97-00002-00. Las opiniones expresadas dentro de este informe son de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos. A través de los años, la investigación de conservación de suelo y agua en el sur de Honduras se ha beneficiado de la experiencia y amistad extendida por numerosos colegas con intereses compartidos. El proyecto Mejoramiento del Uso y Productividad de la Tierra (LUPE) nos ha brindado mucho apoyo. En particular agradecemos a Olman Rivera, Miguel Sanchez, Mario Pinto, Jose Santos y Wilfredo Arrazola de LUPE, empleados anteriores de LUPE Javier Mayorga y Jorge Quinonez y el ex-consultor de LUPE David Leonard. Otro colega y amigo que ha proveido mucho apoyo técnico, administrativo y logístico por todo el estudio es Sr. Peter Hearne de USAID en Tegucigalpa, Honduras. En especial, queremos agradecer los agricultores de Los Espabeles, Cupertino Galindo, Miguel Gomez, Martin Guido y Simeon por su ayuda y amistad por todo nuestro trabajo en la región. Dr. Francisco Gomez, Chito Moran y Juan Rosas del programa INTSORMIL-CRSP a la Escuela Agrícola Panamericana proveyeron ayuda con la logística del recogimiento de los datos. Agradecemos a Dr. Tony Juo del Departamento de Cienca de Suelo y Cultivos, TAMU por su apoyo y consejo durante todo el proyecto.

AGENCIA PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL -
PROGRAMA DE INVESTIGACION COLABORATIVO DE MANEJO DE SUELO
DE LA UNIVERSIDAD DE TEXAS A&M

BOLETIN TECNICO NO. 98-1

Abril 1998

C

# CONTENIDO

Página

INTRODUCCION....1
Retos Asociados con la Agricultura en Laderas....1
Procesos que Resultan en Degradación de Suelos en Laderas....4
Deterio de la Estructura de la Tierra....4
Reducción en la Condición Hidrológica....5
Escorrentia y Erosión Acelerada....5
Deficiencia de Nutrientes....6

EL USO DE TERRAZAS COMO OBRAS FISICAS DE CONSERVACION....7
Historia de las Terrazas....7
Sistema de Diseño de Terrazas....11
Terrazas de Banco....11
Terrazas Convertibles e Intermitentes....21
Terrazas Formadas Naturalmente....21
Terrazas de Huerto e Individuales....32
Resumen de Diseños de Terrazas....32

EFECTIVIDAD DE TERRAZAS HECHO DE MUROS DE PIEDRA EN UN SISTEMA AGRICOLA EN LAS TIERRAS DE LADERA EN EL SUR DE HONDURAS....36
Fondo de Programas de Terrazas hecho de muros de piedra en el sur de Honduras....36
Efectos de Terrazas de 10-años de Edad de Piedra....38
Area de Estudio....39
Escorrentía y Erosión....41
Características del Suelo....43
Producción de Cosechas....47

REFERENCIAS CITADAS....48

# Manejo Sostenible de Laderas en Areas Tropicales: Una Evaluación de Terrazas como Tecnología para la Conservación de Suelos y Agua

## INTRODUCCION

Usualmente, tierras de laderas se caracterizan por tener pendientes escarpadas con un grado de inclinación mayor de 20% (Lal 1988). En regiones tropicales, el área con pendientes mayor de 30% ocupa un poco más de 1 billón de hectáreas, aproximadamente 16% del área total (Purnell 1986) (Tabla 1). En Latinoamérica y el Caribe, aproximadamente 400 millones de hectáreas han sido categorizadas como tierras de laderas (Purnell 1986, Arsyad 1992). Muchas laderas tropicales sólo son marginalmente adecuadas para la agricultura dado que frecuentemente se caracterizan por un nivel bajo en nutrientes disponibles, bajo contenido de materia orgánica y por suelos con una capa fértil poco profunda. Estas características combinadas con lluvias monzónicas de alta intensidad hacen que las laderas sean muy susceptibles a la erosión. El uso de laderas para la producción agrícola no sólo tiene consecuencias a nivel local, sino también a nivel regional y global puesto que el uso de prácticas no sostenibles también presenta una serie de problemas para zonas de la cuenca situadas aguas abajo (Thurow and Juo 1995). La construcción de terrazas en laderas es una práctica comunmente utilizada para la conservación de suelos y agua (Sheng 1986). En esta publicación se discuten los siguientes cinco temas relacionados con el manejo de laderas:

1) Los factores que tienen influencia en los patrones actuales del uso de laderas.
2) Las ventajas y desventajas asociadas con diferentes prácticas de terraceo dependiendo de las características topográficas (pendiente), de las características del suelo, de los patrones de precipitación, de las influencias socio-económicas (dinámica de trabajo) y de las prácticas agrícolas tradicionales.
3) Las ventajas y desventajas de usar terrazas como una práctica de conservación de suelos para pequeños agricultures en laderas en regiones tropicales en relación a otras prácticas de conservación u otras prácticas tradicionales.
4) Vacíos en la red de información que deben ser consideradas para evaluar la eficiencia de las diferentes prácticas de terraceo.
5) Impactos a largo plazo de un mejoramiento en el manejo de laderas en la cuenca.

## Retos Asociados con la Agricultura en Laderas

La erosión de suelos es el limitante ecológico más significativo para la producción agrícola sostenible en laderas. Reportes señalan pérdidas de suelo entre 100-200 toneladas/ha/año en muchas áreas de laderas (Pimentel et al. 1995). Por medio de modelos tales como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) se han estimado pérdidas de 500 toneladas/ha/año, pero estos modelos fueron desarrollados con datos obtenidos en zonas templadas haciendo que los resultados de una aplicación directa en zonas tropicales sean dudosos (Cook 1988). Una tasa de erosión de 100 toneladas/ha/año es aproximadamente equivalente a la pérdida de dos cm de suelo.

La tasa de erosión en laderas es afectada por los patrones de precipitación, las propiedades inherentes al suelo, la topografía, el uso que se le da a la tierra y las prácticas de manejo. Las lluvias monzónicas de alta intensidad en combinación con la energía del escurrimiento que puede ser generada en pendientes escarpadas contribuyen a crear condiciones de alta erosividad.

Aproximadamente 51% de los sitios tropicales están compuestos por suelos altamente lavados y gastados por el tiempo tales como Oxisols, Utisols y Alfisols (Sanchez 1976, Lal 1990). Un tercio de las laderas contienen niveles tóxicos de aluminio (Cook 1988). Casi 17% de los sitios están compuestos de arenas secas y suelos poco profundos que contienen grupos psamments y

**Tabla 1. Area de laderas en regiones tropicales en el mundo (Purnell 1986).**

| Pendiente | Area (%) | | | | | Area Total | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Africa | Asia Suroeste | Sur América | Centro-américa | Asia Sureste | | |
| (%) | | | | | | $10^6$ ha | (%) |
| 0-8 | 58 | 45 | 52 | 35 | 40 | 3,340 | 51 |
| 8-30 | 34 | 31 | 30 | 40 | 31 | 2,107 | 33 |
| >30 | 8 | 24 | 18 | 25 | 29 | 1,048 | 16 |

grupos líticos (Sanchez 1976). Algunos suelos encontrados en laderas, especialmente aquellos de origen volcánico, tienen altas tasas de infiltración, lo cual reduce el potencial para escorrentía y erosión y los hace más compatibles con un uso agrícola en relación a otros tipos de suelos (Lal 1990). Sin embargo, estos suelos pueden tener capas de subsuelo restringiendo la infiltración del agua que resulta en un escurrimiento subsuperficial rápido y en un riesgo más alto de deslizamientos de tierra cuando la superficie se vuelve saturada. El peligro de un deslizamiento aumenta cuando se cortan los árboles y las raíces se pudren, ya que éstas ayudan a estabilizar las pendientes.

Las causas principales de la deterioración de laderas son sobrepastoreo y deforestación, los cuales muchas veces están relacionados con la expansión de la siembra de cosechas anuales. La erosión en laderas presenta serios problemas ecológicos y socioeconómicos para toda la cuenca ya que lo que ocurre en terrenos elevados puede resultar en grandes cambios en el flujo de agua (presenta un riesgo más alto de inundación durante la época lluviosa y reduce el caudal base durante la época seca). La manera más segura de mantener una condición estable en una cuenca es teniendo bosques, los cuales originalmente proporcionaban cobertura a los suelos logrando disipar la energía de las gotas de la lluvia, minimizar el desprendimiento de la tierra y moderar la tasa del flujo de agua durante todo el año (Thurow and Juo 1995). ¿Dados los problemas relacionados con el cultivo en laderas, porqué se siguen cortando bosques, estableciendo personas en estas áreas y expandiendo la agricultura a tierras marginales en laderas? ¿En particular, porqué es tan importante estudiar los sistemas de agricultura en laderas cuando está claro que estas tierras se deberían manejar como bosques?

Desde 1700, el área cultivada en el mundo ha incrementado 5.7 veces y desde 1850 aproximadamente se ha triplicado (Pimentel et al. 1995). Las tierras fértiles que son aptas para la agricultura se poblaron desde hace mucho tiempo. A medida que la población crece, los segmentos más pobres de la comunidad agrícola van utilizando zonas marginales, tales como las tierras escarpadas y menos fértiles. Para el año 2050 se espera que la población mundial llegue a ser el doble, con la mayoría de ese incremento (86 millones de 90 millones/año) en regiones del trópico las cuales son ecológimente sensitivas y donde la tierra arable ya no es abundante (Lal and Stewart 1995). En muchas de estas regiones ecológicamente sensitivas, el crecimiento de la población ya excede su tasa de incremento de producción agrícola. Los incrementos proyectados para la población indican que la cantidad de alimentos requeridos en los países en desarrollo va a ser el doble y que esto obligará una mayor expansión a zonas inadecuadas o marginalmente adecuadadas para la agricultura (Lal and Stewart 1995).

Expansión agrícola ha resultado en la fragmentación de pequeñas parcelas y en un incremento en la población rural sin tierras (Cook 1988). Para el año 2000, se ha predecido que las presiones poblacionales causarán una fragmentación de tierras tan severa que el área arable per capita será de 0.15 ha en el Medio Oriente, de 0.35 ha en Asia y de 0.45 en Latinoamérica (Lal and Stewart 1995). Actualmente, las parcelas agrícolas ya son considerablemente pequeñas. Por ejemplo, el tamaño promedio de una parcela agrícola en El Salvador es de sólo 1 ha de tierra por familia (Annis et al. 1992) y

50.5% de la población rural no tiene tierra o es dueña de menos de 0.7 ha por familia (SIECA 1989 in Utting 1993). Presiones poblacionales y la fragmentación de tierras están llevando a cambios en los patrones de cultivo y deforestación.

El patrón tradicional del uso de laderas tropicales está basado principalmente en un sistema de rotación que requiere grandes trechos de tierra para acomodar un período de descanso largo. Antes de sembrar el cultivo anual, la vegetación nativa se corta y quema. Después de la cosecha, frecuentemente esos campos se utilizan de una manera intensiva para pastar ganado durante la época seca (Thurow and Juo 1995, Nye and Greenland 1960, Sanchez 1976). Cuando el campo está bajo cultivo, las pendientes escarpadas son susceptibles a altas tasas de erosión que resultan en una disminución progresiva en el rendimiento de la cosecha (Pimentel et al. 1995). Por ejemplo, después de que los bosques en la Costa de Marfil fueron cortados y remplazados con yuca o nueces la erosión incrementó de 0.05 toneladas/ha/año a 750 toneladas/ha/año (Roose 1988). La agricultura migratoria puede ser una práctica relativamente sostenible (Cook 1988), pero incrementos en la población han intensificado la presión hacia tierras agrícolas existentes y han resultado en una reducción o eliminación del período apartado para recuperación de la tierra (Pimentel et al. 1995, Pla Sentis 1992), lo cual presenta una amenaza a la sostenibilidad de los sistemas de cultivo tradicionales.

Los productores de subsistencia enfrentan un dilema entre la necesidad de producir alimentos y cortar madera para satisfacer sus necesidades diarias y el manejo sostenible de los recursos para mantener la productividad de sus tierras a largo plazo. Casi todos los pequeños agricultores en el mundo dependen de leña para energía, combinando la degradación de la tierra dedicada a la agricultura con deforestación (FAO 1983, Goodman 1987). Cuando la tierra se limpia para la siembra, la madera que se saca se utiliza para construcción y los árboles o arbustos sobrantes se cortan para usarse como leña (Cook 1988).

Cuando el material leñoso ya no es suficiente para satisfacer las necesidades de energía de la localidad, los rastrojos y el estiércol se qeman como substitutos de la leña causando más degradación a los suelos ya que éstos se privan de material orgánico y de la protección que les proveé la cobertura. Por ejemplo, cada año, aproximadamente 60% de los rastrojos en China y 90% en Bangladesh son removidos y quemados como combustible (Wen Daznog 1993 in Pimentel 1993). En El Salvador, más de 70% de la población depende de leña, lo que comprende 95% del consumo de productos de madera (Heckadon 1989 in Utting 1993). Estudios realizados por CATIE indican que casi tres cuartos de los hogares centroamericanos (72%) utilizan leña, con una tasa de consumo diario per cápita de aproximadamente 2.5 kg (Martínez 1986 y Heckadon 1990 en Utting 1993). Esta cifra es común en muchas regiones del mundo (Utting 1993, Durning 1993).

Frecuentemente, productos forestales producidos en laderas no tienen suficiente valor para compensar el esfuerzo necesario para controlar la producción de madera y el establecimiento de colonos intrusos. De hecho, los gobiernos frecuentemente proporcionan títulos para tierras en laderas ya que lo utilizan como un mecanismo para apaciguar las necesidades de tierra de los pobres rurales sin tener que llevar a cabo una reforma agraria y enemistarse con dueños de tierra adinerados que cuentan con poder político. Muchos países en desarrollo cuentan con políticas y leyes que directamente o indirectamente fomentan la deforestación y el establecimiento en laderas.

Tenencia de la tierra exacerba las presiones poblacionales. La situación más común para pequeñas parcelas agrícolas en áreas tropicales es la ocupación de éstas durante cortos períodos de tiempo sin que los ocupantes tengan derecho legal para establecerse en las mismas (Pla Sentis 1992). Con frecuencia, la tenencia inestable de la tierra es la raíz de la inhabilidad/inseguridad de los agricultores de subsistencia de arriesgarse a invertir en un beneficio que será visto a largo plazo (Thurow and Juo 1995). A menudo, los agricultores de subsistencia en el nivel económico y social más bajo, es decir, los que tienen menor tolerancia al riesgo, son los que limpian y utilizan las laderas para la agricultura. La combinación de una reducción en la disponibilidad de la tierra y una tenencia insegura resulta en el uso de prácticas agrícolas no sostenibles por agricultores tratando de satisfacer las necesidades inmediatas de sus familias.

La falta de tierra disponible junto con crecientes demandas para proveer las necesidades de la vida están causando un cambio en el papel que juegan las mujeres en las parcelas agrícolas. Cada vez más, las mujeres están encabezando las actividades relacionadas con la producción de alimentos ya que los hombres frecuentemente participan en patrones de trabajo temporal y migratorio para ganar dinero necesario para proveer algunas de las necesidades de la familia tales como medicinas y educación. La escasa

satisfacción de estas necesidades resulta en un decline en la salud de la familia (se observa particularmente en altas tasas de mortalidad infantil), un nivel nutricional más bajo y un aumento en pobreza. Esta tendencia es parcialmente responsable por el crecimiento rápido de ciudades y barriadas pobres urbanas, a medida que agricultores dejan tierras infértiles y emigran a ciudades en búsqueda de trabajo.

La erosión no solo daña el área agrícola inmediata donde ocurre, sino que también tiene un impacto negativo en las áreas de alrededor dentro de la cuenca. El suelo erosionado se mueve a los ríos y embalses y causa sedimentación acelerada que reduce la vida de plantas hidroeléctricas y aumenta los costos de dragar. A medida que la sedimentación de ríos y la escorrentía aumentan, inundaciones se vuelven un mayor problema que puede resultar en grandes pérdidas económicas. Otros efectos fuera del área inmediata incluyen eutrificación de cursos de agua, azolve de puertos y canales, pérdida en la capacidad de almacenamiento de reservorios, pérdida de habitat para la fauna silvestre, alteración de la ecología de los ríos, inundaciones, daños a la salud pública e incrementos en el costo del tratamiento de agua (Pimentel et al. 1995, Gray and Leiser 1989, Thurow and Juo 1995, Pla Sentis 1992). Residentes situados aguas abajo por consiguiente son afectados directamente por las decisiones hechas por los agricultores y ganaderos en terrenos aguas arriba.

Para dirigir adecuadamente la conservación de suelos, es muy importante entender los enlaces dentro de una cuenca, cómo la agricultura conservacionista en los sistemas de terrenos elevados afecta el sistema entero, las ventajas y desventajas y el proceso que utilizan los agricultores en terrenos elevados y los residentes aguas abajo para hacer decisiones. La mayoría de los estudios sobre la erosión y conservación de suelos han sido llevados a cabo en terreno plano o ondulado con una pendiente máxima de menos de 20% (Lal 1988). No se han llevado a cabo investigaciones en laderas, en parte, porque estas tierras son marginales para la producción agrícola y no han sido escogidas para los estudios. Desafortunadamente, la falta de estudios en laderas no quiere decir que estas áreas no están siendo ocupadas o cultivadas (Lal 1988, Purnell 1986).

Dada la probabilidad de expansión de actividades agrícolas en laderas tropicales, estudios que se enfocan en laderas como una parte integral dentro de la cuenca y que ponen a las laderas dentro del contexto del paisaje en el cual existen son una necesidad urgente (FAO 1990, Aldhous 1993, Lal and Stewart 1995, Thurow and Juo 1995). De hecho, se ha demonstrado que la desestabilización de laderas tiene un efecto de cascada haciendo que su manejo sea un factor clave para mantener la integridad de la cuenca y del ecosistema. El uso de cuencas como unidad de planificación puede interiorizar los costos de las actividades para la conservación de suelos y agua en terrenos aguas arriba con los beneficios de tales programas a usuarios aguas abajo (Thurow and Juo 1995). Es útil resumir los estudios que se han llevado acabo en laderas ya que esto señala las brechas en investigaciones pasadas y hace resaltar las implicaciones para poder lograr que las terrazas sean efectivas en la conservación de suelos en laderas. Publicaciones futuras en esta serie harán resaltar otras prácticas de conservación viables.

## Procesos que Resultan en Degradación de Suelos en Laderas

Deforestación, cultivo y sobrepastoreo en pendientes escarpadas usualmente han conducido a erosión y a degradación acelerada en laderas tropicales y en el sistema de cuencas asociado. Los problemas interrelacionados que resultan de estas prácticas son:

- **deterioro de la estructura del suelo**
- **reducción en la condición hidrológica**
- **escorrentía y erosión acelerada**
- **reducción en fertilidad**

### *Deterioro de la Estructura de la Tierra*

El deterioro de la estructura del suelo ocurre más rápido donde hay una falta de cobertura superficial. La cobertura ayuda a mantenar la estructura de los agregados ya que intercepta y disipa la energía cinética de las gotas de lluvia. Las gotas de lluvia tienen una alta energía erosiva que muchas veces representa un mayor peligro que un flujo superficial. Las gotas de lluvia que golpean al suelo expuesto actuan como pequeñitas bombas, desprendiendo los agregados del suelo y lanzando partículas al aire, dispersándolas hasta 1 metro o más (Pimentel et al. 1995, Satterlund and Adams 1992). En pendientes, la erosión por salpicamiento desplaza la tierra cuesta abajo resultando en una pérdida neta de suelo. Por lo tanto, una erosión de suelos significativa puede estar ocurriendo aunque riachuelos y zanjas no estén presentes. La práctica tradicional de quemar rastrojos expone el suelo y reduce la materia orgánica, la cual es

un componente importante en la formación de agregados resistentes a la acción de la lluvia. Los agregados dándole la estructura al suelo deben mantener su integridad estructural cuando mojados para que haya infiltración atravez de sus poros. Los suelos aflojados por labranza y escardadura se desprenden más facilmente. Las cosechas anuales no desarrollan sistemas de raices extensivos que son necesarios para estabilizar las pendientes y reducir el riesgo de desprendimiento. El deterioro de la estructura física del suelo disminuye el potencial del suelo para un cultivo sostenible.

### *Reducción en la Condición Hidrológica*

Los factores más importantes afectando la tasa de infiltración del suelo que pueden ser influenciados por medio del manejo del suelo son cobertura vegetal y la estructura del suelo. La cobertura intercepta las gotas de lluvia y disipa su energía cinética antes de que golpeen el suelo, así protegiendo la integridad de los poros de la estructura de la superficie y reduciendo la probabilidad de que los poros se tapen con partículas de tierra desagregadas que puede resultar en un encostramiento superficial que puede reducir la tasa de infiltración por hasta un 90% (Boyle et al. 1989). Los suelos moderadamente erosionados absorben de 10 a 300 mm de agua al año menos que los suelos no erosionados, ó entre 7 a 44% de la lluvia total (Lal 1976).

A medida que la capa superficial del suelo se va perdiendo, la capacidad del suelo de retener agua también se va perdiendo. Una reducción en la capacidad de retención de agua puede resultar en que en caso de una temporada seca, el agua disponible para el cultivo se acabe antes. Esto puede conducir a que los agricultores crean que las sequías se están volviendo más frecuentes y severas, cuando en realidad la disminución en la capacidad para retener humedad en el suelo ha reducido el tiempo en el cual el cultivo manifiesta las señales de susceptibilidad a una sequía. La materia orgánica en los suelos proveniente de cobertura vegetal podrida es también muy importante porque liga, aliviana y expande la tierra y realza la formación de agregados resistentes a la acción de la lluvia. Además, la materia orgánica en proceso de podrirse provee canales para el movimiento de agua dentro del suelo, incrementando la porosidad de la tierra. Por estas razones, la eliminación de la quema ó del pastoreo de los rastrojos puede ayudar a mantener la estructura de la tierra y la condición hidrológica.

### *Escorrentía y Erosión Acelerada*

El deterioro de la estructura del suelo combinado con tasas de infiltración más bajas resulta en escorrentía y erosión acelerada a medida que mayores cantidades de agua fluyen sobre el suelo en vez de percolarse por éste. El peligro de inundación se hace mayor a medida que aumenta en los canales el caudal máximo que está relacionado con los eventos de escorrentía de tormentas individuales. Por otro lado, dado que menos agua penetra el suelo, hay menos escurrimiento subsuperficial y por lo tanto hay una reducción en el flujo base en los canales durante la época seca. La sedimentación de canales aguas abajo ocurre a medida que partículas de suelo erosionado son separadas y arrastradas por la fuerza del agua fluyendo sobre el suelo, un proceso que se agudiza en pendientes escarpadas. Además, la escorrentía arrastra nutrientes que se encuentran ligados a los agregados de tierra en la capa fértil de la superficie del suelo, reduciendo aún más las reservas de nutrientes en el suelo.

La erosión natural o geológica resulta de las condiciones climáticas y topográficas y es independiente de las actividades humanas. Erosión acelerada se define como un incremento en la erosión del suelo asociada con actividades humanas que causan cambios en la cobertura vegetal y/ó las propiedades físicas del suelo. La tasa de erosión tiene que ser igual o menor a la tasa de formación de suelo y si esto se sostiene, la productividad a largo plazo será mantenida.

Los suelos se forman despacio. Toma entre 200 a 1000 años o más para que se formen 2.5 cm de la capa superficial del suelo (Pimentel el al. 1995). La erosión representa un peligro a la sostenibilidad del sistema a largo plazo cuando el suelo se pierde más rápido de lo que se forma. La erosión es una función de la erosividad del factor desprendimiento (energía del agua y del viento actuando sobre el suelo) y la erodibilidad del suelo (características físicas, topografía, tipo de uso dado a la tierra y tipo de vegetación) (Smith and Wischmeir 1957). La erosión se intensifica en terrenos con pendiente, donde más de la mitad del suelo contenida en las salpicaduras es arrastrada cuesta abajo (Pimentel et al. 1995). Los cuatro procesos más importantes son (1) erosión entre surcos o laminar, (2) erosión en surcos, (3) erosión en cárcava (4) erosión de la ribera del torrente (Mutchler et al. 1994).

1) Erosión laminar resulta del desprendimiento del suelo causado por el impacto de las gotas de lluvia contra la superficie del suelo combinado con el flujo de una capa delgada de agua. Este flujo de agua es muy turbulento y tiene una alta capacidad erosiva. Erosión laminar extrema es evidente cuando, por ejemplo, se forman pedestales de suelo alrededor de un área cubierta por un material resistente tal como una piedra. El hecho que el suelo en los alrededores esté erosionado pero no el suelo bajo la tapa resistente ilustra que el goteo de la lluvia es el mecanismo principal de transporte, más que el
2) flujo sobre la superficie. Por lo tanto, aunque un movimiento de agua no se observe, el agua todavía puede estar causando erosión.
3) Erosión en surcos empieza con el movimiento dispersador de agua y luego con la concentración de agua en caminos discretos de flujo.
4) La erosión por cárcavas se identifica por la formación de un surco mayor de 30 cm. aproximadamente.
5) Erosión de la ribera del torrente resulta cuando agua fluyendo en arroyos ó ríos corta la ribera.

