

CATIE
0699

24 FEB 1993

RECIBIDO
Turrialba, Costa Rica

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE
INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**PROGRAMA MANEJO INTEGRADO DE
RECURSOS NATURALES**

AREA DE MANEJO DE CUENCAS



RENARM
MANEJO DE CUENCAS

PUBLICACIONES DEL PROYECTO RENARM/MANEJO DE CUENCAS

**RESTAURACION DE SUELOS VOLCANICOS DEGRADADOS
UTILIZANDO ABONOS ORGANICOS,
MICROCUENCA DEL RIO "LAS CAÑAS", EL SALVADOR.
- PRIMEROS RESULTADOS -.**

**JEAN COLLINET
MANUEL MAZARIEGOS**

**CATIE, TURRIALBA
Septiembre, 1993**

25 MAR 1995

RECIBIDO
T...

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
C A T I E

PROGRAMA DE MANEJO INTEGRADO DE RECURSOS NATURALES

PROYECTO RENARM / CUENCAS

**RESTAURACIÓN DE SUELOS VOLCÁNICOS DEGRADADOS
UTILIZANDO ABONOS ORGÁNICOS, MICROCUENCA DEL RÍO
"LAS CAÑAS", EL SALVADOR - PRIMEROS RESULTADOS**

✓
Jean Collinet

ORSTOM - CATIE/RENARM-Cuencas, Turrialba, Costa Rica

Manuel Mazariego

M A G / CENTA Tonacatepeque, El Salvador

TURRIALBA, COSTA RICA
TONACATEPEQUE, EL SALVADOR
SEPTIEMBRE, 1993.

CATIE
C649



Plano

pp.

1. Objetivos del estudio
2. Medio ambiental de la microcuencia
3. Método
4. Problemática
5. Primeros resultados
6. Conclusiones y recomendaciones

Bibliografía

Agradecimientos

Los autores desean aprovechar esta oportunidad para agradecer a los campesinos de la cuenca del río de Las Cañas, cantón de la Fuente, particularmente a Rigoberto Lemus, dueño del campo de nuestro ensayo y a numerosos otros amigos de los que siempre se obtuvo comprensión y numerosas informaciones.

Se debe agradecer también a varios sub-direcciones y servicios de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica de la Cuenca del Río Lemp (CEL) de San Salvador, y de la representación del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de Tonacatepeque, señalar la disponibilidad del equipo de topografía de la CEL sin olvidar a los compañeros de los primeros reconocimientos de los años 1990-1991, especialmente Ricardo Medrano que nos ayudó continuamente (;incluso bajo las peores condiciones meteorológicas!)

Este trabajo de campo se pudo realizar gracias a las actividades regulares y serias de numerosos técnicos de campo; y, particularmente, de uno de los responsables, igualmente especialista en construcción de las "estufas": Héctor Martínez.

A todos estos compañeros transmitimos nuestras promesas de continuar hasta su término este trabajo, que se debe considerar como una contribución al mejoramiento accesible y sostenible de los caracteres de fertilidad de una cuenca representativa y, por vía de consecuencia, al bienestar de las dinámicas y meritorias comunidades campesinas salvadoreñas.

1. OBJETIVO DEL ESTUDIO

Estas páginas resumen los primeros resultados de los años 1992 y principio de 1993 que se refieren a una acción de investigación de restauración de las fertilidades bioquímicas y físicas de suelos altamente degradados de las laderas de la microcuenca del río "Las Cañas" (Figura 1).

Esta acción es uno de los componentes del proyecto "Rehabilitación de la sub-cuenca del río "Las Cañas" que es el ~~producto del acuerdo interinstitucional entre la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), la Agencia Internacional de Desarrollo (USAID/El Salvador), el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y las poblaciones rurales de los municipios de Tonacatepeque, San Martín y Soyapango.~~

Solo la sub-cuenca del río "Las Cañas" provee 25% de los sedimentos que llenan poco a poco el más grande embalse de producción hidroeléctrica de El Salvador (Cerrón Grande, 2100 km² de superficie nacional, volumen útil de 378.106 m³) donde se calculó una sedimentación que se aproxima a 50.106 toneladas por año. Esta sedimentación proviene de una erosión específica de 250 t/ha en la cuenca grande del río Lempa. Según la C.E.L. (1990), la erosión específica de la sub-cuenca del río "Las Cañas" podrían alcanzar 357t/ha. Estas cifras se incluyen dentro de los valores calculados con las formulas de previsión de la erosión de Wischmeier y Smith (1958, 1978) por V.M. Castillo A. (1992). Cualesquiera que sean los orígenes de estas evaluaciones no es dudoso que esta erosión en zona de cordillera volcánica debe considerarse como una "erosión extrema con truncamiento generalizado de los suelos profundos o desaparición de ellos y afloramiento de los materiales parentales.." (Hartshorn G.S. y al. 1982 - Leonard H.J., 1986).

Los equipos de la CEL o del MAG se encargan de un conjunto de medidas conservacionistas tanto físicas (acequias de absorción, diques gavionados o muros secos para el control de los torrentes) como biológicas (barreras vivas de piña o zacate limón, reforestación con Teca, Eucaliptos, Pinos Caribes, Cacias amarillas en zonas más escarpadas). Se comentará aquí los resultados de un aspecto de la participación del CATIE durante los años 1992 y 1993. Este incide en la " restauración, por abonos orgánicos, de suelos de ladera muy erosionados sobre cenizas y pomas volcánicas en una zona ubicada a los 15km al noreste de San Salvador en el municipio de Tonacatepeque, pueblo de La Fuente".

2. MEDIO AMBIENTAL DE LA MICROCUENCA

La zona del estudio está incluida en un *paisaje* disecado dentro de espesas capas de cenizas, pomas y tobas que provienen de una actividad volcánica reciente de la cordillera volcánica de America Central. Uno de los paroxismos fue probablemente la ~~explosión que formó la "caldera" del lago de Ilopango hace~~ aproximadamente 15000 años.

Estos *materiales parentales*, sueltos o poco consolidados son cavados de valles primarios profundos y estrechos, lo que determina alineaciones de crestas paralelas y de valles secundarios anchos. Estos últimos son rellenados de sedimentos que se reorganizan más o menos bajo el efecto de la competencia de las crecidas sucesivas (Figura 2). Algunas mesetas, como la de Tonacatepeque se apartan de este esquema, probablemente por razones tectónicas.

Esta zona pertenece al *clima tropical semi-húmedo*. Las lluvias medianas anuales se acercan a 1800mm; 80% de ellas caen entre los meses de mayo y de octubre. Se nota una disminución de las precipitaciones en julio y agosto. Es la época de la "canícula" cuya duración es una de las preocupaciones mayores de los campesinos de America Central.

Sin una deforestación intensa, esta región debiera ser cubierta por una *formación vegetal* natural de tipo "selva tropical caducifoliácea". Ahora según Medrano R. (1990) se encuentra:

- 18% de áreas urbanizadas y aguas libres
- 38% de áreas cultivadas, con 11% de frutales y cafetales y frutales, 5% de caña de azúcar, 22% de granos básicos y tabaco,
- 19% de barbechos y pastos,
- 25% de galerías forestales ubicadas en las pendientes con mayor declives, así como en las quebradas.

Las partes poco inclinadas es decir: las mesetas, las crestas de las colinas escarpadas, las cumbres y vertientes de las colinas bajas ubicadas cerca del valle secundario constituyen un 60% de la superficie de la microcuenca, con pendientes < 15% y contienen *suelos pardos oscuros*, espesos, sueltos y homogéneos, son Vitrosoles y Andosoles eútricos (Sistemas taxonómicos de los Estados Unidos, igualmente de Francia).

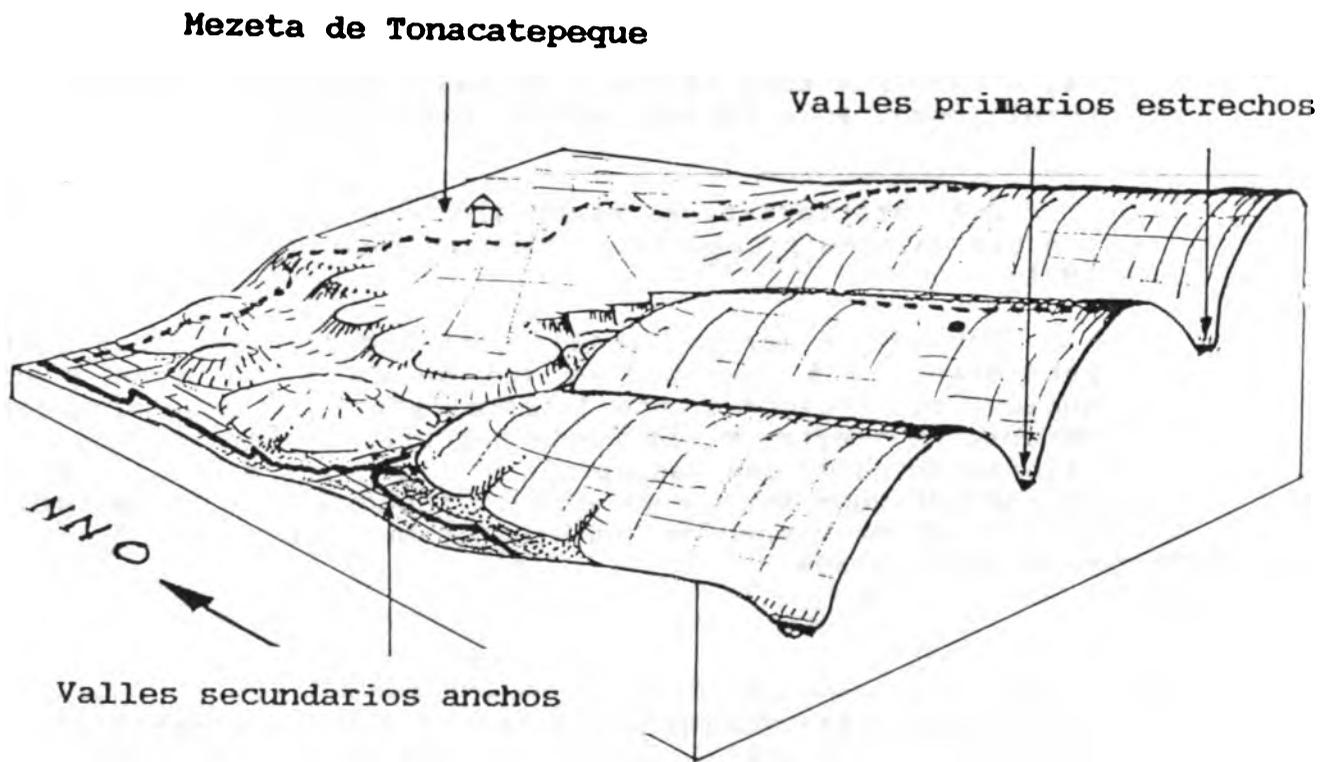


Figura 2: El Salvador, cuenca del río Las Cañas, esquema de los paisajes.

