

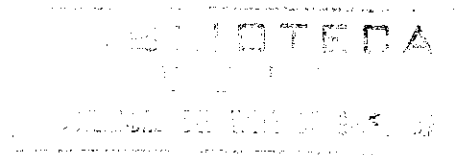
**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**Facultad de Ciencias y Humanidades**

**Departamento de Ciencias Agrícolas e Ingeniería Forestal**

**Validación de Campo de los Métodos del Instituto Winrock para el  
Establecimiento de Parcelas Permanentes de Muestreo  
para Cuantificar Carbono en Sistemas Agroforestales**

**Lilian Iveth Márquez Barrientos**



**Guatemala**

**1997**



**Validación de Campo de los Métodos del Instituto Winrock para el  
Establecimiento de Parcelas Permanentes de Muestreo  
para Cuantificar Carbono en Sistemas Agroforestales**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**Facultad de Ciencias y Humanidades**

**Departamento de Ciencias Agrícolas e Ingeniería Forestal**

**Validación de Campo de los Métodos del Instituto Winrock para el**

**Establecimiento de Parcelas Permanentes de Muestreo**

**para Cuantificar Carbono en Sistemas Agroforestales**

**Lilian Iveth Márquez Barrientos**

**Trabajo de graduación presentado para optar**

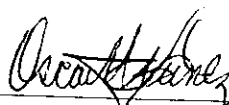
**al grado académico de**

**Licenciada en Ingeniería Forestal**

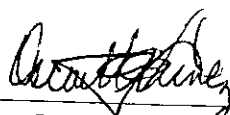
**Guatemala**

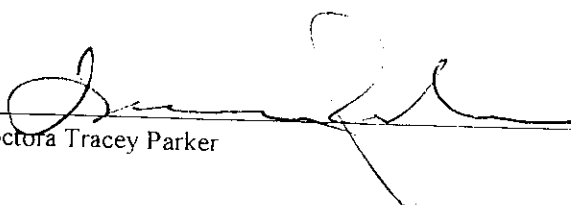
**1997**

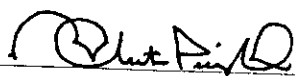
Vo. Bo.:

(f)   
Ingeniero Oscar Manuel Nuñez  
Asesor

Tribunal:

(f)   
Ingeniero Oscar Manuel Nuñez

(f)   
Doctora Tracey Parker

(f)   
Licenciado Ronaldo Pérez

Fecha de aprobación: 31 de octubre de 1997

## AGRADECIMIENTOS

Esta validación de campo no hubiera sido posible sin la ayuda de muchas personas e instituciones diferentes, para las cuales deseo expresar mi gratitud. Primeramente, quiero agradecer a Ken MacDicken por su confianza, guía y apoyo.

En La Unión, Zacapa, a la Municipalidad por ayudar a establecer los vínculos con Anacafé. Aroldo Fuentes, técnico de Anacafé, que me ayudó a establecer contacto con los caficultores y con Prozachi. A Carlos Godoy y todos los miembros de Prozachi que me ofrecieron un lugar donde vivir y muchas veces transporte a las aldeas.

A la gente de las aldeas Campanario Avanzada, Campanario Progreso, Capucal Chagüitón, y Capucal Centro por haberme hecho sentir tan bienvenida, especialmente Camilo y Romeo Agustín, Felipe Díaz, y Raúl Vasquez que fueron parte del equipo de investigación. También, a Vicente y Catalina Martínez y sus hijos cuya hospitalidad y buena voluntad hizo el trabajo de campo mucho más fácil y agradable. René Rivas por distribuir a todos los caficultores los resultados del análisis de suelo. Y a los 30 caficultores que me permitieron visitar sus fincas y en algunos casos sus terrenos boscosos y agrícolas.

A Anacafé por haber patrocinado los análisis de suelo y la impresión de la tesis. A Humberto Jiménez del Laboratorio de Suelos de Anacafé por su colaboración. Mi hermano Javier Márquez por haberme ayudado con parte del trabajo de campo. A Oscar Nuñez, Tracey Parker, Rony Pérez y Guillermo Sánchez que revisaron este documento e hicieron muchas buenas sugerencias para su mejora. A Diana Maza por las muchas horas frente a la computadora editando varios mapas. También a Jack Schuster y Maggie Hodge por revisar la versión en inglés.

Y especialmente a mis padres y hermanos que fueron muy pacientes, grandes colaboradores y que jugaron un papel activo en el desarrollo de este estudio.

## CONTENIDO

	Página
RESUMEN	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
A. Objetivos	2
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA E INVESTIGACIONES RELACIONADAS	3
A. Calentamiento Global y la Convención de Cambio Climático	3
B. Implementación Conjunta	4
1. Beneficios de la IC.	4
2. Tipos de proyectos.	4
3. Los proyectos de uso de la tierra en Implementación Conjunta.	5
4. Métodos para el inventario, monitoreo y verificación.	6
5. Métodos para la cuantificación de carbono en sistemas agroforestales.	7
6. Validación de campo de los métodos del Apéndice 6.	8
C. El sistema agroforestal del café y la fijación de carbono	8
D. El área de estudio	9
III. MÉTODO	13
A. Validación de los métodos para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo	13
1. Mapeo del área	14
2. Selección de la muestra de fincas para determinar la biomasa acumulada	14
3. Entrevista con el caficultor	14
4. Ubicación del punto de referencia	14
5. Ubicación de las parcelas	15
B. Inventario de carbono	16
1. Inventario de tallos leñosos con DAP > 5 cm	16
2. Inventario de vegetación herbácea, tallos leñosos con DAP < 5 cm y la hojarasca	16
3. Inventario de las plantas de café y de musáceas.	16

4. Biomasa abajo del suelo.	17
5. Inventario del carbono contenido en el suelo.	17
6. Muestreo de usos alternativos de la tierra.	17
7. Cálculo de la biomasa y el contenido de carbono.	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
A. Validación de los métodos para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo	24
1. Mapeo del área	24
2. Selección de la muestra de fincas para determinar la biomasa acumulada	25
3. Entrevista con el caficultor	26
4. Ubicación del punto de referencia	27
5. Ubicación de las parcelas	29
B. Inventario del carbono fijado	33
V. CONCLUSIONES	38
VI. RECOMENDACIONES	39
VII. BIBLIOGRAFÍA	43
APÉNDICES	46
A. Formularios utilizados durante las visitas al campo	46
B. Mapas de las aldeas estudiadas mostrando las fincas cafetaleras visitadas	49
C. Información detallada sobre las visitas hechas a las fincas	53
D. Métodos originales propuestos por Winrock para ser validados en el campo	58

