

1000
INSTITUTO COSTARRICENSE DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
CALLE 15 DE FEBRERO
TURRIALBA, COSTA RICA

// **INFORMACION METODOLOGICA PARA EL ESTUDIO DE
CONSERVACION DE SUELOS POR EFECTO DE CULTIVOS EN
CALLEJONES Y APLICACION DE MULCH, EN TIERRAS DE
LADERAS, SAN JUAN SUR, TURRIALBA , COSTA RICA**

JORGE FAUSTINO (1)
DONALD KASS (2)
T. ISABELLE LEBEUF (3)

- (1) Especialista en Conservación de Suelos y Aguas.
- (2) Especialista en Manejo de Suelos y Agroforestería.
- (3) Egresada del Programa de Maestría del CATIE.

Turrialba, Setiembre de 1993

COSTA RICA



PRESENTACION

Esta información presenta las recomendaciones prácticas para conducir la investigación de ensayos relacionados a Sistemas Agroforestales y Conservación de Suelos, en el Proyecto establecido en San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica.

Se ha considerado importante ordenar todo el proceso, con detalles de sus actividades e indicaciones de como manejar la investigación, ya que en el primer documento de tesis solo se presentaron los primeros resultados. También se detallan los análisis cuantitativos requeridos, para establecer su homogeneidad en la continuación y seguimiento de los años posteriores. Las referencias se basan en las experiencias de los años 1991 y 1992.

El estudio en proceso se lleva a cabo en forma conjunta entre los Programas de Agricultura Sostenible y Manejo Integrado de Recursos Naturales, através de sus Proyectos de Arboles Fijadores de Nitrogeno y RENARM/Manejo de Cuencas, del CATIE. Se reconoce el valioso aporte y gran interés de la estudiante de maestría Ing. T. Isabelle Lebeuf, quien durante el desarrollo de la investigación recopiló la información en su tesis, para elaborar esta guía.

La información no es definitiva, aun cuando ya se han implementado reajustes, se espera mejorar la conducción y análisis de los tratamientos, incorporando nuevas evaluaciones, buscando métodos y técnicas sencillas y eficientes, que otorguen criterios para desarrollar una agricultura sostenible en laderas.

INDICE

| | Pág |
|--|-----|
| 1. INTRODUCCION..... | 3 |
| 2. DESCRIPCION METODOLOGICA..... | 4 |
| 2.1. Geología, propiedades físicas y químicas del suelo de la región de San Juan Sur..... | 4 |
| 2.2. Datos generales sobre el sitio experimental..... | 7 |
| 2.3. Información técnica de la especie <i>Erythrina fusca</i> Lour..... | 8 |
| 2.4. Descripción de las parcelas experimentales, bloques y tratamientos..... | 10 |
| 2.5. Diseños experimentales..... | 16 |
| 2.6. Manejo de los tratamientos antes de la siembra..... | 17 |
| a) Ajustes de las parcelas de escurrimiento..... | 17 |
| b) Control y manejo de malezas, preparación para la siembra..... | 18 |
| c) Reemplazo de los árboles muertos en los cultivos en callejones..... | 19 |
| d) Manejo y aplicación de mulch..... | 19 |
| e) Poda de los árboles en los cultivos en callejones..... | 20 |
| 2.7. Siembra de los granos básicos..... | 21 |
| a) Siembra del frijol..... | 21 |
| b) Siembra del maíz..... | 22 |
| 2.8. Manejo del cultivo después de la siembra..... | 24 |
| a) Para el frijol..... | 24 |
| b) Para el maíz..... | 25 |
| 2.9 Madurez fisiológica..... | 25 |
| a) Del frijol..... | 25 |
| b) Del maíz..... | 25 |
| 2.10. Rendimiento de los granos básicos..... | 27 |
| a) Rendimiento del frijol..... | 27 |
| b) Rendimiento del maíz..... | 28 |
| 2.11. Inoculación de las raíces de los árboles..... | 29 |
| 2.12. Lectura del pluviómetro y pluviógrafo..... | 29 |
| 2.13. Medición de escorrentía y material erosionado..... | 29 |
| 2.14. Balance de nutrimentos..... | 31 |
| 2.15. Análisis socioeconómico..... | 31 |
| 3. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA..... | 32 |

INTRODUCCION

Los procesos y métodos de investigación en sistemas agroforestales (SAF) son muy variados y dependen de los propósitos de cada estudio. En el caso de estudiar sus comportamientos en la conservación de suelos, merece especial atención establecer una guía que defina instrucciones para registrar los eventos, toma de muestras, mediciones y calculos de cada uno de los componentes de análisis.

Esta investigación registra cuantitativamente la pérdida de suelo por erosión, la escorrentía superficial, producción de cultivos anuales y la evolución de los nutrimentos, bajo seis SAF en situación de ladera. Al segundo año de estudio (1992) se le han incorporado ajustes y los primeros resultados muestran tendencias de la erosión de suelo, de la escorrentía superficial y de la producción de los granos básicos bajo principalmente dos grupos de SAF:

- 1) La cobertura vegetal denominada mulch y
- 2) El cultivo en callejones.

Los resultados permitirán evaluar cuál tecnología a escala práctica puede contribuir a resolver el problema de la degradación de suelos, generando una agricultura sostenible de laderas en armonía con el mejoramiento ambiental local. Bajo estas consideraciones el estudio plantea los siguientes objetivos:

Objetivos

- 1) Analizar cuantitativamente y cualitativamente la erosión de suelos y la escorrentía superficial bajo seis SAF en un sistema de rotación frijol-maíz.
- 2) Detectar los efectos y las causas de las diferentes prácticas agroforestales sobre las dos variables anteriormente mencionadas.
- 3) Evaluar los rendimientos de los granos básicos de maíz y frijol, bajo los seis SAF y definir las tendencias en la producción de los sistemas.
- 4) Evaluar las condiciones nutrimentales del suelo y su evolución por efecto del control de la erosión y aplicación de mulch, mediante SAF, en tierras de laderas.

DESCRIPCION METODOLOGICA

El experimento se estableció en setiembre de 1990, inicialmente se instalaron tres bloques con seis tratamientos en cada uno, en enero de 1992 se incorporó un tratamiento adicional a cada bloque. Tanto los criterios para definir los sistemas biológicos, como para instalar el medio físico de control, se ajustaron a las normas técnicas convencionales.

Se utiliza el concepto de parcela experimental, con sus repeticiones, se elige la especie forestal, las parcelas de escorrentía y los cultivos (importantes para agricultura de laderas en la región). Al inicio se realizó un levantamiento topográfico y se evaluaron las condiciones físico-químicas del suelo, con especial interés en la fertilidad.

El año 1990-91 corresponde al período de estabilización de la parcela de escorrentía, se considera la fase de crecimiento y adaptación del árbol. El suelo debe observarse cuidadosamente en sus comportamientos por cuanto siendo de condición marginal presentará posibles reacciones frente al cultivo y al árbol. Los procedimientos se describen siguiendo los pasos realizados en el control y análisis del segundo año, mediante tesis de T. I. Lebeuf (1993).

Geología de la región, propiedades físicas y químicas del sitio experimental.

En la Figura 1, se aprecia la región del distrito de San Juan Sur con respecto a sus alrededores donde se encuentra la ciudad de Turrialba. Según Hardy (1961) citado por Aguirre (1971), el sitio de San Juan Sur está ubicado en una colina que corre ligeramente paralela en dirección este-sureste; esta colina es parte de una vieja corriente de lava vieja (lava andesítica del Terciario, Plioceno inferior, 10-15 millones de años). Esta colina se ha originado del volcán Turrialba y forma un brazo del mismo volcán.

Este suelo ha evolucionado y Aguirre (1971) lo clasifica en el grupo de suelos negros, originados de cenizas y lava volcánica, de origen más reciente en la serie *Birrisito*. Son suelos muy profundos y bien desarrollados a partir de cenizas volcánicas que se han depositados sobre lava vieja muy meteorizada que constituyen el basamento geológico el cual está constituido por rocas básicas y sub-básicas. Poseen un horizonte superior muy oscuro, grueso y

rico en materia orgánica y un subsuelo de colores más claros que descansa sobre el material lávico muy meteorizado.

Luzuriaga (1970) y Aguirre (1971) hicieron análisis físicos y químicos elaborados de los suelos ubicados en la región de San Juan Sur que se detalla a continuación y que nos permitirá explicar mejor los resultados de erosión y de escorrentía. Se ha conservado las mismas antiguas unidades de los resultados para respetar la originalidad de los datos de los autores.

Luzuriaga (1970) reporta la presencia de una vegetación ocupada por el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y que anteriormente había un bosque muy húmedo. Hay un buen drenaje superficial y algo excesivamente drenado para el drenaje interno. No hay ninguna evidencia visible de erosión causada por el pastoreo y la influencia humana es muy ligera. El autor describe el perfil por los horizontes A, B, C (antigua nomenclatura) con las características siguientes:

Horizonte A: Horizonte superior bien desarrollado y muy profundo. La estructura es granular, fina, fuerte característico de Andosoles jóvenes por las recientes deposiciones de cenizas. La textura es de franco arcillosa a franco.

Horizonte B: Bien desarrollado y profundo. Una estructura más desarrollada, bloques sub-angulares, mediano a grueso, débil a moderado característico de un horizonte maduro. La textura varía de franco arenoso a arenoso franco.

Horizonte C: La textura varía de franco arenoso a arenoso franco.

Los valores de densidad aparente son bajos, inferiores a 1 g/cc (Aguirre, 1971) tienden a aumentar con la profundidad (0.47 g/cc a 0.74 g/cc) debido a la disminución de la porosidad (82% a 69%) causada por la presencia de cantidades más altas de limo y arena que tienen densidades más altas (Luzuriaga, 1970). La retención de humedad es alta, disminuye con la profundidad debido a la baja notable del contenido de material alófono que tiene alta capacidad

Luzuriaga (1970) enuncia que casi todos los suelos derivados de cenizas volcánicas de América están dentro del grupo de los Andosoles, el nombre deriva del idioma Japonés y quiere decir suelo oscuro (an=oscurito y do=suelo). Aguirre (1971) clasifica este suelo según la séptima aproximación (clasificación americana) como un Inceptisol, Andept, Dystrandepsts, Typic Dystrandepsts, Ashy isohyperthermic. Recientemente Kass (1992) comunicación personal) lo clasifica de acuerdo a la novena aproximación como un Andisol Typic Fulvudand.

de retención de agua. El porcentaje gravimétrico de retención es muy alto (140%) pero el porcentaje volumétrico debido a la densidad aparente es baja, disminuye notablemente (60%). El agua disponible es mediana.