Cuadro I : Andosoles eútricos de las mesetas y vertientes poco inclinadas, charral con *Gliricidia sepium*

(1)	A	L	a	MO	C/N	pH	CIC	Sat.	CaMg/K	PT	FO
-5cm	20	30	50	5,4	11	6,1	15,5	87	10	240	10
-25cm	35	20	45	2,4	11	6,0	16,0	77	7	126	5

(1) A = arcilla, L = limo, a = arena (%), MO = materia orgánica (%), C/N = razón carbono sobre nitrógeno, CIC = capacidad de intercambio Sat.= tasa de saturación del complejo absorbente (%), CaMg/K = suma calcio + magnesio sobre potasio, PT = fósforo total (ppm), FO = fósforo método Olsen (ppm).

Sus características esenciales son resumidas en el cuadro I con sus valores promedios a -15cm y -25cm (Collinet J., Medrano R. 1991).

Las partes más inclinadas correspondientes a vertientes con pendientes >15% representan 40% de la microcuenca y contienen suelos esqueléticos a poco desarrollados, con espesores débiles de materiales sueltos o, se puede descubrir inmediatamente afloramientos de cenizas, pomas u horizontes orgánicos fosilizados de los antiguos suelos enterrados (cuadro II). Todos estos caracteres provienen de una erosión muy activa y concentrada en pendientes > 30%.

Cuadro II: Suelos esqueléticos o poco desarrollados sobre cenizas y pomas, pendientes 25% hasta 35%, cultiv. maíz

	A	L	a	MO	C/N	pH	CIC	Sat	CaMg/K	FT	FO
-5cm	10	25	65	0.8	-	5,5	8,0	62	6	350	13
-25cm	15	30	55	0,6	-	5,6	10,0	62	9	250	5

La comparación de estos dos ejemplos enseña que la erosión de las vertientes es al principio de los siguientes aspectos:

- formación de una textura limo-arenosa poco diferente de la del material parental (cenizas volcánicas),
- casi desaparición de los horizontes orgánicos,
- disminución de la capacidad de intercambio catiónico.

La zona de la experimentación que recibe el sistema de cultivo se ubica en la parte más degradada de la microcuenca en laderas de las cuales pendientes se distribuyen entre 15 y 40%. El arado se hace con tracción animal (2 bueyes) respetando más o menos las

curvas de nivel. Un aporcadura interviene poco después del levantamiento de las siembras del maíz. Ella permite la construcción de camellones de # 90cm de frecuencia y 30cm de amplitud. La asociación maíz + frijol es la regla en 60% de este municipio. La superficie promedio de las parcelas alcanzan 1,40ha (los límites son entre 0,75 ha y 2,75ha). En condiciones pluviométricas normales, el maíz se siembra en junio, las cañas se doblan en agosto en el mismo tiempo que se siembra el frijol en dos líneas a ambas partes de las del maíz, de esta manera el frijol puede aprovecharse de las cañas secas del maíz como rodrigones. Se cosecha ambos granos en octubre; a esta época se vuelven bastante secas las mazorcas para temer ataques de varios insectos.

3. METODO

Se trata de seguir al mismo tiempo dos evoluciones:

(i) Los *rendimientos de los cultivos* en la asociación tradicional maíz - frijol, estos rendimientos se analizan no solamente al final del ciclo vegetativo por el peso de los granos, sino también durante el crecimiento de las plantas, siguiendo las eventuales modificaciones de su fenología,

(ii) Los *suelos* de las 7 parcelas experimentales de 400m² de superficie distribuidas en 2 sitios con pendientes diferentes (sitio I = 18% menos erosionado, sitio II = 30% con suelos más erosionados); estas parcelas fueron instaladas al fin del año 1991 dentro de un campo de 1,5ha con la autorización y el apoyo de un campesino (Figura 3).

- dos parcelas sirven de testigo, son las parcelas TEST 1 y TEST 2,
- dos parcelas reciben 15 t/ha de estiércol de gallina (gallinaza) enterrado a la época de la labranza, el proviene de una cría vecina, son las parcelas ESTI 1 y ESTI 2
- dos parcelas reciben 18 t/ha de fragmentos secados a 30% de hojas y ramas de *Gliricidia sepium* (Madre cacao, en El Salvador), estos fragmentos son igualmente enterrados a la época de la labranza, son las parcelas MVFE 1 y MVFE 2,
- una parcela del sitio II recibe las mismas cantidades de los mismos fragmentos que antes; sin embargo, quedan derramados a la superficie del campo después del levantamiento de las semillas, es la parcela MVFS 2.

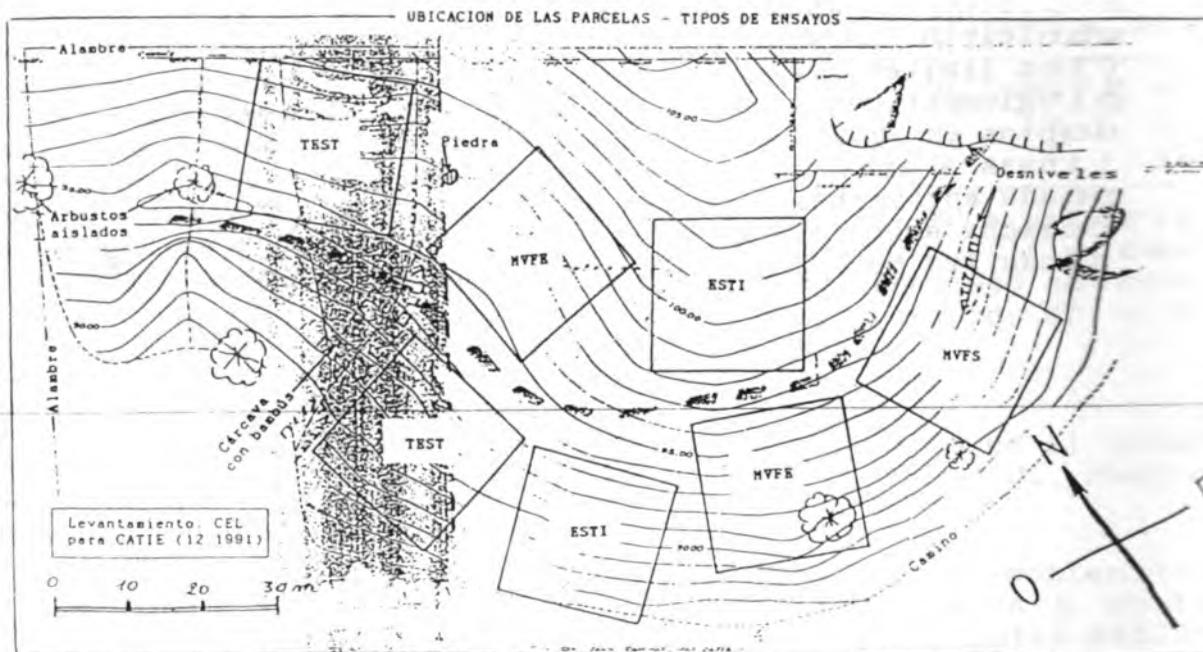


Figura 3: El Salvador, cuenca de Las Cañas, ubicación de las parcelas en el vertiente

El Salvador La Fuente Isovalores C I C 0/10cm

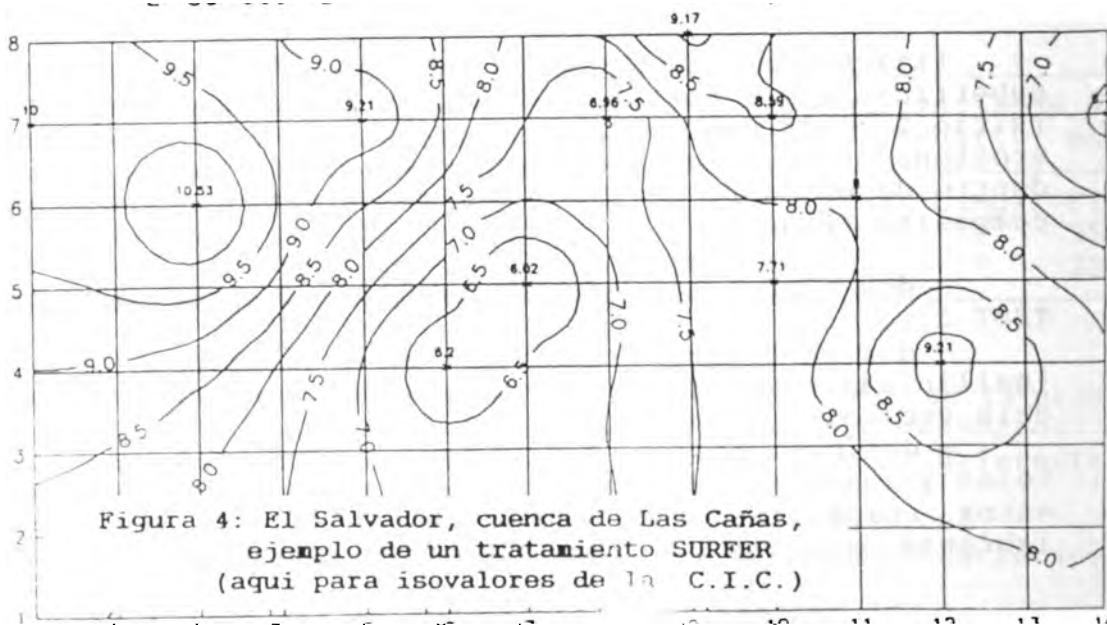


Figura 4: El Salvador, cuenca de Las Cañas, ejemplo de un tratamiento SURFER (aquí para isovalores de la C.I.C.)