## LISTA DE CUADROS Y GRÁFICAS

Cuadro	Página
2.1 Beneficios de la IC para los distintos actores	4
2.2 Carbono fijado por bosques y cafetales costarricenses (ton/ha).	9
4.1 Nombres comunes y científicos de los árboles identificados durante las visitas a los cafetales de La Unión.	23
4.2 Toneladas métricas de carbono fijadas por la biomasa arriba del suelo en cada uso de la tierra (tMC/ha)	33
4.3 Toneladas Métricas de Carbono fijadas por las fuentes de carbono en cada uso de la tierra (tMC/ha)	34
C.1 Número de las fincas visitadas, propietario, extensión (Has) y ubicación	53
Gráfica	
4.1 Dificultad para entrevistar al caficultor	26
4.2 Dificultad para hacer el bosquejo de la plantación de café	27
4.3 Dificultad para determinar el largo y el ancho de la plantación	28
4.4 Dificultad para determinar el rumbo del punto de vuelta al PRP y viceversa	29
4.5 Dificultad para establecer la parcela 1	29
4.6 Dificultad para establecer la parcela 2	30
4.7 Dificultad para establecer la parcela 3	30
4.8 Dificultad para establecer la parcela 4	31

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
2.1 Mapa de la República de Guatemala y ubicación de La Unión, Zacapa	11
2.2 Mapa del Municipio de La Unión, Zacapa.	12
3.1 a.) Ubicación del punto de referencia de parcelas (PRP) y b.) de las parcelas permanentes de muestreo.	21
B.1 Detalle del mapa de La Unión, Zacapa mostrando el área donde se llevó a cabo el estudio	49
B.2 Bosquejo de la aldea Campanario Avanzada, La Unión, Zacapa.	50
B.3 Bosquejo de la aldea Campanario Progreso, La Unión, Zacapa.	51
B.4 Bosquejo de la aldea Capucal Chagüitón, La Unión, Zacapa.	52
C.1 Bosquejo de la finca # 21	54
C.2 Bosquejo de la finca # 35	55
C.3 Bosquejo de la finca # 28	55
C.4 Bosquejo de la finca # 41	56
C.5 Bosquejo de la finca # 43	56
C.6 Bosquejo de la finca # 53	56
C.7 Bosquejo de la finca # 60	57
C.8 Bosquejo de la finca # 11	57

## RESUMEN

Los métodos propuestos por el Instituto Internacional Winrock para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo para la cuantificación de carbono en sistemas agroforestales, fueron validados en el campo en las plantaciones de café de La Unión, Zacapa en Guatemala. Los métodos encontraron una serie de obstáculos para establecer parcelas permanentes de muestreo en las plantaciones pequeñas y de variadas formas presentes en el área. Varias recomendaciones basadas en el trabajo de campo, se hacen para remediar esta situación. Las recomendaciones incluyen varias maneras que el equipo encontró útiles y efectivas para establecer un punto de referencia de las parcelas y a partir de éste ubicar y establecer cuatro parcelas de muestreo. A pesar de que los métodos encontraron varios obstáculos, el establecimiento de las parcelas permanentes de muestreo y el inventario de carbono se pudo llevar a cabo. El carbono total fijado, en toneladas métricas de carbono por hectárea (tMC/ha), por las plantaciones de café (115.49 tMC/ha) se compara cualitativamente con la cantidad fijada por usos de la tierra que el café ha sustituido: bosque secundario (224.34 tMC/ha), agricultura (88.02 tMC/ha), y plantaciones de café antiguas (183.87 tMC/ha). El uso de la tierra que más carbono fija, es el bosque secundario y la fuente cuya contribución al carbono fijado es mayor, es la materia orgánica encontrada en el suelo. La fuente de carbono que sigue al suelo, es el carbono contenido en los árboles.

## I. INTRODUCCIÓN

Las iniciativas llevadas a cabo a nivel global para reducir y estabilizar las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera, incluyen la compensación económica por el servicio ambiental prestado por recursos naturales que fijen o no emitan CO<sub>2</sub> (reclamo de carbono) por parte de industrias que contaminan la atmósfera con este y otros gases dañinos. Esta compensación es parte de los acuerdos conocidos como Implementación Conjunta, por medio de los cuales una entidad puede cumplir parcialmente su compromiso de reducción de emisiones domésticas financiando proyectos en otros países. Para poder participar en proyectos de inversión de este tipo, se necesita cuantificar el carbono fijado y el no emitido por los recursos naturales involucrados en el proyecto. Debido a que esta es una iniciativa en su fase piloto, aún no existen estándares técnicos internacionales y muy pocos nacionales para la medición de gases en los escenarios "sin proyecto" (situación actual o línea base) y "con proyecto" (situación diseñada para reducir emisiones). La fase experimental busca desarrollar los estándares oficiales, identificando métodos para suplir la insuficiencia metodológica que en la actualidad es el obstáculo más grande para el desarrollo de proyectos (Figueres, Hambleton, *et al* 1996).

El Instituto Internacional Winrock para el Desarrollo Agrícola, con sede en Morrilton, Arkansas ha diseñado una serie de métodos para ser usados en la cuantificación, monitoreo y verificación de la acumulación de carbono, en un ámbito comercial que incluye plantaciones forestales, bosques naturales manejados y sistemas agroforestales. Los métodos propuestos para la cuantificación en proyectos agroforestales, descritos en el Apéndice 6 de la guía "A Guide to Monitoring Carbon Sequestration in Forestry and Agroforestry Projects", se validaron en el campo, en dos proyectos: uno en Las Filipinas y el otro en Guatemala (MacDicken, 1996). Este trabajo presenta los resultados de la validación en Guatemala, la cual se hizo en el municipio de La Unión, Zacapa, donde se aplicaron los métodos en las fincas de café del área. El resultado final de este trabajo es un reporte que contenga una evaluación de los métodos del Apéndice 6 para el establecimiento de parcelas permanentes y una serie de recomendaciones para mejorar aquellos aspectos que presenten dificultad en el campo. Los métodos validados serán publicados por Winrock en noviembre de 1997 (MacDicken, 1997).

Cuantificar el carbono fijado en estas fincas, tiene importancia nacional y mundial. A nivel nacional, la información obtenida será de gran utilidad para diseñar la metodología que se usará para el inventario del carbono fijado por el sistema agroforestal predominante en el país: los cafetales. Con respecto a esta iniciativa, Anacafé (Asociación Nacional del Café), OGIC (Oficina Guatemalteca para Implementación Conjunta) y la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID) han mostrado gran interés en los resultados preliminares del trabajo y están a la espera de la versión definitiva del mismo. A nivel mundial, este estudio forma parte de una etapa de validación de métodos, que serán usados en muchos países para cuantificar carbono.