### *Deficiencia de Nutrientes*

La deficiencia de nutrientes y una mayor susceptibilidad a una sequía son comunes y frecuentemente son factores interdependientes que limitan la producción agronómica en laderas. La pérdida de suelo reduce la capacidad de retención de agua y de nutrientes. La vulnerabilidad inherente de muchos suelos de laderas tropicales debida a una composición química de baja calidad hace peor el problema. Cuando la erosión se acaba las reservas de nutrientes, el crecimiento de las plantas se atrofia y el rendimiento de la cosecha disminuye (Pimentel et al. 1995). Como 95% del nitrógeno y 25-50% del fósforo se encuentran en la materia orgánica del suelo (Pimentel et al. 1995) la cual no abunda en campos que son cultivados continuamente, especialmente si cada año se queman y/ó sobrecargan con pastoreo después de cosechar los granos. El rendimiento de la cosecha en suelos severamente erosionados es menor que el de suelos protegidos porque la erosión reduce la fertilidad del suelo y la cantidad de agua disponible. Por ejemplo, los rendimientos de maíz en pendientes severamente erosionadas en Kentucky han disminuido por un 12-21% y hasta un 24% en Illinois. Se documentó un caso en las Filipinas donde la erosión fue la causa de una disminución de 80% en la productividad de maíz en 15 años (Pimentel et al. 1995).

# EL USO DE TERRAZAS COMO OBRAS FISICAS DE CONSERVACION

Las prácticas de conservación de suelo se pueden dividir en dos categorías generales: 1) Agronómicas o de manejo vegetativo y del cultivo tales como rotación de cultivo, cultivo en fajas, cultivo de cobertura, cultivo múltiple, uso de abono verde, uso de mulch, prácticas agroforestales, pastoreo controlado y manejo forestal; y 2) métodos asociados con obras físicas ó mecánicas, generalmente utilizadas para controlar el movimiento de agua sobre la superficie del suelo tales como cultivo en contorno, bordos en contorno, canaletas (zanjas de desvío, acequias de ladera y canaletas de zacate), estructuras estabilizadoras (represas, diques), rompe vientos y terrazas (de desviación, de retención y de banco) (Morgan 1986, Bennet 1970).

Las terrazas son terraplenes angostos construidos en curvas a nivel y son utilizadas para reducir la longitud y lo escarpado de la pendiente y para interceptar la escorrentía y guiarla a un desagüe estable a una velocidad no erosiva (Morgan 1986). La siembra de gramíneas, arbustos ó árboles a lo largo de la orilla de las terrazas estabiliza la estructura de las terrazas y puede proporcionar otros beneficios, tales como leña, fijación de nitrógeno y forraje. Una práctica común de conservación es la combinación de obras físicas con vegetación multiusos sembrada con el propósito de estabilizar las orillas de las terrazas (Thurow and Juo 1995).

Las tecnologías de conservación preservan la capacidad de retención de agua y la fertilidad del suelo y hacen posible una producción sostenible de la cosecha. En muchos casos, el uso de tecnologías de conservación de suelo puede aumentar los rendimientos de la cosecha por un 50% (Pimentel et al. 1995, Sieber and Belsky 1990). Muchos estudios han comparado la pérdida de suelo y las tasas de escorrentía observadas usando estructuras para la conservación de suelo tal como terraplenado y usando métodos de agricultura tradicional y/ó parcelas descubiertas para asesorar la efectividad de estas prácticas (Tabla 2). Auque la mayoría de los estudios no incluyen comparaciones costo/beneficio de terrazas con otros métodos de conservación o no conservación, éstos concluyen que las terrazas pueden ser un método práctico para reducir la erosión y la escorrentía.

## Historia de las Terrazas

Las terrazas tienen una historia larga de uso por culturas agrícolas alrededor del mundo, la más temprana remontándose a China, alrededor del año 2000 AC (Troeh and Thompson 1993). Estas civilizaciones antiguas que utilizaban métodos de terraplenado generalmente se caracterizaban por tener la necesidad de cultivar tierras en declive y por tener un fondo común de recursos humanos abundante para la mano de obra. En el siglo doce DC en el Valle Yangtse, los mongoles obligaron a los chinos en algunas áreas a retirarse a las montañas, donde ellos empezaron a sembrar usando terrazas para detener el suelo en las pendientes escarpadas. Los agricultores en las Filipinas, Java, Sri Lanka e India han estado construyendo terrazas por más de 2000 años (Bennett 1970). En Yemen, terrazas de 1.5 a 5 m de alto han sido cultivadas continuamente por 3000 años (Vogel 1987). Estas técnicas fueron llevadas por los árabes a España en el siglo décimo cuando España fue conquistada. Antes del año 360 DC se utilizaban en Antioch, Siria, terraplenado y sistemas de riego de gran escala que mantenían una población de 400,000 en ese tiempo (Bennet 1970). El conocimiento de terraplenado y riego fue introducido en Grecia por el año 600 DC (Bennett 1970). Un método tradicional utilizado todavía en Africa es el terraplenado fanya ju, que significa "tirar para arriba" en Swahili. Este es un método en el cual se abre una zanja a lo largo de las curvas a nivel y el suelo excavado se tira arriba de la zanja, creando un montículo que funciona como una barrera para el flujo de agua sobre el suelo (Thomas 1988).

En Perú, los Incas y sus predecedores desarrollaron métodos altamente eficientes para la conservación de suelos en laderas, remontándose al período entre 1400 y 1532 DC. La cultura pre-inca Chavin, remontándose a 900-200 AC, ya usaba terraplenado en las pendientes de montañas, contrucción de campos elevados para cultivo intensivo y sistemas sofisticados de irrigación y terrazas complejas de gran escala las cuales eran detenidas por muros de piedras construidos a lo largo de las curvas a nivel que variaban desde 2.5 a 17 m de altura y desde 1-3 m de grosor. El área detrás de los muros era llenada a mano con tierra, llenando los niveles más bajos con grava y piedra y la porción de arriba con desde 2 a 3 pies de tierra fértil. Las terrazas eran irrigadas por acueductos de piedra que estaban conectados a fuentes de agua frecuentemente situadas

**Tabla 2. Comparación de estudios que han utilizando terrazas como tecnología para la conservacion de suelos y agua en regiones tropicales con laderas. Los espacios en blanco en la tabla indican que esos datos no fueron reportados.**

| País | Tipo de Conservación | Cultivo | Incli-nación (%) | Lluvia (mm) | Tipo de Suelo | Tamaño Parcela (m) | Pérdida de Suelo (tonl/ha/año) | Escorrentía (mm/ha/ año) | Duración de Estudio (años) | Fuente |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Burundi | Al descubierto | Al descu-bierto | 40 | | permeable | | 440-880 | | 1.5 | Durand 1984 |
| | Tradicional | Yuca | 49 | | | | 70-90 | | | Roose 1988 |
| | Barreras de zacate | Yuca | 49 | | | | 29-50 | | | |
| | Tradicional | Maíz y frijoles | 49 | | | | 150 | | | |
| | Terrazas de banco | Maíz y frijoles | 49 | | | | 5-11 | | | |
| República Domi-nicana | Al descubierto | Al descubierto | 30 | 1530 | Typic-Tropor-thent | 10 parcelas 15 x 3 m | 1254 | 579 | 1 | Veloz and Logan 1988 |
| | Tradicional | Granos mixtos | 30 | | | | 187 | 166 | | |
| | Cero labranza | Granos mixtos | 30 | | | | 2 | 11 | | |
| | Muro de piedra tipica labranza | Granos mixtos | 30 | | | | 163 | 142 | | |
| | Faja zacate/zanja en ladera | Granos mixtos | 30 | | | | 81 | 111 | | |
| El Salva-dor | Tradicional | Maíz y frijoles | 30 | 1900 | "loamy" | | 110 | | 2 | Sheng 1979 |
| | Tradicional | | 30 | | "clay loam" | | 127 | | | Sheng 1989 |
| | Terrazas de banco | Maíz y frijoles | 30 | | | | 33 | | | |
| | Barreras de zacate | Maíz y frijoles | 30 | | | | 71.5 | | | |
| Etiopía | Tradicional | Granos | 28 | 1566 | Nitosol, Regosol, y Luvisols | 9 parcelas variando 30 x 6 m 15 x 2 m 3 x 1 m | 123 | | 2 | Kejela 1992 |
| | Bordo graduado | Granos | 28 | | | | 64 | | | |
| | Fanya juu | Granos | 28 | | | | 56 | | | |
| | Fanya juu 1985 | Granos | 12 | | | | 73 | | | |
| | Fanya juu 1986 | Granos | 12 | | | | 39 | | | |
| | Tierras infértiles con gramíneas | Granos | 16 | | | | 269 | | | |
| | Tierras infértiles con cárcavas | Grranos | 16 | | | | 322 | | | |
| | Tradicional | Lentejas | | | | | 42.5 | 171 | 1 | Keddeman 1992 |
| | Fajas de zacate | Lentejas | | | | | 3.5 | 52.6 | | |
| | Fanya juu graduada | Lentejas | | | | | 14.7 | 110.3 | | |
| | Fanya juu nivelada | lentejas | | | | | 2.5 | 70.2 | | |

**Tabla 2. Comparación de estudios que han utilizado terrazas como tecnología de conservación de suelos y agua en regiones tropicales con laderas, continuación.**

| País | Tipo de Conservación | Cultivo | Incli-nación (%) | Lluvia (mm) | Tipo de Suelo | Tamaño Parcela (m) | Pérdida de Suelo (ton/ha/año) | Esco-rrentía (mm/ha/ año) | Duración de Estudio (años) | Fuente |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sierra Leone | Tradicional | Arroz | 31 | | | | 40.7-54.5 | | 1 | Millington 1982 |
| | Terrazas de banco | Arroz | 31 | | | | 7.53 | | | |
| | Bordos de piedra | Arroz | 31 | | | | 30 | | | |
| | Bordos en contorno | Arroz | 31 | | | | 18 | | | |
| | Tradicional | Yuca | 31 | | | | 11.2-55.1 | | | |
| | Bordos de piedra | Yuca | 31 | | | | 4.4 | | | |
| | Bordos en contorno | yuca | 31 | | | | 16.82 | | | |
| Taiwan | Pendiente invertida | Té | 32 | 1472 | "clay" | | 0.9 | 107.4 | 6 | Liao and Wu 1987 in Lal 1990 |
| | Terraza a nivel | Té | 32 | | "loam" | | 3.2 | 132.5 | | |
| | Pendiente hacia afuera | Té | 32 | | | | 17.4 | 228.16 | | |
| | Tradicional | Té | 32 | | | | 24.6 | 270.8 | | |
| | Pendiente invertida | Té | 27 | 1457 | | | 0.4 | 99 | 9 | |
| | Terraza a nivel | Té | 27 | | | | 0.9 | 129.7 | | |
| | Pendiente hacia afuera | Té | 27 | | | | 3.5 | 155.9 | | |
| | Tradicional | Té | 27 | | | | 3.3 | 174.8 | | |
| | Pendiente invertida | Banana | 28 | 2349 | | | 1.6 | 880.87 | 2 | |
| | Terraza a nivel | Banana | 28 | | | | 1.6 | 239.6 | | |
| | Pendiente hacia afuera | Banana | 28 | | | | 6.8 | 897.3 | | |
| | Tradicional | Banana | 28 | | | | 92.5 | 1533.9 | | |
| | Pendiente invertida | Cítricos | 28 | 1743 | | | 8.1 | 435.7 | 3 | |
| | Terraza a nivel | Cítricos | 28 | | | | 0 | 31.4 | | |
| | Pendiente hacia afuera | Cítricos | 28 | | | | 6.5 | 515.9 | | |
| | Tradicional | Cítricos | 28 | | | | 156.4 | 1286.3 | | |
| | Tradicional | Granos mixtos | 52 | 2500 | "loam" | | 208 | | | Sheng 1989 |
| | tradicional | Yuca | 52 | 2500 | "clay loam" | | 128 | | | |
| Tailandia | Tradicional | | 20 | | | | 74 | | | Harper and El-Swaify 1988 |
| | Terrazas de banco | | 20 | | | | 26 | | | |
| | Tradicional | | 35 | | | | 155 | | | |
| | Terrazas de banco | | 35 | | | | 34 | | | |

**Tabla 2. Comparación de estudios que han utilizado terrazas como tecnología de conservación de suelos y agua en regiones tropicales con laderas, continuación.**

| País | Tipo de Conservación | Cultivo | Inclina-ción (%) | Lluvia (mm) | Tipo de Suelo | Tamaño Parcela (m) | Pérdida de Suelo (tonls/ ha/año) | Escorre ntía (mm/ha/ año) | Duración de Estudio (años) | Fuente |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Honduras | Tradicional | Maíz y maizillo | 60 | 1800- | Entisols, | 6 | 1.54 | 141 | 1 | Siebert and |
| | Terrazas de muro de piedra en intervalos de 6 m. | Maiz y maizillo | 60 | 2900 | Alfisols Molisols | parcelas 2 x 5 m | 1.78 | 53 | | Belsky 1996 |
| | Tradicional | Maiz y maizillo | 60 | | Tipico | 4 | 87.2 | | 0.5 | Thompson |
| | Terrazas de muro de piedra | Maiz y maizillo | 60 | | Haplustalf | parcelas | 38.5 | | | 1992 |
| Indonesia | Tradicional | Nueces y maíz | 33-38 | 1945 | Rojo-amarillo | 10 | 4.0 | | 1 | Siebert |
| | Terrazas de banco | Nueces y maíz | 33-38 | | podzolics | parcelas | 1.0 | | | and |
| | Bordos de zacate | Nueces y maíz | 33-38 | | | 1.5 x 10 m | 0.7 | | | Belsky |
| Jamaica | Tradicional | Yuca amarilla | 30 | 3300 | "clay loam" | | 133 | | 4 | |
| | Tradicional | Yuca amarilla | 30 | | | | 120.9 | | | |
| | Terrazas de banco | Yuca amarilla | 30 | | | | 15.5 | | | |
| | Zanjas de ladera | Yuca amarilla | 30 | | | | 23.6 | | | |
| | Montículos individuales | Bananas | 30 | | | | 34.5 | | | |
| | Tradicional | Bananas | 30 | | | | 183 | | 2 | Sheng 1989 |
| | Terrazas de banco | Bananas | 30 | | | | 15.5 | | | |
| | Zanjas de ladera | Bananas | 30 | | | | 19.1 | | | |
| Java | Tradicional | Maiz, granos mixtos | | 1945 | | | 12.6 | 4263.4 | 2 | Fagi and |
| | Terrazas de banco | Maiz, granos mixtos | | | | | 1.5 | 2164.6 | | Mackie 1988 |
| | Terrazas de bordo | Maiz, granos mixtos | | | | | 5.7 | 4963.5 | | and El- |
| | Tradicional | Maiz, granos mixtos | | | | | 211.2 | 885 | | Swaify et al. |
| | Terrazas de banco | Maiz, granos mixtos | | | | | 2.8 | 795 | | 1985 |
| | Terrazas de ridge | Maiz, granos mixtos | | | | | 5.8 | 1305 | | |
| | Tradicional | Maiz, granos mixtos | | | | | 106.4 | 390 | | |
| | Terrazas de banco | Maiz, granos mixtos | | | | | 7.5 | 345 | | |
| | | Maiz, granos mixtos | | | | | | | | |
| | Terrazas de ridge | Maiz, granos mixtos | | | | | 150.0 | 990 | | |
| | Terrazas individuales | Maiz, granos mixtos | | | | | 9.6 | 4873.2 | | |
| | tradicional | Papas | 10 | | | | 136.1 | 259.5 | | |
| Malasia | Tradicional | Chiles | 60 | | | | 107 | | | Hatch 1980 |
| | Tradicional | Chiles | 58 | 3048- | Rojo-amarillo | 3 parcelas | 63 | | | |
| | | | | 5588 | | 4 x 10 m | | | | |
| | Terrazas de banco | Chiles | 58 | | podlozic | | 1.4 | | | |

a kilómetros de ahí. Se estima que aproximadamente 1 millón de ha de tierra fueron terraplenadas en Perú bajo el imperio inca, de lo cual casi un tercio todavía está bajo cultivo ahora (Denevan 1985 in Lal 1990). Williams (1987) estima que estas terrazas son detenidas por 3 billones $m^3$ de muro de piedra que hubiera necesitado por lo menos 4 millones de años-persona de mano de obra sólo para la construcción del muro (Lal 1990). Claramente, este sistema es un resultado de detallada planificación y diseño ya que parcelas de un tamaño considerable fueron desarrolladas al mismo tiempo, requiriendo un sistema de organización de mano de obra sofisticado. La técnica inca de utilizar muros de piedra para construir terrazas es un método que todavía se ocupa ahora en toda Latinoamérica.

## Sistema de Diseño de Terrazas

Desde los 1920's, sociedades agrícolas modernas han desarrollado diseños, especificaciones y metodologías para terraplenado (Bennett 1970). Existen muchas clasificaciones y diseños diferentes de terrazas. Shaxson (1989) define terrazas como estructuras transversales a la pendiente diseñadas para controlar la escorrentía, las cuales tienen dos formas principales y muchas variaciones: (1) donde el cultivo está sembrado en las mismas estructuras niveladas ("de banco") y; (2) donde el cultivo está sembrado en los espacios entre las estructuras ó bancos.

Sheng (1977, 1986) da especificaciones para los diferentes tipos de terrazas (Tabla 3) los cuales están ilustrados y explicados en detalle en las siguientes secciones. Para determinar qué tipo de técnica de conservación de suelo en laderas se necesita utilizar, hay cinco factores básicos que considerar (Sheng 1989):

- Control de Escorrentía. Las técnicas de conservación deben facilitar la reducción de velocidad, la desviación y la eliminación segura de la escorrentía.
- Control de Erosión. Las técnicas de conservación deben reducir la pérdida de suelo en la parcela agrícola.
- Manejo Integrado del Suelo. Las medidas que se toman en la parcela agrícola no deben estar aisladas. La conservasión de suelo es un sistema de manejo integrado del suelo que debe incluir esfuerzos para conservar los suelos para poder mejorar la producción del cultivo a travez de un mejor manejo del suelo y nutrientes.
- Efectividad de Costo. Los costos y la efectividad de las obras físicas de conservación deben ser cuidadosamente comparados.
- Oportunidad de Opciones. Las obras físicas de conservación deben de ser adaptadas para satisfazer las necesidades y preferencias de cada agricultor.

### *Terrazas de Banco*

Sheng (1989) define terrazas de banco como una serie de franjas a nivel o casi a nivel corriendo atravez de la pendiente a ciertos intérvalos verticales. Estas franjas a nivel son utilizadas para cultivar y están detenidas por taludes escarpados echos de tierra ó piedras. Las razones para utilizar terrazas de banco incluyen:

- Crear tierra arable en laderas
- Aumentar las opciones y la diversidad en la cosecha cuando el terreno es plano
- Retener humedad en el suelo e incrementar la producción de la cosecha
- Aumentar riego y potencial mecánico
- Promover la agricultura establecida y reducir la agricultura migratoria
- Disminuir la erosión

Se considera que las terrazas de banco están entre las medidas más efectivas de obras físicas para controlar la erosión (Sheng 1989). Estas pueden reducir la erosión por un 90-95% ó más y han aumentado la producción de la cosecha por un 200-300% en Jamaica, con un manejo apropiado del suelo (Sheng 1989). Su desventaja es que también son la tecnología de conservación que requiere mayor mano de obra.

Las cuatro clases principales de terrazas de banco son: (1) a nivel, (2) inclinadas hacia afuera, (3) la conservación de agua y (4) con pendiente invertida (Figura 1). Las terrazas de banco a nivel están completamente a nivel y los bancos no tienen pendiente. Las terrazas inclinadas hacia afuera están un poco inclinadas cuesta abajo ó hacia afuera. Este tipo de terraza requiere el movimiento de menos tierra durante su construcción y por eso es más fácil de construir que las terrazas con pendiente inversa que se inclinan hacia la ladera. Las terrazas de banco con

**Tabla 3. Especificaciones de diseño para los tipos de sistemas de terraceo principales (Sheng 1986).**

| Tratamiento | Especificaciones | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ancho del banco (m) | Longitud[1] (m) | Grado horizontal[2] (%) | Pendiente invertida (%) | Pendiente talud[3] | Pendiente (%) | VI ó Distanciamiento[4] |
| Terrazas de banco | | | | | | | |
| a mano | 2.5-5.2 | <100 | hasta 1 | 5 | 0.75:1 | 12-47 | $\frac{S \times Wb}{100-P \times 0.75}$ |
| mecánico | 3.4-8.2 | <100 | 1 | 5 | 1:1 | 12-36 | $\frac{S \times Wb}{100 - P \times 1.0}$ |
| Zanjas de laderas | 1.8-2 | <100 | 1 | 10 | 0.75:1 | <47 | $\frac{S+4}{10}$ ó $\frac{S+6}{10}$ |
| Terrazas indiviuales | 1.5-2.1 redondo | – | – | 10 | 0.75:1 | <47 | distancia del cultivo |
| Terrazas de huerto | 1.8-2.5 | <100 | 1 | 10 | 0.75:1 | 47-58 | 11-13 m a lo largo de la pendiente |
| Intermitentes | 2.5-5 | <100 | 1 | 5 | 0.75:1 | 12-47 | 3 veces la terraza de banco |
| Convertibles | 2.5-5 | <100 | 1 | 5 | 0.75:1 | 12-47 | como acequias en laderas |
| Terrazas naturales | 8-20 | – | – | – | 1:1 | <12 | 1 m VI |

Wb = Ancho del banco (parte plana), VI = Intérvalo Vertical entre dos terrazas consecutivas lo cual determina el distanciamiento, S = Pendiente (altura vertical sobre distancia horizontal ) en %

[1] **Longitud:** La longitud de una terraza está limitado por el tamaño y la forma del terreno y la permebealidad y erodibilidad del suelo. Las terrazas largas son más eficientes, particularmente para la agricultura mecanizada y reducen el costo de construcción siempre y cuando la construcción se adhiera a especificaciones estrictamente controladas para evitar un incremento en el riesgo de aceleramiento de escorrentía y erosión (Sheng 1977).

[2] **Pendiente:** Es muy importante controlar la pendiente (inclinación) de una terraza. Se recomienda un grado horizontal de menos de 0.5% para áreas que reciben poca poca lluvia y tienen suelos permeables, mientras que un grado horizontal de 1% debe utilizarse en áreas de lluvias intensas y suelos pesados para lograr un mejor manejo de escorrentía. También se recomienda una pendiente invertida de 5% para prevenir el peligro que presenta la escorrentía. Para terrazas muy angostas, se necesita una pendiente invertida de 10% para prevenir deslizamientos de ladera (Sheng 1977).

[3] **Talud y Pendiente del talud:** El talud es la zona de de major elevación entre dos terrazas (Figura 1). La altura del talud depende del ancho de la terraza. Un talud muy alto es más difícil de construir y mantener. Se ha encontrado que una altura de 1.8 a 2 m es un límite práctico. La pendiente de un talud depende de la textura del suelo y de las herramientas y los materiales que van a utilizarse para la construcción. Se recomienda una pendiente de talud de 1:1 (anchura horizontal:altura vertical) para terrazas construidas mecánicamente y 0.75:1 para terrazas hechas a mano dado que éstas esten suficientemente compactadas y protegidas por una cobertura de gramíneas ó un muro de piedra. Se obtiene una profundidad mínima al dividir la altura del talud entre dos.

[4] **Intérvalo Vertical (VI)** es la diferencia en elevación entre dos terrazas sucesivas. Este es determinado por la pendiente del suelo y el ancho de las terrazas, utilizando la fórmula de arriba, dónde S es la pendiente (%), Wb es el ancho de la terraza y U es la pendiente del talud (distancia horizontal entre incremento vertical utilizando un valor de 1.0 para terrazas construidas mecánicamente y 0.75 para las hechas a mano) (Figura 1) (Sheng 1977).

pendiente invertida son adecuadas cuando se dan las siguientes condiciones: fuertes lluvias monzónicas, pendientes escarpadas bajo cultivo, población densa con pequeñas parcelas y alto desempleo rural. Las terrazas de conservación están diseñadas para recoger agua y dirigirla al banco. El tipo de terraza a utilizar se escoge dependiendo principalmente de la lluvia y de las carácterísticas del suelo y la disponibilidad de mano de obra. Los dos diseños más convencionales y caros son: (1) terrazas de riego, utilizadas primordialmente para cultivos irrigados y (2) terrazas de banco con pendiente inversa las cuales se ocupan principalmente en terrenos de laderas que reciben lluvia en el invierno y son irrigados en la época seca (Figura 2).

Las terrazas de banco pueden ser utilizadas en pendientes de 12-47%, en suelos relativamente profundos y no muy pedregosos (Sheng 1989). Las terrazas de banco naturales (ó graduales) y las que han sido construidas formalmente pueden ser efectivas en controlar la erosión en pendientes escarpadas de hasta 58% o más (LUPE 1994). Estas pueden ser construidas a mano ó con la ayuda de animales ó maquinaria. Las acequias de laderas se pueden combinar con terrazas de banco en pendientes de hasta 47%. Las acequias de laderas ayudan a retener el agua a lo largo de las curvas a nivel e incrementan el drenaje de la terraza.