El pH determinado en agua tiende a ser fuertemente ácido (pH=5.4), incrementando la acidez con la profundidad (pH= 5.1), porque los horizontes B y C son maduros y han sufrido lixiviación de bases; esto lo demuestra la pobreza casi absoluta en calcio y magnesio totales y cambiables de estos suelos. El pH determinado en CaCl_2 varía de muy fuertemente ácido (pH= 4.6) a fuertemente ácido (pH=5.0); los valores más bajos se registran en el horizonte A debido al efecto acidulante del alto contenido de materia orgánica.

El contenido de materia orgánica (M.O.) en el horizonte A es muy alto (23%) y concuerda con el alto contenido de alófono en este horizonte, el cual tiene capacidad de fijarla. En los horizontes B y C el contenido de M.O. baja drásticamente (2.5%) al igual que el material alófono; se trata de horizontes maduros, hubo una notable cristalización de la alófana a minerales arcillosos principalmente del tipo 1:1 por las condiciones de acidez.

La relación C/N es alta (15) posiblemente por la cantidad de alófono que fija la M.O. y no se mineraliza. La capacidad de intercambio de cationes dependiente del pH alcanza valores altos en el horizonte superior (70 mEq/100) que disminuyen en profundidad (33 mEq/100) en relación a la materia orgánica y al alófono. Los porcentajes de saturación de bases son bajos (0.5%) como que se trata de suelo que debido a la alta precipitación pluvial han sufrido un lavado general del perfil.

El contenido de aluminio extraíble es alto y tiende a aumentar con la profundidad (2.11 a 6.33 mEq/100g), especialmente en el subsuelo donde la meteorización es más avanzada. Este aumento está de acuerdo con la disminución del pH. La pobreza de estos suelos en fósforo disponible nos demuestra la alta fijación de los fosfatos por el aluminio en suelos derivados de cenizas volcánicas. El fósforo disminuye con la profundidad (2.13 a 0.56 ppm) y se debe al aumento de aluminio extraíble que fija en forma de fosfatos de aluminio.

El contenido de material alófono varía de alto a mediano con la profundidad (41.6% a 17.1%), debido a una meteorización más avanzada de los horizontes inferiores, la alófono se transforma en arcillas cristalinas. Otra evidencia del grado avanzado de meteorización es el alto contenido de hierro y de óxidos de hierro (6%) juntamente con el aluminio extraíble especialmente en el subsuelo (Luzuriaga, 1970).

Datos generales sobre el sitio experimental

Garzón (1991) describe la localización y extensión del sitio, el clima, el suelo y el componente arbóreo:

| | |
|--------------------------------------|---|
| Nombre del sitio: | San Juan Sur, Cantón de Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica. |
| Coordenadas : | 83°38' Longitud Oeste 09°53' Latitud Norte |
| Area del ensayo : | 2000 m |
| Altitud : | 950 msnm |
| Temperatura promedio anual : | 20.5°C |
| Precipitación promedio anual : | 1944 - 1970 = 2682mm/año (Aguirre, 1971) 36 años CATIE.= 2653 mm/año (Bermúdez, 1980) 1991 = 2636mm/año (Garzón, 1991) 1992 = 2475mm/año |
| Zona de vida según Holdridge (1978): | Bosque Muy Húmedo Premontano (bmh-P) |
| Tipo de suelo : | Andisol Typic Fulvudand con mucha materia orgánica (5-18%) IX aproximación, EE.UU.) |
| Características del suelo : | Profundidad, Horizonte A = 65 cm Horizonte B = 135 cm Horizonte C = 210 cm Bien desarrollados, bien drenados (Luzuriaga, 1970) Profundidad efectiva = 180 cm (Kauffman, 1992) |
| Textura : | Franco-arcillosa |
| Estructura : | Bloques a granular a través del perfil (Garzón, 1991) pH inicial: 4.3 - 4.5 pH después aplicar 2.6 t/ha de cal:5.5 |
| Saturación de aluminio : | 50 - 80% |
| Pendientes : | 15, 25, 35, 50% |
| Arbol : | <i>Erythrina fusca</i> Lour. |
| Procedencia : | Clones 2649 y 2675 (archivo clonal del proyecto AFN-CIID, CATIE) |
| Fecha de siembra: | Setiembre 1990 y Enero 1992 |

El sitio responde a los factores que influyen en la pérdida de suelo y la escorrentía superficial. El terreno presenta características de tierras marginales, por la pendiente de moderada a fuerte, el pH bajo, la saturación de aluminio muy alto y el uso anterior era pastizal.

Los Andisoles tienen el contenido más alto de materia orgánica de los suelos minerales. La arcilla alófana reacciona con los radicales orgánicos para formar complejos que permanecen relativamente resistentes a la mineralización. Por lo tanto la materia orgánica tiende a acumularse en esos suelos (Sánchez, 1981). Bornemisza y Pineda (1969), citados por Sánchez (1981), mostraron una relación inversa entre la mineralización de la materia orgánica y el contenido de alófono lo que explica el alto contenido de M.O. hasta 18%.

Munévar y Wollum (1976), citados por Sánchez (1981), probaron que la deficiencia extrema de fósforo inhibe el crecimiento microbiano, dando por resultado una tasa más baja de mineralización. La tasa de conversión (m) de materia orgánica fresca a carbono orgánico del suelo (humus) es del orden de 30 a 50% por año. Las tasas anuales de descomposición del carbono orgánico del suelo (k) varían considerablemente, con un ámbito del 2 al 5% en los bosques tropicales, con la excepción del suelo Udico Andept que es muy bajo 0.5% debido a la presencia de alófono en ese suelo. En general cuanto más alto es el contenido de arcilla y mayor la proporción de óxidos y alófono, más bajos serán los valores de k. Las adiciones anuales de carbono orgánico se reducen drásticamente cuando los bosques se transforman en cultivos; los residuos de los cultivos apenas proporcionan una fracción de las 5 t/ha de materia seca que anteriormente suplía la hojarasca del bosque (Sánchez, 1981).

Información técnica de la especie *Erythrina fusca* Lour.

Anteriormente, la especie estudiada era nombrada como *Duchassaingia ovalifolia* Walp. y después siguió *Erythrina ovalifolia* Wall. hasta hoy día que esta clasificada como *Erythrina fusca* Lour. (Daydon, 1946).

El género *Erythrina* pertenece a la clasificación taxonómica de la familia Papilionaceae (Holdridge y Poveda, 1975) aunque interpretado como un misterio absoluto por tener características diferentes a las demás leguminosas (Lackey (1981) citado por Neill, 1993). La *Erythrina fusca* Lour. se identifica por sus hojas trifoliadas, alternas, ovadas de color verde oscuro, sus flores color rojo-café en panículas terminales y la presencia en las ramas y en el tronco de agujijones. Este género está bien conocido en Costa Rica con el nombre típico de "Poró".

La *Erythrina* es una leguminosa arbórea con muchas características de interés agroforestal y de uso amplio en este dominio. Ella tiene la desventaja de ser una especie

alógama con mucha variabilidad en la descendencia (Jiménez, 1990). El género *Erythrina* posee nódulos radicales los cuales son formados como consecuencia de la asociación simbiótica con las bacterias del género *Rhizobium*, teniendo así alta capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (Jiménez, 1990). Allen & Allen (1981) describen los nódulos de las especies *Erythrina* como grandes, esféricos y agrupados sobre la raíz principal: las primeras especies noduladas de *E. fusca* se encontraron en Sri Lanka (Whight, 1903 = *ovalifolia* Roxb.), India (Parker, 1933) y Hawaii (Allen & Allen, 1936).

La especie *Erythrina fusca* Lour. se distribuye en el Viejo y Nuevo Continente por su crecimiento a lo largo de los ríos, su transporte por vía fluvial, por las corrientes oceánicas y sus características primitivas hacen pensar que los ancestros de *E. fusca* representa el progenitor original del género entero (Neill, 1993).

En Costa Rica se usa esta especie en los sistemas agroforestales como árbol de sombra de café y de cacao, como cercas vivas y en los cultivos en callejones. En el presente estudio la *E. fusca* se usa en todos los tratamientos de cultivos en callejones y en un tratamiento de cobertura vegetal (mulch). Garzón (1991) enuncia las razones de incluirla en el experimento: *E. fusca* es una de las menos estudiadas en el CATIE, hay algunos estudios de calidad nutritiva de su biomasa y de su potencial en el control de erosión. Se trata también de conocer su comportamiento en un suelo ácido con alta saturación en aluminio, en tierras marginales. Siendo una leguminosa eso le confiere la ventaja en su establecimiento ya que contribuye al mejoramiento de la fertilidad del suelo (Jiménez, 1990).

Cadima y Alvin (1967), citados por Jiménez (1990), observaron que las plantas de cacao ubicadas alrededor de los árboles de *E. fusca* producían más que las que crecían distantes de los mismos. Esta diferencia en producción aparentemente está relacionada con la influencia que esta leguminosa ejerce sobre algunos factores edafológicos relacionados con la producción de cacao. El rápido crecimiento y abundante biomasa, aporta nutrimentos al suelo, enriqueciéndolo y protegiéndolo contra la escorrentía (Combe y Gewald (1979) citados por Jiménez, 1990).

La *E. fusca* toma sólo cinco semanas en producir raíces a partir de su propagación por acodos. Berríos (1986) informa que en un ensayo de propagación clonal *in vitro* con *E. fusca* cuando no se añadió ningún regulador de crecimiento al medio de cultivo se formaron raíces en un 63 %. Eso significa que el nivel endógeno de auxinas (hormonas vegetales promotoras del crecimiento) para este género, es alto; los tejidos jóvenes presentan contenidos auxínicos elevados que promueven, en el cultivo *in vitro*, la iniciación de raíces.