La instalación de este sitio que debía representar una forma de degradación particularmente fuerte necesitó varios trabajos preliminares como el reconocimiento pedológico de una zona mucho más amplia (Collinet J., Medrano R. 1991), insospechables tratos con los campesinos-dueños de este municipio, y una nivelación detallada del campo de 1,5ha. La posición exacta de cada una de las 7 parcelas fue determinada cruzando las informaciones topográficas y edafológicas (Figura 3) obtenidas por una campaña de sondeos (5 toposecuencias x 10 sondeos x 3 profundidades). Se ha utilizado también uno de los programas del logiciel SURFER para obtener mapas de isovalores de todos los parámetros físicos y químicos de los cuales se propone seguir las evoluciones ulteriores (Figura 4).

El protocolo experimental prevé observaciones rigurosamente ~~codificadas al igual que se toman muestras de tierra y varios tejidos vegetales~~ a fin de analizarlos. Las observaciones de campo son:

- la dinámica de crecimiento de las cañas del maíz, (4 hasta 6 medidas por año),
- la densidad de las matas,
- la movilización de la tierra erosionable en los intercamellones,
- una evaluación codificada de la re-agregación de los suelos,
- la determinación de los rendimientos así que el pesaje de ciertos órganos de la planta,
- el pesaje de los residuos vegetales después del pastoreo del ganado.

Las muestras para analizar los suelos se toman cada dos meses en 3 profundidades (0/10cm, 15/25cm, 30/40cm) en 3 microparcelas de 4m² sorteadas dentro de cada de las 7 parcelas de 400m². Las tres tomas sorteadas son mezcladas por profundidades idénticas en una muestra única.

Varios tejidos vegetales son igualmente sacados en la época de la cosecha (elotes, granos, cañas). Al final, 162 muestras de suelo y 35 de tejidos vegetales son analizadas cada año en los laboratorios de análisis de suelos y tejidos vegetales del CATIE de Turrialba.

Estas páginas interpretan los primeros resultados.

4. PROBLEMATICA

Este ensayo fue concebido e instalado para identificar y seguir los mejoramientos en los rendimientos de los cultivos, así como en los caracteres de fertilidad general de los suelos. Estos efectos ya se manifiestan o se manifestarán según diferentes escalas de tiempo:

- El corto plazo, que es el efecto inmediato para un ciclo de cultivo. ~~Se producirá un mejoramiento de la fertilidad química de los suelos y, en ella, se deberían notar, sobre todo, los efectos que sacan sus orígenes de los ciclos del nitrógeno y del fósforo, por el contrario no hay carencia de potasio en estos suelos,~~

- El mediano plazo, es decir, 2 hasta 3 ciclos, este es la duración necesaria para reconstruir un complejo absorbente y para percibir los efectos de esta construcción, entre otras cosas, una mejor utilización de los abonos minerales.

- El largo plazo, su vencimiento será más difícil para fijar porque se tratará comprobar un nítido mejoramiento de las características de los suelos reconstruidos; con ello se va a aumentar la porosidad, así como la estabilidad estructural y, entonces, favorecer la infiltración y disminuir la erosión por los flujos superficiales.

Una restauración apoyada sobre aportes de materia orgánica, en particular sobre residuos vegetales frescos de árboles fijadores de nitrógeno, es un buen compromiso.

Esto permitirá aumentar las producciones no con una extensión de la superficies cultivables sino con el mejoramiento de los rendimientos lo que va a fijar o disminuir las actuales superficies en beneficio de operaciones de reforestación con plantas útiles. En el sistema, del cual se propone demostrar la eficacia, estas plantas son las Leguminosas (Gliricidia, Erythrina) diseminadas porque son los residuos de los antiguos cafetales poco productivos actualmente.

5. PRIMEROS RESULTADOS

Estos resultados provienen de los ciclos 1992 y parte de 1993. Las interpretaciones culturales concernirán únicamente el maíz.

5.1. Efecto a corto plazo

Se trata de los efectos inmediatamente visibles que se refieren a los rendimientos en granos, así como a los efectos de la dinámica de crecimiento de ~~las cañas y otros órganos vegetativos~~ sobre la erosión potencial de las tierras.

5.1.1. Rendimiento del maíz

Los gráficos de la Figura 5 enseñan la distribución de los rendimientos del maíz observados al final del ciclo 1992 entre las diferentes parcelas.

Las condiciones culturales "tradicionales" en la microcuenca son las siguientes:

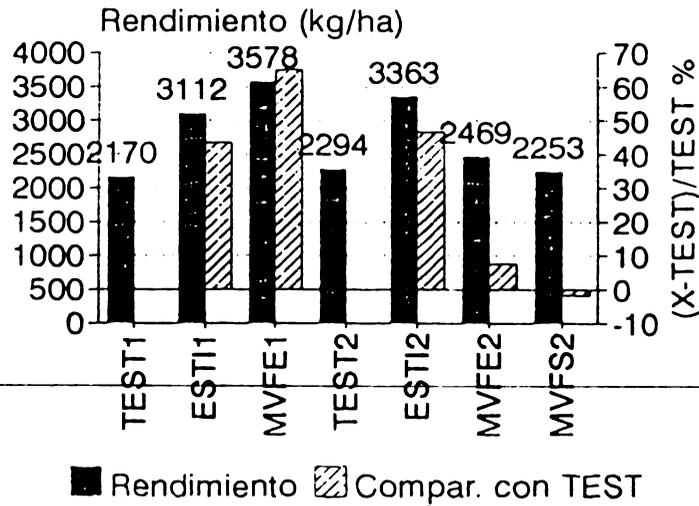
- rendimiento del maíz dado con granos a 14% de humedad,
- variedad local H3, ciclo de 100 días, rendimientos máximas en fincas experimentales con el clima local: 4950kg/ha,
- dos fertilizaciones 80 kg/ha de 20-20-0 a la siembra, 80kg/ha de sulfato de amonio a la aporcadura.
- utilización ocasional de productos herbicidas y fitosanitarios (Gramoxón, Gesaprin).

Fue difícil obtener informaciones sobre los rendimientos exactos (maíz y frijol); en efecto, no hay registros de producción, los campesinos evalúan sus rendimientos en sacos que se puede considerar, después de algunas experiencias, como una unidad bastante fluctuante (volumen, humedad).

Las informaciones bibliográficas, más rigurosas, utilizan los quintales (de libras) por manzana (*). Una revisión de la literatura muestra que, entre un sistema tradicional y un sistema mejorado con abonos minerales de corrección, control de las malezas y frecuentes tratamientos fitosanitarios, los rendimientos varían entre factores 2,5 hasta 3.

=====
 (*) 1 quintal = 100 libras
 1 manzana = 6989m²
 1 libra = 16 onzas = 0,460kg
 1 "saco" pesa más o menos 60 libras en la cuenca

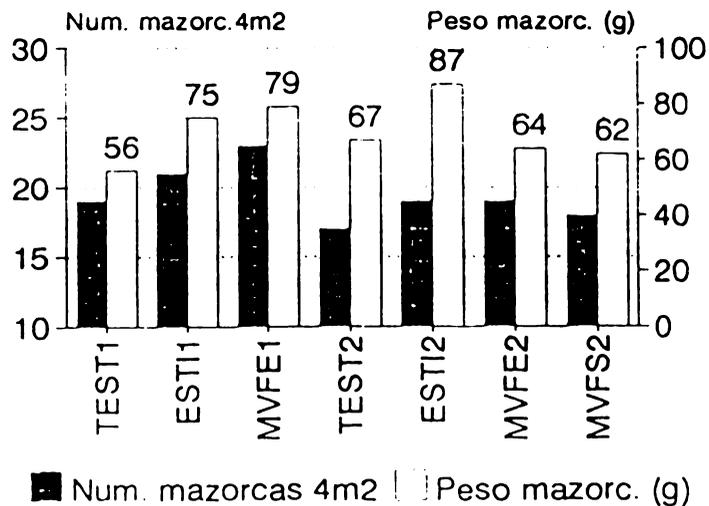
El Salvador, cuenca Las Cañas, maíz 92



hrv MAÍZ9201E

Figura 5: Rendimiento del maíz (ciclo 1992) y comparación con los testigos respectivos

El Salvador, cuenca Las Cañas, maíz 92



hrv MAÍZ9202E

Figura 6: Rendimiento del maíz (ciclo 1992) números y pesos de las mazorcas por microparcelas sorteadas

A continuación se presentan algunas de estas informaciones:

(i) CENTA (1988-1989) maíz en sistema tradicional = 29qq/mz (1908kg/ha), maíz con mejoramiento = 75qq/mz (4936kg/ha),

(ii) Las encuestas de Fontg Manzano M.L., Osorio Alvarez E.C. y Oviedo Machuca J.A (1993) enseñaron que los umbrales de rendimiento son de 3700kg/ha y 6400kg/ha (\bar{X} = 5100kg/ha) con sistema tradicional y entre 5600kg/ha y 10300kg/ha (\bar{X} = 8000kg/ha) con un sistema mejorado,

(iii) La encuesta social e las interpretaciones de F.Perán (1993): los peores rendimientos serían de 20-25 qq/mz de maíz (1316 - 1645kg/ha).