El ancho del banco en la terraza debe de ser de 2.5 a 5 m, con menos de 100 m de largo, con una pendiente inversa de 5% y la proporción del talud de la pendiente debe de ser 0.75:1 ó 1:1 (FAO 1977, Sheng 1989). Morgan (1986) delínea los tipos de terrazas con una base ancha que ocupan 15 m de ancho y tipos con una base angosta con 3-4 m. de ancho. La fórmula teórica para terrazas de banco en condiciones de un estado estable en una ladera puede ser expresada como $Qw = (R - i) L \cos \theta$, donde Qw es escorrentía, L es lo largo de la pendiente, R es la intensidad de la lluvia, I es la capacidad de infiltración y "θ" es el ángulo de la pendiente. La fórmula empírica para contruir terrazas varía, particularmente por país. Se recomienda utilizar tres ó más fórmulas empíricas y basar el distanciamiento en un concenso del resultado (Morgan 1986). La Tabla 4 proporciona ejemplos de fórmulas basadas en resultados empíricos para hacer los cálculos de distanciamiento de terrazas para diferentes países. Un ejemplo de las recomendaciones para la construcción de terrazas de banco se demuestra con especificaciones dadas para tierras con pendientes de 5-25% en Loess Plateau, China, el cual está ilustrado en las Tablas 5a y 5b y en la Tabla 6 (Fang et al. 1980, FAO 1988).

Se han llevado a cabo estudios en varios países para determinar la efectividad de las terrazas de banco en controlar la escorrentía y la erosión y en los costos y beneficios de éstas. Las conclusiones no han sido las mismas para las diferentes regiones (Tabla 2). En Jamaica, las terrazas de banco en pendientes de 30% reducieron la pérdida de suelo de 121-133 toneladas/ha/año bajo el cultivo de ñame amarillo y 183 bajo el cultivo de banano a 15.5 y 15.5 tonelados/ha/año respectivamente (Sheng 1979, 1989). En El Salvador, las terrazas de banco reducieron la pérdida de suelo de 110 a 33 toneladas/ha/año en pendientes de 30% bajo el cultivo de maíz y frijol (Sheng 1979).

En Tailandia, las terrazas de banco reducieron la pérdida de suelo de 674 a 26 toneladas/ha/año en pendientes de 35% (Harper y El-Swaify 1988). En Java, Indonesia, una variedad de diseños de terrazas fueron estudiados bajo patrones tradicionales de cultivo con cultivos mixtos, resultando en una pérdida de suelo de 12.6 toneladas/ha/año en parcelas tradicionales y 1.5 toneladas/ha/año en parcelas con terrazas de banco y en una reducción en escorrentía de 4263.4 a 2164.6 mm/ha/año (Fagi y Mackie 1988). En un segundo sitio, la pérdida de suelo fue reducida de 212 a 2.8 toneladas/ha/año mientras que la escorrentía fue reducida de 888 a 795 mm/ha/año (El-Swaify et al. 1985). En Taiwan, se llevó a cabo durante cuatro años una investigación para comparar diferentes diseños de terrazas con pendiente inversa, terrazas a nivel y terrazas con inclinación hacia afuera en pendientes de 17-32% bajo el cultivo de té, banano y cítricos (Liao y Wu 1987 en Lal 1990). La Tabla 2 enseña un resumen de los resultados, los cuales indican que las terrazas a nivel y con pendiente inversa son más efectivas en reducir la pérdida de suelo y escorrentía que las terrazas con inclinación hacia afuera. En Malasia, se demostró que las terrazas de banco reducieron la pérdida de suelo de 63 a 1.4 toneladas/ha/año en pendientes de 35% bajo el cultivo de chile ó

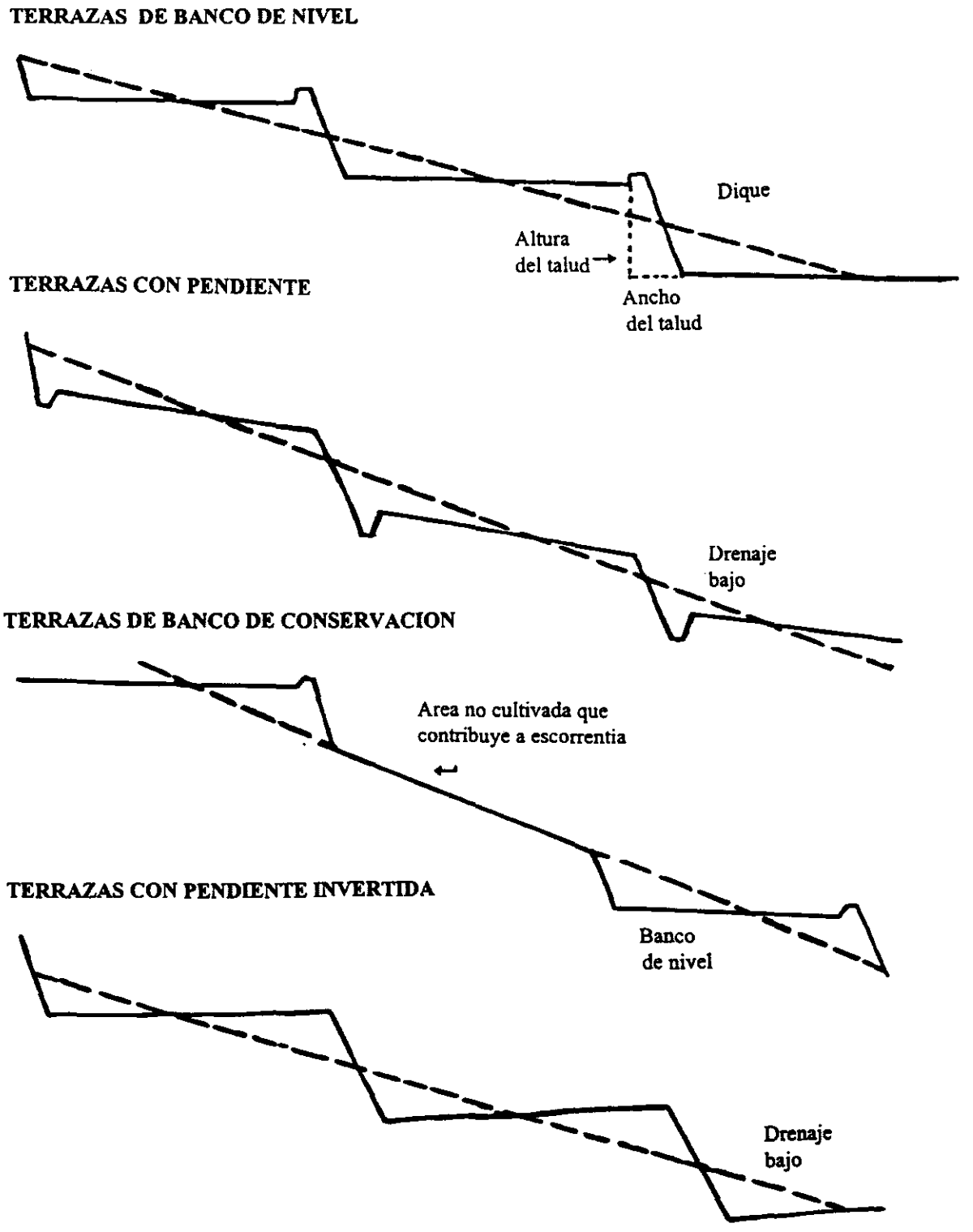



**Figura 1. Tipos de terrazas de banco. Las líneas entrecortadas representan la pendiente original de la superficie del suelo (Sheng 1977).**

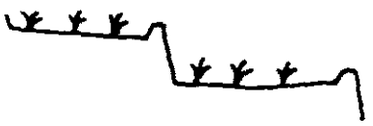
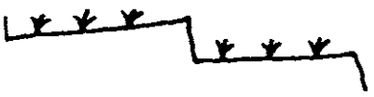
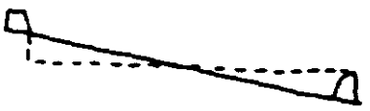
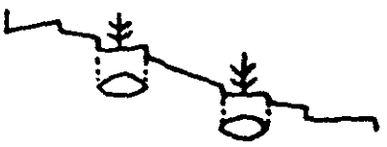
| Tipo | Vista transversal | Uso |
|---|---|---|
| **SISTEMAS CONVENCIONALES** | | |
| 1. Terrazas a nivel (terrazas de irrigacion o de arroz) |  | Principalmente para arroz ó cultivos de riego |
| 2. Terrazas de banco con pendiente invertida |  | Cultivos de lluvia y/o cultivos de riego durante época seca |
| **SISTEMAS MAS SENCILLOS Y BARATOS** | | |
| 1. Terrazas naturales (muros de retencion de piedra, bordos en contorno, fanya juu) |  | Cultivos tierras arriba con pendientes <12%. Las terrazas se forman naturalmente despues de varios años. |
| 2. Terazas intermitentes | | Cultivos tierras arriba ó cultivos de riego en pendientes <36%; los espacios de intermedio se pueden ser terraplenados a travez de varios años |
| 3. Terrazas convertibles | | Usos mixtos de agricultura ó para flexibilidad en futuros empleos; pendientes <36%, árboles sembrados en terrazas individuales |
| 4. Terrazas de huerto con bancos de 1.75 m de ancho y terrazas individuales |  | Arboledas o arboles frutales con pendientes elevadas >46%. |

**Figure 2. Vista transversal de varios diseños de terrazas.**

**Tabla 4. Fórmula empírica utilizada por agencias de conservación de sueloen diferentes países para determinar intérvalos verticales entre dos terrazas sucesivas (VI) (Morgan 1986).**

| | | |
|---|---|---|
| United States Soil Conservation Service | VI (pies) = $aS + b$ | donde $a$ varía de 0.3 en el sur a 0.6 en el norte y $b$ es 1 ó 2 dependiendo de la erodibilidad del suelo |
| Zimbabwe | VI (pies) = $\frac{S + f}{2}$ | donde $f$ vaía de 3 a 6 dependiendo de la erodibilidad del suelo |
| Sudáfrica | VI (pies) = $\frac{S}{a} + b$ | donde $a$ varía de 1.5 para áreas de poca lluvia a 4 para áreas de bastante lluvia y $b$ varia de 1 a 3 dependiendo de la erodibilidad del suelo |
| Algeria | VI (m) = $\frac{S}{10} + 2$ | |
| Kenya | VI (m) = $\frac{0.3\,(S + 2)}{4}$ | |
| Israel | VI (m) = XS + Y | donde X varía de 0.25 a 0.3 dependiendo de la lluvia y Y es 1.5 ó 2 dependiendo de la erodibilidad del suelo |
| Taiwan/Jamaica | VI (m) = $\frac{S \times Wb}{100 - (S \times U)}$ | donde Wb es el ancho del banco (m) y U es la pendiente del talud, expresando como una relación de distancia horizontal a incremento vertical usualmente de 1.0 a 0.75 |
| China | VI (m) = $\frac{Wb}{(\cos S - \cot \beta)}$ | donde $\beta$ es el ángulo de la pendiente del talud |
| Taiwan | VI (m) = $\frac{(Wb \times S) + (0.1S - U)}{100 - (S \times U)}$ | para terrazas de banco con pendiente hacia adentro |

VI = el intérvalo vertical entre dos terrazas sucesivas lo cual determina distanciamiento, S= Pendiente (%), Wb = Ancho del banco

pimientos (Hatch 1981, Chisci 1981, Pimentel 1993).

En Burundi, en pendientes de 49%, las terrazas de banco reducieron la pérdida de suelo de 150 toneladas/ha/año bajo el patrón tradicional de siembra maíz/frijol a 5-11 toneladas/ha/año (Fagi y Mackie 1988, Durand 1984 en Roose 1988). Los resultados de un estudio en Sierra León indican que usando terrazas de banco la pérdida de suelo fue reducida de 41-55 toneladas/ha/año, bajo arroz sin ningún tipo de conservación en pendientes de 31%, a 7.5 toneladas/ha/año (Lal 1990, Millington 1982). Sin embargo, los requisitos de mano de obra son altos. En Burundi, aproximadamente 800 días hombre/ha/año son necesarios para construir terrazas de banco en pendientes de 49% y en Sierra León 708 días hombre/ha/año son requeridos para pendientes de 31% (Durand 1984 en Roose 1988) (Tabla 7).

Estudios también señalan que las terrazas de banco pueden incrementar el rendimiento de la cosecha (Tabla 8). En Sumatra, Indonesia, bajo cultivo de cacahuete, el rendimiento total de la cosecha en el borde de la terraza fue de 4,112 kg/ha/año, mientras que a medio banco el rendimiento fue de 8,160 kg/ha/año. La biomasa total incrementó de 190,736 kg/ha/año a 16,160kg/ha/año y el porcentaje de carbono subió de 1.46 en la base a 4.45%. Ambos N y P incrementaron un poco también (de 0.14% a 0.32% para N y de 0.2 a 4.4 ppm para P) (Siebert y Belsky 1990). Esto indica que hay diferencias en rendimiento en diferentes localidades a lo largo de la terraza, probablemente resultando de una

**Tabla 5a. Especificaciones para terrazas de banco (Fang et al. 1980).**

| Pendiente del suelo α (°) | Altura del talud (m) | Pendiente del talud β (grados) | Ancho del banco (m) | Percent land loss (%) |
|---|---|---|---|---|
| 5 (7%) | 1 | 76 | 11.2 | 2.2 |
| | 2 | 74 | 22.3 | 2.5 |
| 10 (18%) | 2 | 74 | 10.8 | 5.1 |
| | 3 | 72 | 16.1 | .6 |
| 15 (27%) | 2 | 74 | 6.9 | 7.8 |
| | 3 | 72 | 10.2 | 8.6 |
| 20 (36%) | 2 | 74 | 4.9 | 10.6 |
| | 3 | 72 | 7.3 | 11.6 |
| 25 (47%) | 2.5 | 73 | 4.6 | 14.5 |
| | 3.5 | 71 | 6.3 | 15.9 |

**Tabla 5b. Valores de conversión values para porcentajes (%) y grados (FAO 1988).**

| Grado | % | Grado | % | Grado | % | Grado | % | Grado | % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.8 | 6 | 10.5 | 11 | 19.4 | 16 | 28.7 | 21 | 38.4 |
| 2 | 3.5 | 7 | 12.3 | 12 | 21.3 | 17 | 30.6 | 22 | 40.4 |
| 3 | 5.2 | 8 | 14.1 | 13 | 23.1 | 18 | 32.5 | 23 | 42.4 |
| 4 | 7.0 | 9 | 15.8 | 14 | 24.9 | 19 | 34.4 | 24 | 44.5 |
| 5 | 8.6 | 10 | 17.6 | 15 | 26.8 | 20 | 36.4 | 25 | 46.6 |

acumulación de suelo fértil en la pendiente baja de la terraza. Sim embargo, el área de cultivo para una cosecha de cacahuete disminuyó por un 32% con terrazas de banco en comparación a una disminución de un 17% para bordos de zacate (Siebert y Belsky 1990). No todos los estudios han llegado a la conculsión de que el terraplenado es un método efectivo de conservación de suelo. Estudios en las Montañas de Uluguru de Tanzania enseñan que el terreno no es adecuado para terraplenado, principalmente porque la capa superficial del suelo es muy delgada, la construccióon expone tierra infértil y acelera la pérdida de suelo, la cantidad de mano de obra necesaria para la construcción y mantenimiento es muy alta y se detiene suficiente agua para causar derrumbes durante lluvias intensas (Temple 1972). En este caso, Morgan (1986) recomienda el uso de terrazas graduales (*fanya juu*). Además, encuestas en el Distrito de Machakos en Kenya demostraron que a muchas terrazas con pendiente inversa escarpada no se les dió el mantenimiento adecuado ó fueron mal construidas. Los taludes eran ó demasiados bajos para prevenir escorrentía ó se necesitaba cobertura de grama en los taludes para estabilización, los cuales son dos factores que pueden llevar al colapso de la terraza (Barber et al. 1981).

El costo de mano de obra es la mayor desventaja de las terrazas de banco como métodos de conservación de suelos. La Tabla 7 resume los costos de mano de obra por región para diferentes prácticas de conservación de suelo. El costo de mano de obra para terrazas varía desde 100 días hombre/ha/año para bordos en contorno en sistemas de terraceo natural en Tailandia a 253 para muros de piedra en pendientes de 20% en El Salvador hasta 1,800 para terrazas de banco en pendientes de 50% (Sheng 1975, Stocking y Abel 1992). Claramente, la mano de obra requerida para la construcción de terrazas puede ser demandante y costosa. Las terrazas de banco necesitan más mano de obra que las terrazas de piedra ó en bordos en contorno (*fanya juu*). Además, pueden haber desventajas económicas para las terrazas de banco a causa de la reducción en el área cultivada. Un proyecto de conservación de suelo en Sumatra,

**Tabla 6. Especificaciones para terrazas de banco hechas a mano (pendiente del talud = 0.75:1 y pendiente invertida = 0.05 ) (FAO 1988).**

| Ancho del banco | Pendiente | | ESPECIFICACIONES | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Wb (m) | % | Grado | VI (m) | RH (m) | Hr (m) | Dc (m) | Wr (m) | Wt (m) | L (m) | A (m) | Pb (%) | C ($m^2$) | V ($m^3$) |
| 3.00 | 42 | 22.8 | 1.84 | 0.15 | 1.99 | 0.71 | 1.49 | 4.49 | 2227 | 6681 | 67 | 0.75 | 1670 |
| | 44 | 23.7 | 1.97 | 0.15 | 2.12 | 0.73 | 1.59 | 4.59 | 2179 | 6537 | 65 | 0.80 | 1743 |
| 3.50 | 20 | 11.3 | 0.82 | 0.18 | 1.00 | 0.44 | 0.75 | 4.25 | 2353 | 8236 | 82 | 0.44 | 1035 |
| | 24 | 13.5 | 1.02 | 0.18 | 1.20 | 0.51 | 0.90 | 4.40 | 2273 | 7956 | 80 | 0.53 | 1205 |
| | 28 | 15.6 | 1.24 | 0.18 | 1.42 | 0.58 | 1.07 | 4.57 | 2188 | 7658 | 77 | 0.62 | 1357 |
| | 32 | 17.7 | 1.47 | 0.18 | 1.65 | 0.65 | 1.24 | 4.74 | 2110 | 7385 | 74 | 0.72 | 1519 |
| | 36 | 19.8 | 1.73 | 0.18 | 1.91 | 0.72 | 1.43 | 4.93 | 2028 | 7098 | 71 | 0.84 | 1704 |
| | 40 | 21.8 | 2.00 | 0.18 | 2.18 | 0.79 | 1.64 | 5.14 | 1946 | 6811 | 68 | 0.95 | 1849 |
| 4.00 | 20 | 11.3 | 0.94 | 0.20 | 1.14 | 0.50 | 0.86 | 4.86 | 2058 | 8232 | 82 | 0.57 | 1173 |
| | 24 | 13.5 | 1.17 | 0.20 | 1.37 | 0.58 | 1.03 | 5.03 | 1988 | 7952 | 80 | 0.69 | 1372 |
| | 28 | 15.6 | 1.42 | 0.20 | 1.62 | 0.66 | 1.22 | 5.22 | 1916 | 7664 | 77 | 0.81 | 1552 |
| | 32 | 17.7 | 1.68 | 0.20 | 1.88 | 0.74 | 1.41 | 5.41 | 1848 | 7392 | 74 | 0.94 | 1737 |
| | 36 | 19.8 | 1.97 | 0.20 | 0.77 | 0.36 | 0.58 | 4.83 | 2070 | 8798 | 88 | 0.41 | 849 |
| 4.50 | 20 | 11.3 | 1.06 | 0.23 | 1.29 | 0.57 | 0.97 | 5.47 | 1828 | 8226 | 82 | 0.73 | 1334 |
| | 24 | 13.5 | 1.32 | 0.23 | 1.55 | 0.66 | 1.16 | 5.66 | 1767 | 7952 | 80 | 0.87 | 1537 |
| | 28 | 15.6 | 1.60 | 0.23 | 1.83 | 0.75 | 1.37 | 5.87 | 1704 | 7668 | 77 | 1.03 | 1755 |
| | 32 | 17.7 | 1.90 | 0.23 | 2.13 | 0.83 | 1.60 | 6.10 | 1639 | 7376 | 74 | 1.20 | 1967 |
| 5.00 | 20 | 11.3 | 1.18 | 0.25 | 1.43 | 0.62 | 1.07 | 6.07 | 1648 | 8240 | 82 | 0.89 | 1467 |
| | 24 | 13.5 | 1.46 | 0.25 | 1.71 | 0.73 | 1.28 | 6.28 | 1592 | 7960 | 80 | 1.07 | 1703 |
| | 28 | 15.6 | 1.77 | 0.25 | 2.02 | 0.82 | 1.52 | 0.52 | 1534 | 7670 | 77 | 1.26 | 1933 |

VI = Intérvalo Vertical
RH = Altura Invertida
Hr = Altura del talud
Dc = Profundidad del corte

Wr = Ancho del talud
Wt = Ancho de la terraza
L = Longitud de la terraza por ha
A = Area de los bancos (área plana) por ha

Pb = Porcentaje de los bancos
C = Sección transversal de la terraza
V= Volumen del corte por ha

**Tabla 7. Comparación de costos de mano de obra para terrazas. Espacios en blanco indican que los datos no fueron reportados en las publicaciones.**

| País | Tipo de Conservación y Condiciones | Pendiente (%) | Labor (días hom/ha/año) | Labor (horas hom/100 m) | Fuente |
|---|---|---|---|---|---|
| Burundi | Terrazas de banco, maiz y frijoles | 49 | 800 | | Durand 1984 |
| China | Terrazas de baco | | 900 | | McLaughlin 1993 |
| El Salvador | Terrazas de banco | 44 | 500 | | Sheng 1979 |
| | Zanjas en ladera | 55 | 100 | | |
| | Terrazas intermitentes | 44 | 167 | | |
| | Terrazas de huerto | 44-60 | 112 | | |
| | Terrazas individuales | 44-60* | 12 | 16* | * = 200 basins/ha |
| | Terrazas naturales, bordos en contorno | 15 | 100 | | |
| El Salvador | Zanjas en laderas con vegetación | 20 | 84 | | Wiggins 1981 |
| | Desagues principales protegidas | 30 | 114 | | |
| | | 40 | 143 | | |
| | Muros de piedra con desague | 20 | 253 | | |
| | | 30 | 279 | | |
| | | 40 | 310 | | |
| | Terrazas de banco | 20 | 238 | | |
| | | 30 | 266 | | |
| | | 40 | 283 | | |
| | Barreras vivas | 20 | 40 | | |
| | | 40 | 43 | | |
| Honduras | Conservación biológica (mano de obra sobre monocultivo de maíz) | | | | Rodriguez 1980 |
| | Entrecultivo maíz/yuca/frijol | | 148 | | |
| | Maíz/yuca con terraza | | 207 | | |
| India (NE) | Establecimiento de cultivo en terraza | | 696 | | Mishra y Ramakrishnan 1981 |
| Indonesia (Java) | Terrazas de banco en pendientes hasta de 50 % | | 750-1800 | | Barbier 1988 |
| Jamaica | Terrazas para hectárea de 0.8 | | | | Sheng 1986 |
| | Construcción | | | | |
| | Mantenimiento | | 496 | | |
| | | | 42 | | |
| Kenya | Terraza fanya juu | 5 | 150 | | Barret 1985 |
| | Terraza fanya juu | 20 | 250 | | Wenner 1980 |
| | Terraza fanya juu | 35 | 281 | | |
| Perú | Terrazas con zacate a los lados de la pendiente | | 336 | | Alfaro Moreno 1988 |
| | Surcos en contorno | | 110 | | |
| | Acequia de infiltración | | 205 | | |
| | Terrazas | | 1181 | | |
| | Surcos en contorno | | 328 | | |
| | Acequia de infiltracion | | 57 | | |
| Sierra León | Bordos en contorno | 31 | | 19 | Millington 1982 |
| | Terrazas de banco | 31 | | 708 | |
| | Bordos de piedra | 31 | | 31 | |
| | Sin método | 31 | | 15 | |
| Vietnam | Agroforestería totalmente integrada | | 1500 | | Stocking y Abel 1992 |
| | Mantenimiento anual | | 55 | | |
| Africa Oeste Sahel | Bordos de piedra en contorno para terrazas | | 180 | | Reij 1994 |

**Tabla 8. Comparación entre terraplenados con respecto a nutrientes en el suelo, rendimiento de cultivo y tasas de infiltración. Los espacios en blanco en la tabla indican datos no publicados. Vease Tabla 2 para las caracteristicas del sitio.**

| País | Práctica de Manejo | Pendiente (%) | Biomasa Total (kg/ha/año) | Producción de Granos (kg/ha/año) | OM (%) | N (kg/ha) | P (kg/ha) | Tasa de Infiltra -ción (cm) | Source |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Etiopía | Tradicional | 28 | | | | 60.56 | 31.5 | 0.2 | Kejela 1992 |
| | Bordo graduado | 28 | | | | 16.7 | 12.2 | | |
| | Fanya juu nivelada | 28 | | | | 26.3 | 13.2 | 5.5 | |
| | Tradicional | 12 | | | | 84.5 | 15.5 | 2.6 | |
| | Bordo graduado | 12 | | | | 76.3 | 10.9 | | |
| | Fanya juu nivelada | 12 | | | | 27.7 | 3.6 | 8.1 | |
| | Zanjas de zacate | 12 | | | | 68.9 | 9.9 | | |
| | Tierras infértiles con gramíneas | 16 | | | | 128.4 | 50.9 | 3.2 | |
| | Tierras infertiles con gully | 16 | | | | 138.5 | 64.8 | 0.1 | |
| | Tradicional, lentejas | | 8,450 | 2,580 | | | | | Keddeman |
| | Zanjos de zacate, lentejas | | 8,950 | 2,640 | | | | | |
| | Fanya juu graduadada, lentejas | | 11,330 | 3,220 | | | | | |
| | Fanya juu nivelada, lentejas | | 13,370 | 4,850 | | | | | |
| Indonesia | Base del talud de la terraza, maní | | 10,736 | 4,112 | 1.46 (%C) | 0.14% | 6 (0.3 ppm) | | Siebert and Belsky 1990 |
| | mid-bench sites, peanuts | | 16,160 | 8,160 | 4.45 (%C) | 0.32% | 8 (4.4 ppm) | | |
| Honduras | Tradicional, maiz y maicillo | 60 | 5,170 | 1,179 | 5.6 | 4.1 | 35.2 | | Sierra 1996 |
| | Terrazas de muro de piedra, maíz y maicillo | 60 | 7,167 | 1,996 | 6.5 | 93.9 | 30.2 | | |
| | Tradicional, maiz y maicillo | 60 | 2,144 | 798 | 5.98 | 0.28% | 5.3 | | Thompson 1992 |
| | Terrazas de muro de piedra, maíz y maicillo | 60 | 3,369 | 1,161 | 7.96 | 0.28% | 6.7 | | |

Indonesia demuestra que las terrazas de banco reducen el área de cultivo para cacahuetes por un 32% y un 13% para maíz en comparación a las prácticas tradicionales (Siebert y Belsky 1990). Las terrazas de banco recibiendo un mantenimiento inadecuado incrementaron la erosión de suelo en 4% de las parcelas agrícolas encuestadas. La encuesta demostró que sólo 63% de los usuarios subsisidiados (que cuentan por el 24% de los agricultores que habían construido terrazas de banco, de los cuales 20% lo hicieron porque se les prometió un pago) y 47% de los usuarios no subsidiados siguieron dándole mantenimiento a sus terrazas (Siebert and Belsky 1990). No se les siguió dando mantenimiento a terrazas porque estaban en conflicto con las técnicas agroforestales existentes que demandan menos mano de obra. Los agricultores creían que las plantaciones de árboles proporcionan suficiente protección contra la erosión y reportaron que el uso de terrazas usualmente resultaba en la pérdida de la capa superficial del suelo y una reducción inicial en el rendimiento de la cosecha, competencia entre el cultivo y el zacate en los taludes y pérdida de un 25-35% de área de cultivo (Siebert and Belsky 1990). Un estudio en Jamaica demostró resultados similares en relación al mantenimiento de terrazas. En una encuesta de 99 parcelas con terrazas de banco, a 40% se les daba mantenimiento inadecuado, a 50% se les daba mantenimiento adecuado y sólo a 10% se les daba muy buen mantenimiento. La razón principal de no darles mantenimiento pareció ser la disponibilidad de mano de obra, requiriendo 37 días hombre/ha/año para terrazas de banco y 12 días hombre/ha/año para zanjas en laderas y terrazas de huerto (Blustain 1982).