#### **A. Objetivos**

##### General

- \* Validar en el campo los métodos para establecer parcelas permanentes de muestreo propuestos por Winrock en el Apéndice 6 de su Guía de Monitoreo para la cuantificación del carbono fijado por sistemas agroforestales.

##### Específicos

- \* Determinar si la metodología propuesta se ajusta a las características de las fincas de café en La Unión, Zacapa.
- \* Determinar el volumen de carbono fijado por las fincas de café, de La Unión, Zacapa, calculando el contenido de carbono en la biomasa arriba del suelo, la hojarasca, la biomasa abajo del suelo y en el suelo.

## II. REVISIÓN DE LA LITERATURA E INVESTIGACIONES RELACIONADAS

### A. Calentamiento Global y la Convención de Cambio Climático

Muchos científicos aceptan que las crecientes concentraciones de "gases de efecto de invernadero" (GEI) aumentarán la temperatura de la atmósfera y de los océanos. Estudios realizados por las Naciones Unidas (ONU) sugieren que esto cambiará los patrones climáticos y aumentará el nivel de los océanos en 30 a 110 cm para el año 2100, afectando la salud humana y el ambiente y ocasionando severos daños económicos (MacDicken, 1996).

En 1992 en la Conferencia para el Medio Ambiente y Desarrollo de la ONU celebrada en Brasil, 165 países firmaron la Convención Marco de Cambio Climático de la ONU, que tiene como objetivo el estabilizar las concentraciones atmosféricas de GEI a un nivel que prevenga las intervenciones humanas peligrosas en el sistema climático. La primera etapa de esta estabilización, busca nivelar el nivel de GEI al nivel existente en 1990 para el año 2000. La Convención busca que los países industrializados firmantes adopten políticas y tomen medidas para reducir sus emisiones de GEI (Figueres *et al*, 1996).

El Panel Internacional de Cambio Climático (IPCC) es la entidad creada por el Programa de la ONU para el Medio Ambiente (PNUMA) como respuesta a la preocupación de varios sectores sobre el cambio climático. El IPCC en sus reportes indica que el impacto humano sobre el cambio climático es significativo. El IPCC indica que los cambios pueden incluir desbalances en ecosistemas terrestres y marinos, en prácticas forestales y agrícolas y en el manejo del recurso agua. El aumento de la temperatura, también afectará la salud humana por la contaminación del agua y la dispersión geográfica de organismos portadores de enfermedades. Además, se teme que algunos de los efectos adversos recaigan, desproporcionadamente, en los países más pobres y con menos habilidad de adaptación (Tomanand, Darmstadter & Firor, 1997).

El IPCC indica que un mecanismo de cooperación internacional para la reducción de emisiones consiste en las actividades de "implementación conjunta" (IC). Esta iniciativa busca que países más adinerados inviertan en la reducción de emisiones, en países menos adinerados (Tomanand *et al*, 1997).

## **B. Implementación Conjunta**

La Implementación Conjunta (IC) es una iniciativa por medio de la cual, una entidad en un país puede cumplir parcialmente su cometido de reducir los niveles de GEI, compensando algunas emisiones domésticas con proyectos que financia en otro país. De esta manera la entidad no debe incurrir en costos muy elevados para la reducción doméstica y puede financiar proyectos de reducción de emisiones a costos más bajos (Figueres *et al*, 1996).

### 1. Beneficios de la IC.

**Cuadro 2.1**

Beneficios de la IC para los distintos actores

<p><b>Para el inversionista, los beneficios son:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Oportunidades de inversión,</li> <li>2. contribución a las metas de reducción de GEI,</li> <li>3. participación en el diseño de políticas,</li> <li>4. relaciones públicas e imagen.</li> </ol> <p><b>Para el país inversionista:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Opciones para reducir las emisiones de GEI con costos eficientes,</li> <li>2. mercados para tecnología limpia.</li> </ol>	<p><b>Para el país anfitrión, los beneficios incluyen:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Capital extranjero,</li> <li>2. transferencia de tecnologías modernas,</li> <li>3. generación de empleo,</li> <li>4. beneficios al medio ambiente nacional,</li> <li>5. exportación de mercancía limpia.</li> </ol> <p><b>Los beneficios globales de IC son:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reducción costo eficiente de la acumulación mundial de GEI,</li> <li>2. apoyo a los países en desarrollo.</li> </ol>
--	--

Fuente: Figueres, *et al*, 1996.

2. Tipos de proyectos. Se puede considerar como un proyecto de IC a todo proyecto que reduzca, fije o evite emisiones de GEI más allá de la línea base (el nivel y la velocidad de emisiones que ocurrirían en ausencia de un proyecto de reducción de emisiones), si el sitio donde el proyecto reduce las emisiones y la

fuentes de las emisiones compensadas por el proyecto, no están en el mismo país. A la fecha, los esfuerzos de IC incluyen dos tipos de proyectos: (Figueres *et al*, 1996).

a. Proyectos de uso de la tierra: éstos incluyen el secuestro de carbono mediante prácticas que aumenten la habilidad de fijación de carbono en un área de tierra y la preservación de fuentes naturales de carbono (en bosques, suelos, etc.). Algunos ejemplos consisten en la conservación de bosques, la reforestación, forestación y proyectos de manejo sostenible de bosques.

b. Proyectos de energía: éstos incluyen el intercambio de combustible que reduce el uso de combustibles basados en carbono, aplicación de energía renovable y el aumento de la eficiencia energética.

3. Los proyectos de uso de la tierra en Implementación Conjunta. Los ecosistemas forestales, pueden fijar cantidades significativas de carbono en sus tejidos por medio de la fotosíntesis. Para poder reclamar un beneficio económico a cambio de este servicio ambiental, es necesario medir la cantidad de carbono almacenado por las actividades de un proyecto y comparar estas cifras con lo que se hubiese fijado en ausencia de un proyecto (caso de referencia o línea base). El servicio ambiental en toneladas métricas de carbono (tMC) se calcula restando ambas cifras (Figueres *et al*, 1996).

Determinar las tMC que un proyecto de uso de la tierra tiene almacenadas, está fijando o no emitiendo es el primer paso para poder reclamar beneficios económicos por el servicio ambiental. Como todo proyecto de inversión, se necesitan etapas de monitoreo y verificación, que garanticen al inversionista que el proyecto está cumpliendo con lo que ofreció. Existen dos razones para llevar a cabo el monitoreo de los cambios en el contenido de carbono de los proyectos de uso de la tierra: (1) la convención internacional exige a los proyectos de IC que involucren este tipo de proyectos, que monitoreen los cambios en el carbono; y (2) medir el impacto de los proyectos permite cuantificar el servicio ambiental que probablemente implique beneficios económicos en un futuro cercano. En el futuro, se espera que el carbono se pueda comerciar como otros productos y servicios (Figueres *et al*, 1996).