Se debe notar que los lugares señalados de producción de la fuente de información (ii) ~~se caracterizan por suelos mucho más profundos y con caracteres de fertilidad, tanto física, como química, mejores que las del presente ensayo.~~

Los rendimientos de los testigos son de 2170 kg/ha en TEST 1 y 2294 kg/ha en TEST 2. Si se refiere al contexto anterior, son entre los peores rendimientos (**) que se puede notar en la cuenca, lo normal, si se toma en cuenta las malas, sin embargo "elegidas", características del medio físico para nuestra demostración. Con comparación a estos testigos las modificaciones de los rendimientos obtenidos por los 3 tratamientos son indicados en el cuadro III.

Cuadro III: Clasificación de las parcelas por rendimientos y comparación con sus respectivos testigos .

a) Clasificación	MVFE 1	ESTI 2	ESTI 1	MVFE 2	MVPS 2
b) Rendimientos 92	3578	3363	3112	2469	2253
c) Compar.con TEST	+64,9%	+46,6%	+43,4%	+7,6%	-1,8%

(a)= parcelas, tipo y sitio, p.e. MVFE 1 significa parcela "material vegetal fresco enterrado" del sitio 1

(b)= rendimientos en kg/ha, granos secos a 14%, varied. H3

(c)= comparación con el testigo = $[\bar{X}-TEST] / TEST$

=====
 (**) ..Peores rendimientos: se debe relativizar esta apreciación considerando los rendimientos de la región latino-americana que se distribuyen de la manera siguiente (fuente: World Resources 1990-1991, rendimientos en "cereales" de los años 1986-1988):
 - América del Sur: 1320 hasta 3920kg/ha (\bar{X} = 2034kg/ha)
 - América Central: 1475 hasta 2280kg/ha (\bar{X} = 1769kg/ha).

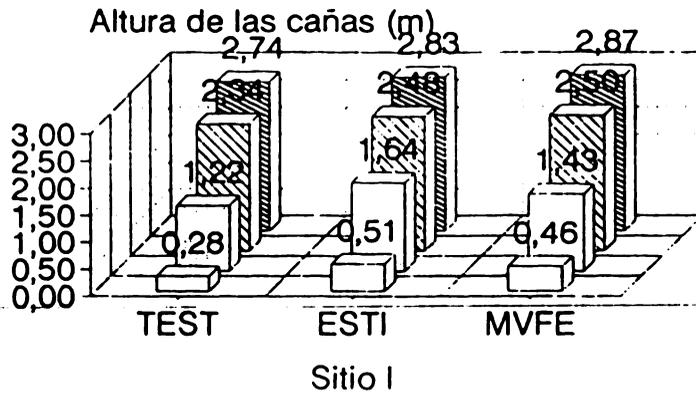
Las tierras más erosionadas del sitio 2 más inclinado tienen condiciones iniciales menos favorables a causa de sus débiles espesores, de cargas importantes con gravas y guijarros de pomas y tasas originales muy débiles de materia orgánica. De modo que los efectos de los aportes en materia orgánica fresca (MVFE 2 y MVFS 2) no se manifiestan tanto como en las parcelas del sitio 1 (arriba) que poseen una fertilidad física original relativamente mejor.

Las pérdidas de las semillas bajo el efecto de la erosión hídrica aparecen en la Figura 6, considerando los números de mazorcas por microparcels sorteadas en el sitio 2 (abajo).

En cuanto a la tasa de relleno de las mazorcas (peso de granos por mazorca), ~~ella es la consecuencia directa del mejoramiento de la fertilidad obtenido por incorporación de abonos orgánicos.~~ Así, el producto {números de mazorcas (o de pies) x tasa de relleno} explica totalmente las diferencias entre las varias situaciones experimentales.

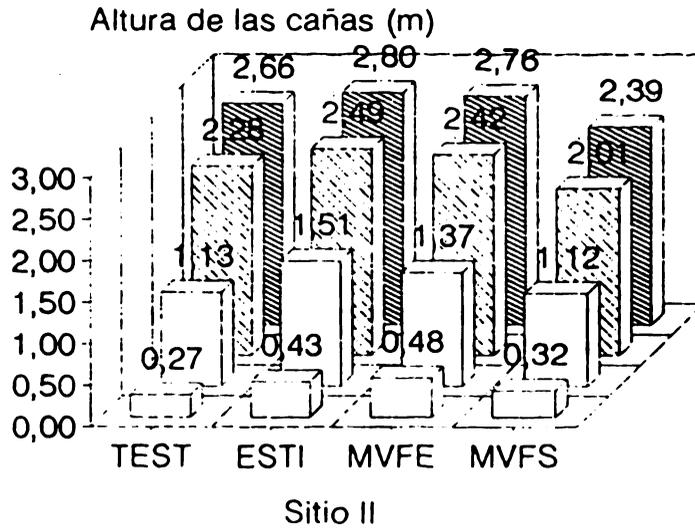
Se ha considerado progresar en este análisis de las diferencias de rendimiento siguiendo la dinámica de crecimiento del maíz. En las Figuras 7 y 8, aparece que los mejoramientos de rendimiento fueron ligados con una velocidad de crecimiento más rápida en las parcelas ESTI y MVFE, lo que permite alargar más el tiempo de maduración antes de la sequía.

El Salvador, cuenca Las Cañas, maíz 92



Julio 92 Agosto 92
 Setiembre 92 Octubre 92

hrv CREMAZ03E



hrv CREMAZ04E

Figuras 7 y 8: Dinámica de crecimiento de las cañas del maíz (ciclo 1992) en todas situaciones experimentales

5.1.2. Protección ofrecida por la cobertura vegetal

Es bien conocido que el desarrollo rápido de una cobertura vegetal densa al principio de la estación lluviosa permite interceptar la energía de las lluvias y disminuir la movilización de la tierras erodibles (Roose E. 1977, 1981). Esta interceptación de energía por la cobertura justifica el parámetro "C" de la ecuación de previsión de perdidas de tierras de Wischmeier W.H. y Smith D.D. (1978).

Se tuvo aquí otra oportunidad de verificar este efecto, precisamente a la época de las primera intensas lluvias previas a la instalación de la estación lluviosa. Por eso se utilizó un ~~método original adaptado a la situación de campos arados con camellones en curva de nivel~~, evaluando las masas de los sedimentos acumulados en todos los inter-camellones de cada parcela de 400m².

Las Figuras 9 y 10 enseñan un ejemplo de la amplitud de la movilización de estos sedimentos en las depresiones inter-camellones y, sobre todo, el papel de la dinámica de crecimiento de las cañas sobre esta movilización. Los sedimentos provienen de la conjunción de numerosas salpicaduras y microcoluviones locales. No se trata exactamente de una erosión porque la tierra no se quita del campo. Sin embargo estas masas movilizadas dan la dimensión exacta de una *erosión potencial* en caso de ruptura continua de los camellones que provocaría un flujo sólido generalizado. Las masas de tierra disponibles por esta erosión potencial se relacionan exactamente con:

- (i) la resistencia intrínseca de los terrones del arado,
- (ii) las estructuras y densidades de las coberturas vegetales.

En la Figura 9 se determinó el peso de los sedimentos por inter-camellones de 20m de longitud (valores en kilogramos por 20m de intercamellón).

La Figura 10 enseña la misma información, sin embargo presentada con valores cumulas por todo un campo (valores en toneladas por hectarea).

La Figura 11 ilustra una síntesis de estas observaciones en el sitio 2, asociando las variables: *densidad de cobertura y movilización de las tierras*. Este efecto aparece mucho más en las parcelas TEST 2 y MVFS 2 que tuvieron una velocidad de crecimiento más baja que la de ESTI 2, donde una dinámica de crecimiento más rápida permitió obtener una protección eficaz más rápidamente.