La ventaja de las terrazas de banco es que son, bajo muchas circunstancias, el método más efectivo para controlar la pérdida de suelo en laderas. Los estudios referidos anteriormente demuestran la considerable efectividad de terrazas de banco en controlar la pérdida de suelo en laderas en comparación con el uso de ningún método de conservación. El obstáculo más grande para la instalación de terrazas es el alto costo de la mano de obra y de mantenimiento. Una vez se hace la inversión inicial, se les tiene que dar mantenimiento a las terrazas ó sino éstas pueden incrementar el riesgo de derrumbes y en algunos casos, aumentar la pérdida de suelo. Además, a menos que las terrazas se instalen correctamente, éstas pueden concentrar agua y empeorar los problemas de erosión. Otras desventajas de sistemas complejos de terrazas son un área de cultivo reducida, competencia con prácticas tradicionales y especificiones de diseño tecnológicamente difíciles. Entonces, la viabilidad y los beneficios deben de ser considerados en el contexto de las varibles locales, tales como la mano de obra disponible, los factores de riesgo y el uso de la tierra antes de hacer una decisión acerca de la instalación de terrazas de banco.

### *Terrazas Convertibles e Intermitentes*

Las terrazas convertibles e intermitentes tienen las mismas características de diseño que las terrazas de banco, la diferencia principal está en el momento de construcción (Figura 3). La construcción de las terrazas intermitentes fluctua sobre un período de tres a cuatro años y está planeada para que un sistema completo de terrazas de banco se complete en un número de años. Al inicio, solamente una de cada tres terrazas se construye. La razón de hacer esto es para espaciar la de mano de obra requerida sobre un período de varios años. Las terrazas convertibles tienen una distancia amplia entre sí y se alternan con fajas de laderas no tratadas para acomodar sistemas de agricultura mixtos. Los bancos se utilizan para cultivar granos básicos mientras que las pendientes sin terrazas son utilizadas para plantaciones de árboles semi-permanentes. Si la necesidad se presenta, éstas pueden ser convertidas a terrazas para el cultivo de granos básicos. El distanciamiento de las terrazas debe de ser calculado de la misma manera que para las acequias en laderas (Tabla 3).

### *Terrazas Formadas Naturalmente*

Muchas veces, las terrazas de banco con base ancha construidas formalmente no son prácticas por su alto requerimiento de mano de obra ó de maquinaria y variaciones más simples de éstas queden ser más apropiadas ó efectivas (Sheng 1986). Entre los sistemas de terraplenado más

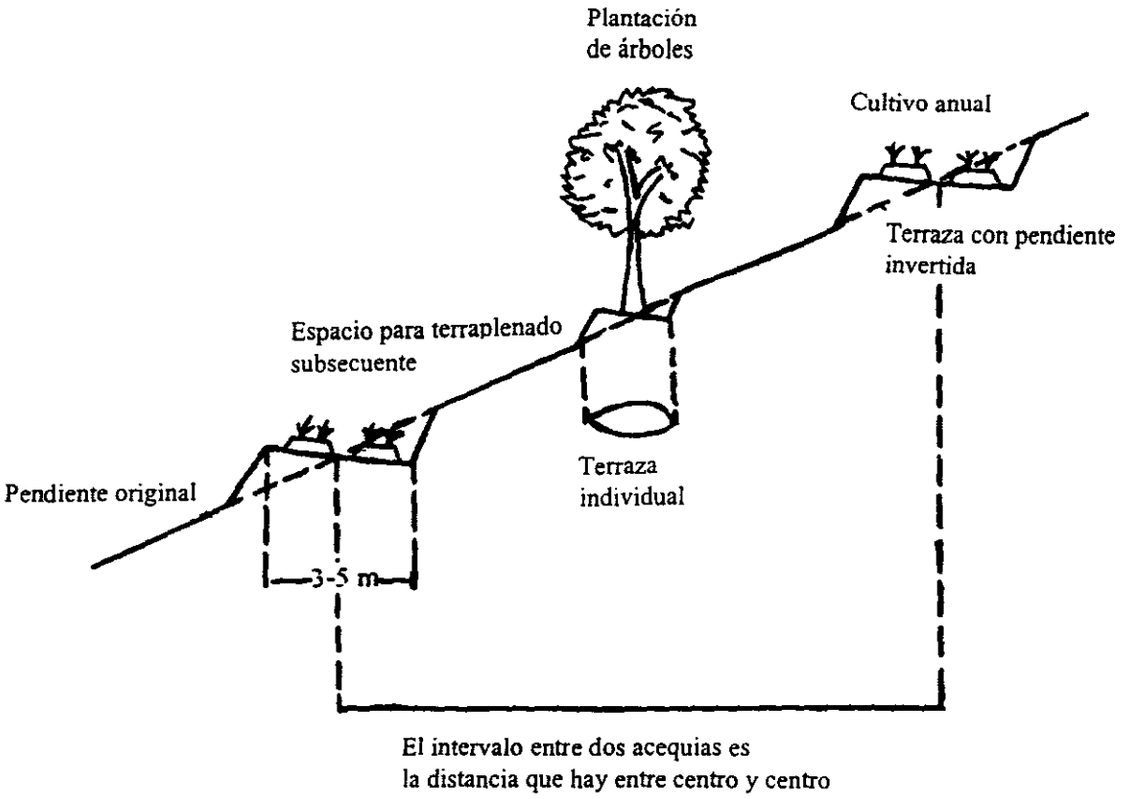



**Figura 3. Vista transversal de terrazas convertibles (Fao 1988).**

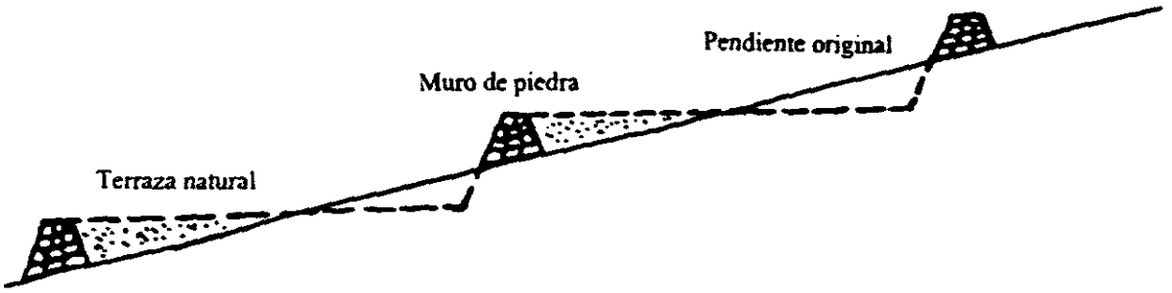



**Figura 4. Vista transversal de un sistema de terrazas naturales**

simples ó baratos están las terrazas naturales (Figura 4). Las terrazas naturales están divididas en tres catergorías dependiendo del material que se utiliza para retener el suelo y formar la terraza a medida que el tiempo pasa: muros de piedra de retención, bordos de suelo (*fanya juu*) y barreras vivas de zacate, árboles y/ó arbustos. Las terrazas naturales son preferibles a las terrazas de banco en lugares donde hay escacez de mano de obra ó de dinero para hacer un terraplenado de banco formal. Las barreras de vegetación obstruyen el transporte de sedimento y se van haciendo más grande a medida que el sedimento se acumula formando una terraza. Las terrazas con muros de piedra y bordo de suelo obstruyen el transporte de sedimento y eventualmente llevan a la formación de terrazas atrás de la barrera. Muchas veces se siembran árboles en la orilla de la barrera de piedra ó de los bordos de suelo para ayudar a estabilizar las estructuras. Con barreras de vegetación, la formación de una terraza toma más tiempo que si la terraza es construida fisicamente pero éstas demandan menos mano de obra (Shaxson et al. 1989). Los materiales necesarios para crear una barrera incluyen piedras, tierra y/ó rastrojos, arbustos y grama. A menudo, el terraplenado natural es apropriado para parcelas agrícolas pequeñas, reemplazando a las terrazas de base ancha que se usan con frecuencia en parcelas agrícolas grandes. Las terrazas naturales se pueden construir en pendientes escarpadas pero se recomiendan para uso en pendientes de no más de 12% y en suelos con una de moderada a buena tasa de infiltración (Sheng 1977, 1982, Shaxson et al. 1989).

*Muros de Retención de Piedra*

La construcción de muros de retención de piedra, algunas veces en conjunto con zanjas de ladera, es un método común de terraplenado natural en Centro y Sur América. Los muros de retención de piedra son estructuras construidas a lo largo de las curvas a nivel de la pendiente con el propósito de desviar y reducir la velocidad de la escorrentía, controlar la erosión en las pendientes escarpadas y formar una terraza natural atravez del tiempo (Figura 4 y 5). El siguiente diseño es recomendado para la costrucción de muros de retención de piedra (Figura 6) (LUPE 1996).

1) Excave una trinchera de 20 cm de profundidad y de 30-60 cm de ancho a lo largo de las curvas a nivel donde la base del muro va a ser construida (30 cm de base por 50 cm de altura, 45 cm de base por 75 cm de altura y 60 cm de base por 100 cm de altura).

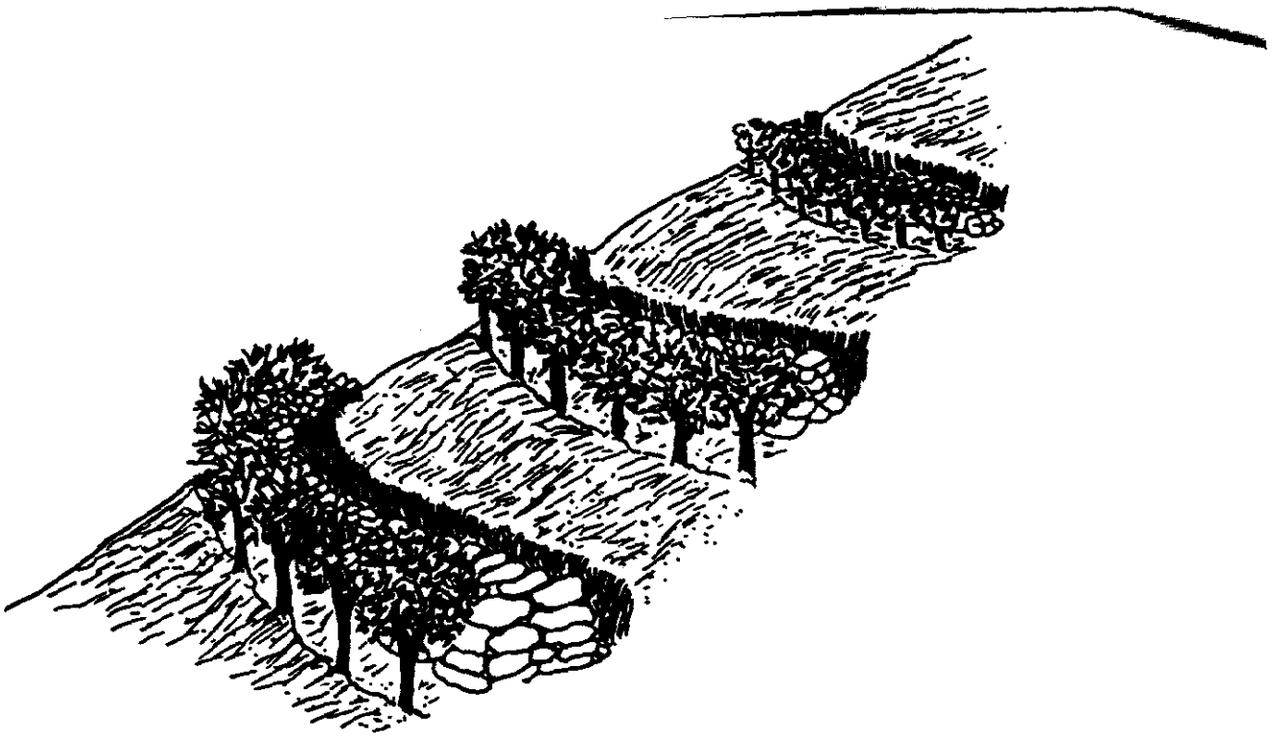


**Figura 5. Sistema natural de terrazas utilizando muros de retención de piedra, combinados con barreras de zacate y arbustos para estabilización de los muros (LUPE 1996).**

2) Usualmente se utilizan piedras recogidas en el campo para construir los muros. Las grandes se acomodan hasta una altura máxima de 1 m y después se rellenan con tierra ó piedras pequeñas.
3) Se pueden sembrar árboles en la base del muro para proteger de movimientos de la tierra y se deben de sembrar barreras vivas (de zacate) 10 cm más arriba, a lo largo de la orilla de las terrazas (Figura 9). Una vez que el espacio atrás del muro se ha rellenado completamente de tierra, es importante hacer el muro más alto, dado que ya no servirá para detener la escorrentía ni para prevenir la pérdida de suelo.

Algunas de las ventajas de las terrazas de retención de piedra es que son (Williams y Walter 1988):

- efectivas para reducir la pérdida de suelo
- requieren menos mantenimiento, lo que hace que el costo de mano de obra sea más bajo que el de terrazas de banco
- terrazas que pueden ser construidas sin tener que nivelar la tierra fisicamente
- piedra en la superficie se vuelve un recurso en vez de un estorbo
- requieren poco conocimiento acerca de la ingeniería de las terrazas
- representan una inversión a largo plazo

La desventaja es que los muros de piedra toman más tiempo para reducir la escorrentía y la erosión que las terrazas de banco construidas formalmente y todavía requieren más mano de obra que los bordos

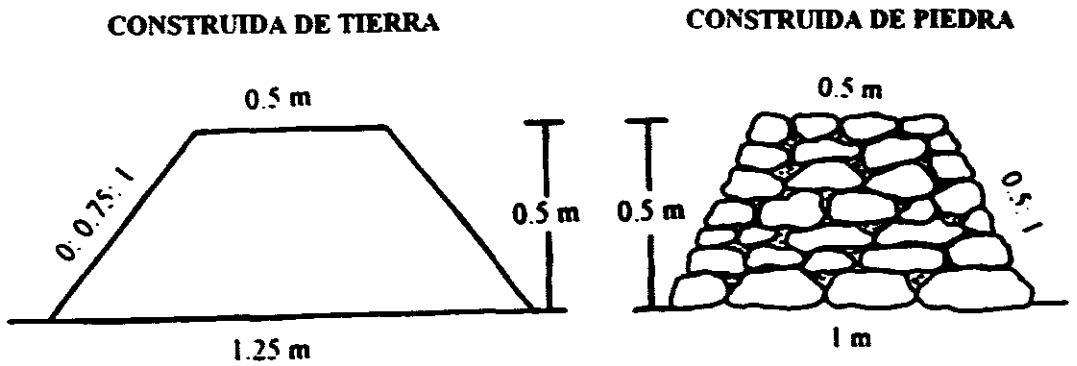



**Figura 6. Diseño de un muro de retención de piedra.**

de suelo y que las barreras vivas. Además, no está claro qué tanto más grande son los beneficios en relación a estas otras prácticas cuando se toman en cuenta los costos.

Se han llevado acabo varios estudios para investigar la efectividad del terraplenado con piedra. La Tabla 2 presenta un resumen de éstos. En Java, Indonesia, se estudiaron una variedad de diseños de terrazas bajo patrones tradicionales de cultivo, teniendo en las parcelas tradicionales una pérdida de suelo de 12.6 toneladas/ha/año comparado con 5.7 toneladas/ha/año con terrazas de bordo (construidas con barrera de piedra/bordo). Terraplenados con piedra y tierra fueron efectivos en controlar la erosión pero no tan efectivos como las terrazas de banco, las cuales disminuyeron la pérdida de suelo a 1.5 toneladas/ha/año (Fagi y Mackie 1988). Un estudio en Sierra León demostró con terrazas con muros de piedra una reducción en la pérdida de suelo de 41-55 a 30 toneladas/ha/año bajo un cultivo tradicional de arroz y una reducción de 11-55 a 4.4 toneladas/ha/año bajo un cultivo tradicional de mandioca. Sin embargo, bordos de suelo redujeron esto a 18 y 17, respectivamente, indicando que los bordos de suelo son más efectivos como barreras que los muros de piedra (Lal 1990, Millington 1982). Además, la cantidad de mano de obra necesaria es menor para bordos de suelo en contorno que para bordos de piedra ó que para terrazas de banco, con bordos en contorno requiriendo 19 horas hombre/100 m, las barreras de piedra requiriendo 31 horas hobre/100 m y las terrazas de banco requiriendo 708 horas hobre/100 m en Sierra León en pendientes de 31% (Millington 1982). Así mismo, en El Salvador en pendientes de 30%, muros de piedra con desagües requieren 279 días hombre/ha/año, mientras que terrazas de banco requieren 266 días hombre/ha/año y barreras de zacate requieren sólo 43 en pendientes de 40% (Wiggins 1981), aunque otros estimados de 100

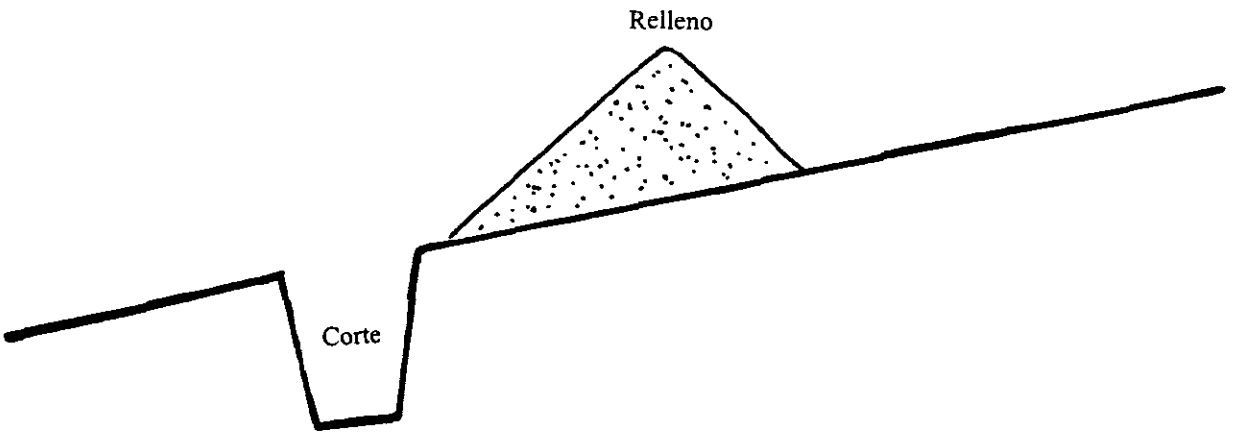



**Figura 7. Vista transeccional del deseño de terrazas naturales *Fanya juu*.**

días hombre/ha/año se han dado (Sheng 1979). Los requisitos de mano de obra varían grandemente. En Sierra León, bordos de piedra requieren sólo 31 días hombre/ha/año en pendientes de 31% y en Africa Occidental 180 días hombre/ha/año son requeridos (Durand 1984 en Roose 1988, Millington 1982) (Tabla 7).

Sin embargo, se demostró que las terrazas con muros de piedra no fueron efectivas en República Dominicana en pendientes de 30% bajo cultivos mixtos, donde la pérdida de suelo con terrazas con muros de piedra fue medido en 163 toneladas/ha/año mientras que la pérdida de suelo en parcelas bajo agricultura tradicional de granos mixtos y sin terraplenado fue medido en 187 toneladas/ha/año, siendo sólo un poco más alto (Veloz y Logan 1988). En este caso, la erosión de las dos parcelas fue extremadamente alta y las terrazas no estaban trabajando suficiente para controlar la pérdida de suelo. En el mismo estudio, donde había un sistema de cero labranza en práctica, la pérdida de suelo midió sólo 2 toneladas/ha/año que es una reducción considerable para una práctica que demanda menos mano de obra (Veloz y Logan 1988). Las barreras de piedra tampoco fueron efectivas en reducir la escorrentía en este mismo estudio. Escorrentía proveniente de terrazas con muros de piedra se midió en 142 mm/ha/año, mientras que de parcelas cultivadas tradicionalmente fué de 166 mm/ha/año y sólo 11 mm/ha/año en parcelas con cero labranza bajo una precipitación media de 1530 mm/ha/año en pendientes de 30% (Veloz y Logan 1988). En Java, la escorrentía de terrazas de bordo en tres sitios fue de 4963, 1305 y 990 mm/ha/año mientras que de pacelas cultivadas tradicionalmente fué menos, 4263.4, 885 y 390 mm/ha/año respectivamente, los tres sitios estando bajo las mismas condiciones (1945 mm precipitación anual) (Fagi y Mackie 1988).

Bordos de Suelo ó Terrazas Naturales Fanya juu

Fanya juu es una forma de terraplenado progresivo ó natural que es comunmente utilizado en Africa e Indonesia (Figura 7). Fanya juu (significando en Swahili "tirar hacia arriba") se da cuando el suelo excavado se tira cuesta arriba para

formar un bordo. La escorrentía es captada por la zanja y deja que el agua se infiltre despacio. Los bordos deben de ser de 1 m de ancho en la base y 0.5 m de ancho en la parte superior (en forma de pirámide), con una altura de 0.5 ms. Estas deben de ser diseñadas para que la parte superior del bordo más bajo esté al nivel de la mitad de la pendiente para el siguiente bordo de arriba. Las desventajas de las terrazas faya ju incluyen altos costos de mano de obra para su construcción y mantenimiento, irregularidad del ancho de las terrazas y bordos y acceso inconveniente, particularmente con el uso de maquinaria agrícola.