4. Métodos para el inventario, monitoreo y verificación. La mayor limitante para el establecimiento de proyectos forestales exitosos, es la falta de métodos confiables, precisos y costo efectivos para el monitoreo del almacenaje de carbono. Aún no existen criterios definidos acerca de los métodos más adecuados para la determinación de la cantidad de dióxido de carbono u otros GEI reducida, fijada o evitada por los distintos proyectos. Las diferentes entidades trabajando en proyectos de IC, usan métodos ya sea basados en muchas suposiciones preliminares o que involucran esfuerzos de investigación intensivos, y por lo tanto muy costosos para el uso generalizado (MacDicken, 1996). Es por esto, que muchas instancias han identificado la necesidad de trabajar en la validación de métodos precisos, costo efectivos y confiables que no se basen en demasiadas suposiciones y que tampoco requieran de investigaciones extensas y demasiado precisas, pues los costos aumentan (Figueres *et al*, 1996).

El Instituto Winrock ha diseñado métodos para la cuantificación de carbono que proveen resultados confiables, usando principios de inventarios forestales, ciencia del suelo y levantamientos ecológicos. El objetivo del sistema es el de llevar a los métodos de investigación a ser compatibles con los inventarios forestales en la escala comercial, en los niveles de precisión requeridos por las entidades financiadas y con presupuestos razonables. Winrock trabaja con métodos y procedimientos usados con parcelas permanentes de muestreo que deben ser monitoreadas periódicamente en los casos de línea base y de proyecto (MacDicken, 1996).

El uso de parcelas permanentes de muestreo, se considera como un medio estadísticamente superior de evaluar los cambios en el carbono fijado en el sitio. Las parcelas, permiten una evaluación eficiente de los cambios en el carbono fijado a lo largo del tiempo, si las parcelas muestreadas son representativas del área total del proyecto. El uso de parcelas, también permite que el inventario continúe durante más de una rotación. Finalmente las parcelas permiten que se lleve a cabo la verificación eficientemente, a un costo relativamente bajo (MacDicken, 1996).

Para el diseño del inventario de un proyecto, es crítico decidir qué fuentes de carbono deben medirse. Generalmente, todas las fuentes grandes y que están sujetas a cambios durante la vida del proyecto deben medirse. Las fuentes que son pequeñas o que sufren cambios lentamente, no necesitan medirse. Este

sistema de monitoreo está diseñado para determinar cambios en cuatro principales fuentes de carbono: biomasa arriba del suelo, biomasa abajo del suelo, suelos y hojarasca. El sistema busca determinar la diferencia neta en cada fuente para áreas tanto del proyecto como fuera del proyecto (o línea base) durante un período específico de tiempo. La biomasa arriba del suelo está compuesta por árboles y la vegetación herbácea. Los árboles son plantas de tallo leñoso con un diámetro mayor a 5 cm a una altura de 1.3 metros (DAP: diámetro a la altura del pecho) y la vegetación herbácea incluye toda planta con DAP menor a 5 cm. La biomasa abajo del suelo está formada por el sistema radicular de la vegetación presente. La hojarasca es el material vegetal encontrado sobre el suelo, en proceso de descomposición (MacDicken, 1996).

La efectividad a largo plazo de la captación de carbono, depende en parte, de los usos finales que se le dé a la madera producida a través de las actividades del proyecto. Entre más durable sea el producto, mayor será el efecto del proyecto sobre el almacenaje de carbono en el mediano y largo plazo. El impacto de los sumideros de carbono es directamente proporcional a los "años tonelada" de almacenaje (esto es, las toneladas de carbono multiplicadas por el número de años durante los cuales el carbono es almacenado). Los inventarios de carbono llevados a cabo en sitios de proyectos forestales y agroforestales, son en realidad "fotografías instantáneas" del carbono almacenado en el momento del inventario. Para asegurar que estas fotografías instantáneas pueden compararse con otras, es importante que el equipo de inventario sea consistente en el uso de técnicas de medición y métodos entre diferentes sitios, rodales y periodos de inventario (MacDicken, 1996).

5. Métodos para la cuantificación de carbono en sistemas agroforestales. Los métodos descritos en el Apéndice 6 de la Guía de Monitoreo están destinados para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo en sistemas agroforestales (ver Apéndice D para consultar los métodos del Apéndice 6 de la guía de Winrock). Winrock indica que los métodos deben ser adecuados para una amplia gama de diferentes configuraciones de sistemas agroforestales, pero no serán necesariamente apropiados para ciertos tipos de plantaciones que se pueden encontrar. Los métodos fueron diseñados para sistemas agroforestales cuya forma sea predominantemente cuadrada, rectangular o circular; de por lo menos 0.25 hectáreas en extensión y en el cual la cobertura predominante sean árboles (MacDicken, 1996).

6. Validación de campo de los métodos del apéndice 6. Para facilitar la validación de los métodos, éstos se dividieron en sus componentes principales para evaluar a cada uno por separado. La evaluación consistió en determinar si cada componente o paso, se podía realizar a cabalidad, siguiendo las instrucciones dadas por Winrock. De ser ésto posible, se indicó que fue posible realizar el paso y se le asignó la categoría de "sin dificultad". La otra opción es que el paso no se haya podido realizar siguiendo las instrucciones. En este caso se indicó que no fue posible realizarlo y se procedió a encontrar alguna manera de llevarlo a cabo para poder evaluar los pasos posteriores. La categoría asignada a estos pasos, fue la de "poca dificultad". Si por alguna razón, alguno de los pasos no se pudo realizar de acuerdo con las instrucciones y no se pudo encontrar una manera alterna para llevarlo a cabo, es decir que no se realizó en absoluto, la categoría asignada fue imposible".

### **C. El sistema agroforestal del café y la fijación de carbono**

El cultivo de café en Guatemala ha traído muchos beneficios de carácter económico al país. En años recientes también se ha buscado identificar los beneficios ambientales de este cultivo en contraste con otras prácticas productivas como los cultivos limpios y el ganado. Algunos estudios han buscado determinar la biodiversidad encontrada en un cafetal con resultados interesantes. También se ha demostrado que los cafetales producen oxígeno y contribuyen a reducir los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (Sánchez, 1992). Sánchez indica que según McSweeney (1991), Guatemala contaba con 38,500 manzanas (26,950 has) de terreno cultivado con café. Esto representa el 2.5% de nuestro territorio, lo que se estima aporta de 4 a 5x10<sup>6</sup> toneladas de oxígeno diarias (Sánchez, 1992).