El Salvador La Fuente Sitio 2

Tierra movilizada por camellón camel03

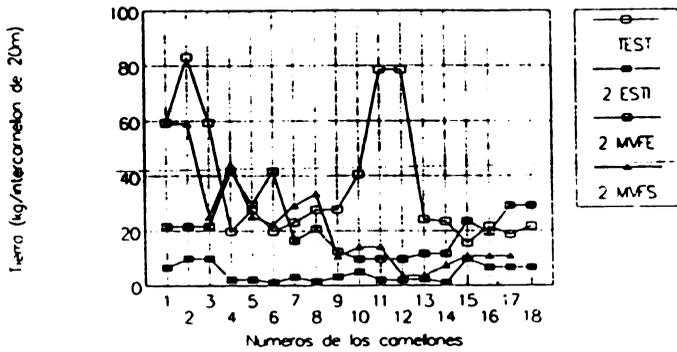


Figura 9: Tierras movilizadas por parcelas en los intercamellones de 20m. de largo

El Salvador La Fuente Sitio 2

Tierra movilizada por parcela (camel04)

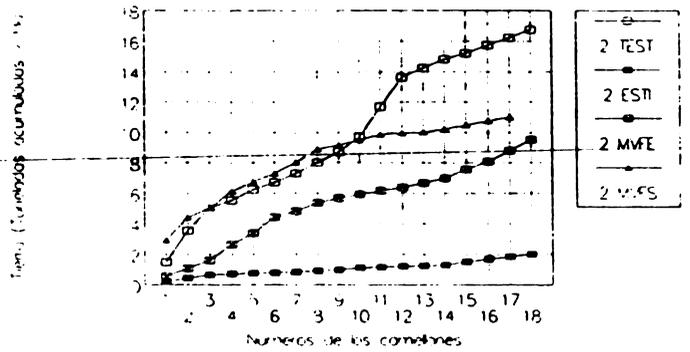


Figura 10: Tierras movilizadas acumuladas en las parcelas del sitio 2 (ton./ha)

Cobertura / Erosion (Camel06)

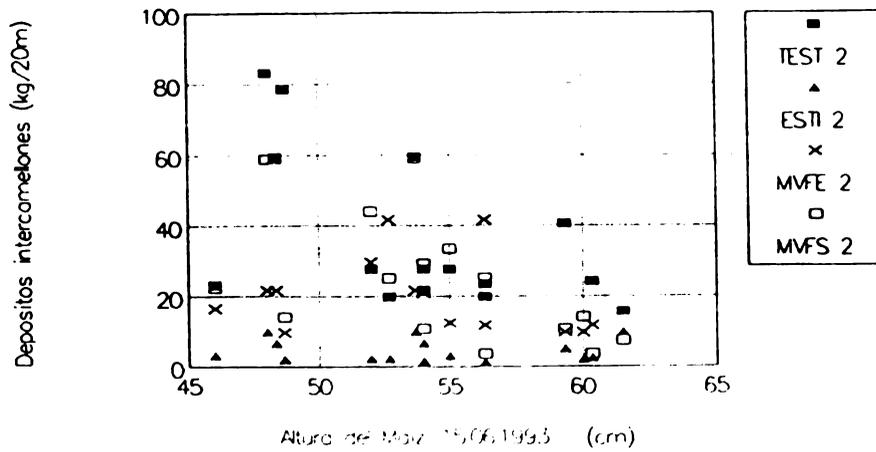


Figura 11: Efecto de las coberturas vegetales en la movilización de las tierras (sitio 2)

5.2. Efecto a mediano plazo

Se trata ahora de identificar las primeras señales de la *reconstrucción de un complejo absorbente* que permitirá pasar del estado actual de casi no-suelo hasta el estado de un suelo real. Por eso se ha seguido la dinámica de las tasas de materia orgánica (carbono orgánico x 1,724 en %) en todas las situaciones experimentales, así como la evolución de la capacidad de intercambio del complejo absorbente. (C I C en miliequivalentes por 100 gramos de tierra). Las tendencias evolutivas nos parecen ya ~~bastante explícitas para tratar de este aspecto al fin del primer ciclo.~~

5.2.1. Evolución de la materia orgánica

Las Figuras 12 y 13 muestran las *evoluciones de las tasas de MO de las parcelas individuales* de los dos sitios durante el ciclo 1992.

Para poder comparar estrictamente los efectos de cada tratamiento, se ha concebido un sistema de ponderación de todos los datos de análisis de las parcelas con abonos. Se han modificado sus datos iniciales (+ o -) para tomar en cuenta las inevitables diferencias de niveles de fertilidad de cada parcela antes de abonarlas. El cálculo de estas ponderaciones aparece en el cuadro IV.

Con abonos de 15t/ha de estiércol de gallina (gallinaza) de las parcelas ESTI y 18t/ha de fragmentos vegetales frescos de Madre Cacao se observaron los resultados siguientes:

a) Unos mejoramientos pero que parecen ocasionales con un pico durante el ciclo y valores finales no tan diferentes de las iniciales: pico de casi 2% de MO (MVFE 2), pico de 1,32% (ESTI 1)

b) O bien sea unos mejoramientos más continuos con valores máximos en fin del ciclo (ESTI 2, MVFE 1, MVFS 2).

El Salvador, cuenca Las Cañas

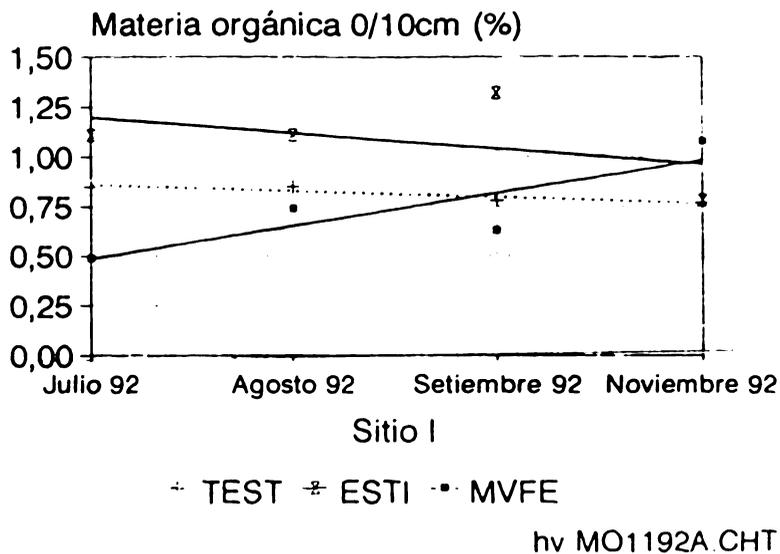


Figura 12: Evolución de la materia orgánica sitio 1, parcelas TEST, ESTI, MVFE, 0/10cm

El Salvador, cuenca Las Cañas

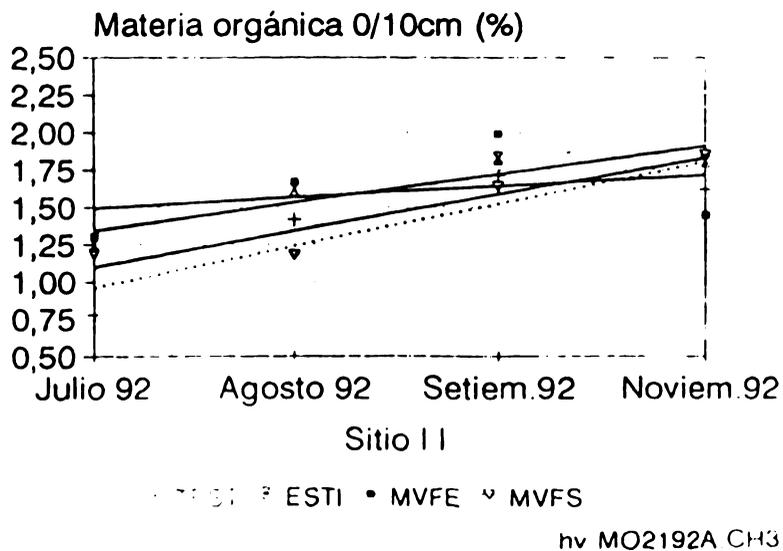


Figura 13: Evolución de la materia orgánica sitio 2, parcelas TEST, ESTI, MVFE, MVFS, 0/10cm

Cuadro IV: Ejemplo de ponderación de los datos analíticos para permitir todas comparaciones de evolución con los Testigos (Ejemplo MO% TEST 1 y ESTI 1 0-10cm)				
Tasas iniciales de MO % antes que de abonar		TEST 1	ESTI 1	
		0,25	1,05	
Resultados de análisis			Correcciones	
			sin	con
Julio	92	0,85	1,91	1,11 (a)
Agosto	92	0,85	1,91	1,11
Setiembre	92	0,78	2,12	1,32
Noviembre	92	0,77	1,58	0,78
(a)		1,91 - (1,05-0,25) = 1.11		

Las Figuras 14 hasta 17 ilustran una representación de las tendencias de estas *evoluciones con comparación a los testigos respectivos*, esta comparación se expresa en porcentaje positivo o negativo y se calculan por cada mes de la manera siguiente:

$$\% \text{ de modificación} = 1 - \frac{\text{Tasa parcela X}}{\text{Tasa parcela TEST}}$$

De la lectura de los gráficos se puede decir:

a) en julio (principio del ciclo 92) se notan en los 10 primeros centímetros de suelo de las parcelas ESTI, MVPE y MVFS entre 30 y 70% más de MO que en las parcelas testigos;

b) después, se nota una *degradación de la MO de las parcelas ESTI* de los dos sitios y se va a encontrar al final del ciclo (noviembre 92) tasas de MO equivalente a las de los testigos respectivos con 1- [parcela X / test] # 0,0% ; esta tendencia muy nítida para los 10 primeros centímetros se reproduce más abajo (15-25cm) pero con tasas finales variables en noviembre.

c) por comparación se nota, durante el ciclo, un *aumento progresivo de las tasas de MO de las parcelas MVPE*, bien nítido por lo menos en el sitio 1, hasta 25cm de profundidad,

d) no se tiene bastante información por el momento en lo que se refiere a los datos MVFS de 1992 (muestras destruidas).