Medidas en Etiopía demuestran la efectividad potencial de bordos en contorno *fanya juu*, donde durante un período de dos años este sistema de terrazas redujo la pérdida de suelo desde 123 toneladas/ha/año bajo cultivo tradicional a 56 toneladas/ha/año en pedientes de 28% (Kejela 1992 y Keddeman 1992). Un segundo sitio con pendientes de 12% demostró una pérdida de suelo con fanya yu de 73 toneladas/ha/año el primer año y de 39 toneladas/ha/año el segundo año (medidas de 1985 y 1986), ambas en suelos que demostraron pérdidas de suelo de 269-322 toneladas/ha/año con una pendiente de 16% bajo condiciones de tierra pobre (Kejela 1992). En Sierra León, sistemas de cultivo tradicionales resultaron en 41-5 toneladas/ha/año mientras que con bordos de suelo hubieron pérdidas de suelo de 18 toneladas/ha/año en pendientes de 31% (Lal 1990, Millington 1982) (Tabla 2).

Investigaciones en la pérdida de nutrientes a causa de escorrentía y erosión, principalmente asociados con sedimentos erosionados demostraron disminuciones significtivas en la pérdida de nutrientes utilizando terrazas *fanya juu* (Kejela 1992) (Tabla 8). Se llevó a cabo un estudio en sistemas de terrazas *fanya juu* y la pérdida total de N y P fueron calculados en Birr/ha/año para 1985-1986 (2.07 Birr Ethiopia = $1 US). En terrazas fanya yu se calculó una pérdida de 766.7 Birr/ha/año en comparación a una pérdida de 1613 Birr/ha/año en parcelas tradicionales y 2524 Birr/ha/año en tierra degradada sin cobertura (Kejela 1992). Bajo cultivo tradicional en pendientes de 28% hubo un pérdida de 61 kg/ha de N y una pérdida de 31.5 kg/ha de P, mientras que bajo sistemas fanya yu sólo resultó en una pérdida de 26.3 hg/ha de N y en una pérdida de 13.2 kg/ha de P. Bordos gradeados reducieron estas pérdidas aún más a 16.7 y 12.2 kg/ha para N y P, respectivamente. Bajo tierras infértiles con cobertura de zacate sólo hubo una pérdida de 128 kg/ha para N y una pérdida de 51 kg/ha para P. Los sistemas *fanya juu* también aumentaron la tasa de infiltración de 0.2 cm a 5.5 cm bajo parcelas tradicionales en pendientes de 28%, un incremento dramático de la cantidad de agua que se puede percolar dentro de la columna de suelo. Las terrazas

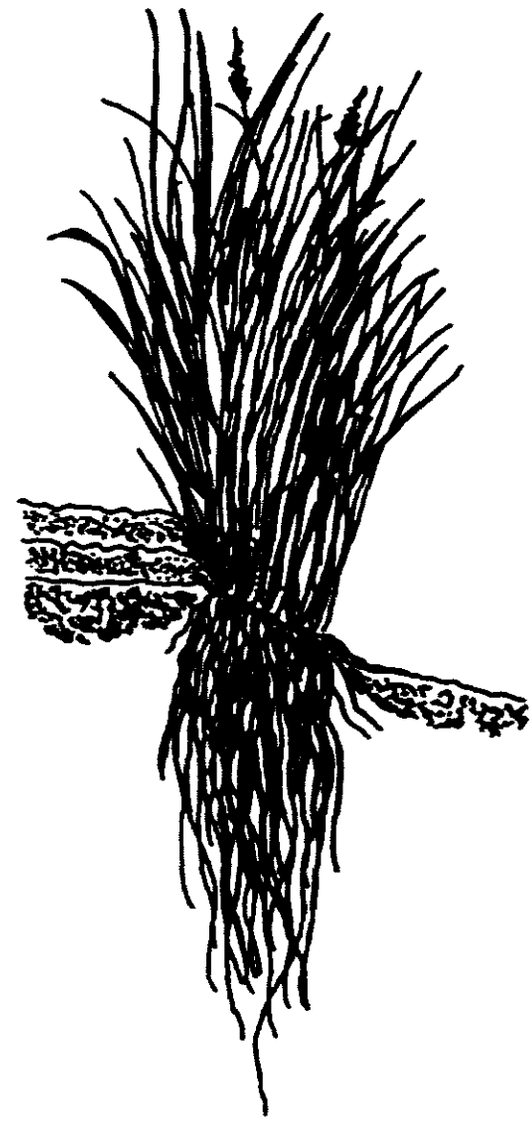


**Figura 8. Barreras de zacate utilizadas para formar barreras naturales. Vista transeccional demonstrando acumulación de suelo atrás de la barrera (LUPE 1996).**

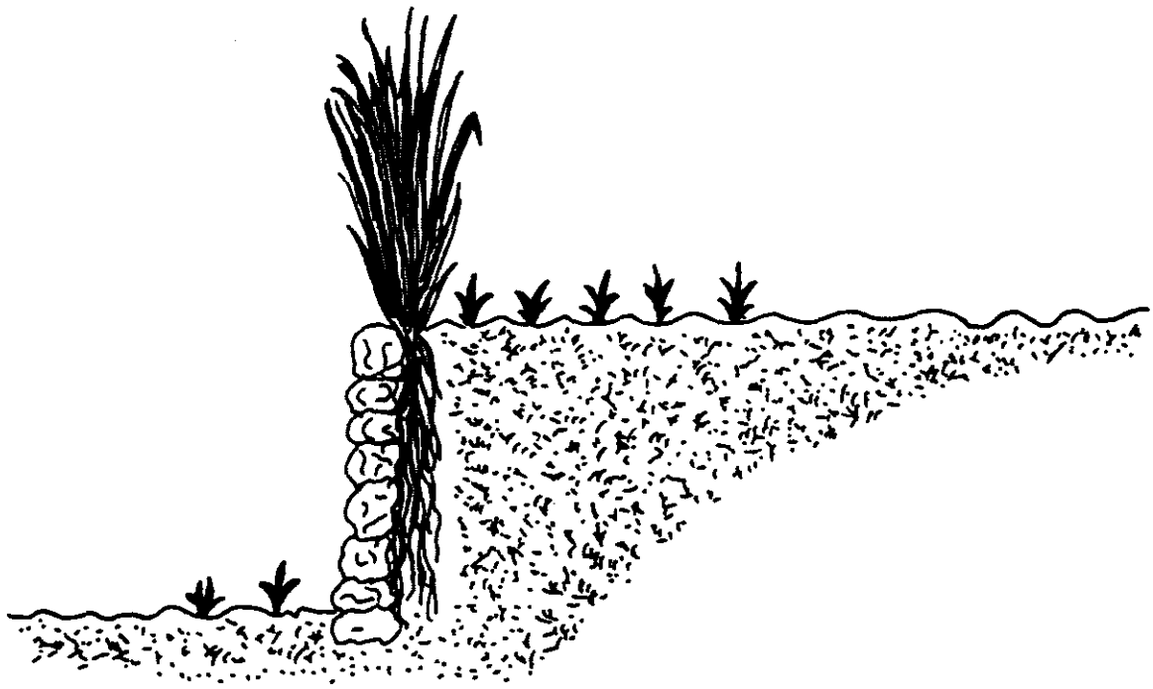


**Figura 9. Vista transversal de una barrera de zacate combinada con muro de piedra para crear una terraza natural (LUPE 1994).**

*fanya juu* incrementaron significativamente la disponibilidad de nutrientes en este caso y así redujeron la pérdida económica.

En Kenya, el incremento en la producción y el rendimiento del cultivo fueron medidos y se llevó a cabo un análisis costo/beneficio (Tjernstrom 1992). El estudió demostró una diferencia relativa de un 47-48% en el aumento de rendimiento entre terrazas *fanya juu* y parcelas sin terraplenado (en pendientes de 9-16% en 700-1200 mm). El ingreso anual promedio fue 55% más alto para parcelas con terraplenado que para parcelas sin terraplenado. El análisis costo/beneficio calculó que el terraplenado *fanya juu* tiene una tasa de rentabilidad interna (TIR) de 59% porque los costos de construcción y mantenimiento son bajos en comparación con los beneficios a largo plazo. El estudio utilizó un requisito de mano de obra de 390 días hombre/ha/año para parcelas con agricultura tradicional y 454 días hombre/ha/año para parcelas con terraplenado en los cálculos de costo/beneficio (Tjernstrom 1992). La diferencia media ponderada utilizada en el rendimiento de maíz y frijol entre tierras con y sin terraplenado fué de 400 kg y 77 kg, respectivamente. Las conclusiones de este estudio contrastan dramáticamente con un estudio similar que también se llevó a cabo en la misma región de Kenya (Distrito de Machakos) en terraplenado fanya yu, en el cual la TIR fué de 10%. Pagiola (1994) concluyó que tomaría 48 años para llegar a un nivel de rentabilidad con terraplenado *fanya juu*, dado los costos de su construcción. El estudio utilizó la EUPS para estimados de pérdida de suelo de 46.3 toneladas/ha/año, equivalentes a una reducción promedio en la profundidad de la capa superior de suelo de 3 mm/año dada una densidad

aparente del suelo de 1.52 g/cm3 y 107 días hombre/ha/año para los costos de construcción (Pagiola 1994). Una de las diferencias entre los dos estudios fué la diferencia en el rendimiento. Tjernstrom (1992) utilizó una diferencia de rendimiento fija, lo cual Pagiola (1992) no lo hizo. Tjernstrom (1992) utilizó diferencias medidas en el campo y Pagiola (1994) utilizó cálculos basados en factores estimados y los dos estudios tuvieron una tasa de rentabilidad interna muy diferente. Sin embargo, el contraste de los resultados de estos dos estudios ilustra las dificultades involucradas en la estimación de los costos, beneficios, ventajas y desventajas económicas de las diferentes prácticas de conservación de suelo.

Barreras Vivas ó Vegetativas Utilizando Zacates, Arbustos y Arboles Multi-usos

La siembra de zacate, arbustos y árboles a lo largo de las curvas a nivel es un método común de estabilizar el suelo por medio de las raices y crear una terraza natural para proporcionar una barrera para la escorrentía y la erosión (Figura 8). La estabilidad de la pendiente depende del peso de la carga, la geometría de la pendiente y la resistencia dada por la fuerza del sistema de raices en el suelo (Morgan y Richson 1995). Las barreras vivas son plantas herbáceas perennes de crecimiento denso y de sistemas de raices fuertes los cuales son resistentes al flujo de agua sobre la superficie y sirven para detener las partículas de tierra a medida que se mueven hacia abajo sobre la gradiente. Las barreras vivas sirven para controlar la erosión ya que reducen la velocidad de la escorrentía, mejorando la tasa de infiltración y reteniendo suelo (LUPE 1996). Las raices finas (1-20 mm de diámetro) son las que más contribuyen al refuerzo del suelo (O'Loughlin 1984 en Wu 1995). Zacates, leguminosas y pequeños arbustos pueden tener un efecto significante de refuerzo a una profundidad de 1.5 m y árboles pueden realzar la fuerza del suelo a 3 m ó más (Wu 1995).

La combinación de vegetación con obras físicas de piedra o tierra es muy deseable para reducir el riesgo de deslices en laderas (Figura 9). Vetiver (*Vetiveria spp.*) es un zacate comunmente utilizado para barreras vivas y es considerado como el más efectivo para controlar la erosión (BOSTID 1993). Napier ó Zacate elefante (*Pennisetum purpureum*) también es comunmente utilizado para el control de la erosión y se recomienda para pendientes de hasta 30% (LUPE 1996). Sin embargo, tiene la desventaja de que no se puede usar en una sola línea como Vetiver, los tallos son más débiles, las brechas entre ellos muy anchos para detener una fuerte escorrentía y sus raices no son profundas. Zacate limón (*Cymbopogon citratus*) es común en Centroamérica, Citronela (*Cymbopogon nardus*) se encuentra en Africa y Asia, "Rhodes grass" (*Chloris gayana*) se utiliza en ciertas ocasiones como un substituto de Vetiver en Africa y se cultiva para forraje y "Panic grass" (*Panicum spp.*) ó *kisosi* se utiliza como un seto en pendientes suaves (BOSTID 1993). *Calamagrostis festuca* fue sembrada en fajas arriba de las terrazas que usaban los Incas para proteger el suelo y esparcir la escorrentía.

**Tabla 8. Distanciamiento y especificaciones para la siembra de vetiver (Leonard 1992a).**

| Distanciamiento Recomendado para Barreras Vivas en el Contorno de Diferentes Pendientes | | | |
|---|---|---|---|
| Pendiente (%) | Distanciamiento entre barreras (m) | Pendiente (%) | Distanciamiento entre barreras (m) |
| 20 | 9.5 | 36 | 6.00 |
| 22 | 9.0 | 38 | 5.75 |
| 24 | 8.5 | 40 | 5.50 |
| 26 | 8.0 | 42 | 5.25 |
| 28 | 7.5 | 44 | 5.00 |
| 30 | 7.0 | 46 | 4.75 |
| 32 | 6.5 | 48 | 4.50 |
| 34 | 6.25 | 50 | 4.50 |

**Figura 10. Sistema de terrazas de barreras vivas utilizando arbustos/árboles de usos múltiples (LUPE 1994)**

Las características ventajosas de un zacate utilizado para el control de la erosión son:

- Hojas rígidas para disminuir la velocidad del flujo sobre la tierra y atrapar sedimento
- Un sistema de raices fuertes, verticales y de penetración profunda pero con limitado crecimiento horizontal de las raices, lo cual reduce la competencia con el cultivo
- Patrones de crecimiento que no son tan agresivos como para requerir un alto nivel de mano de obra para poda
- Fácil y barata de establecer
- Libre de insectos y enfermedades
- Duradera y resistente, capaz de sobrevivir en muchos tipos de suelos bajo una variedad amplia de climas
- Si se controla el acceso de ganado, se pueden sembrar especies de zacate para cosechar en un sistema de forraje de corte y estabulado
- Si no se controla el pastoreo de ganado es mejor utilizar una especie de mal sabor para los animales

LUPE (1996) recomienda Zacate limón, Zacate rey (Híbrido de *P. purpureum* x *P. typhoides*) para el uso en pendientes de hasta 20-25% y zacate Vetiver (*Vetiveria spp.*) para uso en pendientes de hasta un 60% (LUPE 1996). Las terrazas naturales de hasta 4 m de alto han sido formadas con barreras de zacate Vetiver solamente (Leonard 1992a).

Vetiver y otros tipos de zacate se propagan principalente por cepas y estacas. Las estacas deben de sembrarse a una distancia de 15 a 20 cm entre sí y enterrarse ligeramente inclinadas cuesta arriba a 5 cm de profundidad en una línea a lo largo de las curvas a nivel (LUPE 1996). Las barreras se forman metiendo las estacas en hoyos ó surcos dejando una distancia corta entre cada uno (10 cm) pero si las plantas no abundan, se pueden dejar hasta 20 cm entre medio, aunque los setos se tardarán más en cerrarse (BOSTID 1993). Se debe de podar el zacate cuando alcanza una altura de 75 cm a 1 m (LUPE 1996). Un segundo método de siembra es por caña corrida, en el cuál se corta la caña en estacas de 4 nódulos. Una vez las raices y tallos empiezan a brotar, éstos pueden ser transplantados al sitio. El listado de los parámetros

**Figura 11. Sistema de terrazas de huerto e intermitentes.**

para sembrar zacate Vetiver aparece en la Tabla 8 (Leonard 1992a).

Arboles Múltiples y Fijadores de Nitrógeno (AFN) son también comunmente usados para estabilizar terrazas y es mejor sembrarlos en la parte baja de la terraza o de la barrera de piedra para que las raices penetren y estabilizen la barrera (Figura 5 y 10). Este sistema puede usarse en varios tipos de sistemas agroforestales tales como cultivo en callejones, *Taungya* ó setos vivos y barreras (Lal 1990). Los árboles más adecuados para estabilizar terrazas deben de tener raices absorbentes profundas, mejorar los nutrientes del suelo (AFN's), preferiblemente tener otros usos benéficos, tal como forraje ó madera y ser capaz de dar nuevos brotes después de una poda severa. Estos árboles generalmente se manejan con una poda anual antes de la época de cultivo para reducir la sombra y minimizar la competencia con la cosecha agrícola. *Leucaena leuecophala* y *Gliricidia sepium* son dos especies comunmente utilizadas, auque hay una gran variedad de especies dentro de las diferentes regiones. En pendientes de hasta un 30%, se pueden sembrar árboles sólo como barrera viva en vez de a lo largo de una terrazas. Generalmente, se recomienda un distanciamiento de siembra de 5-7 m entre filas de árboles y 25-50 cm entre árboles individuales en una fila, pero en zonas más áridas una distancia de 7-10 m puede ser más efectiva (Leonard 1992b). Estos deben podarse a 0.5-1 m de altura cada año al inicio de la época de siembra y después cortarse cada 6-8 semanas para prevenir sombreado y competencia con el cultivo, pero se deben de dejar crecer durante la época seca para madera, forraje y materia orgánica (Leonard 1992b).

Estudios demuestran que las barreras de zacate pueden ser efectivas en reducir la pérdida de suelo. En la República Dominicana, una barrera de zacate combinada con zanjas de ladera en pendientes de 30% redujeron la pérdida de suelo de 1254 toneladas/ha/año en una parcela descubierta y 187 toneladas/ha/año bajo un cultivo tradicional mixto sin conservación a 81 toneladas/ha/año utilizando barreras de zacate. En el mismo sitio, la escorrentía disminuyó de 579 y 166 mm/ha/año (parcela descubierta y tradicional, respectivamente) a 111 mm/ha/año bajo barreras de zacate (Veloz y Logan 1988). Sin embargo, un sistema de cero labranza redujo la escorrentía a 11mm/ha/año y redujo la pérdida de suelo a 2 toneladas/ha/año en el mismo sitio. En El Salvador, donde resultados de

estudios demostraron una pérdida de suelo de 110-127 toneladas/ha/año bajo cultivo tradicioanl con maíz y frijol en una pendiente de 30%, terrazas con barrera de zacate con maíz y frijol redujeron la erosión del suelo a 71.5 toneladas/ha/año (Sheng 1979). En Indonesia, parcelas sin conservación en pendientes de 33-38% bajo cacahuete/maní y maíz producieron una pérdida de suelo de 4 toneladas/ha/año y bordos de barrera de zacate producieron 0.7 toneladas/ha/año (Siebert y Belsky 1990). Los resultados demostraron que las terrazas redujeron la pérdida de suelo por un 70% mientras que barreras de zacate redujeron la pérdida de suelo por 79-86%, claramente demostrando que las barreras de zacate fueran más costo ecectivas que las terrazas (Siebert y Belsky 1990) (Tabla 2). Un estudio en Etiopía demostró una pérdida de nutrientes más baja en pendientes de 12% de 84.5 hg/ha/año en parcelas tradicionales sin conservación a 69 hg/ha/año para N y de 15.5 a 9.9 hg/ha/año para P bajo barreras de zacate (Kejela 1992) (Tabla 8).

Aunque las barreras de zacate por sí solas puedan ser menos efectivas que las terrazas de banco en reducir la pérdida de suelo y escorrentía, éstas pueden ser muy efectivas si se combinan con terrazas de banco, barreras de piedra y/ó zanjas de ladera. La ventaja es que las barreras de zacate demandan menos mano de obra. En El Salvador, en pendientes de 40%, éstas requieren sólo 43 días-hombre/ha/año, mientras que las zanjas de ladera con barreras requieren 143 días-hombre/ha/año, las terrazas de banco requieren 283 días-hombre/ha/año y barreras con muro de piedra con desagüe requieren 310 días-hombre/ha/año (Wiggins 1981) (Tabla 7).

### *Terrazas de Huerto e Individuales*

Las terrazas de huerto son un tipo discontinuo de terrazas de banco angostas con pendiente inversa que es aplicable en pendientes de hasta 58% (Sheng 1977, 1989) (Figura 11). El distanciamiento entre dos terrazas de huerto se determina por la distancia de siembra de la plantación. Los espacios entre los árboles debe de ser protegido por una cobertura vegetativa permanente. Una terraza de huerto usualmente sirve para dos filas de árboles. El ancho de cada terraza es de 1.75 m y el área de la plataforma se determina como A=L x Wb, donde L es la longitud de la terraza y Wb es el ancho del banco (FAO 1982, Sheng 1986) (Tabla 3). LUPE (1994) sugiere una pendiente inversa de 5% (15cm para una plataforma de 1.5 m de ancho) y que se utilizen para cultivos permanentes. Las especificaciones para terrazas de huerto hechas a mano aparecen en la Tabla 11 (FAO 1988).

Las terrazas individuales son pequeños bancos redondos usados para sembrar plantas individuales (Figura 12). El diámetro se ajusta a las necesidades de la plantación. Los parámetros recomendados para las terrazas individuales son 1.5 m de diámetro y una pendiente inversa de 10% (15 cm) y con un intérvalo vertical de 0.75:1 a 1:1 para el intérvalo horizontal:vertical (LUPE 1994). Las ventajas de las terrazas individuales están en la retención de la humedad del suelo, particularmente si se utiliza mulch, menor necesidad de desyerbar y que éstas se pueden construir en terreno desnivelado y suelos poco profundos.

En Java, Indonesia, se estudiaron una variedad de diseños de terrazas, rindiendo una pérdida de suelo de 106.4 toneladas/ha/año en parcelas tradicionales y 9.6 toneladas/ha/año en terrazas individuales. Sólo las terrazas de banco fueron mejor en controlar la pérdida de suelo en este sitio en particular, demostrando una pérdida de suelo de 7.5 toneladas/ha/año. Las terrazas de bordo demostraron una erosión de suelo más alta de 150 toneladas/ha/año (Tabla 2). Las terrazas individuales requieren aproximadamente 12 días hombre/ha/año en pendientes de 44-60% para su construcción en El Salvador (200 terrazas en 1 ha), menos requisitos de mano de obra que para terrazas de huerto las cuales requieren 100 días hombre/ha/año para pendientes de 15% (Wiggins 1981).

## Resumen de Diseños de Terrazas

Las especificaciones de diseño para todos los sistemas de terrazas varían con las condiciones del sitio (topografía, precipitación, tipo de suelo, diseño del sistema de terrazas y pendiente). Entre los factores afectando qué método de conservación de suelo es más apropiado están patrones de lluvia

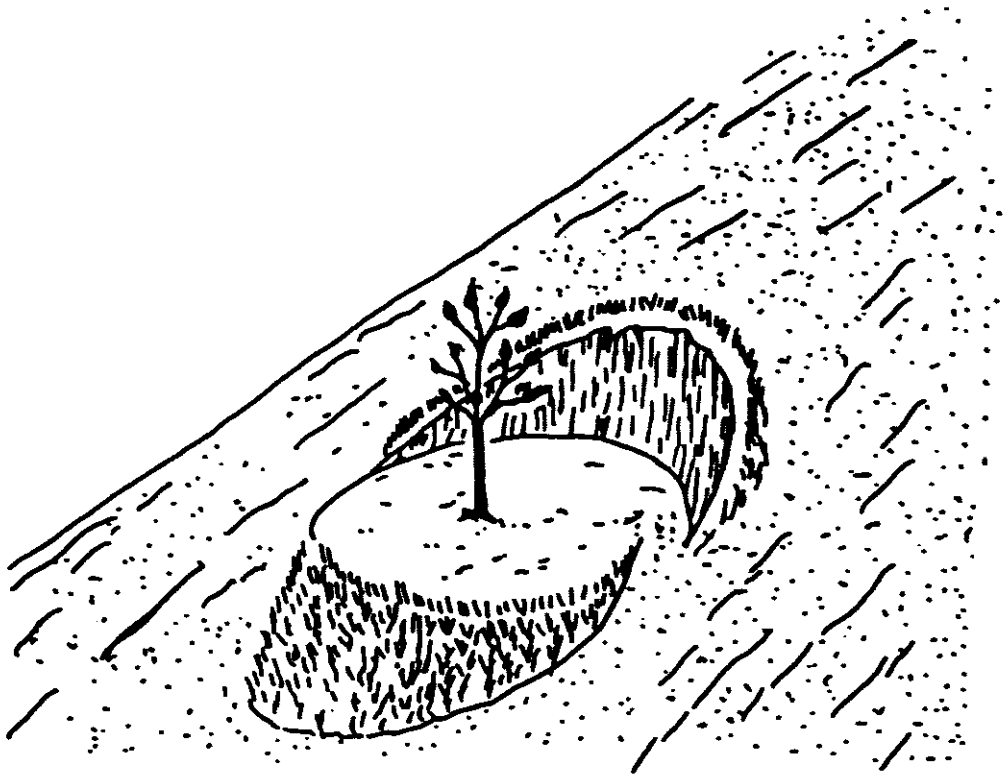


**Figura 12. Terraza individual (LUPE 1994).**

**Tabla 11. Especificaciones para terrazas de huerto hechas a mano con distanciamiento entre árboles de 6 x 6 m, un intérvalo horizontal de 10.5 m y un ancho de plataforma de 1.75 m (FAO 1988).**

| Pendiente | | ESPECIFICACIONES | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| % | Grado | U | TVI (m) | RH (m) | Hr (m) | Wr (m) | Wt (m) | HI (m) | L (m) | A ($m^2$) | Pb (%) | C ($m^2$) | V($m^3$) |
| 48 | 25.6 | 0.75 | 1.31 | 0.18 | 0.75 | 0.56 | 2.87 | 10.5 | 952 | 1667 | 16.67 | 0.33 | 314 |
| 50 | 26.6 | 0.75 | 1.40 | 0.18 | 0.79 | 0.59 | 2.93 | 10.5 | 952 | 1667 | 16.67 | 0.35 | 333 |
| 52 | 27.5 | 0.75 | 1.49 | 0.18 | 0.84 | 0.63 | 3.01 | 10.5 | 952 | 1667 | 16.67 | 0.37 | 352 |
| 54 | 28.4 | 0.75 | 1.59 | 0.18 | 0.89 | 0.67 | 3.09 | 10.5 | 952 | 1667 | 16.67 | 0.39 | 371 |
| 56 | 29.2 | 0.75 | 1.69 | 0.18 | 0.94 | 0.71 | 3.17 | 10.5 | 952 | 1667 | 16.67 | 0.41 | 390 |
| 58 | 30.1 | 0.75 | 1.80 | 0.18 | 0.99 | 0.74 | 3.23 | 10.5 | 952 | 1667 | 16.67 | 0.43 | 409 |

U = Pendiente del talud
TVI = Intérvalo Vertical Teórico
RH = Altura Invertida
Hr = Altura del talud

Wr = Ancho del talud
Wt = Ancho de la terraza
HI = Intérvalo Horizontal
L = Longitud de la terraza por ha

A = Area los bancos (área plana) por ha
Pb = Porcentaje de los bancos
C = Sección transversal de la terraza
V= Volúmen del corte por ha

(distribución e intensidad), tipo de suelo, estructura y textura, topografía (declive y longitud de la pendiente), prácticas agrícolas, influencias socioeconómicas y culturales y los costos y beneficios del control de erosión y escorrentía (LUPE 1994).