La *E. fusca* usada en el experimento proviene de la propagación por acodos hecha sobre los árboles del Huerto Latinoamericano AFN-CIID establecido en San Juan Sur, Turrialba. Los árboles madres se escogieron de aquéllos que presentaban características deseables para usos agroforestales como fuste erecto, rápido crecimiento, abundante producción de biomasa, fácil adaptabilidad a diversas zonas (Jiménez, 1990). Los árboles madres del archivo fueron clonados por medio de estacas las cuales estuvieron en invernadero de aproximadamente 3 meses, en el cual se les dieron algunos tratamientos como es el sellar los cortes con una mezcla de parafina y cera de abeja en proporción de 3:1 e incisiones basales para estimular un mejor enraizamiento.

Los clones utilizados para la producción de acodos son los clones 2649 con procedencia de Golfito, a partir de árbol madre con una condición de copa podada y 2675 con procedencia de La Virgen de Sarapiquí, también de árbol madre podado (AFN-CIID, 1989).

Descripción de las parcelas experimentales, bloques y tratamientos

Las parcelas de escurrimiento (ver Figura 2) siguen el diseño desarrollado por Wischmeier (1958) y son establecidas con las características siguientes:

Tamaño de las parcelas (m)

| | Parcela total | Parcela útil |
|----------------------|---------------|--------------|
| Parcelas sin árboles | 3 * 23 | 2 * 22 |
| Parcelas con árboles | 7 * 23 | 2 * 22 |

El valor de 22 m de largo corresponde a la distancia horizontal. La parcela total corresponde a toda el área donde se siembra el cultivo anual. Esta área incluye un metro afuera de la delimitación de la parcela con la intención de tener un borde. La parcela útil corresponde al área delimitada por la lámina de zinc donde se mide directamente y cuantitativamente la pérdida de suelo y la escorrentía superficial sumando una superficie de 44 m². Dentro de la parcela útil se toma las muestras para los análisis estadísticos posteriores libre del efecto de borde.

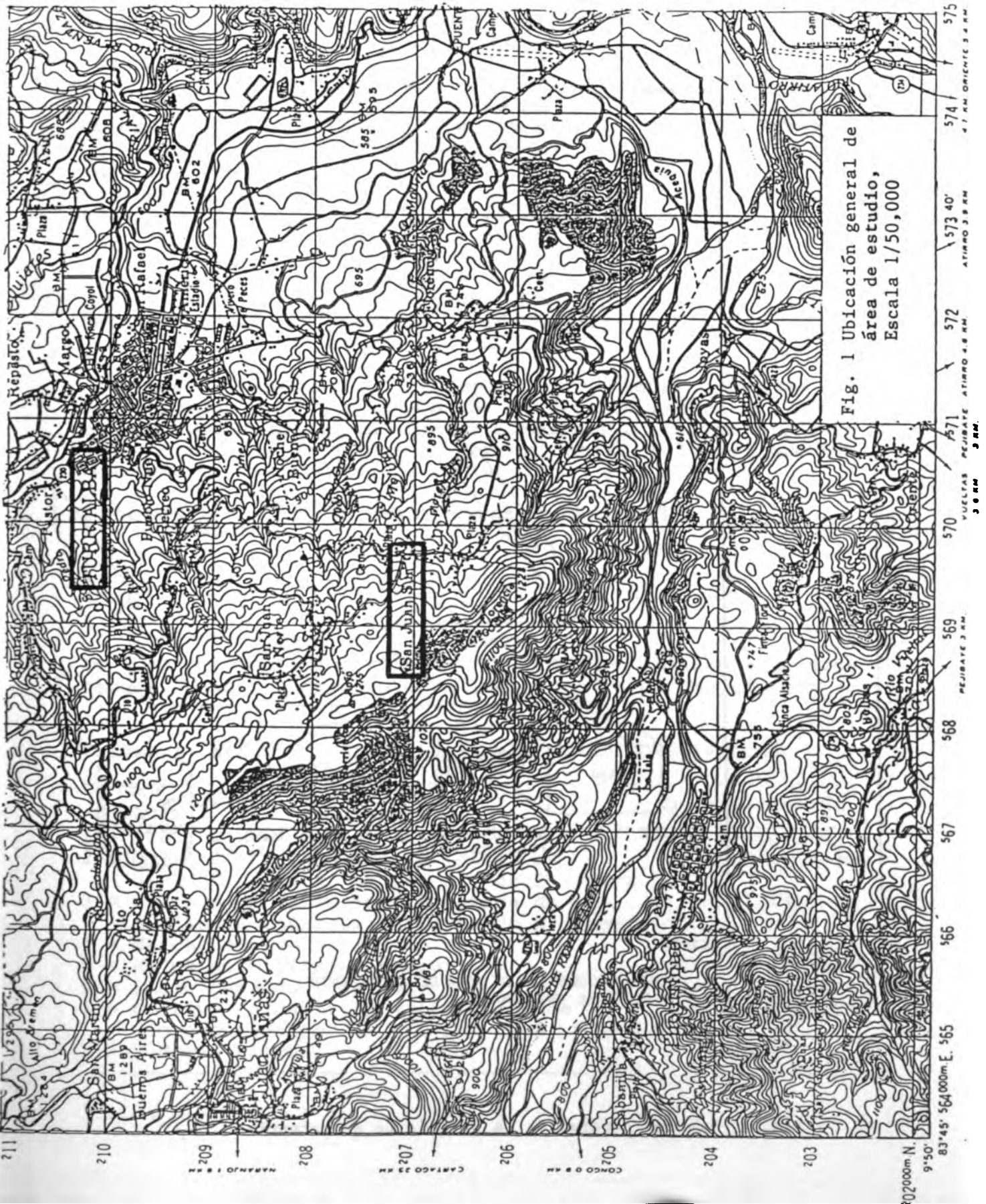


Fig. 1 Ubicación general de
área de estudio,
Escala 1/50,000

211
210
209
208
207
206
205
204
203
NARANJO 18 KM
CARTAGO 23 KM
CONGO 9 KM
102000m N.
9°50'
83°45' 564000m E. 565
566
567
568
569
570
571
572
573 40'
574
575
VUELTAS PEJIBAYE ATIRMO 4.8 KM
PEJIBAYE 3 KM
ATIRMO 3.8 KM
3.6 KM
3.0 KM
4.1 KM ORIENTE 3.4 KM

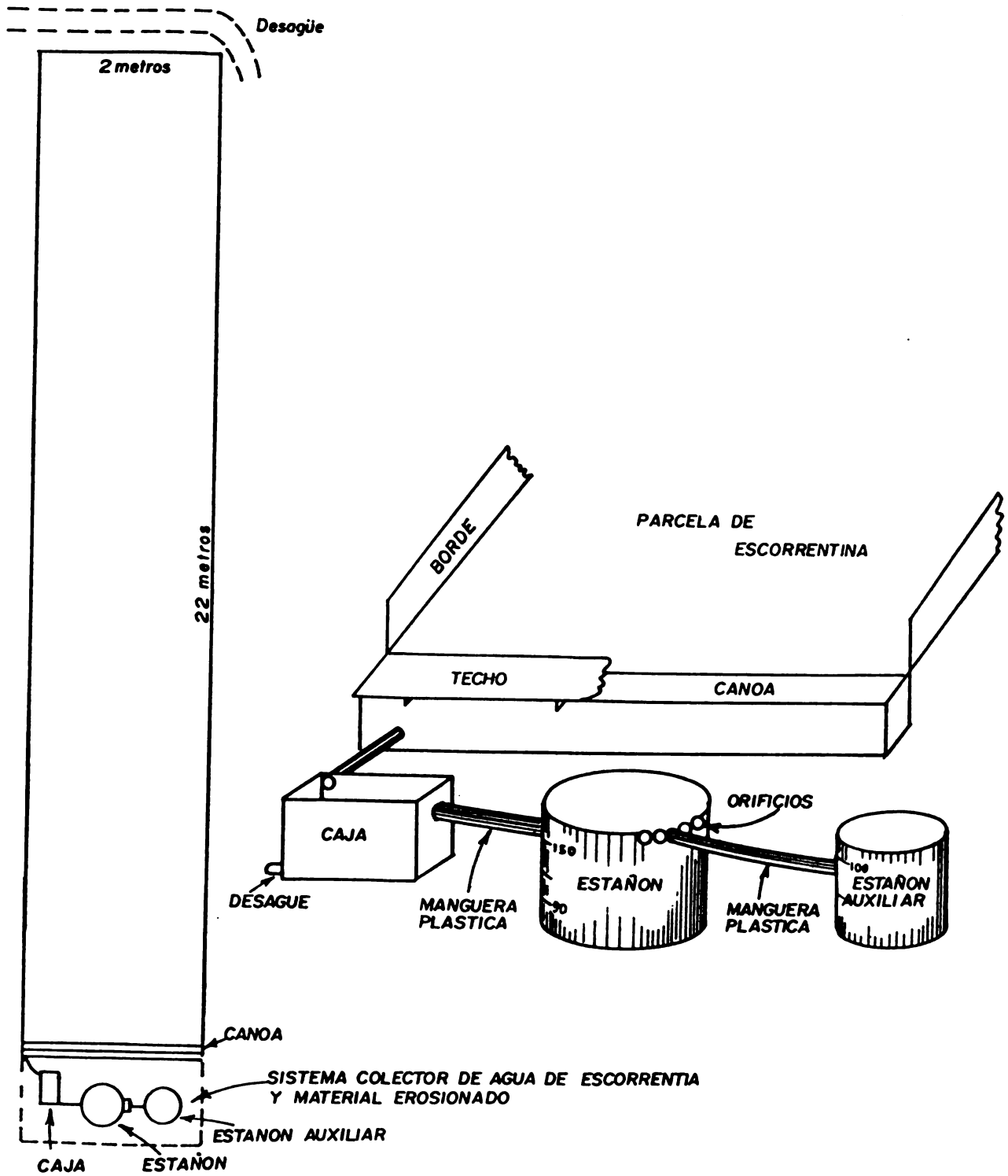


Fig. 2 Esquema general de la parcela de escorrentía

El sistema colector esta compuesto por diferentes componentes con las dimensiones siguientes:

| | | |
|---------------------------------|------------|----------|
| Lámina de zinc | : total | = 30 cm |
| | enterrada | = 10 cm |
| | afuera | = 20 cm |
| Canoa | : largo | = 200 cm |
| | ancho | = 16 cm |
| | altura | = 16 cm |
| Caja colector de agua escurrida | : largo | = 60 cm |
| | ancho | = 40 cm |
| | altura | = 30 cm |
| Estañón pequeño | : diámetro | = 59 cm |
| | altura | = 50 cm |
| Estañón grande | : diámetro | = 59 cm |
| | altura | = 120 cm |