En una investigación llevada a cabo en Ciudad Colón, Costa Rica, se encontró que el sistema cafetalero compuesto por árboles de sombra, cafetales, vegetación herbácea, hojarasca y la materia orgánica del suelo, contribuye con 198 toneladas de carbono por hectárea (Fournier, 1996). Otro estudio hecho en Costa Rica, también comparó las toneladas fijadas por el cafetal con las fijadas por dos ecosistemas forestales diferentes, concluyendo que ambos sistemas deben ser considerados como fuertes contribuyentes a la reducción de los niveles de CO<sub>2</sub> en el ambiente (Fournier, 1996). En el cuadro 2.2 se presentan los resultados:

Cuadro 2.2

Carbono fijado por bosques y cafetales costarricenses (ton/ha).

Ecosistema	Retención de Carbono ton/ha
Bosque pluvial	263.25
Bosque estacional	204.75
Cafetal	76.5

Fuente: Fournier, 1996.

**D. El área de estudio**

La Unión (ver Figura 2.1) es un municipio con 16,000 habitantes que pertenece al departamento de Zacapa (INE, 1994). El casco urbano se encuentra a 900 msnm y su mayor elevación sobrepasa los 1,600 msnm. La precipitación pluvial oscila entre los 1,400 y 1,500 mm anuales (INSIVUMEH, 1989). Una de las principales actividades comerciales en La Unión es el cultivo de café.

Durante el trabajo de campo, se pudo observar que la mayoría de los caficultores de La Unión son pequeños productores, es decir que cosechan hasta 500 quintales de café cereza (fruto de café sin procesar) en parcelas pequeñas y fragmentadas (Vasquez, 1997). El tamaño de la plantación varía desde 0.08 hectárea hasta varias hectáreas. En 1996 un total de 637.08 hectáreas de tierra sembrada con café en el municipio, recibieron asistencia técnica para el cultivo o créditos (PROZACHI, 1996).

La práctica cafetalera en este municipio inició con la variedad típica de la especie *Coffea arábica* que es la más cultivada a nivel mundial (Anacafé, 1991). La introducción de nuevas variedades, como bourbon y más recientemente caturra, catuai y catimor, ha sido acompañada por la tecnificación del café. La tecnificación implica la siembra ordenada de las plantas, su fertilización y el manejo de la sombra, actividades que los caficultores no practicaban consistentemente con la variedad típica (Vasquez, 1997).

El estudio se llevó a cabo en las aldeas de Campanario Progreso, Campanario Avanzada, Capucal Chagüiton y Capucal Centro, todas aldeas del municipio de La Unión (ver Figura 2.2). El área se encuentra entre los 800 y 1100 msnm en un área originalmente cubierta por bosque latifoliado tropical. La región pertenece a la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical (Holdridge, 1987). Para llevar a cabo el estudio se definieron ciertos requisitos básicos que debían cumplir los cafetales para ser incluidos dentro del trabajo de campo. La plantación de café debía tener una extensión mínima de 0.25 de hectárea y contar con sombra. Además, solamente se incluyeron plantaciones de las variedades caturra, catuái y catimor que hubieran producido por lo menos una cosecha de café.