El Salvador, cuenca Las Cañas

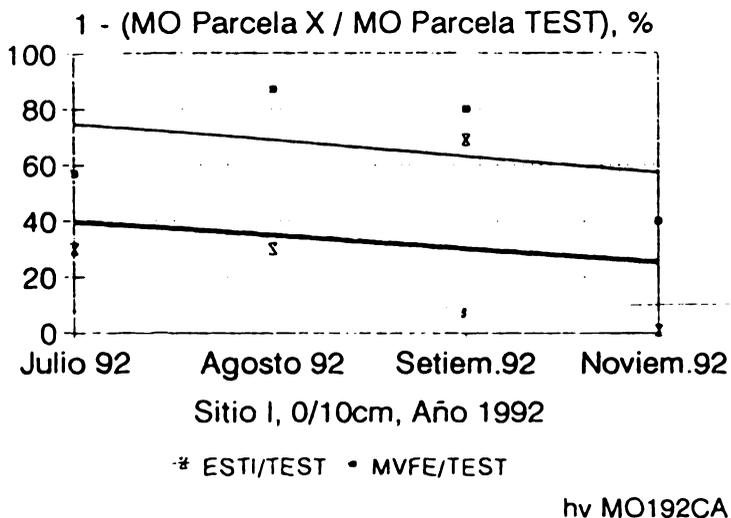


Figura 14: Comparación de las tasas de MO con las de los testigos respectivos, sitio 1, ESTI/TEST, MVFE/TEST, 0-10cm, ciclo 1992

El Salvador, cuenca Las Cañas

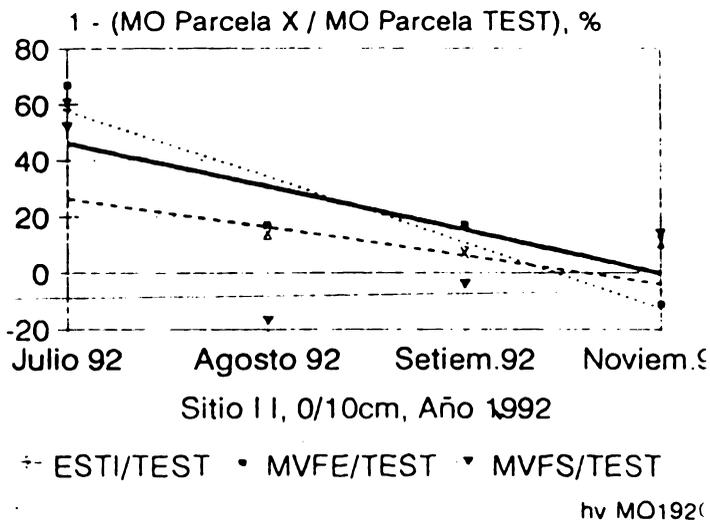


Figura 15: Comparación de las tasas de MO con las de los testigos respectivos, sitio 2, ESTI/TEST, MVFE/TEST, MVFS/TEST, 0-10cm, ciclo 1992

El Salvador, cuenca Las Cañas

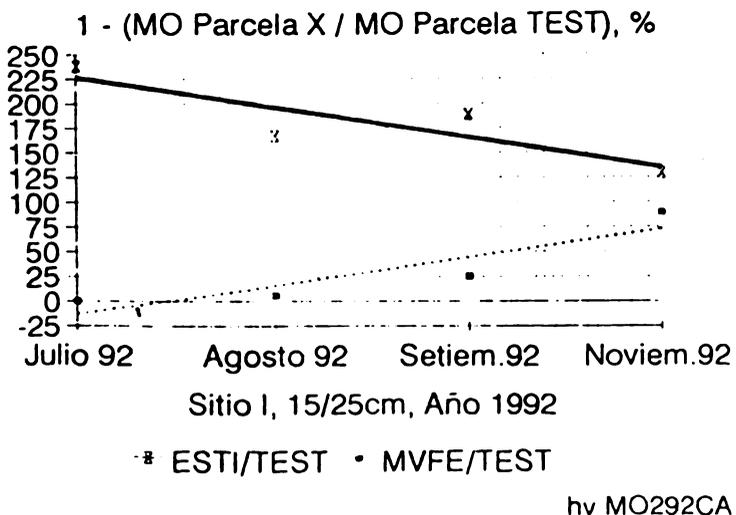


Figura 16: Comparación de las tasas de MO con las de los testigos respectivos, sitio 1, ESTI/TEST, MVFE/TEST, 15-25cm, ciclo 1992

El Salvador, cuenca Las Cañas

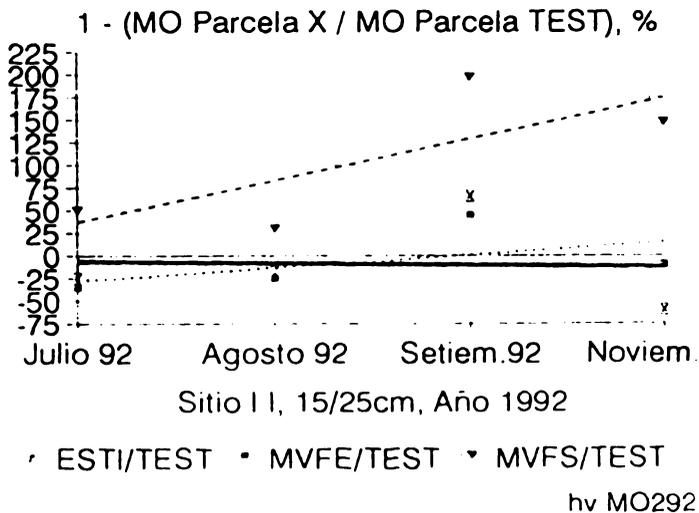


Figura 17: Comparación de las tasas de MO con las de los testigos respectivos, sitio 2, ESTI/TEST, MVFE/TEST, MVFS/TEST, 15-25cm, ciclo 1992

Los resultados precedente se interpretan como el resultado de procesos antagónicos y concomitantes que son:

(i) una mineralización de los abonos orgánicos añadidos,

(ii) y, a partir de los mismos abonos, una humificación en compuestos precursores pocos polimerizados hasta ácidos húmicos más polimerizados. Este antagonismo va en el sentido de una mineralización del estiércol de las parcelas *ESTI* y, al contrario, inclina a favor de la síntesis de precursores húmicos edificados a partir de los materiales vegetales casi frescos de las parcelas *MVFE*. La situación *MVFS* debería enseñar la misma tendencia que *MVFE* pero falta bastante información en este ciclo 1992 para interpretarla.

Se puede notar que la situación *MVFE* parecería, en este momento, la más interesante a proponer.

5.2.2. Evolución del complejo absorbente

La modificación textural provocada por la labranza tiene un efecto positivo en el complejo absorbente catiónico. Esto, se puede constatar en el gráfico de la Figura 18 donde se ha expresado esta evolución con arreglo a las tasas de las arcillas, todas las situaciones confundidas (sitios, parcelas, profundidades).

Estando aislado este "efecto arcilla", se han seguido las evoluciones de las capacidades de intercambio catiónico (C I C) expresando sus modificaciones con sus testigos respectivos y tomando la precaución de ponderar los datos por niveles iniciales alineados sobre los de los testigos respectivos (proceso ya demostrado en el cuadro IV). Los gráficos de las Figuras 19 hasta 22 enseñan que las C I C se distribuyen más o menos entre 5,5 y 14 meq/100g, todas las situaciones confundidas.

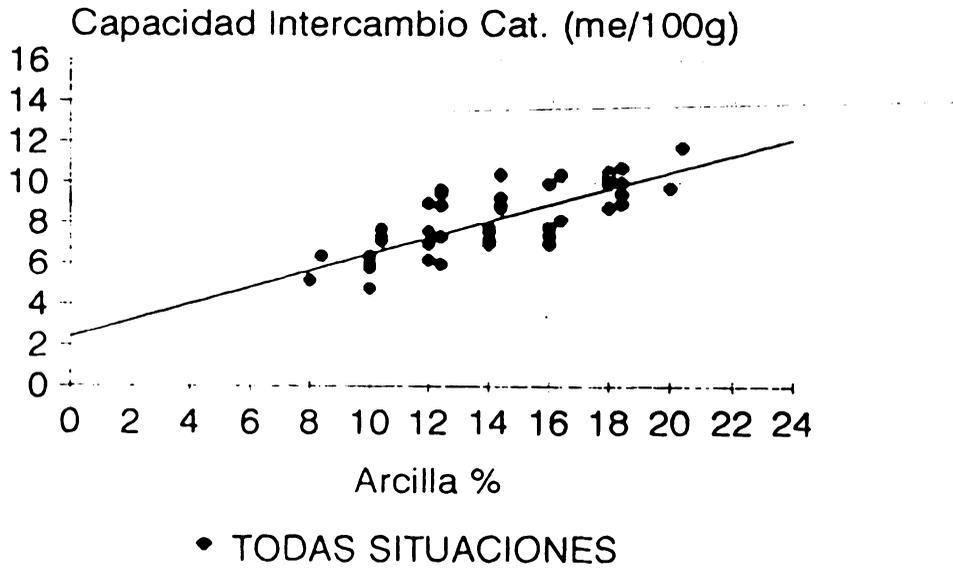
Las comparaciones aparecen en los gráficos de las Figuras 23 y 24.

En el balance los tratamientos *ESTI* tienen los efectos más relevantes:

(i) con un nivel del C I C casi continuamente 30% más alto que el testigo en el sitio 1,

(ii) con un aumento continuo entre -10% hasta +15% de la CIC del sitio 2.