Previos estudios de investigación, resumidos en la Tabla 2, sirven para dar una idea a cerca de la efectividad de las prácticas de conservación y para evaluar el uso de terraplenado como un método de conservación de suelo en localidades particulares. Sin embargo, existen dificultades para hacer comparaciones entre sitios y extrapolar generalizaciones significativas para tomar decisiones. Un obstáculo para hacer un análisis comparativo está en las diferencias en área y tamaño de los colectores en el campo utilizados para hacer medidas. Variación en la longitud de las parcelas estudiadas puede producir grandes diferencias en las medidas de erosión. La gran cantidad de literatura gris sobre este tema y la dificultad en muchos casos de obtener información específica sobre los tamaños de las parcelas hacen peor el problema. Estos obstáculos deben de tenerse en mente al comparar resultados de estudios y al hacer conclusiones sobre ellos. Sin embargo, los resultados de los datos, cuando son vistos en conjunto y comparativamente, llevan a la conclusión que, como estructuras para reducir la pendiente de laderas, adaptadas para condiciones específicas de un sitio, las terrazas pueden reducir efectivamente la pérdida de suelo y la escorrentía. Varios estudios indicaron que el rendimiento de la cosecha puede incrementar con terraplenado, así como la biomasa total sobre la superficie, el contenido de materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes.

Los factores económicos a considerar que influyen cuál método de conservación de suelo es apropiado usar incluyen mano de obra (Tabla 7) y el costo del material de construcción y de mantenimiento en comparación con los beneficios recibidos a travez de un incremento en la productividad ó longevidad de la producción (como resultado de un incremento en la disponibilidad de nutrientes en el suelo, la capacidad de retener agua y el mantenimiento de la estructura del suelo). Dado que los costos y los beneficios de las terrazas como una medida de conservación no han sido bien investigados, estos factores son difíciles de evaluar.

# EFECTIVIDAD DE TERRAZAS HECHO DE MUROS DE PIEDRA EN UN SISTEMA AGRICOLA EN LAS TIERRAS DE LADERA EN EL SUR DE HONDURAS

## Fondo de programas de terrazas hecho de muros de piedra en el sur de Honduras

Aproximadamente 80% del área de Honduras se clasifica como tierra de ladera (pendientes con un grado de inclinación mayor que 20%). Históricamente, estas laderas fueron del bosque, y son el nacimiento del los sistemas de ríos del país. El crecimiento rápido de la población y el escasez de tierra baja cultivable han resultado en el descombrar por campesinos de las tierras de ladera para crecer comida. Aproximadamente 75% de la producción de los granos básicos (e.g. maíz, sorgo, frijoles) en Honduras se deriva de la cultivación de tierras de ladera (USAID 1980), así estas tierras son la fundación de la producción de comida en el país. Los granos básicos proveen 75% de los requisitos de energía dietética y 64% de la proteína para las casas del sur de Honduras.

Más de 60% de parcelas agrícolas en las tierras de ladera son menos de 5 hectáreas en tamaño (Lopez-Pereira et al. 1990). La mayor parte de las casas luchan para satisfacer sus necesidades de la tierra. La situación grave de estos agricultores se refleja por el dato que aproximadamente dos-tercios de los niños en el sur de Honduras reciben una nutrición inadecuada en algún punto durante los primeros cinco años de vida (DeWalt and DeWalt 1987). Una encuesta de agricultores de las tierras de ladera demonstró que el lograr del nivel necesario para el consumo de la familia fue su objectivo principal (Lopez-Pereira 1990). Estos datos indican que las laderas son un recurso importante utilizado por los campesinos agrícolas para tratar de satisfacer sus necesidades de subsistencia. Por eso, mientras es preferible por razones del ambiente que las laderas permanecen del bosque por la protección de la cuenca, la necesidad de la subsistencia y la presión socio-política hacen impráctico contar con el removimiento de los agricultores por el gobierno en el futuro previsible.

El descombre del bosque, el sobrepastoreo y las prácticas tradicionales de "corte y quema" en las tierras de ladera (parcelas cultivadas con un grado de inclincación mayor de 50% no son incomúnes) han resultado en la degradación severa de los suelos en la región. La creciente presión del uso de la tierra ha causado un ciclo de barbecho más corto y ha incrementado el porcentaje de la tierra bajo cultivo. Los datos sobre el uso de la tierra de la región muestran que la cantidad de tierra considerada "erosionado" aumentó de 397,000 hectáreas en 1972 a 760,000 en 1983, un incremento de 91% (USAID, 1989). Un consenso general entre profesionales trabajando en la región sobre cuestiones del manejo de los recursos naturales es que esta tendencia ha continuado hasta el presente.

El cultivo de tierras de ladera presenta algunos desafíos severos de sostenibilidad a los residentes de la cuenca entera. Las laderas, combinadas con lluvias intensas durante el período de crecimiento, hacen que las tierras descombradas sean muy susceptibes a la erosión. Es clave en este tipo de ambiente que la energía de la gota erosiva de lluvia sea disipado por colocar la cobertura. También es clave que el suelo esté atado a al ladera para prevenir el deslizamiento de tierras cuando el suelo está mojado. La cobertura de árboles históricamente presente en los pendientes satifazó esta necesidad por medio de suministrar una cobertura completa de hojas y por atar el suelo a la ladera con sus raices profundas. Cuando los árboles son removidos por prácticas tradicionales de corta y quema, las tierras del sur de Honduras con un grado de inclinación de 60% han sido documentadas tener una tasa promedia de erosión de 92 toneladas/hectárea/año (Thurow et al. 1998). Para dar perspectiva en este numero, éste representa una pérdida de aproximadamente 0.7 cm de profundidad del suelo. Así que la capa superficial en estos pendientes es frequentamente sólo 10-20 cm de profundidad, es claro que este uso de tierra no puede ser practicado por más de unas décadas.

En 1980, la Agencia por el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID) y el

Ministerio de Recursos Naturales de Honduras comenzaron el proyecto Manejo de Recursos Naturales (PMNR) con el propósito de combatir la degradación que estaba ocurriendo en las tierras de ladera cultivadas. Un enfoque primario del PMNR fue trabajar con los agricultores para establecer muros de piedra para la formación de terrazas en las tierras de ladera. Esta tarea fue acercada por medio de organizar los agricultores participantes en grupos de 10-20 individuos de la comunidad. Los grupos participaron en la construcción de estructuras para la conservación del suelo en la parcela agrícola de cada miembro. Esta organización suministraba un fuente laboral que podría satisfacer los requisitos físicos de construcción que frecuentamente son demasiado difícil para un agricultor individuo.

Muros de piedra fueron construidos durante la estación seca porque durante la estación de cultivo hay un escasez de manos de obra asociado con la esfuerza necesaria para sembrar, escardar y cosechar. Hay la competición por manos de obra en la estación seca también, así que muchos individuos se irán de la área para ganar dinero trabajando como obreros estacionales en tierras que producen cosechas como café, cantalupos y cano de azúcar. Por eso, el esfuerzo laboral fue subvencionado por el programa de extensión.

Muros de piedra, construido a una estatura de aproximadamente 1 m, fueron construidos a lo largo de los conturnos de los pendientes a intervalos de 6 m. Estos parámetros de construcción fueron un compromiso entre los intereses de los agricultores y normas ingenieras. Ecuaciones ingenieres estándardes para calcular el criterio de construcción por terrazas hecho de muros de piedra (Table 4) indican que los muros deben ser mucho más altos y más cercanos el uno al otro para lograr la protección máxima de la erosión del suelo en los pendientes +50% en la región. De facto, las normas de FAO no recomiendan que terrazas sean construidos en pendientes mayor de 47% (FAO 1977) a causa de la necesidad por bancos muy estrechos y muros extremadamente alta que llegan a ser muy difícil de protejer y mantener. Los agricultores fueron maldispuestos a participar en un programa que propuso muros altos y muy cercanos -- 1 m de altura y 6 m entre terrazas fue la configuración más alta y cercana que podía lograr un consenso general por la participación de los agricultores. Esto significa que cuando los muros están llenados de sedimento, el pendiente de una terraza de banco de 50% sea reducido a aproximadamente 35%. Por eso, la protección máxima que sea asociado con el traer del grado banco a 0% slope no fue posible. No obstante, los agricultores y extensionistas todavía sentieron que este compromiso en el diseño de la construcción ofreció beneficios valiosos.

El primer etapa en el diseño de la construcción fue excavar una zanja para la fundación que fue acerca de 50 cm de profundidad para el muro de retención. Esta zanja fue cavado para crear una fundación firme para el muro. El suelo removido de la zanja de fundación fue depositado hacia arriba del pendiente. La área detrás del muro fue un lugar conveniente para depositar subsuelo donde gradualmente se cubra por la capa superficial erosionada que estaba moviendose hacia abajo del pendiente. El segundo etapa fue traer piedras al sitio de la construcción del muro. Piedras fueron recogidos del terreno y traídos al sitio o por mano o por usar ensanchadores llevados por dos hombres. Aunque piedras grandes fueron numerosos en el terreno, fue una tarea muy rigurosa levantarlas y moverlas a su lugar mientras atravesar pendientes escarpados. El etapa final fue construir el muro de retención. Las piedras más grandes fueron colocados al base de la zanja y encajados la una con la otra. El espacio entre las piedras grandes fue llenado con piedras pequeños. Así que no materia cementa fue usado para sujetar las piedras, agua excesa desagua por el muro cuando el suelo llega a ser saturado.

Para fortalecer los muros de piedra, plantas de semilleros de Leucaena (*Leucaena leucocephala*) fueron sembradas por lo largo de la base de los muros. Leucaena son árboles multi-usos que proveen un mulch rico en nitrógeno al suelo y son un fuente conveniente de combustible de madera. Los árboles son manejados por podarlos cuando llegan a ser 2 m de altura a una altura de 1 m.

Entrevistas informales en los sitios agrícolas indican que 7-10 años después de la

construcción, todos los agricultores percibieron que su tierra con terrazas fue más productiva que las parcelas adyacentes sin terrazas (Thompson 1992, Sierra 1996). El agotamiento rápido del agua del suelo y la fertilidad baja fueron dados como los obstáculos principales al crecimiento de las cosechas en los sitos sin terrazas. Un testamiento al valor percibido de muros de piedra fue que agricultores voluntariamente los mantienen sin subvenciones adicionales. Pequeños agricultores enfrentado con una decisión entre maximizar los ingresos en el presente o hacer un inversión en beneficios del largo plazo en la forma de técnicas de conservación del suelo usualmente optarán por maximizar los ingresos en el presente, aunque esto implica destrucción potencial de su base de recursos naturales en el largo plazo (Ashby 1985). Por eso, aunque agricultores en la región reconocen de buena gana la ventaje de tener terrazas hechas de muros de piedra en sus parcelas, las exigencias del labor arduoso asociado con la construcción de muros de piedra, y la posibilidad de ganar dinero si están dispuestos a trabajar como obreros migratorios estacionales, resultan en poca construcción de muros de piedra sin subvencionamientos. La necesidad aparente de subsidizar la construcción inicial de muros de piedra el un problema obvio cuando fondos no están disponibles. Por eso, cuando el PMNR terminó en 1990, el proyecto siguiente (el proyecto Mejoramiento del Uso y Productividad de la Tierra (LUPE)) cambió el enfoque a establecer barreras de vegetación más barratas (AID 1989).

Agricultores expresaron que fue especialmente útil tener terrazas durante una sequía cuando las cosechas en los suelos erosionados y pocos profundos de las parcelas sin terrazas mostraron señales de susceptibilidad a una sequía más temprano, a veces resultando en una cosecha de grano que fue suprimido o un fracaso completo. Agricultores en la región quejan de la frecuencia creciente y consecuencias de sequía. Esta percepción no está soportado por registros de precipitación del largo plazo, pero hace sentido porque la profundidad reducida del suelo, asociada con la erosión resulta en la capacidad reducida del suelo de retener agua. Suelos menos profundos significan que cosechas agotan la agua retentida por el suelo más prontamente y son susceptibles a la sequía por períodos más frecuentes y largos. Por eso, la frecuencia percibida y consecuencias de susceptibilidad a una sequía crecen, aunque no hay evidencia para soportar una cambia en la cantidad o distribución temporal de la lluvia. La necesidad por la retención del agua es especialmente importante en regiones como el sur de Honduras donde hay normalmente un período seco (canicula) que ocurre en la media de la estación de crecimiento. Las terrazas de piedra ayudan a guardar los suelos en las laderas, de este modo ayudando a mantener la capacidad del suelo de retener agua.

Es necesario considerar una variedad de factores cuando uno evalua si una inversión en una tecnología de conservación está valiosa. El texto siguiente incluye datos en como terrazas de 10-años de edad de piedra han influido el agua, el suelo, y los característicos de rendimiento cuando se comparan con parcelas adyecentes donde terrazas no fueron instalados. Artículos futuros en este serie de Programa de Investigación Colaborativo de Manejo de Suelo (CRSP) van a evaluar el agua, el suelo, y los dinámicos de producción de otros tratamientos de conservación (i.e., barreras vivas de vetiver, mulch de gliricidia y tierra en barbecho). Las costas y beneficios de todas estos tratamientos de conservación van a ser analizados y comparados en artículos futuros en este serie.

## Efectos de Terrazas de 10-años de Edad de Piedra

El CRSP de Manejo de Suelos de la Universidad de Texas A&M ha estado trabajando desde 1992 hasta el presente (1998) con LUPE para enfrentar problemas de conservación de agua y suelo que tienen su origen en las partes altas de la cuenca. Se están evaluando la pérdida de agua, suelo, y nutrientes asociada con sistemas corrientes de las tierras altas, y como cada de estos factores está influido por tecnologías prácticas de conservación de suelo y agua. El discernimiento obtenido por medio de esta investigación ayudará a desarrollar tecnologías mejoradas que pueden ser diseminadas por los esfuerzos de extensión de LUPE.

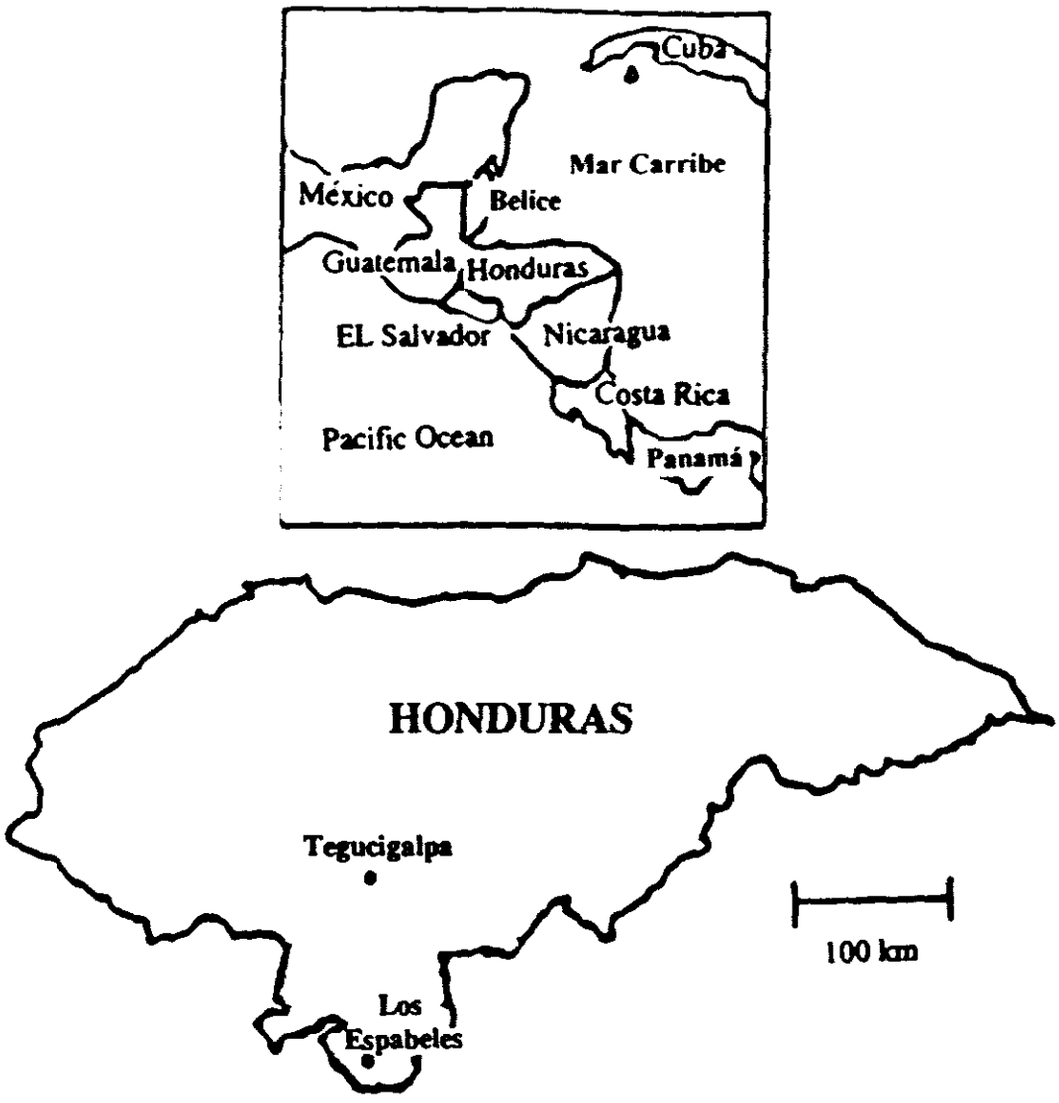



**Figura 13. Ubicación de Los Espebeles, la área del estudio en Honduras.**

### *Area de estudio*

Los efectos de terrazas hecho de muros de piedra, construidas hace diez años, en las dinámicas de agua, suelo, y producción, fueron documentados en las tierras de ladera de Los Espabeles, Namisiqüe (13° 14'N, 87° 05'W -- ubicado 15 km sureste de Choluteca, Honduras) (Figura 13). Esta área tiene un clima caracterizado por una estación lluviosa (mayo-octubre) y una estación seca (noviembre-abril). La primera porción de la estación lluviosa es conocida como la "primera" (mayo a julio); la segunda porción es conocida como la "postrera" (agosto-octubre). La estación mojada está interrumpido por unas semanas del periodo seco en julio o agosto, llamado la "canicula" (Arias y Gallaher 1987). La precipitación promedia anual varia de 1800 a 2900 mm y está distribuido en una forma bimodal. La precipitación ocurre principalmente como tronadas intensas. La temperatura media anual es 26° C y varia muy poco entre estaciones (Proyecto Manejo de Recursos Naturales 1984).

La área bajo del estudio está situado dentro de la Cuenca del Rio Sampile-Guasaule que se caracteriza por colinas escarpadas y montañas de basalto levantado y formaciones de granito que cubren 62% de la área de la tierra. Una llanura de la costa extiende de las colinas a la costa.

**Tabla 11. La comparación de escorrentía y sedimento entre las parcelas sin terrazas y las con terrazas de 10-años de edad en Los Espabeles, Honduras. Promedios dentro de cada mes seguido por la misma letra no son significativamente diferente ($P \leq 0.1$).**

| Mes | Precipitación (mm) | Escorrentía (mm) | | Sedimento (kg/ha) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Con terrazas | Sin terrazas | Con terrazas | Sin terrazas |
| Junio | 430 | 9 b | 16 a | 614 a | 628 a |
| Julio | 198 | 12 b | 30 a | 616 a | 397 a |
| Agosto | 738 | 12 a | 17 a | 271 a | 173 a |
| Septiembre | 569 | 7 b | 19 a | 54 a | 58 a |
| Octubre | 487 | 13 b | 59 a | 231 a | 284 a |
| Total | 2422 | 53 b | 141 a | 1785 a | 1540 a |

La mayor parte de esta área alta está entre 200 y 500 m encima del nivel del mar. Debido en parte a la topografía quebrada de la sub-cuenca Namasigüe, había una gran cantidad de variabilidad en la pedogénesis del suelo. Los suelos fueron derividos de materia parental sedimentario sobre roca volcánica intrusiva como granito diorítico. Los suelos derividos de la materia basáltica fueron preferidos por agricultores por su condición relativamente más alta de base y fertilidad correspondente. Los pendientes con suelos de fertilidad baja, derivido de materia granítica, se evitan por uso como tierra de cultivo y en vez de esto son despejado y utilizado por el pacer de ganado.

Los suelos del sitio de estudio fueron clasificados como suelo franco fino, mesclado, isohipertérmico Typic Ustropepts (Inceptisol) con altos grados de saturación del base (>80%), utilizando la criteria de clasificación de los Claves a la Taxonomía de Suelo (Soil Staff Survey 1992) y tablas de colores de Munsell (Munsell color charts) (Munsell 1975). La profundidad de la capa superficial varió entre 7 cm en la parte más alta de las crestas en el margen de la parcela, a 31 cm cerca de la base de los pendientes, con promedios entre 14 a 17 cm. Un cambio de color del horizonte A a los horizontes Bw de los suelos en el sitio de estudio fue aparente. Los suelos tenían un ochric epipedon sobre un cambic endopedon. Los horizontes de la superficie tenían una estructura moderada con gránulos muy finos, y los horizontes Bw tenían una estructura débil de granulos finos. Hubo evidencia de iluviación de arcilla en los horizontes Bw, pero no suficiente arcilla iluvial para formar un horizonte argílico en la sub-superficie.

La siembra comienza a principios de la estación lluviosa que empieza alrededor de la segunda semana de Mayo. El maíz es tipicamente intercalado con cultivares de sorgo llamados "maicillos criollos." Estos sorgos tropicales son de tres a cuatro metros de alto, tolerantes a la sequía y sensibles al fotoperíodo.

El agricultor utiliza diferentes combinaciones de maíz y sorgo dependiendo de la fecha de siembra y de la distancia entre las semillas de sorgo y maíz. Los sistemas más comunes de cultivo que usa el agricultor son: casado, hileras alternas y surcos alternos. El sistema "casado" se refiere a la práctica de sembrar el maíz y sorgo en el mismo agujero el mismo día. En el sistema de "hileras alternas," se siembra surcos alternados de maíz o sorgo ya sea simultáneamente o se siembra el sorgo dos semanas después de que nace el maíz. En el sistema de "surcos alternos," el maíz y el sorgo se siembran alternados en los lomos de los surcos en la misma fecha o se siembra al maíz dos semanas después de que nace el sorgo. Los campesinos usan una barreta para hacer agujeros donde depositan la semilla, haciendo un agujero cada 0.9 m. Se colocan tres o cuatro semillas de maíz por agujero y alrededor de siete a diez semillas de sorgo por agujero.