Las parcelas se agrupan en cuatro bloques y corresponden a cuatro grados de pendientes promedios, ellos son la repetición en el diseño estadístico (Figura 3). Este bloqueo permite controlar el error debido a las diferentes pendientes o a factores de variabilidad en el suelo.

| Bloques | Pendiente promedio(%) |
|---------|-----------------------|
| 1 = A | 35 |
| 2 = B | 25 |
| 3 = C | 15 |
| 4 = D | 50 |

Se mide el efecto de siete tratamientos aplicados a cada bloque. Cada tratamiento esta identificado por un número:

Cuadro 1. Lista de los tratamientos y sus abreviaturas.

| Identificación | Abreviación |
|--|------------------------|
| 1 = Tradicional dejando la maleza | Tradicional |
| 2 = Cultivo en callejón - 4 metros de distancia entre las hileras de <i>E. fusca</i> | CCallejón-4m |
| 3 = Cultivo en callejón - 6 metros de distancia entre las hileras de <i>E. fusca</i> | CCallejón-6m |
| 4 = Mulch de <i>Inga edulis</i> | Mulch <i>I. edulis</i> |
| 5 = Mulch de <i>Erythrina fusca</i> | Mulch <i>E. fusca</i> |
| 6 = Suelo desnudo (control) | Parcela desnuda |
| 7 = Cultivo en callejón - 12 metros de distancia entre las hileras de <i>E. fusca</i> y doble hilera | CCallejón-12m2h |

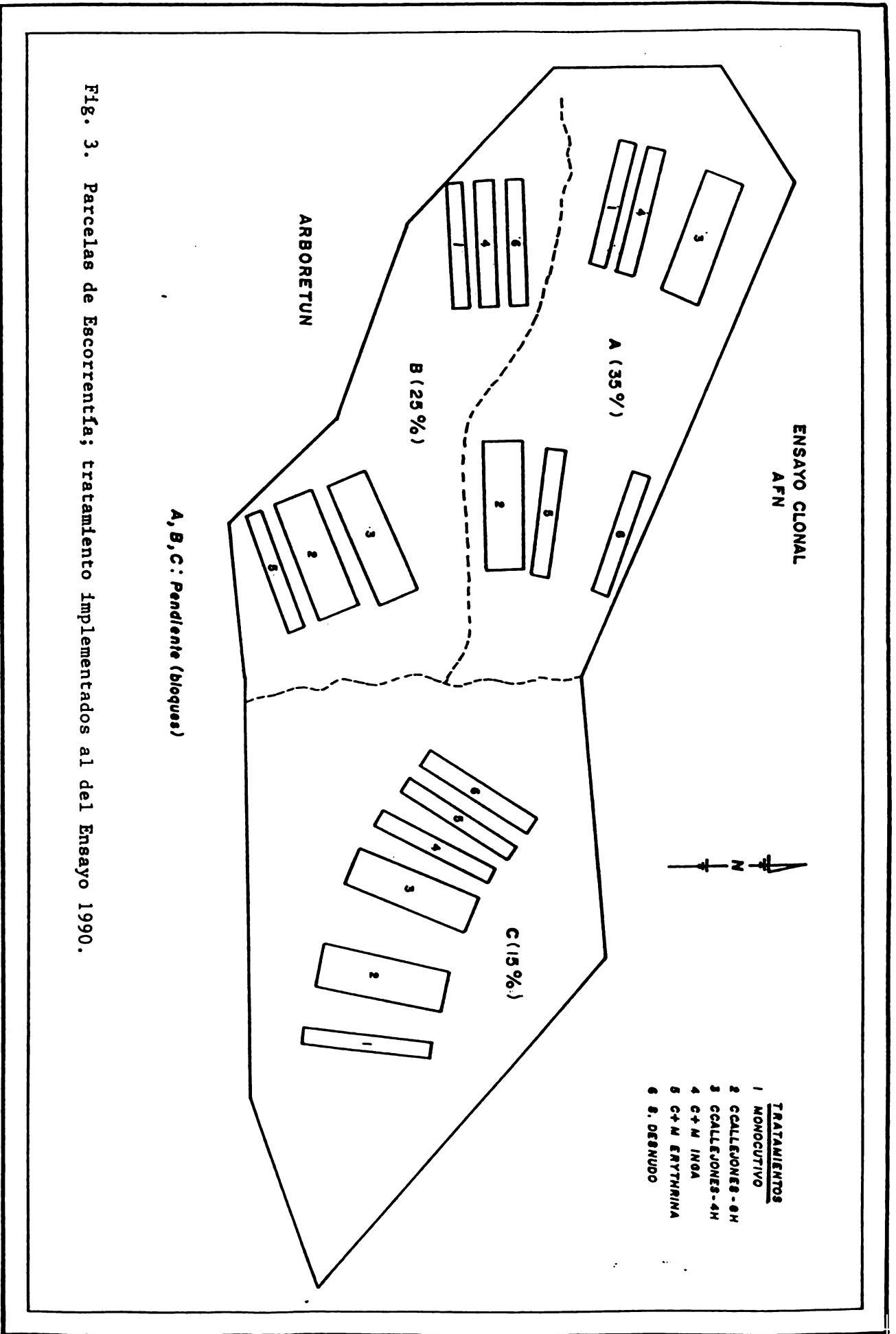


Fig. 3. Parcelas de Escorrentía; tratamiento implementados al del Ensayo 1990.

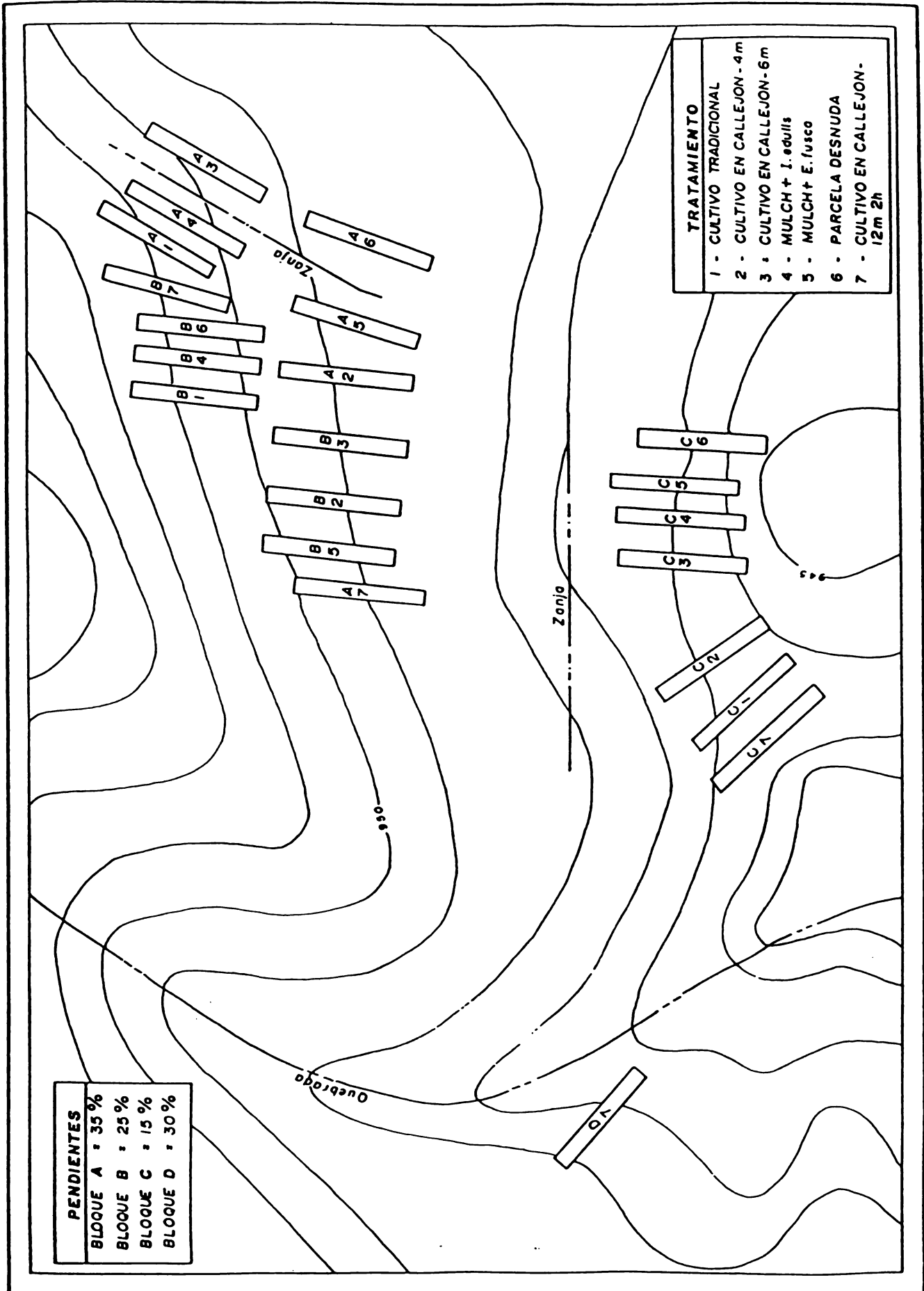
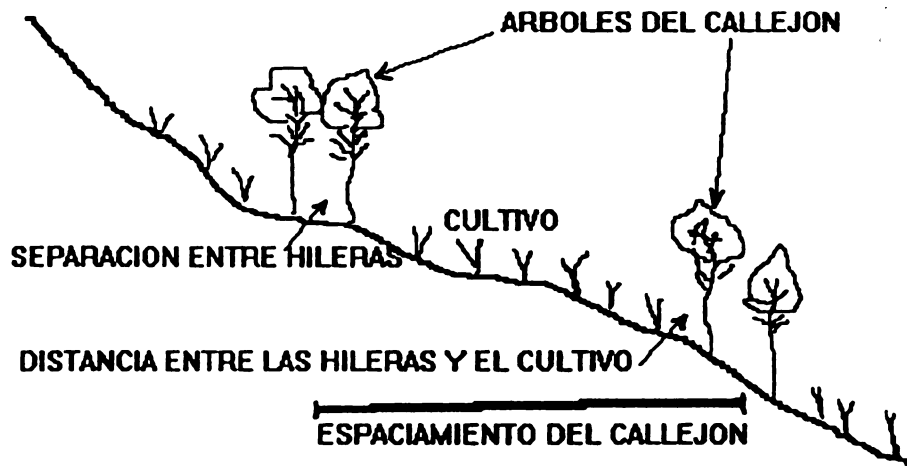
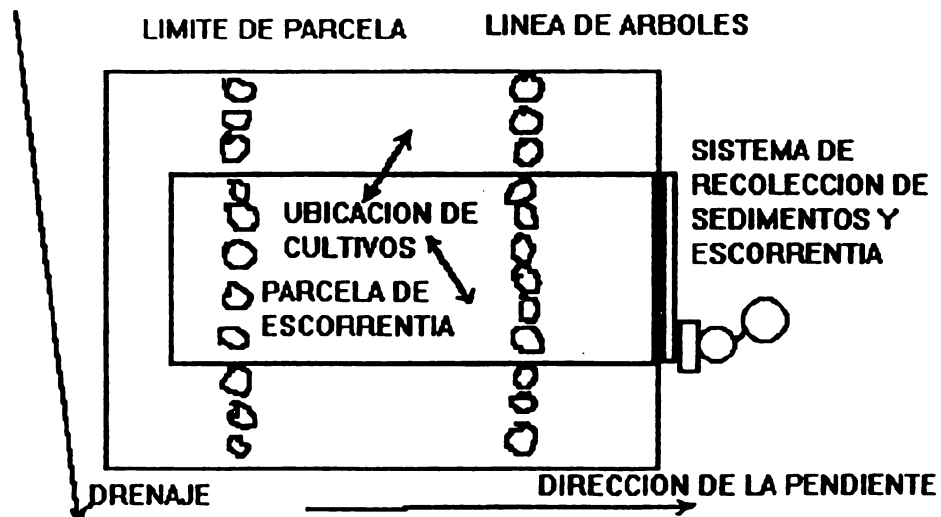