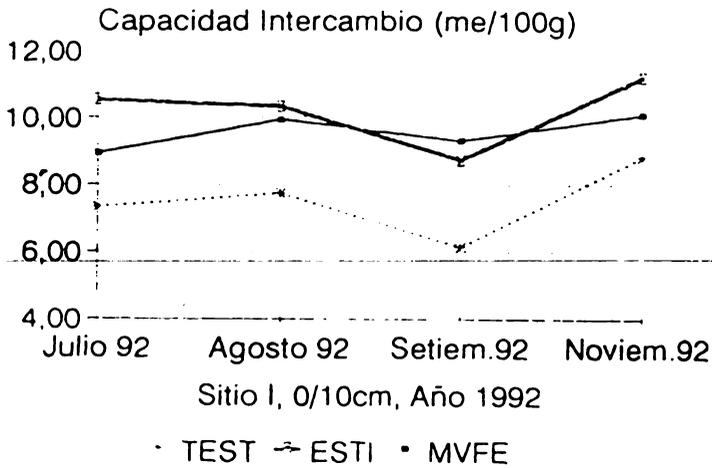
El Salvador, cuenca Las Cañas



hv CIC/ARC

Figura 18: Relación Capacidad de Intercambio y tasas de las arcillas en todas situaciones (sitios, parcelas, profundidades)

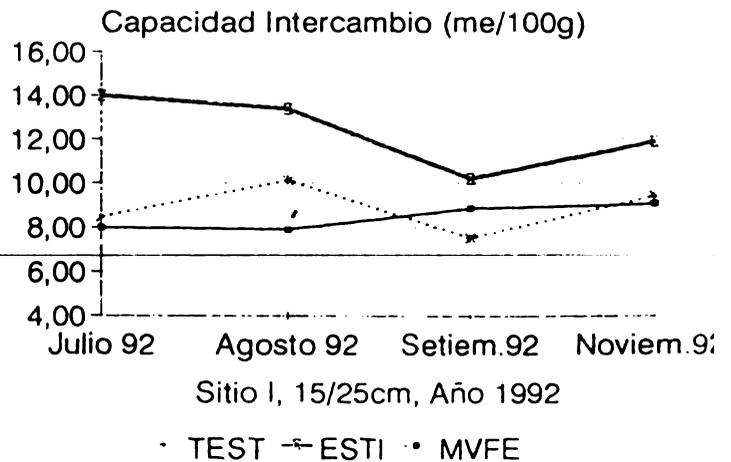
El Salvador, cuenca Las Cañas



hv CIC92A

Figura 19: Evolución de la C.I.C. (maíz 1992) sitio 1, parcelas TEST, ESTI, MVFE, 0/10cm

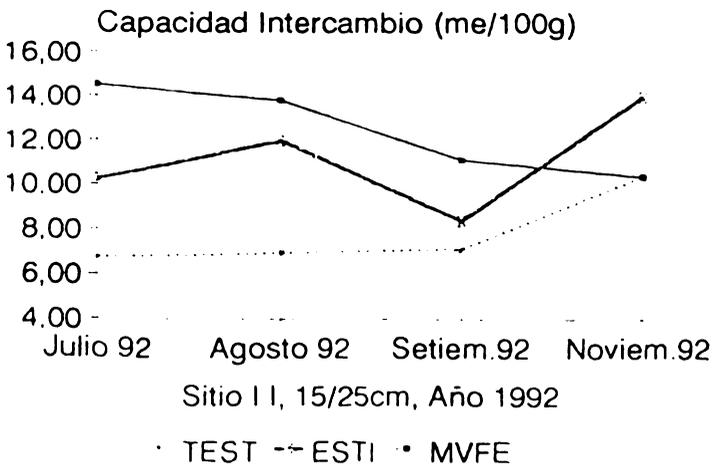
El Salvador, cuenca Las Cañas



hv CIC92E

Figura 20: Evolución de la C.I.C. (maíz 1992) sitio 1, parcelas TEST, ESTI, MVFE, 15/25cm

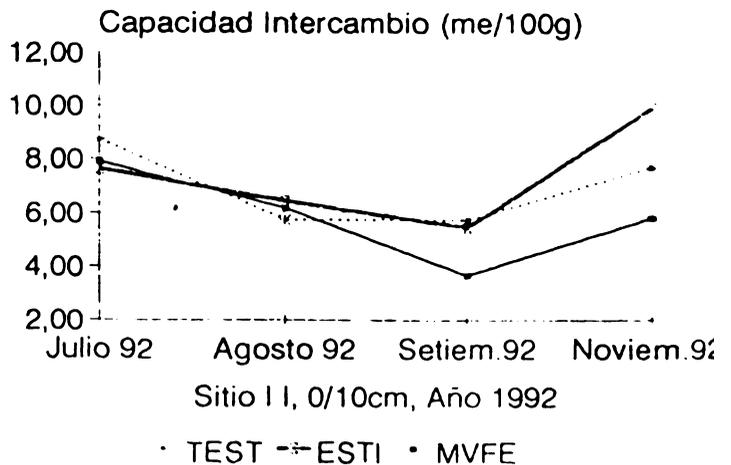
El Salvador, cuenca Las Cañas



hv CIC92D

Figura 22: Evolución de la C.I.C. (maíz 1992) sitio 2, parcelas TEST, ESTI, MVFE, 15/25cm

El Salvador, cuenca Las Cañas



hv CIC92C

Figura 21: Evolución de la C.I.C. (maíz 1992) sitio 2, parcelas TEST, ESTI, MVFE, 0/10cm

En cambio, se nota que el tratamiento *MVFE* es menos interesante porque:

(i) No hay modificaciones o además se observa una disminución de la C I C con arreglo al testigo (MVFE 2 de los 0-10cm y MVFE 1 de los 15-25cm),

(ii) El efecto se queda positivo pero con una disminución continua entre junio 92 y julio 93 (MVFE 1 de 0-10cm y MVFE 2 de los 15-25cm),

(iii) No se tienen bastante informaciones en lo que se refiere a la parcela *MVFS*

El análisis de la situación precedente, relativa al mediano plazo concedería la preferencia a un mejoramiento de los suelos apoyada en la incorporación de los estiércoles de gallina (ESTI). Esto va en contra de lo que se propuso al final de una observación de los efectos a corto plazo donde se recuerda que la incorporación de materias frescas (MVFE) eran más interesante por dar al suelo compuestos que tienden a concentrarse al final del ciclo.

Para afinar este análisis se ha probado aislar más estrictamente el efecto de la materia orgánica sobre esta C I C.

Los gráficos de las Figuras 25 y 26, donde la C I C es expresada con arreglo a las tasas de MO, enseñan de manera altamente significativa que existen dos comportamientos totalmente opuestos de las sustancias orgánicas que provienen de los dos tipos de abonos:

- las sustancias sintetizadas, o ya contenidas, en los *estiércoles de gallina* (ESTI - Figura 25) propician la construcción de un *complejo organo-mineral activo* y se constata efectivamente un aumento regular de la C I C,

- las sustancias sintetizadas a partir del entierro de materiales vegetales frescas (MVFE - Figura 26) tiene un efecto negativo en el desarrollo de la C I C.

Como las observaciones no tratan más que de un ciclo y del principio de otro, sus interpretaciones son solamente parciales. Para entender lo que precede, nos proponemos una explicación como hipótesis de trabajo :

(i) las sustancias orgánicas sintetizadas en pocas cantidades a partir de los materiales vegetales frescos, son "aniones orgánicos precursores" que, por el momento, saturan los sitios positivos de cambio de las arcillas,

El Salvador, cuenca Las Cañas

El Salvador, cuenca Las Cañas

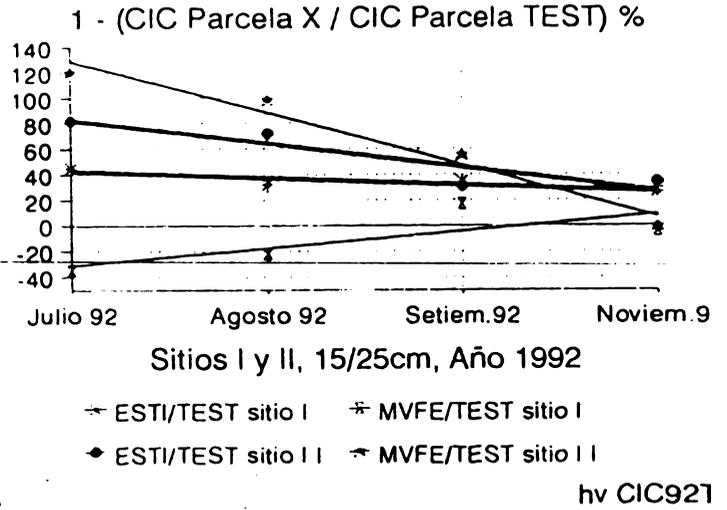
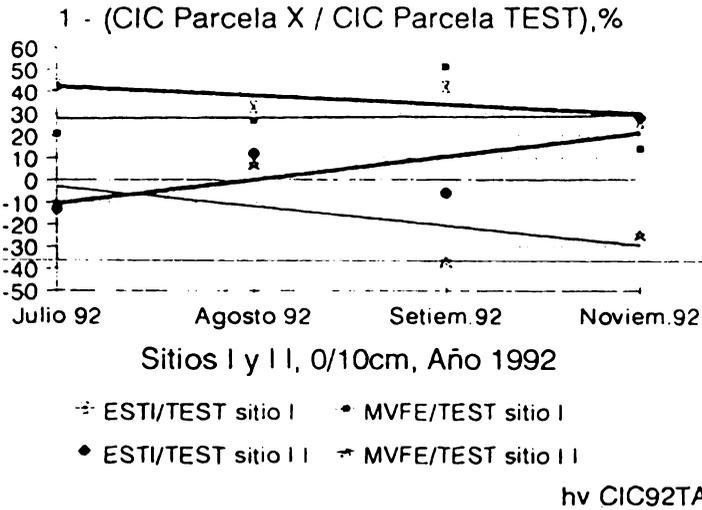


Figura 23: Comparación de las C.I.C de las diferentes parcelas con las de sus testigos respectivos, 2 sitios, 0/10cm, ciclo 1992

Figura 24: Comparación de las C.I.C de las diferentes parcelas con las de sus testigos respectivos, 2 sitios, 15/25cm, ciclo 1992