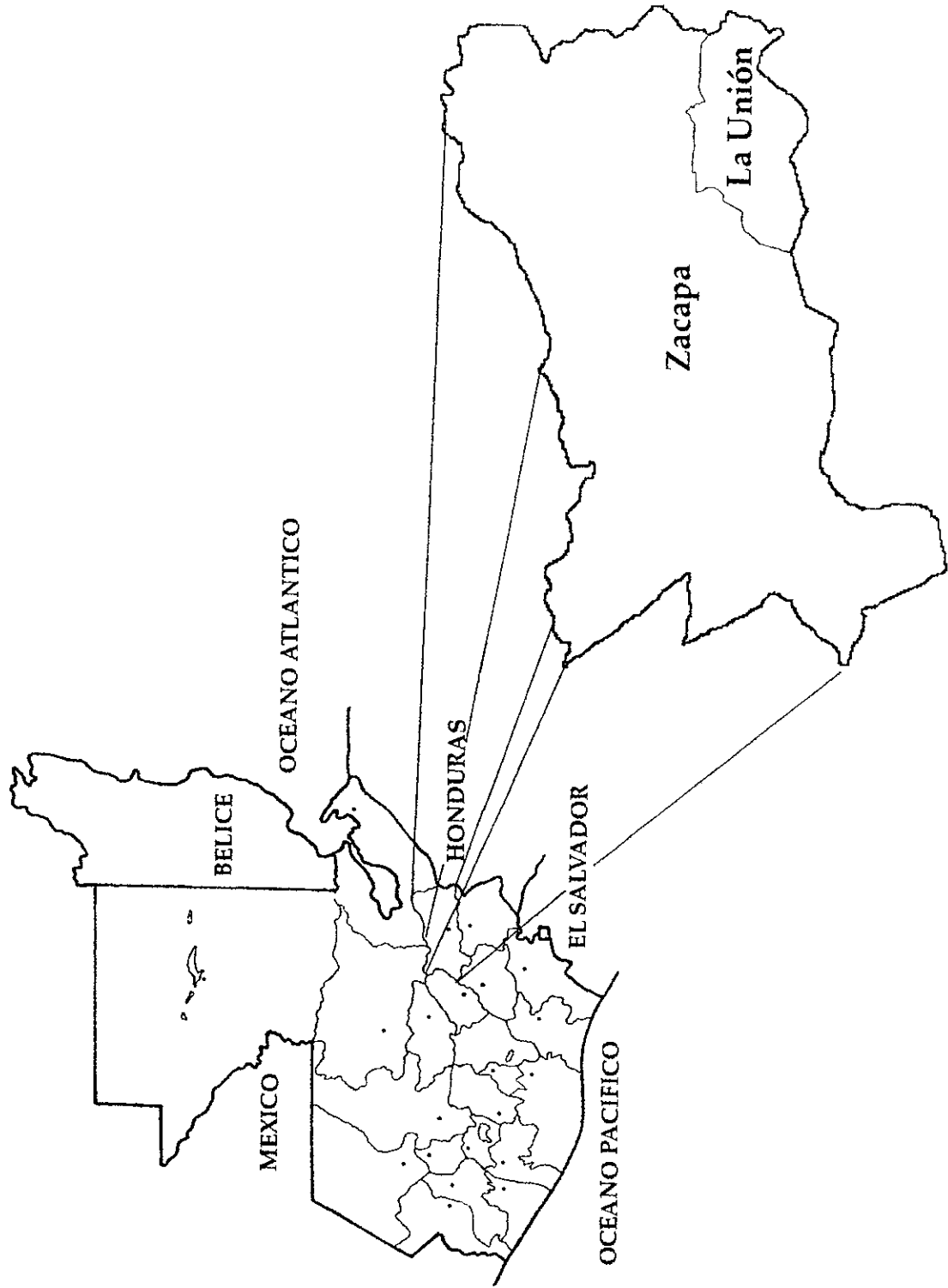
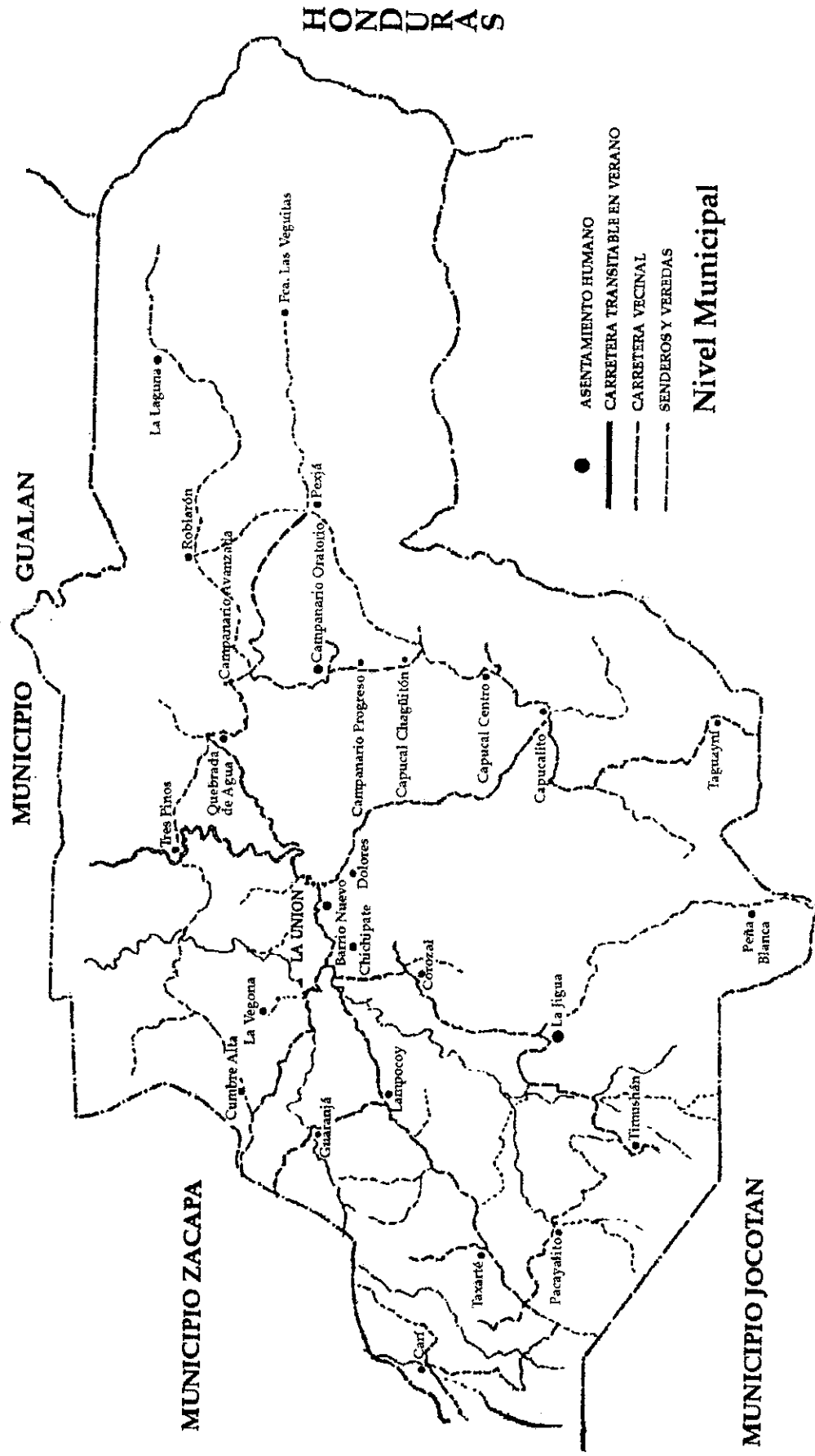


Figura 2.1

Mapa de la República de Guatemala y ubicación del municipio de La Unión, Zacapa



**MUNICIPIO LA UNION**

**MUNICIPIO CAMOTAN**

Fuentes: IGN citado en Solís, 1995 y visitas de campo hechas por Lilian Márquez en 1997.

**Figura 2.2**

**Mapa del Municipio de La Unión, Zacapa**

### III. MÉTODO

El trabajo de investigación se llevó a cabo del 22 de marzo al 6 de junio de 1997, y se inició con visitas a diferentes instituciones que trabajan en el municipio de La Unión. Se establecieron contactos muy importantes con el Proyecto Zacapa-Chiquimula (Prozachi), con el representante de Anacafé y con personeros de la Municipalidad de La Unión. Dos caficultores fueron contactados para participar en el equipo de muestreo y su colaboración fue muy importante para organizar el esfuerzo de muestreo e identificar muchas especies forestales.

Validar los métodos implica llevar a cabo un inventario de carbono en un sistema agroforestal utilizando parcelas permanentes de muestreo. Por lo tanto, el trabajo se llevó a cabo siguiendo las instrucciones presentadas en el Apéndice 6 de la Guía de Monitoreo de Winrock, para el establecimiento de las parcelas permanentes. Para obtener como uno de los resultados finales las toneladas de carbono fijadas por el sistema, se recurrió al uso de métodos complementarios descritos en la Guía de Monitoreo de Winrock en otras secciones del documento. A continuación, se presenta la serie de métodos utilizados en dos secciones separadas que incluyen las acciones que permitieron llevar a cabo primeramente el establecimiento de las parcelas y seguidamente el inventario de carbono.

#### **A. Validación de los métodos para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo**

Los métodos para el establecimiento de parcelas permanentes se dividieron en sus componentes principales para evaluar cada uno por separado. Los parámetros para evaluar cada componente se basan en la habilidad de poder realizar la actividad siguiendo a cabalidad las instrucciones dadas en los métodos originales (ver Apéndice D). Si el componente se pudo ejecutar siguiendo las instrucciones, entonces se determinó que fue posible hacerlo y se le asignó la categoría "sin dificultad". Por el otro lado, cuando un componente no se pudo realizar siguiendo las instrucciones, se le asignó la categoría de "poca dificultad". En estos casos se procedió a encontrar otra manera de llevarlo a cabo para poder evaluar los pasos posteriores. Si un componente no se pudo llevar a cabo de acuerdo con las instrucciones, y tampoco se logró ejecutarlo de una manera diferente, entonces se determinó que el paso fue "imposible" de ejecutar.

### 1. Mapeo del área

a. Fotografías aéreas y mapas topográficos: Se obtuvieron mapas topográficos y fotografías aéreas para hacer un reconocimiento preliminar del área.

b. Lista de cafetaleros y asignación de un número a cada finca: Con ayuda de varios caficultores de las aldeas a visitar, se elaboró una lista de 69 fincas que incluía propietario, variedades de café, tipo de sombra y extensión de la plantación. A cada finca se le asignó un número.