Fig. 3 Parcela de Escorrentia, tratamientos implementados en 1992-93



Vista de Perfil



Vista en Planta

Fig. 5 Vista en planta y perfil de la parcela de tratamiento, cultivo, árboles y parcela de escorrentía.

Los tratamientos numerados de 1 a 6 se instalaron en setiembre de 1990 (Figura 4 y 5). El tratamiento 7 (Callejón-12m2h) se montó en enero 1992 y los datos para este periodo de análisis se tomaron a partir del 22 de febrero del 1992, dejando un mes y medio para que la parcela se estabilice en su primera fase.

El cultivo en callejón-4m cuenta con seis hileras de árboles en la parcela útil por un total de 24 árboles. El cultivo en callejón-6m cuenta con cuatro hileras de *E. fusca* para un total de 16 árboles.

El cultivo en callejón-12m2h tiene sólo dos hileras de *E. fusca* pero cada hilera tiene una doble fila de árboles. Esta configuración contiene la misma cantidad de árboles (16) que el cultivo en callejón-6m pero ellos ocupan un espacio más restringido de manera que se puede sembrar más surcos del cultivo anual dentro de la parcela útil.

Diseños experimentales

Se utilizan tres diseños experimentales para analizar los datos colectados durante un año completo.

- 1) Para analizar la escorrentía superficial y la erosión de suelo durante el año 1991-1992 se escogió el diseño en bloques completamente aleatorio (DBCA) con el modelo siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + e_{ij}$$

Y_{ij} = resultado de la ij -ésima observación en el bloque i
y en el tratamiento j
 μ = promedio general

β = efecto de bloque, $i = A, B, C, D$

τ = efecto de tratamiento, $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$

e_{ij} = error aleatorio de la ij -ésima observación

- 2) El rendimiento de los cultivos anuales se analiza con el diseño en bloques completamente aleatorio en parcelas divididas en el tiempo (DBCA en PD). Este diseño se escogió, para poder comparar los rendimientos de los dos años de cosecha que se obtiene con los cultivos anuales. El modelo del DBCA en PD en el tiempo se escribe así:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + \tau_j + e_{ij} + A_k + (A*\tau)_{kj} + e_{ijk}$$

Y_{ijk} = resultado de la ijk -ésima observación en el bloque i ,
el tratamiento j y la sub-parcela k

μ = promedio general

β = efecto de bloque, $i = A, B, C, D$

τ = efecto de tratamiento, $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$

e_{ij} = Error(a) de la parcela grande = $(\beta * \tau)_{ij}$
 A_k = Efecto del año, $k = 1, 2$ y $1 = 1991, 2 = 1992$

$(A * \tau)_{kj}$ = interacción del año k con el tratamiento j

e_{ijk} = error(b) de la parcela pequeña de la ijk -ésima

observación = $(\beta * \tau * A)_{ijk}$

3) El cultivo en callejón doce metros de distanciamiento y doble hileras (12m2h = tratamiento 7) se estableció un año y medio después de los otros seis tratamientos. En este caso se utiliza el diseño en bloques incompletos (DBI) desbalanceados para comparar este tratamiento con los demás. El modelo se escribe de la manera siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + e_{ij}$$

Los tratamientos de 1 a 6 no aparecen en el bloque D es necesario ajustar las medias:

$$\bar{Y}_{ij} \text{ ajustado} = \hat{\mu} + \hat{\beta}_i + \hat{\tau}_j$$

$\hat{\mu}$ = promedio general estimado

$\hat{\beta}_i$ = promedio de los bloques estimados $i = 1, 2, 3, 4$

$\hat{\tau}_j$ = efecto de los tratamientos estimados $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$

Manejo de los tratamientos antes de la siembra

a) Ajuste de las parcelas de escurrimiento

En el transcurso del año 1992 se hizo reajustes mecánicos a las parcelas con el propósito de simular cada vez más las condiciones naturales del medio. Eso tuvo efecto sobre los datos de escurrimiento, las modificaciones consisten en doblar la plataforma de la canoa (donde descienden los sedimentos) de tal manera que su superficie se encuentre dentro de la tapa de la misma canoa. Así, la lluvia cae primero en el suelo (y no en la plataforma de la canoa). Otra corrección consiste en sellar cualquier fuga de agua y de suelo que pudo haber con la instalación de la canoa. Se hizo un piso de cemento, se fijaron bien los lados a una estaca y se selló bien la conexión de la lámina de delimitación a la canoa. Las láminas de delimitación hay que mantenerlas sobre el suelo a una altura entre 15-20 cm.

Sería favorable usar pintura anticorrosiva para proteger las láminas de zinc y pintar el sistema cada 2 años.

En una segunda etapa, se define toda la preparación del terreno y de los materiales, el manejo de los árboles y de los cultivos para cumplir con el experimento. A continuación, la metodología se resume en 2 actividades principales:

- 1) Toma de datos a diario, recopilación y observación de los procesos de campo.
- 2) Los análisis en laboratorio.

b) Control y manejo de malezas, preparación para siembra

Lo ideal es no aplicar herbicidas, pero por limitada disponibilidad de mano de obra para la "chapia" y con el propósito de lograr uniformidad de cobertura se realizan aplicaciones lo mas moderadas y controladas, con el criterio de atender una real necesidad en el experimento.

Se aplica solo una vez, herbicidas 20 días antes de la siembra. Se usa el producto comercial Glifosfato más conocido como Round-up, 200cc/bomba de 17 litros sobre el zacate no cortado. Se necesita 9 bombas para 15 parcelas, el equivalente de 27.3 kg/ha.

Se usa Gramoxone + 2.4D sobre el zacate cortado, 50+50 cc/bomba el equivalente de 22.7 kg/ha.

En las parcelas control A6, B6, C6 se aplica Round-up cada 2 o 3 meses para tener esas parcelas libres de malezas y tener constantemente la parcela desnuda. Se hace una labranza con una azadón una vez al mes para inducir el proceso erosivo y poder calcular el factor K en la ecuación de USLE.

Cuadro 2. Medidas para la aplicación de herbicidas

| Nombre del Producto | Cantidad en cm³ | Cantidad de bombas | Area cubierta m² | Equivalente en kg/ha |
|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Round-up | 200 | 9 | 660 | 27.3 |
| Gramoxone + 2.4D | 50+50 | 1 | 44 | 22.7 |

c) Reemplazo de los árboles muertos en los cultivos en callejones

Cada vez que se observa árboles muertos o que no producen una biomasa suficiente hay que reemplazarlos lo más pronto posible. Usualmente se prepara la cantidad de acodos necesaria unas cinco semanas antes de la siembra del grano. La *Erythrina fusca* es rápida en formar raíces aéreas. La altura de los acodos al sembrar unos días antes la siembra del grano es de dos metros. Se les podan por la primera vez a la próxima siembra del grano o sea unos seis meses después de su plantación. Los acodos se podan a un metro de altura.

d) Manejo y aplicación de mulch

El mulch está compuesto sólo por hojas. Se trata de sacar al máximo la rama tierna y se evitan las leñosas.

Una semana antes de la siembra de frijol se aplica el equivalente de 16 ton/ha de mulch (materia fresca) lo que corresponde a 105.6 kg/parcela. Esta cantidad de mulch forma una capa que dificulta la siembra del grano. Se sugiere aplicar el mulch el día siguiente a la siembra y aplicarlo entre los surcos para que de una vez quede uniformemente distribuido en la parcela, procurando que no cubra más del 85 %, para que el suelo tenga luminosidad y aereación.

Tres semanas después de la siembra de maíz se aplica el equivalente de 8 ton/ha de mulch lo que corresponde a 52.8 kg/parcela (esto para 1992). La razón de disminuir la cantidad aplicada por la mitad es que todavía se encontraba aproximadamente el 50% del mulch no descompuesto. Especialmente las parcelas con *Inga edulis* presentan un espesor considerable de hojas no descompuestas.

Se pretende que en adelante se necesita la aplicación de 8 ton/ha de materia fresca de mulch durante el ciclo del frijol lo que disminuye la cantidad de trabajo y de búsqueda de material vegetativo; una cantidad igual a 16 t/ha se sigue aplicando durante el ciclo del maíz. También se sugiere de aplicar el mulch inmediatamente después de la siembra del grano para que se distribuya en forma más uniforme en la parcela. Se pueden esperar 3 semanas después de la siembra para no pisotear las plántulas en crecimiento.