El Salvador, Las Cañas
CIC-MO, parcelas ESTI, 2 sitios

El Salvador, Las Cañas
CIC-MO, parcelas MVFE, 2 sitios

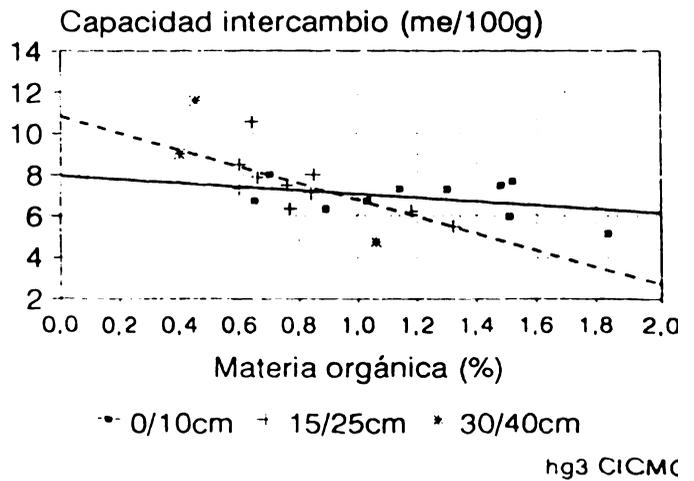
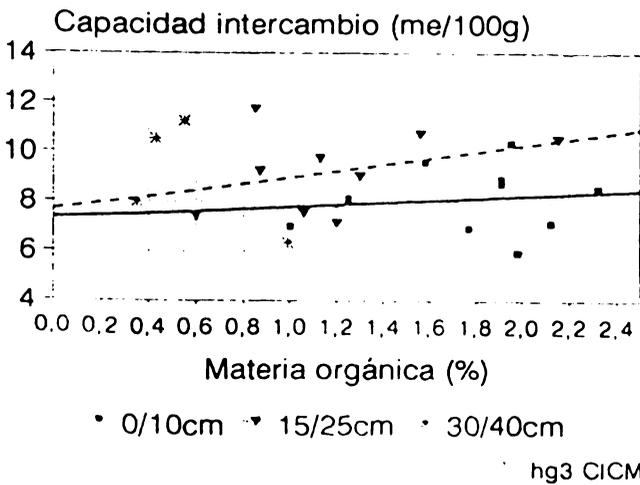


Figura 25: Análisis del efecto de los compuestos orgánicos en la C.I.C., 2 sitios, parcelas ESTI

Figura 26: Análisis del efecto de los compuestos orgánicos en la C.I.C., 2 sitios, parcelas MVFE

(ii) por eso, ellas todavía no se comportan como "cemento" y agentes estabilizadores de las partículas minerales, del mismo modo todavía no constituyen complejos órgano-minerales susceptibles de reforzar y amplificar el único papel de las arcillas en la fijación catiónica (***)).

5.3. Efecto a largo plazo

Conviene recordar que, en esta escala de tiempo que será de 5 años y más, se debería observar un mejoramiento de las características físicas de los suelos reconstruidos y, con ellas, un aumento de la porosidad, de la estabilidad estructural, de la infiltración y, finalmente, una disminución de la erosión por los flujos hídricos superficiales.

Aunque esta escala de tiempo queda poco explorada, ya se han observado las dos cosas siguientes:

- aparición al lugar de un material inicialmente pulverulento de una estructuración poco a medianamente desarrollada con dos categorías de agregados: (i) subangulosos de 25 a 35mm de diámetro en las parcelas ESTI y MVFE, (ii) lo mismo con una asociación de agregados redondos muy finos de 3 hasta 5mm de diámetro en MVFS, donde el origen biológico no es dudoso,

- aparición de un "pre-suelo" de 12 cm particularmente nitido en la parcela MVFS 2.

=====
 (***) mismo efecto ya encontrado en Nicaragua (Esteli) pero en suelos arcillosos sobre basaltos (Haplustols).

6. CONCLUSIÓN - RECOMENDACIONES

El cuadro IV resume todas las interpretaciones propuestas antes. Por eso se ha utilizado un código de 0 hasta 3 para presentar los efectos observados de los abonos, así como de sus tipos de incorporación. Las informaciones sobre las parcelas MVFS son todavía parciales.

Cuadro IV: Resumen de los efectos de los abonos orgánicos en los 7 ensayos (ciclo 1992)							
PARCELAS							
	TEST1	ESTI1	MVFE1	TEST2	ESTI2	MVFE2	MVFS
<u>Efectos a corto plazo</u>							
rendimiento	1	3	3	1	3	2	1
movilización tierra	0	2	0	0	3	1	1
<u>Efectos a mediano plazo (Comparación parcelas X y parcela TEST)</u>							
dinámica MO 0-10cm.	0	1	3	0	1	0	0
dinámica MO 15-25	0	0	3	0	0	1	2
dinámica CIC 0-10	0	0	0	0	2	0	0
dinámica CIC 15-25	0	0	2	0	0	0	0
CIC = f(arcil)0-10	2	0	2	2	0	2	?
CIC = f(arcil)15-25	3	2	3	3	2	3	?
CIC = f(MO) 0-10	0	1	0	0	1	0	?
CIC = f(MO) 15-25	2	2	0	2	2	0	?
<u>Efectos a largo plazo</u>							
Desarrollo de una estructura:	0	2	3	0	1	3	2
Balance:	8	13	19	8	15	12	(>8)
Clasificación de los mejoramientos observados							
MVFE1 > ESTI2 > ESTI 1 > MVFE2 > MVFS2 > TEST 1 = TEST 2							
Código de los efectos interesantes	0 = sin efecto o efecto negativo 1 = poco positivo 2 = medianamente positivo 3 = fuertemente positivo						

Al final de la exposición de estos primeros resultados se debe elegir entre dos tratamientos: residuos frescos (MVFE, MVPS) o la gallinaza (ESTI).

Se recuerda que los argumentos científicos fueron los siguientes:

1. La materia orgánica que proviene del estiércol tiende a desaparecer por mineralización de manera más o menos rápida al final del ciclo mientras que aumenta el almacenamiento de materia orgánica al final del mismo ciclo con el uso de materiales vegetales frescos: *así, pues, la situación MVFE sería más interesante que la situación ESTI.*

2. El "latigazo" proporcionado a los cultivos por los dos ~~tratamientos~~ (MVFE y ESTI) ~~se traduce por aumentos comparables de los rendimientos: así los tratamientos MVFE y ESTI serían equivalentes,~~

3. La protección propuesta contra la erosión es mejor con el tratamiento ESTI que permite un desarrollo más rápido de los órganos vegetativos de la planta y, consecuentemente, una protección eficaz durante las primeras tormentas: *ESTI sería más interesante que MVFE,*

4. Sin embargo, el estiércol permite construir más rápidamente un complejo de intercambio: *ESTI devendría mejor que MVFE.*

Al final de este ciclo, si se apoya únicamente sobre los argumentos científicos, el balance es difícil de establecer a la hora de elegir uno u otro tratamiento; tal vez existe una pequeña preferencia por la gallinaza (ESTI).

Ahora bien, si se considera que se trata también:

(i) de rebasar los límites de una finca para considerar la obra de *conservación a la escala de la cuenca,*

(ii) y si se integra igualmente los argumentos socio-económicos, la preferencia irá a la utilización de los materiales vegetales frescos, propósito que se va ahora desarrollar poco más.

La situación que se encuentra es la siguiente:

- pequeñas superficies de los campos (<2 ha),
- campos diseminados y fuera de las viviendas,
- acceso generalmente difícil para el transporte de cualquier material
- suelos muy degradados en pendientes fuertes,
- campos sin agua en sus proximidades durante la sequía.

Tomando en cuenta todas estas dificultades, el trabajo en estos campos queda difícil para los campesinos, la topografía no permite más que de labrar 50% de las superficies de las laderas. Así quedan libre de cultivos áreas que son barbechos de largo tiempo o charrales o anchos límites entre dos propiedades vecinas.

Con el aumento de los rendimientos se puede esperar un aumento de la productividad de la tierra, de manera que no se debería temer más una extensión exagerada del degradante sistema extensivo actual. En estas superficies ganadas, se podría favorecer la extensión de plantaciones útiles sembrándolas con leguminosas arborescentes (*Gliricidia sepium*, *Erythrina fusca*) que podrán dar, después de 4 años aproximadamente 8 t/ha de materiales frescos como hojas y ramas (Fassbender H.W. 1987). Se puede notar que estos valores devienen compatibles con las cantidades reclamadas por el sistema precedente.

Estos árboles no serán únicamente útiles para una cosecha anual de materiales frescos, más bien sus extensiones modificarán poco a poco la cobertura de la cuenca. El efecto indirecto será un aumento de la protección general de la cuenca contra las degradaciones:

- (i) de los flujos hídricos superficiales,
- (ii) ligadas con los riesgos de deslizamientos.

Se debería considerar atentamente este último riesgo considerando que el aumento de la infiltración obtenido gracias a ciertas medidas estructurales de conservación (zanjas, acequias de ladera) tiene como contrapartida la posibilidad de acercarse demasiado de la zona de sobresaturación hídrica de los suelos o de los materiales parentales sueltos como cenizas, pomas, tobas blandas. Por vía de consecuencia esta saturación hídrica, si no está controlada por campañas de medidas humidimétricas, podría provocar algunos deslizamientos en los materiales que tienen las menores cohesiones.

Este aspecto demuestra, si era todavía necesario, las dificultades particulares de enfocar cualquier medida conservacionista satisfactoria en las cordilleras centroamericanas con rocas volcánicas piroclásticas sueltas.