### 2. Selección de la muestra de fincas para determinar la biomasa acumulada

a. Selección de la muestra de fincas para determinar la biomasa acumulada: Con ayuda de la lista de fincas y los números asignados en el paso anterior, se escogieron 40 fincas usando una tabla de números aleatorios.

### 3. Entrevista con el caficultor

a. Entrevista con el caficultor: Se entrevistó al dueño de la finca (ver Formulario: Entrevista con el Caficultor: Apéndice A) para pedirle permiso y poder visitar su finca. Se le explicaba en qué consistía el muestreo y para qué servían los datos. Esta entrevista se llevaba a cabo de preferencia la tarde anterior a la visita y si esto no era posible, se realizaba el día de la visita, antes de iniciar el muestreo.

### 4. Ubicación del punto de referencia

a. Bosquejo de la plantación de café: Durante la entrevista se le pidió a cada dueño que dibujara, si era posible, un mapa de su finca (ver Formulario de la ubicación del punto de referencia: Apéndice A). También se le solicitaba que indicara las dimensiones de los linderos.

b. Largo y ancho de la plantación: Se verificó la información acerca de las dimensiones de la finca. Con

esta información, se caminaba hacia la esquina sudeste de la finca y por el lado más largo, se caminaba la mitad de la distancia. A este punto se le denominó punto de vuelta, se pintó un anillo en el DAP del árbol más cercano al punto de vuelta.

c. Ubicar el centro de la finca: En el punto de vuelta se rotó  $90^\circ$  hacia el interior de la finca y se caminó en esta dirección, una distancia igual a la mitad del ancho de la misma. El punto final de esta distancia correspondía al centro de la finca y se le denominó Punto de Referencia de las Parcelas-PRP-(ver Figura 3.1a).

d. Determinación de rumbos desde el punto de vuelta hacia el PRP y vice versa: El PRP se identificó con una estaca de 40 cm de los cuales 30 eran enterrados y los otros 10 quedaban visibles y se pintaban de azul. Para ubicar fácilmente el PRP, en el futuro se tomaron los rumbos del punto de vuelta al centro y viceversa y los datos de dos árboles de referencia (Ver Formulario de la ubicación del punto de referencia: Apéndice A).

##### 5. Ubicación de las parcelas

A partir del centro de la finca y con la ayuda de una brújula y una cinta métrica, se ubicaron 4 parcelas circulares de  $250 \text{ m}^2$  (ver Figura 3.1b y Metodología en Apéndice D), las cuales fueron identificadas de la siguiente manera: El centro de cada parcela era marcado con una estaca. En ese momento, se determinaba la pendiente del terreno para corregir la distancia horizontal del radio. Con la distancia corregida, se procedió a caminar en dirección del norte y se marcó el límite de la parcela. Así se hizo con los cuatro puntos cardinales. Las parcelas fueron establecidas en las siguientes direcciones (ver Figura 3.1b):

- a. Parcela 1 a 45 m en dirección  $N 45^\circ$ ,
- b. Parcela 2 a 15 m en dirección  $N 135^\circ$ ,
- c. Parcela 3 a 45m en dirección  $N 225^\circ$  y
- d. Parcela 4 a 15 m en la dirección  $N 315^\circ$ .

Las parcelas 5, 6, 7 y 8 (ver Figura 3.1b) eran la segunda opción disponible en dado caso las parcelas no pudieran establecerse en el lugar indicado.

## **B. Inventario de carbono**

### **1. Inventario de tallos leñosos con DAP > 5 cm**

Con las marcas hechas en los cuatro puntos cardinales como referencia, se procedió a medir el DAP y a estimar la altura de los tallos leñosos y musáceas con DAP mayor a 5 cm, esta información se registró en el Formulario del inventario de los tallos leñosos (Ver Formulario para el inventario de los tallos leñosos: Apéndice A). También se registró el nombre común de las especies conocidas por los caficultores miembros del equipo.

### **2. Inventario de vegetación herbácea, tallos leñosos con DAP < 5 cm y la hojarasca**

En los cuatro puntos cardinales y a un metro hacia adentro del límite de la parcela, se colocó un marco de muestreo circular. La vegetación herbácea y la hojarasca contenidas dentro del marco, se colectó, se pesó y se obtuvo una submuestra que también se pesó, para determinar el contenido de humedad en el laboratorio.

### **3. Inventario de las plantas de café y de musáceas.**

Para calcular la contribución de las plantas de café y musáceas a la biomasa arriba del suelo, se realizó un muestreo en junio 5 y 6. Una muestra de 5 musáceas escogidas al azar, fueron cosechadas para determinar su contribución a la biomasa arriba del suelo. Primero el DAP y la altura, eran medidos y después se cortaron en pedazos para pesarlos. Se colectó una submuestra para determinar peso seco en el laboratorio. De la misma forma, 15 cafetales, escogidos aleatoriamente fueron cosechados. Su altura y diámetro, 30 cm sobre el suelo, fue medido. La muestra se cortó en pedazos y se llevó al laboratorio para determinar biomasa total. Las plantas fueron guardadas en un congelador hasta que se cortaron en pequeños pedazos y se separaron en ramas, hojas y ejes centrales. Todo el material fue entonces secado al horno para determinar peso seco.

#### 4. Biomasa abajo del suelo.

La biomasa abajo del suelo fue calculada usando el 10% del total de biomasa arriba del suelo para cada uso de la tierra. Se usó este valor, de acuerdo con las recomendaciones más conservativas del Instituto Winrock. El Instituto indica que estimar la biomasa del sistema radicular es un proceso costoso, pero es importante ya que la biomasa abajo del suelo es una fuente de carbono importante. Dependiendo del sistema vegetal muestreado, la biomasa abajo del suelo puede representar de 10 a 40% de la biomasa total. Para la estimación, hay dos maneras de hacerlo: 1) usar estimados conservativos no controversiales para la biomasa de raíces ó 2) medirla (MacDicken, 1996).

#### 5. Inventario del carbono contenido en el suelo.

Este muestreo se llevó a cabo los días 29 y 30 de abril. Las fincas para el muestreo fueron escogidas tomando en cuenta la región cafetalera cubierta por el estudio. De manera que se escogieron 10 fincas que estuvieran distribuidas en toda el área muestreada (ver Figura B.1 Apéndice B). Otras diez muestras se realizaron en los usos de la tierra que el café ha venido a sustituir: Bosque secundario, Terrenos Agrícolas y Cafetales Viejos. En cada sitio se tomó una muestra compuesta de suelo, para determinar materia orgánica y una muestra para determinar densidad aparente.