Esfuerzas de extensión de PMNR y LUPE han tenido bueno éxito en convencer a muchos de los agricultores en la área de estudio a no quemar

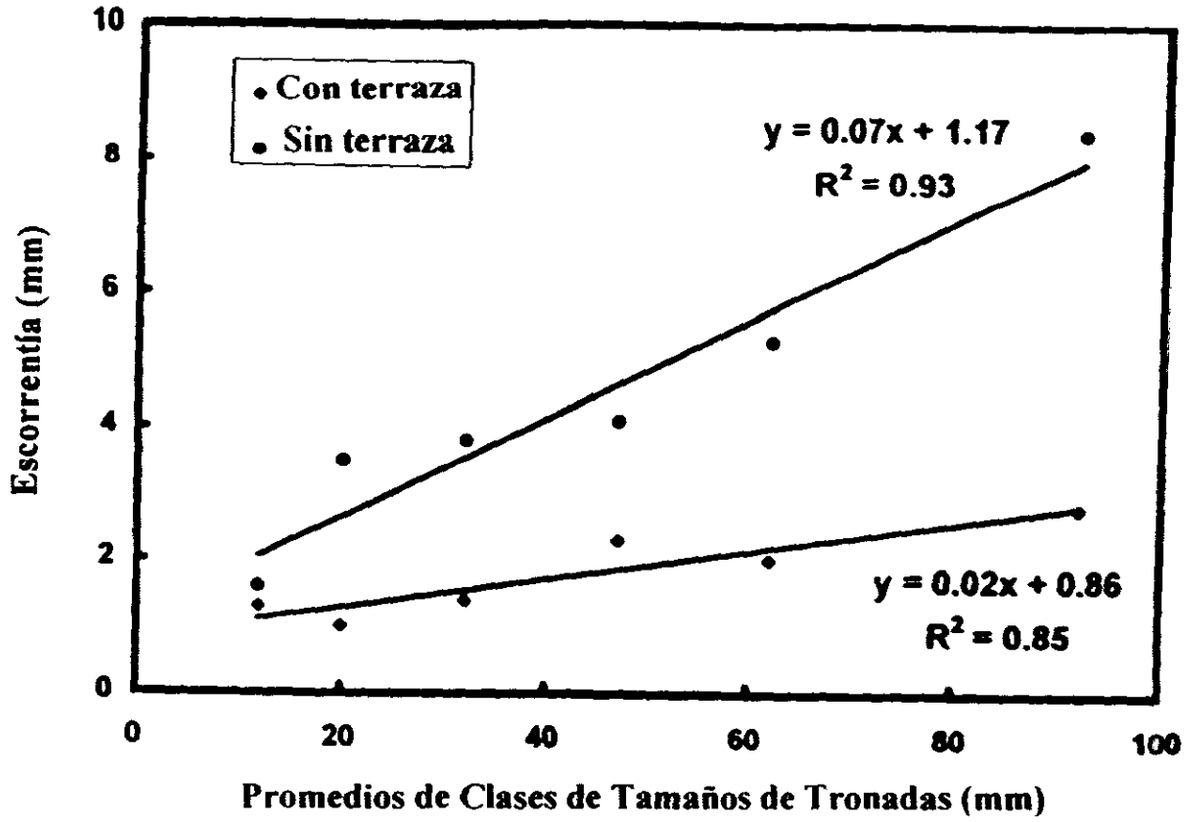



**Figura 14. Análisis de correlación (mm) y promedios de la clase de tamaño de tronado, en parcelas sin terrazas y las con terrazas de 10-años de edad, Los Espabeles, Honduras.**

sus parcelas en preparación para sembrar. Por eso, el mulch fue presente en ambas parcelas - sin terrazas y con terrazas- de la área de estudio. La preparación de la tierra y la siembra usando el método corta y mulch requieren 12 a 23 dias-hombre/hectárea comparado con acerca de 6 dias-hombre/hectárea por el método de corta y quema, no obstante, la mayor parte de agricultores sentian que los beneficios en el largo plazo de no quemar más que compensaron por la costa extra de labor.

### *Escorrentía y Erosión*

Los muros de piedra 1 m de altura, construido a intervalos de 6 m en las parcelas de ladera en 1985 habian llenado completamente al cima de sedimento antes de 1992. Por consiguiente, el pendiente original de la ladera de 50% habia cambiado a un pendiente de terraza de 35%. Cada muro, incluso la área ocupada por los árboles de *Leucaena* establecedores, fue aproximadamente 1 m de ancho, por eso la área de tierra cultivable fue acerca de 5 m de ancho cuando los muros de piedra fueron puestos a intervalos de 6 m.

La tasa de escorrentia y erosión en la tierra sin terrazas y la con terrazas fue medido durante 1995 por medio de instalar seis parcelas encerradas de escorrentía que tenian 2 m de ancho por 5 m de largo. Tres replicatos fueron obtenidos por cada tratamiento (parcelas con terrazas 10-años de edad y parcelas adyecentes sin terrazas). Escorrentia y perdida del sedimento fueron medidos por recoger la escorrentia y entonces filtrar el sedimento de las submuestras muy bien mesclada de escorrentia.

Las parcelas con terrazas tenian significativamente menos escorrentia que las

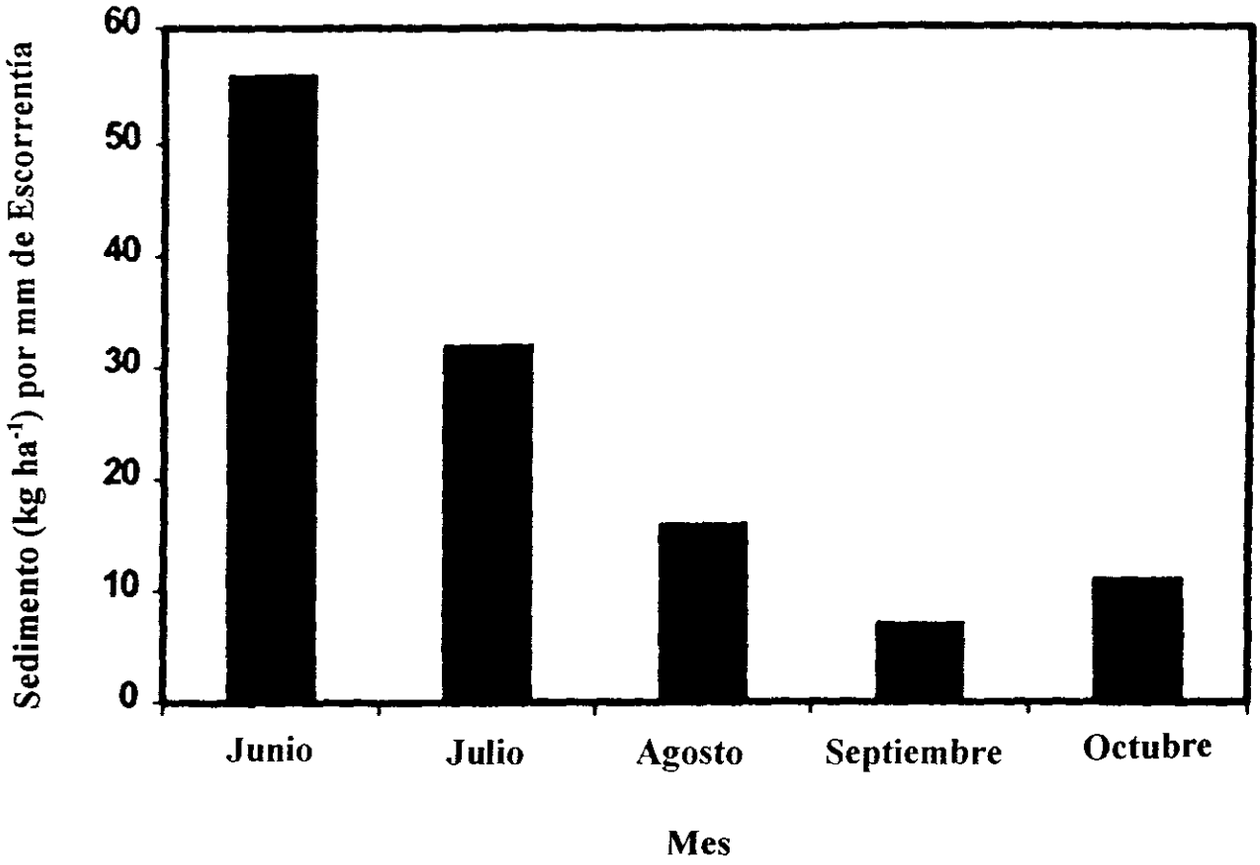



**Figura 15. Rendimiento de sedimento (kg/hectárea) por mm de escorrentía, Los Espabeles, Honduras.**

parcelas sin terrazas (Tabla 11). La escorrentía total de las parcelas con terrazas y las sin terrazas fue 2.1 y 5.4%, respectivamente, de la precipitación total. Figura 14 muestra la relación entre escorrentía y promedios de los clases de tamaños de tronadas.

Relativamente poca pérdida del suelo fue medido en ambas las parcelas con terrazas y las sin terrazas (Tabla 11). El tamaño pequeño de las parcelas de este estudio sólo permite estimaciones de la erosión laminar, que fue controlado substantivamente por el uso del mulch y la labranza mínima. Thurow et al. (1998) documentaron que la mayoría de la pérdida del sedimento que ocurre en las parcelas de esta región está asociado con el deslizamiento, un proceso que ocurre en una escala demasiado grande para ser descubierto por las parcelas pequeñas usadas en este estudio.

Así que el suelo había llenado hasta el cima del muro de piedra 1 m de altura, estos datos indican que los muros de piedra no más son efectivos para retener sedimento que está moviendose como un resultado de la erosión laminar. Debajo de estas circunstancias va a ser necesario aumentar la altura de los muros para retener materia erodida adicional. La cantidad de rendimiento de sedimento por mm de escorrentía durante la estación de cultivo está ilustrado en Figura 15. Este patrón indica que el riesgo de la erosión laminar del suelo fue mayor al comienzo de la estación lluviosa cuando la cobertura de cosechas no estaba bien establecido, y declina así que la cobertura de cosechas crece. La falta de bastante cobertura para protejer el suelo contra el impacto de la gota de lluvia permite el desprendimiento de las partículas de suelo, aumentando la cantidad de sedimento el la

**Tabla 12. Características de los 30 cm de suelo superior recogidos diferentes sitios dentro de parcelas sin terrazas y las con terrazas de 10-años de edad, *Los Espabeles*, Honduras (Thompson 1992).**

| | Potencial de Agua por Suelo < 2 mm | | | | Textura | | | Porción de Piedra del Perfil del Suelo | Agua Disponible de la Planta |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | -300 kPA | -1000 kPA | -5000 kPA | -15000 kPA | Arena | "Silt" | Arcilla | | |
| | (%) | | | | (%) | (%) | (%) | (%) | (mm) |
| Terraza | | | | | | | | | |
| Superior | 31.2 | 27.1 | 22.7 | 21.6 | 37 | 31 | 32 | 38 | 25 |
| Medio | 31.7 | 25.9 | 23.1 | 21.5 | 35 | 32 | 33 | 25 | 33 |
| Abajo | 32.4 | 27.8 | 23.4 | 22.5 | 36 | 33 | 31 | 14 | 38 |
| Sin terraza | 31.3 | 26.9 | 23.6 | 22.1 | 40 | 32 | 28 | 28 | 28 |

escorrentía.

## *Características del Suelo*

Basado en la clasificación del Departmento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), partículas de suelo más pequeñas que 2 mm en diámetro son divididos en tres categorías generales que dependen en tamaño: partículos de 2 - 0.05 mm de diámetro se llaman arena; esos de 0.05 - 0.002 mm de diámetro se llaman aluvión ("silt"); y los partículos <0.002 mm se llaman arcilla. Se usó el método de "pipette" (Kilmer y Alexander 1949) para determinar el tamaño de partículos. Las muestras fueron dispersados con hexametafósfato sódico sin tratamiento anterior para remover materia orgánica o agentes cemetuosos. La textura del suelo solía ser un franco arcilloso a franco limoso. El porcentaje de fragmentos bastos (> 2 mm) en los 30 cm superiores fue estimado por exámenes visuales de perfiles de suelo (Tabla 12).

Así que los partículos individuales de suelo tienen una densidad constante, la densidad de un volumen de suelo va a variar según la cantidad de espacio de aire en el suelo. La densidad aparente (bulk) refiere a una masa por unidad volumen característico del suelo. La densidad aparente disminue así que la porosidad, la labranza, y la estructura de un suelo crecen. Se usó el método de taladro (core) para determinar la densidad aparente del suelo (Tabla 13). La estructura buena del suelo, reflejado en parte por la densidad aparente relativamente baja por este tipo de textura del suelo, contribuyó a la infiltración y la permeabilidad rápida de los suelos. La conductividad saturada tenía un promedio acerca de 250 mm/hora. La conductividad saturada fue medida por saturar una micro-parcela con agua por medio de un simulador portable de precipitación y entonces medir la diferencia entre agua aplicada y escorrentía recogida durante un periodo de tiempo (Thompson 1992). Estas características inherentes del suelo significan que el riesgo de erosión por la riachuela es bajo a causa de que sea necesario un período lluvioso excepcionalmente intenso y prolongado para resultar en escorrentía substancial.

La retención del agua fue medido a potenciales de agua de -330, -1000, -5000 y -15,000 kPa por el método del plato de presión (Pressure Plate Method) (USDA-SCS 1984). La capacidad disponible para retener agua por la fracción fino-tierra (Fine-Earth Fraction) fue determinado gravimetricamente como la diferencia en la retención del agua entre -330 y -15,000 kPa. Agua disponible de la planta fue medido por la diferencia en el contenido de suelo y agua a -330 kPa y -15,000 kPa. No habia ninguna diferencia en la capacidad de retención de agua por la fracción de fino-tierra en los 30 cm superiores del suelo cuando las parcelas con terrazas fueron comparados con las parcelas de control. Sin embargo, cuando el contenido de agua disponible es ajustado por la cantidad de materia de piedra en

**Tabla 13. Comparasión de características del suelo entre parcelas sin terrazas y con terrazas de 10-años de edad en Los Espabeles, Honduras. Letras mayúsculas que siguen los numeros son usados para indicar diferencia entre filas y letras minúsculas comparan la diferencia entre columnas. Numeros seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (P≤ 0.1).**

| Profund. del Suelo (cm) | Densidad Aparente (Bulk) ($g\ cm^{-3}$) | | pH del Suelo | | Fósforo Disponible (ppm) | | Potasio Intercambiable (ppm) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Con terraza | Sin terraza | Con terraza | Sin terraza | Con terraza | Sin terraza | Con terraza | Sin terraza |
| 0-15 | 1.34 A e | 1.38 A d | 6.4 A a | 6.5 A a | 15.0 A a | 17.0 A a | 289.9 A a | 264.3 A a |
| 15-30 | 1.49 A d | 1.52 A c | 6.1 A b | 5.9 A b | 15.0 A a | 13.0 A b | 170.7 A b | 120.7 B b |
| 30-45 | 1.56 B c | 1.60 A b | 5.8 A c | 5.9 A b | 10.1 A b | 10.3 A c | 127.7 A c | 126.7 A b |
| 45-60 | 1.60 B b | 1.72 A a | 5.7 A c | 5.9 A b | 4.8 A c | 8.6 A c | 104.6 A cd | 51.7 B c |
| 60-75 | 1.66 A a | 1.74 A a | 5.6 B d | 5.8 A b | 2.7 B c | 9.3 A c | 84.8 A d | 54.0 B c |

| Profund. del Suelo (cm) | Azufre Disponible (ppm) | | Calcio Intercambiable (ppm) | | Magnesio Intercambiable (ppm) | | Sodio Intercambiable (ppm) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Con terraza | Sin terraza | Con terraza | Sin terraza | Con terraza | Sin terraza | Con terraza | Sin terraza |
| 0-15 | 35.1 A a | 35.6 A a | 3246 A a | 3046 A a | 338 A a | 307 A c | 26.9 A b | 18.7 A a |
| 15-30 | 30.5 A b | 27.3 A b | 2511 A a | 1890 B b | 309 A ab | 306 A c | 29.1 A ab | 19.3 A a |
| 30-45 | 28.9 A b | 28.0 A b | 2013 A c | 1569 B c | 312 B ab | 395 A b | 30.4 A ab | 21.7 A a |
| 45-60 | 28.5 A b | 23.7 A b | 1639 A d | 1488 A c | 290 B ab | 430 A ab | 31.5 A ab | 24.7 A a |
| 60-75 | 30.1 A b | 27.0 A b | 1546 A d | 1672 A bc | 282 B b | 451 A a | 32.0 A a | 32.3 A a |

el suelo, llega a ser aparente que las parcelas con terrazas tienen un potencial más grande para retener agua porque hay suelo más fino y menos piedra. La cobertura superficial de piedra fue 5 % en las terrazas y 14 % en la porción adyecente sin terrazas de la parcela. Los 30 cm superiores de los sitios sin terrazas fueron 30 % piedra mientras el sitio con terraza fue 38 % a la parte superior, 25 % en el medio, y 14 % abajo (Tabla 12).

El contenido de materia orgánica del suelo fue determinado por la oxidación mojada del carbono (Hons 1988). La materia orgánica del suelo relativamente alta a 0-15 cm de profundidad está atribuible a la acumulación de residuos de cosechas, adición de follaje podado de árboles de Leucaena sembrados por lo largo de los muros de piedra y el sistema no-cultivado de sembrar (Tabla 14). La materia orgánica del suelo fue significativamente mayor en tierras con terrazas, en las profundidades de 15-30 y 30-45 cm. Había diferencias significativas entre materia orgánica del suelo en diferentes sitios entre los lotes (transects) con terrazas. El contenido de materia orgánica del suelo fue mayor al sitio imediatamente arriba del muro, el sitio donde partículos erodidos del suelo desde arriba del pendiente acumularon.

El contenido de materia orgánica del suelo es importante así que influye muchas otras propiedades del suelo como la proporción de infiltración, la capacidad de retención de agua y el contenido de nutrimentos. La materia orgánica del suelo ayuda a mantener la buena estructura del suelo así permitando más infiltración del agua y por consiguiente reduciendo escorrentía. Además, la materia orgánica del suelo crece la capacidad del intercambio del cation que reduce pérdidas potenciales de las bases como K, Ca, y Mg.

El nitrógeno disponible fue extraído usando una solución KCl y entonces determinado usando instrumentación auto-analisador. El contenido de nitrógeno disponible fue

**Tabla 14. Comparasión de materia orgánica del suelo y nitrato-N en suelo como una función de profundidad en localidades diferentes de parceles sin terrazas y por lo largo de lotes (transects) a través de parcelas con terrazas de 10-años de edad, Los Espabeles, Honduras. Letras mayúsculas comparan la diferencia dentro de filas y letras minúsculas comparan la diferencia dentro de columnas. Localidad 1 es el primer metro encima del muro de piedra, localidad 2 es el segundo metro encima del muro de piedra, etc. Las terrazas fueron 5 m de ancho. Los valores promedios por la porción de la parcela adyecente a la porción con terrazas están en la columna de sin terraza. Numeros seguidos por la misma letra no son significativamente diferente (P≤ 0.1).**

| Profundidad del Suelo (cm) | Materia Orgánica del Suelo (%) Con terraza Loc 1 | Loc 2 | Loc 3 | Loc 4 | Loc 5 | Sin terraza |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0-15 | 7.6 A a | 6.9 AB a | 6.3 AB a | 6.0 B a | 5.7 B a | 5.6 B a |
| 15-30 | 4.1 A b | 3.7 A b | 4.1 A b | 3.9 A b | 2.8 AB b | 1.9 B b |
| 30-45 | 2.3 A c | 2.8 A b | 2.7 AB c | 2.4 AB c | 2.1 AB b | 1.3 B c |
| 45-60 | 1.4 A c | 1.6 A c | 1.8 A d | 1.3 A d | 1.8 A b | 0.9 A d |
| 60-75 | 0.8 A c | 1.1 A c | 1.8 A d | 1.3 A d | 1.7 A b | 0.8 A d |

| Profundidad del Suelo (cm) | Contenido de Nitrato-N (ppm) Con terraza Loc 1 | Loc 2 | Loc 3 | Loc 4 | Loc 5 | Sin terraza |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0-15 | 54.0 A a | 44.3 AB a | 49.0 AB a | 29.0 AB a | 57.3 A a | 2.0 B a |
| 15-30 | 13.0 A b | 7.7 AB b | 11.7 A b | 10.7 A b | 2.3 B b | 1.0 B b |
| 30-45 | 4.7 AB c | 5.7 A b | 3.0 BC c | 1.3 C c | 1.0 C b | 1.0 C b |
| 45-60 | 1.0 B c | 2.7 A b | 1.0 B c | 1.0 B c | 1.0 B b | 1.0 B b |
| 60-75 | 1.0 B c | 1.7 A b | 1.0 B c | 1.0 B c | 1.0 B b | 1.0 B b |

significativamente mayor en la tierra con terrazas que en la tierra sin terrazas a las profundidades de 0-15 y 15-39 cm (Tabla 14). Los niveles de nitrógeno en 0-15 cm en la parcela con terrazas fueron 20 veces mayores el las parcelas sin terrazas. El nitrógeno disponible fue significativamente diferente entre localidades y profundidades del suelo en la tierra con terrazas o la sin terrazas. Las áreas imediatamente encima y debajo del muro de piedra tenian el contenido más grande de nitrógeno. El contenido alto de nitrógeno disponible en estos sitios por lo largo del muro es probablemente debido a la presencia de árboles de Leucaena sembrados por lo largo de la base del muro de piedra. Estos árboles tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y proveer un mulch rico en nutrimentos. El nitrógeno disponible siempre se disminuye con la profundidad del suelo y debajo de 30 cm fue a concentraciones muy bajas (<2 ppm). Estos patrones en nitrógeno disponible son esperadas debido a la acumulación grande de materia orgánica en la profundidad de 0-15 cm y la probable mineralización alta que ocurre en esta zona. En las zonas de climas tropicales y subtropicales donde los suelos de carga variable son más extensivos, la materia orgánica del suelo es el fuente mayor de nitrógeno para la producción de cosechas (Fox 1980).

La reacción del suelo (pH) es una expresión del ion H+. Se mesclan suelo y agua juntos en una proporción 1:1 para determinar el

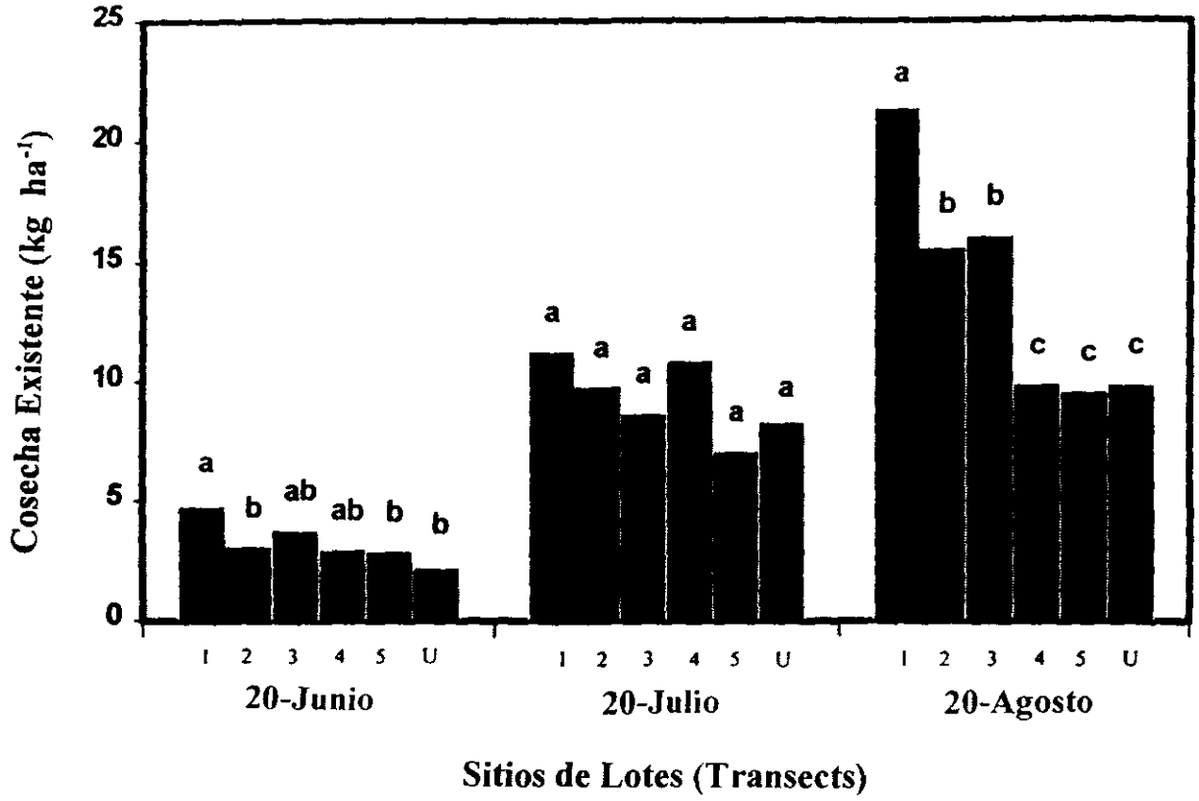



**Figura 16. Comparación de la cosecha entre parcelas sin terrazas y sitios por lo largo de un lote (transect) dentro de parcelas con terrazas de 10-años de edad. Localidad 1 es el primer metro encima del muro de piedra, localidad 2 es el segundo metro encima del muro de piedra, etc. Las terrazas fueron 5 m de ancho. U es el promedio de la parcela adyecente sin terrazas. Promedios dentro de cada mes seguidos por la misma letra no son significativos (P≤ 0.1).**

pH del suelo. Así que sales solubles en el suelo pueden afectar el valor pH del agua, el pH puede ser medido usando soluciones del cloruro de calcio o cloruro de potasio en vez de agua destilada para superar este problema (Foth y Ellis 1988). La reacción del suelo fue determinado, en duplicado, usando mesclas de 1:1 suelo-a-agua y 1:1 suelo-a-1 N KCl (Soil Survey Staff 1972). Se usó un medidor electrónico de pH equipado con un electrodo combinación vidrio-calomel que está estandarizado contra las soluciones de buffer de pH 4.0 y 7.0. El pH del suelo del sitio fue un poco ácido (Tabla 13).