Se usan 2 tipos de mulch:

*** Mulch de *Inga edulis* en las parcelas A4, B4, C4.**

Este material proviene del proyecto ProCacao quien facilita el material en el campo de Cabiria. Las Ingas podadas provienen del experimento de Cacao con sombra de Inga del área de Cabiria. El encargado de campo indica la forma de poda de las ramas para manejar la sombra adecuadamente.

*** Mulch de *Erythrina fusca* en las parcelas A5, B5, C5.**

El mulch de *Erythrina fusca* se obtiene de cualquier árbol en la región de San Juan Sur (postes vivos o árboles individuales). Otra alternativa es buscar material de otra región similar para obtener el mulch requerido.

e) Poda de los árboles en los cultivos en callejones

Se poda los árboles de *E. fusca* la semana antes de la siembra del grano y el material se aplica entre los callejones en forma uniforme. A la primera poda de los árboles seis meses después de su siembra, se les corta a un (1) metro de altura. A las podas siguientes se cortan los brotes y se toman datos de ellos.

Para la siembra del maíz, se poda los árboles un mes después de la siembra o sea a la mitad de junio. El aspecto positivo de la poda tardía es que los árboles tienen más tiempo para crecer ya que señalan un crecimiento débil.

Se toma un muestreo de 0.5 kg de cada uno del material siguiente: hojas, ramas tiernas, ramas leñosas. Se les introduce en los sacos de papel bien identificados y se toma los datos siguientes: peso húmedo, peso seco y análisis químico completo; N, P, K, Ca, Mg (%), Cu, Zn, Mn (mg/kg)

Los procedimientos de laboratorio para los tejidos foliares se realizan con las técnicas siguientes. El nitrógeno se determinó por semi-micro Kjeldahl. El fósforo, potasio, calcio, magnesio, cobre, zinc, y manganeso las muestras fueron extraídas por digestión nítrico-perclórica. El potasio, calcio, magnesio y los elementos menores se determinan por espectroscopía de absorción atómica. El fósforo se determina por el método colorimétrico.

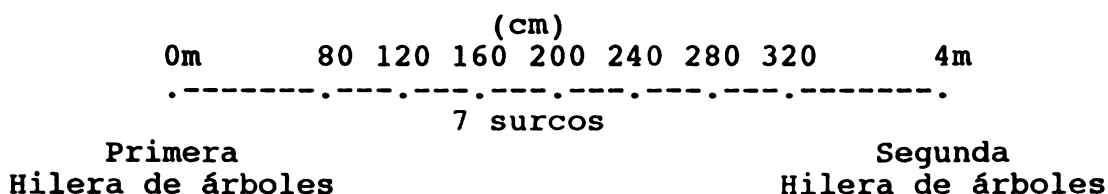
Siembra de los granos básicos

a) Siembra del frijol

El frijol es: *Phaseolus vulgaris* (L.) var. Negro huasteco. Para el periodo 1992 no se hizo una prueba de germinación previamente. Se recomienda hacerla 20 días antes de la siembra para conocer la viabilidad de la procedencia de las semillas utilizadas.

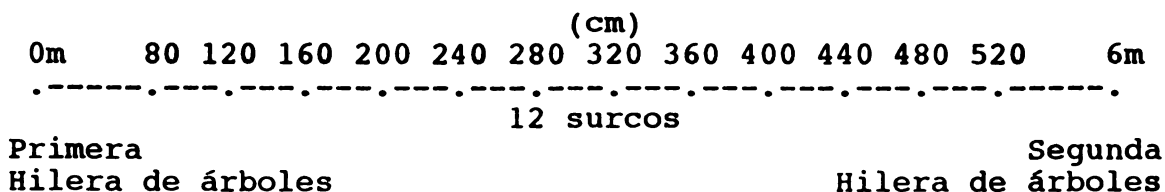
Cada postura es de cuatro (4) semillas acompañadas de unos granos (2 g) de fungicida Furadán, su aplicación equivale a 200 kg/ha. El frijol se siembra a 40 cm entre surcos y a 25 cm entre plantas, equivalente a 200,000 plantas/ha dejando 2 plantas por postura.

En los cultivos en callejones, se siembra el primer surco a 80 cm de la línea de árboles. Eso corresponde para el CCallejón-4m a 7 surcos de frijol entre hileras de árboles o sea 140,000 plantas/ha. En este caso también se practicó otra distribución de 9 surcos ó sea 180,000 plantas/ha.



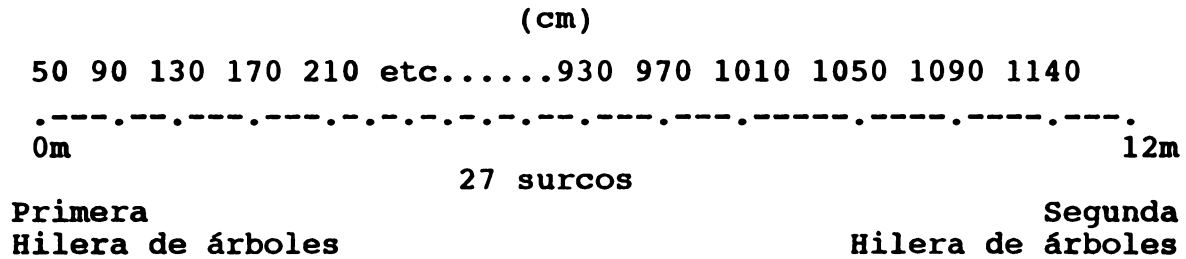
Esta es la posición sugerida de los surcos de frijol para el cultivo en callejón-4m.

Para el CCallejón-6m dejando un espaciamiento de 80 cm hasta la hilera de árboles, permite 12 surcos de frijol entre 2 hileras de perennes o sea 160,000 plantas/ha. En la práctica realizada para la siembra del período 1992, se establecieron 14 surcos de frijol porque no se cumplió exactamente con la distancia mínima de 80 cm a la línea del árbol, hubieron 186 666 plantas/ha.



Esta es la posición sugerida de los surcos de frijol para el cultivo en callejón-6m.

En el CCallejón-12m2h se siembra 27 surcos de frijol entre las hileras que corresponde a 180,000 plantas/ha, dejando 50 cm entre la hilera de árboles y el primer surco. El distanciamiento de doce (12) metros está medido a partir del medio de la doble hilera. Las dos filas de árboles dentro de la misma hilera están sembradas a 60 cm de cada uno entonces el callejón mide 11.40m exactamente. En la práctica se establecieron 28 surcos de frijol porque no se cumplió exactamente con la distancia mínima de 50 cm a la línea del árbol, hubieron 186,666 plantas/ha.



Esta es la posición sugerida de los surcos de frijol para el cultivo en callejón-12m2h.

A los 12 días se debe resembrar las posturas faltantes o sea lo más cercana de la germinación para no tener demasiada diferencia de madurez durante la cosecha. A los 20 días se ralea el frijol dejando 2 plantas/postura.

b) Siembra del maíz

La variedad de maíz es: *Zea mays* (L.) var. Tuxpeño

Para el periodo 1992 se hizo una prueba de germinación, después de la siembra, mediante dos formas: 1) en papel periódico que no dio buen resultado, las semillas tenían problemas en germinar 2) en la tierra. A los 7 días sólo 48% de las semillas de procedencia 1989 germinó. A los 15 días, 45% de las mismas plántulas sobreviven. Además se observó diferentes alturas en las plántulas en los 2 casos. Se notó deficiencia en las semillas almacenadas desde hace 2 años.

La postura de siembra es de tres (3) semillas por hoyo acompañado de unos granos (2 g) de Furadán el equivalente a 50 kg/ha, para controlar el joboto (*Phyllophaga* spp). Es mejor poner cuatro (4) semillas por postura para tener una mejor supervivencia y tener menos necesidad de resembrar.

El maíz se siembra a 80 cm entre surcos y a 50 cm entre plantas. Se produce 50,000 plantas/ha.

Se resembró a los 21 días después del primer día de siembra (para 1992 tomó 4 días para sembrar con 3 trabajadores) porque hubo menos lluvias hasta esta fecha.

Se raleó 42 días después de la siembra, dejando 2 plantas/postura. El raleo se hizo muy tarde por la resiembra tardía y también por la germinación desigual del maíz.

Manejo del cultivo después de la siembra

a) Para el frijol

Para el control necesario y cuando el riesgo es significativo se toma la decisión de aplicar insecticidas:

Para la babosa, una molusquicida (*Diplosolenodes* spp o *Sarasinula* spp) se aplican unos gránulos de AGROCOM-B5% CEBO (Meta-acetaldehido) en varias partes de la parcela.

Para el cortador (*Agrotis* spp o *Feltia* spp) y la vaquita (*Diabrotica* spp o *Cerotoma* spp) se usa Malathion (insecticida):

- la primera aplicación se mide 35 cc/bomba de 17 litros. Se necesitan 4 bombas para 15 parcelas.
- La segunda aplicación se mide 50 cc/bomba de 17 litros.
- La tercera aplicación se usa Metaxisto, 60 cc/bomba de 17 litros.
- La cuarta aplicación se usa Metaxisto, 60 cc/bomba de 17 litros.

Cuadro 3. Medidas para la aplicación de insecticidas.

| Nombre del Producto | Cantidad en cm ³ | Cantidad de bombas | Area cubierta m | Equivalente en kg/ha |
|---------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|----------------------|
| Malathion | 35 | 4 | 660 | 2.1 |
| Malathion | 50 | 4 | 660 | 3.0 |
| Metaxisto | 60 | 4 | 660 | 3.6 |
| Metaxisto | 60 | 4 | 660 | 3.6 |

Como prevención contra la roya y contra la vaquita se usan los productos químicos siguientes, en una sola aplicación. Se utiliza un total de 5.5 bombas de 17 litros:

- Malathion (insecticida): 35 cc/bomba
- Trimiltox (fungicida) : 80 g/bomba
- Benlate (fungicida) : 80 g/bomba
- WK (pega) : 2 cc/bomba (1 tapa del galón).