El calcio, el magnesio, el potasio, y cationes intercambiables del sodio, absorbido a partículos de suelo y en soluciones de suelo, representan las bases intercambiables. Así que los cationes proveen el suministro mayor de los nutrimentos de plantas, sus cantidades absolutos y relativos son factores importantes que influyen el crecimiento de plantas. Se refiere a las bases intercambiables divididos por el CEC a pH 8.2 como la saturación de la base. Las bases extraíbles fueron determinados en 1 N filtrado de acetato de amonio (pH 7.0), siguiendo el procedimiento 5B5 del National Soil Survey Laboratory (SCS 1984) por todo los perfiles del suelo de ambos los sitios con terrazas y sin terrazas (Tabla 13).

Había un contenido continuamente más bajo de las bases intercambiables (Ca, Mg, K, Na), la materia orgánica del suelo y el azufre en la porción de la terraza imediatamente debajo del muro de piedra cuando son comparados con los valores imediatamente encima del muro de piedra. Los datos sugieren que estos nutrimentos se transportan con sedimento o escorrentía y

acumulan imediatamente detrás del muro de piedra. La concentración de Ca, Mg, Na, K, S y materia orgánica por la profundidad de 0-15 cm imediatamente detrás del muro de piedra fueron respectivamente 19, 15, 22, 53, 13, y 33 % mayor que el sitio imediatamente debajo del muro de piedra.

El fósforo ocurre en formas orgánicas y inorgánicas en el suelo. Una porción grande del fósforo está fijado o está en compuestos inorgánicos insolubles. Las fracciones más solubles del fóforo del suelo son comúnmente llamados "fósforo disponible" con respeto al crecimiento de plantas. El fóforo disponible fue determinado usando una solución de 1.4M acetato de amonio en 0.025M $H_4EDTA$ analizado usando un Espectofotometro Inductivamente Acoplado de Plasm de Argón. No había consistentamente una diferencia significativa en la concentración de fósforo en los sitios con terrazas y sin terrazas (Tabla 13); ambos fueron deficiente de fósforo al punto de limitar el crecimiento y el rendimiento de cosechas.

### *La Producción de Cosechas*

Entre cada replicato de terraza, un lote (transect) fue establecido para cada fecha de muestra, que tenía 1 m de ancho y 5 m de largo (i.e. la distancia entre muros de piedra por lo largo del lote de 5 m). La cosecha existente fue medida en parcelas adyecentes de 1 $m^2$ a través de cada una de las tres terrazas de muestra. Se tomaron las muestras una vez cada mes en junio, julio y agosto. Las localidades del lote adentro de cada de las terrazas fueron escogidos al azar. Las muestras cortadas fueron secados por aire y entonces secados por horno a 60°C por 24 horas antes de pesar.

Habia una cosecha significativamente mayor en la parcela con terrazas que en la sin terrazas por la mayoria de la estación de cultivo. Este crecimiento mejor fue atribuible principalmente a la área imediatamente detrás de los muros de piedra donde sedimento profundo habia acumulado (Figura 16). El rendimiento del grano fue 70% más alta en la parcela con terrazas (2.2 toneladas/hectárea) que de la parcela sin terrazas (1.3 toneladas/hectárea). El follaje y la biomasa total al tiempo de la cosecha fueron 32 y 39% mayor, respectivamente, en la parcela con terrazas que en la sin terrazas.

La producción en las porciones más altas dentro de una terraza fueron similares a la tierra sin terraza (Figura 16). Estas medidas fueron hechos durante un año con precipitación más alta que usual. Observaciones por agricultores indican que las diferencias en la producción de cosechas son mucho más marcado durante años de sequía.

Aunque el contenido de nitrógeno fue alta en el suelo imediatamente encima y debajo del los muros de piedra (asociado con el mulch de Leucaena) (Tabla 4), la cosecha fue significativamente mayor encima del muro. Por cierto, la cosecha en la área imediatamente debajo del muro de piedra fue similar a las producciones bajas de la tierra sin terraza. Esto indica que el nitrógeno no fue el factor que limitó el rendimiento. En cambio, el rendimiento más baja de estos sitios puede ser debido a la baja capacidad de retención de agua de esta área erodida.

En sumario, las differencias entre los sitios con terrazas y los adyecentes sin terrazas son derividos de la acumulación de suelo detrás de las terrazas. La profundidad mayor del suelo resulta en una combinación de mayor capacidad de retención de agua y mayor concentración de nutrimentos. Menos escorrentía reduce el riesgo de la inundación en el rio abajo y pone más agua en el suelo que es o retentido o eventualmente contribuye al caudal base. La combinación de mayores cantidades de agua y nutrimentos aguardados en el suelo más profundo resulta en el rendimiento de cosechas significativamente mayor en sitios con terrazas.

## REFERENCIAS CITADAS


Aldhous, P. 1993. Tropical deforestation: not just a problem in Amazonia. Science 259 (1993): 1390.

Alfaro Moreno, J.C. 1987. Condicion ambientales sociales de la conservacion de suelos en el Peru. In I.P. Sentis (ed.), Soil erosion and productivity. Venezuelan Society of Soil Science, Maracay, Venezuela, pp. 692-709.

Annis, S., O. Arias, J.D. Nations, S.B. Cox, A. Umana, K. Brandon, S.K. Tucker, J.D. Strasma, and R. Celis (Overseas Development Council). 1992. Poverty, natural resources, and public policy in Central America, US Third World policy perspectives, No. 17. Transaction Publishers, Oxford UK.

Arsyad, S. I., T. Amien, T. Sheng, and W. Moldenhauer. 1992. Conservation policies for sustainable hillslope farming. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, Iowa.

Barber, R.G., D.B. Thomas and T.R. Moore. 1981. Studies on soil erosion and runoff and proposed design procedures for terraces in the cultivated, semi-arid areas of Machakos District, Kenya. In R.P.C. Morgan (Ed.), Soil conservation: problems and prospects. John Wiley and Sons, New York.

Barbier, E. 1988. The economics of farm-level adoption of soil conservation measures in the upland of Java. Environmental Department Working Paper No. 11. World Bank, Policy Planning and Research Staff, Washington, DC.

Barrett, A.T. 1985. Appraisal of the proposed dryland farming project for Embu and Meru Districts of Kenya. Overseas Development Administration, Land Resources Development Center, Tolwork, UK.

Bennett, H.H. 1970. Soil Conservation. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.

Blustain, H. 1982. Social issues in technology choice: Soil conservation in Jamaica. Journal of Soil and Water Conservation. November-December 1982, pp. 323-325.

Board on Science and Technology for International Development (BOSTID), National Research Council. 1993. Vetiver Grass: a thin green line against erosion. National Academy Press, Washington DC.

Boyle, M., W.T. Frankenberger, Jr., and L.H. Stalzy. 1989. The influence of organic matter on soil aggregation and water infiltration. Journal of Production Agriculture. 2:290-299.

Burger, R. 1992. The sacred center of Chavin de Huantar. In R. Townsend (ed.), The ancient Americas, art from sacred landscape. Prestel Verlag, Munich, Germany.

Chisci, G. 1981. Empirical studies of soil erosion and conservation. In R.P.C. Morgan (Ed.), Soil conservation: problems and prospects. John Wiley and Sons, New York.

Cook, M. 1988. Soil conservation on steeplands in the tropics. In W.C. Moldenhauer and N.W. Hudson (eds.), Conservation farming on steeplands. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, pp. 18.

Durand, P.H. 1984. Resultats des experimentations sur l'erosion des sols dan la region de Mumirwa (Burundi). Mission Forestiere Crete Zaire Nil, Bujumbura. 12 pp.

Durning, A.T. 1993. Saving the forests: what will it take? Worldwatch Paper 117. Worldwatch Institute, Washington DC.

El-Swaify, S.A., W.C. Moldenhauer, and A. Lo. 1985. Soil erosion and conservation. Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa.

Fagi, A.M. and C. Mackie. 1988. Watershed management in Java's upland: Past experiences and future directions. In W.C. Moldenhauer and N.W. Hudson (eds.), Conservation Farming on Steeplands. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, pp. 254.

Fang, Z, P. Zhou, Q. Liu, B. Liu, L. Ren and H. Zhang. 1980. Terraces in the Loess Plateau of China. In R.P.C. Morgan (ed.), Soil conservation, problems and prospects. John Wiley and Sons, New York.

Food and Agricultural Organization of the United Nations. 1977. Guidelines for watershed management. FAO, Rome, Italy.

Food and Agricultural Organization of the United Nations. 1983. Fuelwood supplies in the developing countries, Forestry Paper #42. FAO, Rome, Italy.

Food and Agricultural Organization of the United Nations. 1988. Watershed management field manual: Slope treatment measures and practices. FAO, Rome, Italy.

Food and Agricultural Organization of the United Nations. 1990. Tropical Forestry action plan. FAO, Rome, Italy.

Goodman, G.T. 1987. Biomass energy in developing countries: problems and challenges. Ambio 16:111-119.

Gray, D.M and A.T. Leiser. 1989. Biotechnical slope protection and erosion control (Kreiger, Malabar, Florida.

Harper, D.E. and S.A. El-Swaify. 1988. Sustainable agricultural development in North Thailand: Conservation as a component of success in assistance projects. In W.C. Moldenhauer and N.W. Hudson (eds.), Conservation farming on steeplands. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, pp. 77.

Hatch, T. 1981. Preliminary results of soil erosion and conservation trials under pepper *(Piper Nigrum)* in Sarawak, Malaysia. In R.P.C. Morgan (Ed), Soil conservation, problems and prospects. John Wiley and Sons, New York.

Heckadon, M.S. 1989. Los viveros comunales en El Salvador. El Chasqui. 20:3-24.

Heckadon, M.S. 1990. Madera y lena de las milpas. Los viveros comunales: una alternativa para el desarrollo forestal en El Salvador. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Keddeman, W. 1992. An economic analysis of soil conservation projects in Ethiopia. In K. Tato and H. Hurni (eds.), Soil conservation for survival. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa.

Kejela, K. 1992. The costs of soil erosion in Anjeni, Ethiopia. In K. Tato and H. Hurni (eds.), Soil conservation for survival. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, pp. 219

Lal, R. 1976. Soil erosion problems on an Alfisol in western Nigeria and their control. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria.

Lal, R. 1977. Soil conservation versus soil-degrading crops and soil management for erosion control. In R. Lal and D.J. Greenland (Eds.), Soil Conservation and Management in the Humid Tropics. John Wiley and Sons Ltd., New York.

Lal, R. 1988. Soil erosion research on steeplands. In W.C. Moldenhauer and N.W. Hudson (eds.), Conservation farming on steeplands. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, pp. 45.

Lal, R. 1990. Soil erosion in the Tropics: principles and management. McGraw-Hill, Inc., New York.

Lal, R. and B.A. Stewart. 1995. Soil Management for enhancing and sustaining agricultural production. In Lal and Stewart (Eds.), Soil management: experimental basis for sustainability and environmental quality. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

Land Use Productivity Enhancement Project (LUPE). 1994. Manual practico de manejo de suelos en ladera. Secretaria de Recursos Naturales, Proyecto LUPE, Tegucigalpa, Honduras.

Land Use Productivity Enhancement Project (LUPE). 1996. Las barreras vivas. Programa de Extension LUPE-CARE/ONG's. Tegucigalpa, Honduras, Febrero 1996.

Leonard, D. 1992a. Guia tecnica para barreras vivas de Valerian. LUPE, Tegucigalpa, Honduras.

Leonard, D. 1992b. Guia tecnica: cultivo en callejones. LUPE, Tegucigalpa, Honduras.

McLaughlin, L. 1993. A case study in Gansu Province, China. In Pimentel (ed.), World soil erosion and conservation. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Millington, T. 1982. Soil conservation techniques for the humid tropics. Appropriate Technology, 9 (2): 17-18.

Mishra, B.K and P.S. Ramakrishnan. 1981. The economic yield and energy efficiency of hill agro-ecosystems at higher elevations of Maghalaya in northeastern India. Acta Ecologica 2(4):369-389.

Morgan, R.P.C. 1986. Soil erosion and conservation. John Wiley and Sons, Inc., New York.
Morgan, R.P.C. and R.J. Richson. 1995. Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach. E &FN Spon Publishers, London.
Mutchler, C.K., C.E. Murphee, and K.C. McGregor. 1994. Laboratory and field plots for erosion research. In R. Lal (ed.), Soil erosion research and methods-2nd ed. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, pp. 11.
Nye, P.H. and D.J. Greenland. 1960. The soil under shifting cultivation. Commonwealth Bureau of Soil Technology. Commun. No. 51.
O'Loughlin, C.L. 1984. Effectiveness of introduced forest vegetation in New Zealand's steeplands. Paper presented to Symposium on effects of forest land use on erosion and slope stability, Honolulu, Hawaii.
Pagiola, S. 1994. Soil Conservation in a Semi-Arid Region of Kenya: rates of return and adoption by farmers. In Napier et al. (Eds.), Adopting conservation on the farm: an international perspective on the Socioeconomics of soil and water conservation. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa.
Paskett, C.J. and C. Philoctete. 1990. Soil conservation in Haiti. Journal of Soil and Water Conservation, 45:457-459.
Pimentel, D, C. Harvey, P. Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S.Crist, L. Shpritz, L. Fitton, R. Saffouri, and R. Blair. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science, vol. 267, 24 February 1995, pp. 1117-1122.
Pimentel, D. 1993. World soil erosion and conservation. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
Population Reference Bureau, Inc. 1991. 1991 World population data sheet. Population Reference Bureau, Washington DC.
Purnell, M.F. 1986. Application of the FAO framework for land evaluation for conservation and land use planning in sloping areas; potential and constraints. In W. Siderius (ed.), Land use planning and conservation on sloping areas. Publication 40. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, the Netherlands. pp. 17-31.
Reij, C. 1983. Evolution de la utte antierosive en Haute-Volta despuis l'endependance. Vers une plus grande participation de la population. Institute for Environmental Studies, Free University, Amsterdam, The Netherlands. 84 pp.
Reij, C. 1994. Building on traditions: The Improvement of indigenous soil and water conservation techniques in the West African Sahel. In Napier et al. (Ed.), Adopting conservation on the farm: an international perspective on the Socioeconomics of soil and water conservation. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa.
Rodriguez, E. 1980. Manual de cultivos multiples en obras de conservacion de suelos. Documento de Trabajo No. 4. Ordenacion integrada de cuencas Hidrografica: Proyecto. Honduras, Tegucigalpa.
Roose, E.J and C. Valentin. 1981. Soil and water conservation problems in pineapple plantations of South Ivory Coast. In R.P.C. Morgan (ed.), Soil conservation: problems and prospects. John Wiley and Sons, New York.
Roose, E.J. 1988. Soil and water conservation lessons from steep slope farming in French-speaking countries of Africa. In W.C. Moldenhauer and N.W. Hudson (eds.), Conservation farming on steeplands. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, pp. 129.
Sanchez, P.A. 1976. Properties and management of soils in the Tropics. John Wiley and Sons, New York.
Satterlund, R.D. and P.W. Adams. 1992. Wildland watershed management. John Wiley and Sons, New York.
Shaxson, T.F., N.W. Hudson, D.W. Sanders, E.J. Roose, and W.C. Moldenhauer. 1989. Land husbandry: a framework for soil and water conservation. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa..
Sheng, T.C. 1977. Protection of cultivated slopes, terracing steepl slopes in humid regions. In FAO (ed.), Guidelines for watershed management. FAO, Rome, Italy.

Sheng, T.C. 1979. The need for soil conservation structures for steep cultivated slopes in the Humid Tropics. In R. Lal and E.W. Russell (Eds.), Tropical agricultural hydrology: watershed management and land use. John Wiley and Sons, New York.

Sheng, T.C. 1986. The need for soil conservation structures for steep cultivated slopes in the humid tropics. In Watershed conservation, A collection of papers for developing countries. Chinese Soil and Water Conservation Society, Taipei, Taiwan, pp. 25-32.

Sheng, T.C. 1989. Soil conservation for small Farmers in the Humid Tropics. FAO Soils Bulletin 60. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.

Siebert, S.F. and J.M Belsky. 1990. Bench terracing in the Kerinci uplands of Sumatra, Indonesia. Journal of Soil and Water Conservation, September-October 1990, pp. 559-562.

Sierra, H.E. 1996. Effectiveness of rock wall terraces on soil conservation and crop performance in a southern Honduras steepland farming system. M.S. Thesis, Rangeland Ecology and Management Department, Texas A&M University, College Station, Texas, 80p.

Smith, D.A. and W.H. Wischmeir. 1957. Factors affecting sheet and rill erosion. Transactions of American Geophysical Union. 38: 889-896.

Stocking, M. and N. Abel. 1992. Labor costs: a critical element in soil conservation. In K. Tato and H. Hurni (eds.), Soil conservation for survival. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, pp. 206.

Temple, P.H. 1972. Measurements of runoff and soil erosion at an erosion plot scale with particular reference to Tanzania, Geog. Annaler 54-A: 203-220.

Thomas, D.B. 1988. Conservation of cropland on steep slopes in eastern Africa. In W.C. Moldenhauer and N.W. Hudson (eds.), Conservation farming on steeplands. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa.

Thompson, M.E. 1992. The effect of stone retention walls on soil productivity and crop performance on selected hillside farms in southern Honduras. M.S. Thesis, Rangeland Ecology and Management Department, Texas A&M University, College Station, Texas.

Thurow, T.L. and A.S.R. Juo. 1995. The Rationale for using a watershed as the basis for planning and development. In Agriculture and environment: bridging food production and environmental protection in developing countries. ASA Special Publication no. 60. American Society of Agronomy, Madison, WI.

Tjernstrom, R. 1992. Yields from terraced and non-terraced field in the Machakos District of Kenya. In K. Tato and H. Hurni (eds.), Soil conservation for survival. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, pp. 251.

Troeh, F.R. and L.M. Thompson. 1993. Soils and soil fertility. Oxford University Press, New York.

Utting, P. 1993. Trees, people and power, social dimensions of deforestation and forest protection in Central America. The United Nations Research Institute for Social Development (UNRISD) and Earthscan Publications, London, UK.

Veloz, R.A. and T.L. Logan. 1988. Erosion research on steeplands in the Dominican Republic. In W.C. Moldenhauer and N.W. Hudson (eds.), Conservation farming on steeplands. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, pp. 269.

Vogel, H. 1987. Terrace farming in Yemen. Journal of Soil and Water Conservation 21: 18-21.

Wenner, C.G. 1988. The Kenyan model of soil conservation. In W.C. Moldenhauer and N.W. Hudson (eds.), Conservation farming on steeplands. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa.

Wiggins, S.L. 1981. The Economics of soil conservation in the Acelhuate River Basin, El Salvador. In R.P.C. Morgan (ed.), Soil conservation: problems and prospects. John Wiley and Sons, New York.

Williams, L.S. 1987. Inca terraces and controlled erosion. Proceedings of the Conference of Latin Americanist Geographers. Merida, Mexico, 6-10 January 1987.

Williams, L.S. and B.J. Walter. 1988. Controlled-Erosion terraces in Venezuela. In W.C. Moldenhauer and N.W. Hudson (eds.), Conservation farming on steeplands. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, pp. 177.

Wu, T.H. 1995. Slope stabilizaiton. In Morgan and Richson (eds.), Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach. E &FN Spon Publishers, London.

**REFERENCIAS CONSULTADAS**

Central American and Panamanian Institute for Nutrition (INCAP). 1989. Analysis de la situacion alimentaria de nutricion en el Centroamerica y Panama, Ch. II, Vol. I. INCAP, Guatemala City, Guatemala.

Das, D.C. 1977. Soil conservation practices and erosion control in India, a case study. FAO Soil Bulletin, 33: 11-50.

Economist Intelligence Unit (EIU). 1992. Guatemala, El Salvador, Honduras: Country Report, No. 1. Business International, Ltd. London, UK.

Food and Agricultural Organization of the United Nations. 1979. Agriculture toward the year 2000. FAO, Rome, Italy.

Food and Agricultural Organization of the United Nations. 1982. Tropical forest resources. Forestry Paper #30. FAO, Rome, Italy.

Gomez, F. and H.E. Sierra. 1993. Lotes demostrativos de maicillos mejorados. EAP/SRN/INTSORMIL, El Zamorano, Honduras.

Hanrahan, M.S. 1994. Costs and returns associated with soil and water conservation expenditures in the Cochabamba Uplands. In Napier et al. (Eds.), Adopting conservation on the farm: an international perspective on the Socioeconomics of soil and water conservation. Soil and Water Conservation Society, Ankeny.

Kussow, W. 1982. Soil erosion and conservation in the tropics, ASA Special Publication Number 43. American Society of Agronomy, Madison, WI.

Lal, R. 1995. Technological options for sustainable management of Alfisols and Ultisols in Nigeria. In Lal and Stewart (Eds.), Soil management: experimental basis for sustainability and environmental quality. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

Lal, R. and E.W. Russell. 1979. Tropical agricultural hydrology: watershed management and land use. John Wiley and Sons, New York.

Lopez-Pereira, M.A, T.G. Baker, J.H. Sanders, and D.H. Meckenstock. 1990. Farming systems and adoption of new technologies: an economic evaluation of new sorghum cultivars in southern Honduras. Journal of Farming Systems Research and Extension. 1:81-103.

Manrique, L.A. 1993. Soil management and conservation in the Tropics. Manrique International Agrotech, Honolulu, Hawaii.

Martinez, H. 1986. El problema de la lena en las zonas secas de America Central: necesidades de investigacion, mimeo. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Moldenhauer, W.C. and G.R. Foster. 1981. Empirical studies of soil conservation techniques and design procedures. In R.P.C. Morgan (ed.), Soil conservation: problems and prospects. John Wiley and Sons, New York.

Moldenhauer, W.C. and N.W. Hudson. 1988. Conservation farming on steeplands. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa.

Morgan, R.P.C. 1981. Soil conservation: problems and prospects. John Wiley and Sons, New York.

NRMP: Proyecto Manejo de Recursos Naturales. 1984. Plan de manejo de las cuencas de los rios Choluteca y Sampile/Guasaule. Secretaria de Recursos Naturales, Tegucigalpa, Honduras.

Sfeir-Younis, A. and A.K Dragun. 1993. Land and soil management: technology, economics and institutions. Westview Press. Boulder, Colorado.

SIECA. 1989. Series Estadisticas Seleccionadas de Centroamerica No. 22. SIECA, Guatemala City, Guatemala, April 1989, Tables 3.1-3.8, 3.1.

Smith, J.E. 1997. Assessment of soil and water conservation methods applied to the cultivated steeplands of Southern Honduras. M.S. Thesis, Rangeland Ecology and Management Department, Texas A&M University, College Station, Texas, 160 p.

Smyth, T.J and D.K. Cassel. 1995. Synthesis of long-term soil management resources on Ultisols and Oxisols in the Amazon. In Lal and Stewart (Eds.), Soil management: experimental basis for sustainability and environmental quality. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

Suwardjo and S. Abujamin. 1985. Crop Residue mulch for conserving soil in uplands of Indonesia. In S.A. El-Swaify et al. (Eds.), Soil Erosion and conservation. Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa.

Tato, K. and H. Hurni. 1992. Soil Conservation for survival. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, pp. 1.

Thurow, T.L., W.H. Blackburn and C.A. Taylor. 1986. Hydrologic characteristic of vegetation types as affected by livestock grazing systems, Edwards Plateau, Texas. Journal of Range Management 39(6), November 1986, pp. 505-509.

United States Agency for International Development (USAID). 1989. Land use and productivity enhancement project #522-0168. Department of State, Washington, DC.

Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. USDA, Science and education Administration, Agriculture Handbook No. 537, Washington, DC, 85p.

World Bank. 1991. World development report. Oxford Press, NY.

World Resources Institute. 1990. World resources 1990-1991, Table 16.1. Oxford University Press, New York, p.254.

Cubierta Trasera: Terrazas hechas de muros de piedra, Los Espabeles, el sur de Honduras. Marca la diferencia en el crecimiento de cosechas dentro de la terraza. La área de la deposición de suelos encima del muro de piedra tiene un crecimiento de cosechas mucho más robusto que está asociado con mayor retención del agua y acumulación de nutrimentos. Marca que los muros de piedra terminan en medio de la parcela del agricultor; esto fue el caso por varios parcelas agrícolas en la área. La construcción terminó así como un resulto del termino de fondos por la localidad particular. Esto proveyó una oportunidad única para comparar la efectividad de terrazas hechas de muros de piedra en sitios imediatamente adyecentes con suelo y manejo similar.