Cuadro 4. Medidas para la aplicación de fungicidas.

| Nombre del Producto | Cantidad en cm ³ | Cantidad de bombas | Area cubierta m | Equivalente en kg/ha |
|---------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|----------------------|
| Malathion | 35 | 5.5 | 660 | 2.9 |
| Trimiltox | 80 | 5.5 | 660 | 6.7 |
| Benlate | 80 | 5.5 | 660 | 6.7 |
| WK (pega) | 2 | 5.5 | 660 | 0.17 |

Se practica una labranza conservacionista que consiste en deshierbar alrededor de las plantas de frijol sólo lo necesario; no se deja el cultivo en limpio.

b) Para el maíz

Se aplica unos granos de Furadán, aproximadamente de 2 gramos o sea 50 kg/ha, contra el joboto (*Phyllophaga* spp) al sembrar el maíz.

En 2 ocasiones y siempre después de lluvias fuertes se aplica Volatón en gránulos en el cuello del maíz contra el cogollero (*Spodoptera frugiperda*).

No hubo problema con el joboto (*Phyllophaga* spp) que se ve usualmente al sembrar el maíz. El año 1992 desapareció del suelo.

Unas dos semanas antes de la cosecha se dobla el maíz por la mitad para que la mazorca pueda secarse más rápidamente y sobre todo para impedir que los pájaros se lo coman.

Control a la madurez fisiológica

a) Del frijol

La madurez fisiológica del frijol se alcanza cuando el grano en la vaina del frijol todavía verde, alcanza su máximo tamaño. A los 70 días se hace el muestreo del frijol dentro de la parcela útil para estudiar la madurez fisiológica. Se toma un área de 3 m en la parte superior de la parcela que corresponde a 6 surcos (2.40 m) y 5 plantas (1.25 m) por surco. El muestreo consiste en arrancar 30 posturas equivalente a 60 plantas de frijol para pesar fresco y seco las diferentes partes de la planta: raíz, hoja+tallo y vaina

Se hacen los análisis químicos siguientes a cada parte de la planta secada al horno y molida: N, P, Ca, Mg, K (%) Cu, Zn, Mn (mg/l). Los procedimientos de laboratorio para analizar los tejidos son los mismos que los descritos en la sección 2.6.e.

En el CCallejón-4m, el área de 3 m corresponde a 3 filas de árbol a árbol lo que hace 27 posturas. En el CCallejón-6m, se toma 2 filas de árbol a árbol lo que hace 28 posturas. El CCallejón-12m2h, se toma 1 sola fila de árbol a árbol lo que hace 28 posturas.

b) Del maíz

La madurez fisiológica del maíz se alcanza cuando al cortar un grano, la base del embrión está de color morado lo que significa que la mazorca no acumula más nutrimentos. Esto se produce alrededor de 14 semanas después de la siembra. A cada parcela se tomó la muestra en días diferentes porque el maíz creció en forma muy desigual, las parcelas con el mulch de *Inga edulis* llegaron a madurez más rápidamente que las demás.

El muestreo se toma en base al área que se define y varía según el cultivo y su condición de siembra más que todo por conveniencia. En este caso el área de muestreo es de 6 m debido a la parcela CCallejón-12m2h que tiene 13 surcos entre 2 hileras de árboles y corresponde a esta área mínima. Para conseguir siempre la misma área de 6 m hay que sacar un número de plantas diferente según el tratamiento.

En el CCallejón-4m, se toman 3 filas que corresponden a 12 posturas. El CCallejón-6m, se toma 2 filas que corresponde a 12 posturas. El CCallejón-12m2h, se toma 1 fila entre las doble hileras y corresponde a 13 posturas. El monocultivo, para conseguir un área de muestreo de 6 m hay que tomar 15 posturas.

Las diferentes partes de la planta de maíz son divididas en la forma siguiente: mazorca, flor, tallo, hoja, raíz. Luego se pesa una muestra 0.5 kg fresco y se procede a secar al horno a una temperatura de 70 °C.

Se hacen los análisis químicos siguientes a cada parte de la planta secada al horno y molida: N, P, Ca, Mg, K (%) Cu, Zn, Mn (mg/l). Los procedimientos de laboratorio para analizar los tejidos son los mismos que los descritos en la sección 2.6.e.

Rendimiento de los granos básicos

a) Rendimiento del frijol

Para conocer el rendimiento de la cosecha se toma una muestra sobre un área de 12 m en el centro de la parcela útil. No es un área escogida al azar debido al área limitada de la parcela (44 m), se trata de eliminar el efecto de borde y la parte superior de la parcela se cosecha anteriormente para el muestreo de la madurez fisiológica. Este muestreo corresponde a 120 posturas con 240 plantas en total.

Para las parcelas tradicional y con mulch, corresponden a 20 surcos (8 m) y 6 plantas/surco (1.5 m).

Para el CCallejón-4m, se cosecha en 2 callejones las filas enteras (2 veces 4 m = 8 m) y 6 plantas/surco (1.5 m) para obtener el área de 12 m. En total hay 120 posturas y 240 plantas.

Para el CCallejón-6m, se cosecha entre 2 hileras de árboles (un callejón) la totalidad del frijol; 14 surcos y 8 plantas/surco o sea 112 posturas y 224 plantas.

Para el CCallejón-12m2h, se cosecha 4 filas enteras entre 2 hileras de árboles o sea los 28 surcos y 4 plantas/surco. En total se cosecha 112 posturas igual a 224 plantas.

Se arranca las plantas completas para sacudirlas y obtener el grano solo. Se deja secar una semana en el cuarto seco y después se mide la humedad de la semilla con el aparato "Moisture tester, Model 400, Dole". Se usa la fórmula siguiente para convertir el peso de la semilla de frijol a 14% de humedad (el estándar internacional):

$$\frac{100 - \% \text{ humedad leída}}{86\%} \times \text{peso total grano (gr)} = \text{Rendimiento en gr. a 14\% de humedad}$$

$$\frac{\text{Rendimiento (gr) a 14\% de humedad}}{\text{ha} \times 12 \text{ m}} \times \frac{10\ 000 \text{ m}}{\text{ha}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ (g)}} = \text{kg/ha}$$

Se recomienda cosechar las vainas del frijol dejando las plantas de pie porque el rastreo representa una entrada de nutrimentos puesto que se estudia la madurez fisiológica. Además, arrancar la planta afloja el suelo al salir las raíces y produce una pérdida de suelo más.

b) Rendimiento del maíz

Para conocer el rendimiento de la cosecha se toma una muestra sobre un área de 24 m en el centro de la parcela útil. Esta área no se escoge al azar por la misma razón dada para el frijol o sea la superficie cubierta con el maíz es restringida después el muestreo de la madurez fisiológica. El muestreo para el rendimiento contiene 60 posturas con 120 plantas en total. Esto corresponde a un número de plantas diferente según el tratamiento.

Para las parcelas tradicional y con mulch, 120 posturas corresponde a 15 surcos (12 m) y 4 plantas/surcos (2 m).

Para el CCallejón-4m, se cosecha en 3 callejones las filas enteras y 4 plantas/surco (2 m) para obtener el área de 24 m . En total hay 48 posturas y 96 plantas.

Para el CCallejón-6m, se cosechan en 2 callejones la totalidad del maíz; 6 surcos (6 m) y 4 plantas/surco (2 m) o sea 48 posturas y 96 plantas.

Para el CCallejón-12m2h, se cosechan 4 filas enteras entre 2 hileras de árboles o sea los 13 surcos y 4 plantas/surco. En total se cosecha 52 posturas igual a 104 plantas.

Las mazorcas cosechadas se dividen en mazorcas buenas y mazorcas malas. Se hace el conteo de cada una y se reporta en un formulario. Se escogen ocho mazorcas buenas al azar y se secan durante una semana en el cuarto seco. Se desgranar las mazorcas y después se mide la humedad del grano con el aparato " Moisture tester, Model 400, Dole ". Se usa la fórmula siguiente para convertir el peso de la semilla de maíz a 15% de humedad (el estándar internacional):

$$\begin{array}{rclcl}
 & & \text{Peso (gr)} & \text{Peso(gr) maz.} & \\
 100 - \% H \text{ leída} & & \text{grano 8 maz.} & \text{buenas total} & \text{Rendimiento} \\
 \text{-----} & \times & \text{-----} & \times \text{-----} & \text{a 15\% de} \\
 85\% & & \text{Peso 8 maz.(gr)} & & \text{humedad}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rclcl}
 \text{Rendimiento} & & 10\ 000\ \text{m} & & 1 & & 1\ \text{kg} & & \text{Rendimiento} \\
 \text{a 15\% de} & \times & \text{-----} & \times & \text{-----} & \times & \text{-----} & = & \text{kg/ha} \\
 \text{humedad} & & \text{ha} & & 24\text{m} & & 1000\ \text{gr} & &
 \end{array}$$

Se deja el rastrojo del cultivo de maíz en las parcelas para aportar materia orgánica al suelo, eso presenta una entrada de nutrimentos para el estudio del reciclaje de nutrimentos.

Inoculación de las raíces de los árboles

El 19 de Agosto de 1992 se inoculó todas las hileras de *E. fusca* de todas las parcelas. Al desenterrar las raíces de los mejores árboles se notó que no había nódulos en ninguna raíz (superficial, profunda, pequeña, gruesa). Se encontró en raíces pequeñas dos nódulos minúsculos sobre una muestra de tres árboles. En 4 litros de agua se aplica 1 kg de tierra que contiene las bacterias del género *Rhizobium* tomada cerca de las raíces con nódulos provenientes del clon 2675 de *E. fusca*. Se añade un volumen pequeño de nódulos machados. Se desentierra unos 5 cm del lado superior de la pendiente sacando un poco las hojas y el rastrojo al pie del árbol y se riega la zanjita con la mezcla hecha en la regadera. El propósito de esta prueba es de ver si la falta de nódulos en las raíces es lo que impide el desarrollo de la biomasa verde. Se sugiere usar este método de inoculación antes de la siembra de los acodos. Se juntan todos los pies de los acodos y se les riegan con la mezcla de tierra y agua antes de sembrarles lo que economiza esfuerzo.

Lectura del pluviómetro y pluviógrafo

A diario se debe registrar la cantidad de lluvia caída en las últimas 24 horas. El dato se toma aproximadamente a las 8:00 am. El pluviómetro está graduado en pulgadas. Hay que convertir esta medida en la base de datos a mm.

En el pluviógrafo el mecanismo de control se regula cada semana y la acumulación de datos registrados es cada 15 días. Cada banda permite evaluar los datos siguientes: Duración, Frecuencia e Intensidad.

Mediciones de la escorrentía y material erosionado

La escorrentía superficial (E) se expresa por un coeficiente en % que es la relación del agua escurrida con respecto a la precipitación diaria. La escorrentía se mide en la caja colectora con una regla graduada en cm. En la base de datos se transforma esta medida en volumen (m^3). Si el agua de escorrentía sobrepasa la capacidad de la caja, el exceso se traslada al estanón siguiente, también se mide con una regla, luego se transforma en volumen (m^3). Los dos volúmenes se suman y su resultado se expresa en coeficiente de escorrentía en porcentaje.

Para calcular el porcentaje de escorrentía a partir de la medida en la caja recolectora pequeña y en el estanón grande se procede de la siguiente manera:

Coeficiente de escorr. (%) = $\frac{\text{m}^3 \text{ anual medidos en las cajas colectores}}{\text{Precipitación(m) * área de la parcela(m) anual}} * 100$

$$\frac{0.4(\text{m}) * 0.6(\text{m}) * \text{alt}(\text{m}) + (D/4) * \text{alt}(\text{m})}{2.47457 (\text{m}) * 44 (\text{m})} * 100$$

Medición de la caja pequeña: ancho = 0.4m
 largo = 0.6m
 altura = varía (m)

Medición del estañón: D=diámetro = 0.57m
 altura = varía (m)

Se tomó una muestra del agua de escorrentía un día que hubo una gran cantidad de precipitación para que se pueda sacar en la caja colectora de cada parcela 0.5 litros. La idea era de hacer tres (3) muestreos durante el ciclo del maíz o sea al principio, a medio y al final de la madurez del cultivo. No fue posible por falta de lluvia durante este período y el muestreo pudo hacerse únicamente el día 18 de setiembre de 1992, tres semanas antes de la cosecha del maíz. Se determinó el pH con el potenciómetro; el fósforo por el método colorimétrico. El calcio, magnesio, potasio se determinaron por espectroscopía de absorción atómica.

Para el material erosionado, en la canoa se colecta con una brocha los sedimentos y se les pone en una bolsa plástica bien identificada: el lugar-San Juan Sur, la fecha del día, la identidad de la parcela-A1, B2, C7, etc. y las iniciales del nombre del responsable del experimento. Los sedimentos que se encuentran en la caja de captación de agua son también colectados después de sacar el agua en ella y son juntados con los primeros. Se deja secar unos 3 a 4 días y después se pesa húmedo. Si los sedimentos pesan más de 10 g, se les mandan a secar en el horno a 40.5 °C (105 °F) y se toma el peso seco. Los sedimentos de menos de 10 g son pesados y se considera que equivalen al peso seco de una vez. Se lleva a secar las latas pequeñas no más de 25 g de sedimentos. Los que sobran se guardan en las mismas bolsas para luego analizarlos. Estos últimos se permiten quedar intactos, los sedimentos que se mandan a secar pierden el valor real del nitrógeno. Por un período de 4 meses, para dividir los de la estación menos lluviosa con los de la estación lluviosa, se analiza la fertilidad de los sedimentos:

Estación seca = enero, febrero, marzo y abril
 Estación de lluvia = (mayo, junio, julio, agosto)
 (setiembre, octubre, noviembre, diciembre).

Los elementos analizados son: pH, M.O., textura, N, P, K, Ca, Mg, Acd. ext., Cu, Zn, Mn.

El pH se determinó en 1:2.5 suelo-agua y se leyó con un potenciómetro. La textura se determina por análisis mecánico con el método del hidrómetro de Bouyoucos. El contenido de materia orgánica (M.O.) se determinó usando el método de Walkley y Black y el nitrógeno se determinó por semi-micro Kjeldahl. Para extraer potasio, fósforo y elementos menores se usó la solución de Olsen modificado. La determinación de fósforo se hace por colorimetría. El potasio y los elementos menores se determinan por espectroscopía de absorción atómica. Se hace una extracción con KCL 1N para la determinación de calcio, magnesio y acidez extraíble. El calcio y el magnesio se determinan por absorción atómica; la acidez extraíble se determina por titulación con hidróxido de sodio (NaOH) 0.01N.

Balance de nutrimentos.

Las evaluaciones anteriores deben integrarse en un sistema, valorándose las entradas y salidas. Así se evalúan los nutrimentos del material erosionado, del agua de escorrentía y en cada una de las partes del componente arbóreo y del cultivo (semilla, hojas, tallos, raíces). Cada uno de estos procesos ya están indicados, falta considerar las pérdidas o el movimiento por lixiviación y la retención del suelo mismo, sin dejar de señalar las pérdidas por evapotranspiración. Los análisis físico-químicos-biológicos y particularmente los de fertilidad son necesarios. El balance debe mostrar las evoluciones y la dinámica antes, durante y después del proceso del cultivo. Para complementar el estudio deben considerarse las aplicaciones de correctores (Cal) y efectos residuales de agroquímicos.

Análisis económico.

Aun cuando este estudio es experimental a nivel de parcela controlada, se trata de considerar las limitantes reales del sistema social, cultural y económico. Los requerimientos de mano de obra, la disponibilidad de material, prácticas culturales tradicionales y otros medios deben evaluarse para distinguir no solamente la efectividad biofísica, sino los beneficios socioeconómicos de las alternativas o tratamientos. Valorar la calidad de la tierra marginal, su productividad, el costo de los tratamientos, su sostenibilidad, son necesarios para complementar el estudio. También es importante valorar el tipo de tecnología experimental, en cuanto a su sencillez y facilidad de manejo. Los datos de producción y los insumos requeridos a nivel de parcela experimental deben correlacionarse con escalas a nivel de campo (finca de agricultores). La influencia del control de la erosión y nutrimentos y los costos de oportunidad deben valorarse en función de sistemas de subsistencia donde posiblemente tengan mayor impacto estas tecnologías.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- AGUIRRE ASTE, V. 1971. Estudio de los suelos del área del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, IICA-Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., IICA/CTEI. 145 p.
- ALLEN, O.N.; ALLEN, E.K. 1981. The leguminosae. A source book of characteristics, uses and nodulation. The University of Wisconsin Press. EE.UU. 812 p.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. 1973. Física de suelo. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana. México. 529 p.
- BERMUDEZ, M. 1980. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema café (*Coffea arabica* L.), poró (*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. F. Cook) y laurel (*Cordia alliodora* (R & P) Cham.), en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. UCR/CATIE. 74 p.
- BERRIOS PEREZ, A. A. 1986. Propagación clonal *in vitro* de diferentes especies de poró (*Erythrina* spp.). Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Programa Universidad de Costa Rica/ CATIE. 81 p.
- CATIE. 1992. Informe final. Proyecto AFN-CIID, 1989-1992. CATIE, Turrialba, C.R. (en prensa).
- CIID (Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo) 1989. *Erythrina* spp. - Fase I. Informe técnico final del proyecto. CATIE, Turrialba, C.R. 186 p.
- _____. 1989. *Erythrina* spp.- Fase II. Informe técnico anual del proyecto. CATIE, Turrialba, C.R. 123 p.
- COSTA RICA. 1981. Mapa Tucurrique. Ed. 2-IGNCR, C.R. Esc. 1:50 000. Hoja 3445 1, E 763.
- DAYDON JACKSON, B. 1946. An enumeration of the genera and species of flowering plants. Clarendon Press. Oxford, G.B. v.1, 1268p.
- GARZON SANCHEZ, H. 1990. Evaluación de la erosión hídrica y la escorrentía superficial bajo sistemas agroforestales en tierras de ladera, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 121 p.
- HOLDRIDGE, L.E.; POVEDA A., L.J. 1975. Arboles de Costa Rica. Volumen I. San José, C.R., Centro Científico Tropical. 546 p.

- JIMENEZ BONILLA, V.J. 1990. Establecimiento aséptico y propagación *in vitro* de *Erythrina fusca* y *Erythrina poeppigiana* por microestacas. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 73 p.
- KASS, D.C.L.; BARRANTES, A.; BERMUDEZ, W.; CAMPOS, W.; JIMENEZ, M.; SANCHEZ, J. 1989. Resultados de seis años de investigación de cultivo en callejones (alleycropping) en la Montaña, Turrialba, Costa Rica. El Chasqui. 19:5-24.
- KAUFFMAN J. 1992. International Soil Reference and Information Center. National Soil Reference Collection. Wageningen, The Netherlands. (En prensa).
- LEBEUF T.I, 1993. Sistema agroforestal con *Erythrina fusca* lour, en tierras de laderas: Efectos en la pérdida de suelo, escorrentía superficial y producción de cultivos anuales. Propuesta para distanciamiento de cultivos en callejones utilizando modelos de predicción. Tesis Mag. Sc. Turrialba C. R. CATIE, 1993.
- LUZURIAGA T., C. 1970. Propiedades morfológicas, físicas y químicas, y clasificación de seis andosoles de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. IICA. 159 p.
- NEILL, D. A. 1993. The genus *Erythrina*: Taxonomy distribution and ecological differentiation. In *Erythrina* in the old and new world. Nitrogen Fixing Tree Association (NFTA) (En prensa)
- SANCHEZ, P. A. 1981. Suelos del trópico; características y manejo. Trad. Edilberto Camacho. San José, C.R., IICA. 634 p.
- YOUNG, A. 1987. Agroforestry for the control of soil erosion. ICRAF Newsletter No.19. Nairobi, Kenya. 2 p.
- _____. 1987. The potential of agroforestry for soil conservation and sustainable land use. ICRAF Reprint No.39. Nairobi, Kenya. 16 p.
- _____. 1988. Agroforestry in the control of soil erosion by water. Agroforestry abstracts. C.A.B. International. G.B. BPCC Wheatons Ltd. 1(2/3):39-48.
- _____. 1989. Agroforestry for sustainability on steep-lands. ICRAF Reprint No.57. Nairobi, Kenya. 49 p.
- _____. 1991. Soil fertility. In Biophysical Research for Asian Agroforestry. Ed. M.E Avery, M.G.R. Cannell, C. Ong. Winrock International. New Delhi, India. 292 p.