#### 6. Muestreo de usos alternativos de la tierra.

Con el objetivo de obtener datos de referencia que permitieran comparar cualitativamente la cantidad de carbono fijado por el sistema agroforestal, se muestrearon los usos de la tierra que han sido sustituidos por nuevas fincas cafetaleras. Estos usos de la tierra fueron identificados durante las entrevistas con los caficultores y son los siguientes:

- a. Bosque secundario: extensiones de bosque de sucesión secundaria conocidos como guamiles.
- b. Cafetales viejos: plantaciones de café no tecnificado: variedad típica sembrada sin trazar surcos, sin espaciamiento definido, entre plantas y con sombra formada por árboles que ya se encontraban en el terreno y otros sembrados al azar.

c. Terrenos agrícolas: terrenos usados para la siembra de maíz y frijol. Estos terrenos incluyen terrenos trabajados constantemente, casi libres de toda vegetación y aquellos que no son usados tan intensivamente, que están siendo transformados de "chispalares" a terrenos limpios. Estos son terrenos en los que prolifera el helecho conocido como chispal (*Pteridium aquilinum*).

En estos terrenos se siguió el mismo método empleado en los cafetales y su muestreo se llevó a cabo durante el período del 7 al 17 de mayo. En el bosque secundario y en el cafetal viejo, se establecieron parcelas permanentes de muestreo. En los terrenos agrícolas se hizo el muestreo como en todos los otros sitios pero no se establecieron parcelas permanentes. Se muestrearon dos terrenos cubiertos con bosque, una finca de cafetal viejo y dos terrenos agrícolas.

#### 7. Cálculo de la biomasa y el contenido de carbono.

La biomasa de los tallos leñosos con DAP >5 cm se hizo ingresando los datos de DAP y altura para cada árbol a la ecuación para biomasa de tallos leñosos recomendada por Winrock para climas húmedos, 1500-4000 mm de precipitación anual, (Brown, *et al*, 1989 en MacDicken, 1996).

$y = \exp [-3.1141 + 0.9719 * \ln (D^2H)]$ , ( $r^2$  ajustado = 0.97) donde:

y = kilogramos de biomasa

H= altura en metros

D= diámetro a la altura del pecho (1.3 metros) en centímetros

exp[...] significa "e elevado a la potencia de [...]"

los valores obtenidos son multiplicados por 0.5 lo que da kilogramos de carbono fijado. El total de kilogramos de carbono es dividido dentro de 1000 m<sup>2</sup> (área total muestreada) para obtener kg/m<sup>2</sup> y este valor se multiplica por 10,000 m<sup>2</sup> que son los metros contenidos en una hectárea para obtener kg/ha. Los valores de kg/ha por finca se promediaron para obtener un valor representativo. Este valor representativo fue convertido a toneladas por hectárea.

Para la vegetación herbácea y los tallos leñosos con DAP < 5 cm y la hojarasca, se determinó el contenido de humedad con el peso húmedo y el peso seco de la submuestra. En el laboratorio se determinó

el peso seco de la submuestra secándola en el horno a no más de 60°C hasta alcanzar peso constante. La fórmula para el contenido de humedad es la siguiente:

(peso húmedo de submuestra - peso seco de submuestra)/peso húmedo de submuestra. Con el contenido de humedad se determinó la biomasa de la vegetación y de la hojarasca con la siguiente fórmula:

$$(\text{peso húmedo total} - (\text{peso húmedo total} * \text{contenido de humedad}))$$

los valores obtenidos son multiplicados por 0.5 lo que da gramos de carbono fijado. Los gramos de carbono se dividen dentro de 1000 para obtener kilogramos y esto dentro de 4.48 m<sup>2</sup>, que es el total de metros muestreados usando el marco de muestreo. Esta operación da kg/m<sup>2</sup> y al multiplicarlo por 10,000 m<sup>2</sup> se obtienen kg/ha. Los valores de kg/ha fueron promediados para obtener un valor representativo por uso de la tierra. El valor representativo fue convertido a toneladas por hectárea.

Para determinar la biomasa de las musáceas se calculó la biomasa de las plantas cosechadas, secando la submuestra para determinar el contenido de humedad. Con el contenido de humedad, se determinó el peso seco total con el mismo procedimiento usado para la vegetación herbácea y hojarasca. Con los valores de peso seco y la altura de las plantas se elaboró una ecuación de biomasa, con el paquete de software: Table Curve 2D, Versión 4 por SPSS, Inc. (MacDicken, 1997). La ecuación obtenida fue:

$$y^{1/2} = a + b * (\ln x / x^2), \text{ donde}$$

y = biomasa en gramos,

x = altura de las plantas en metros

a = 185.1209

b = 881.9471

El r<sup>2</sup> = 0.99 y el error estándar = 439.8 (MacDicken, 1997).

Con esta ecuación se calculó la biomasa de las musáceas muestreadas, usando la altura medida durante las visitas a las fincas. La biomasa de las musáceas se multiplicó por 0.5 para determinar el contenido de carbono y el valor final dividido dentro de 1000 para obtener kilogramos. Para calcular kg/ha a partir de los kilogramos de carbono, se procedió de la misma manera que se hizo para calcular los kg/ha fijados por los tallos leñosos. Los valores también fueron promediados para obtener un valor representativo que fue convertido a toneladas por hectárea.

Para determinar el contenido de carbono en los suelos, se tomaron muestras de suelo para determinar materia orgánica y densidad aparente que fueron enviadas al laboratorio de suelos de Anacafé. El laboratorio de suelos, reportó porcentaje de materia orgánica presente en el suelo. Este valor se multiplica por 0.58 para obtener el porcentaje de carbono. Para determinar el contenido de carbono en ton/ha se necesitan determinar valores de densidad aparente en los primeros 30 cm del suelo. El procedimiento usado para densidad aparente fue el del cilindro de volumen conocido y es el siguiente (MacDicken, 1996):

1. Pese los cilindros y sus tapaderas e identifíquelo como peso 1 (P1).
2. Prepare la superficie del suelo (que esté lisa) a una profundidad de 5 cm.
3. Introduzca el cilindro en el suelo, para rellenar el interior del cilindro, sin comprimir (utilice aceite mineral si ocurre adhesión del suelo con el metal)
4. Remueva el exceso de suelo de los extremos y remueva el cilindro con el suelo. Guarde el cilindro de suelo en una bolsa o recipiente.
5. Coloque las muestras en un horno a 100°C por aproximadamente 72 horas. Después de secar, pese el cilindro más el suelo y registre como peso 2 (P2).
6. Calcule densidad aparente:  $DA \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{P1-P2}{\text{volumen del cilindro}}$

El contenido de carbono en toneladas por hectárea se calcula de la siguiente manera:

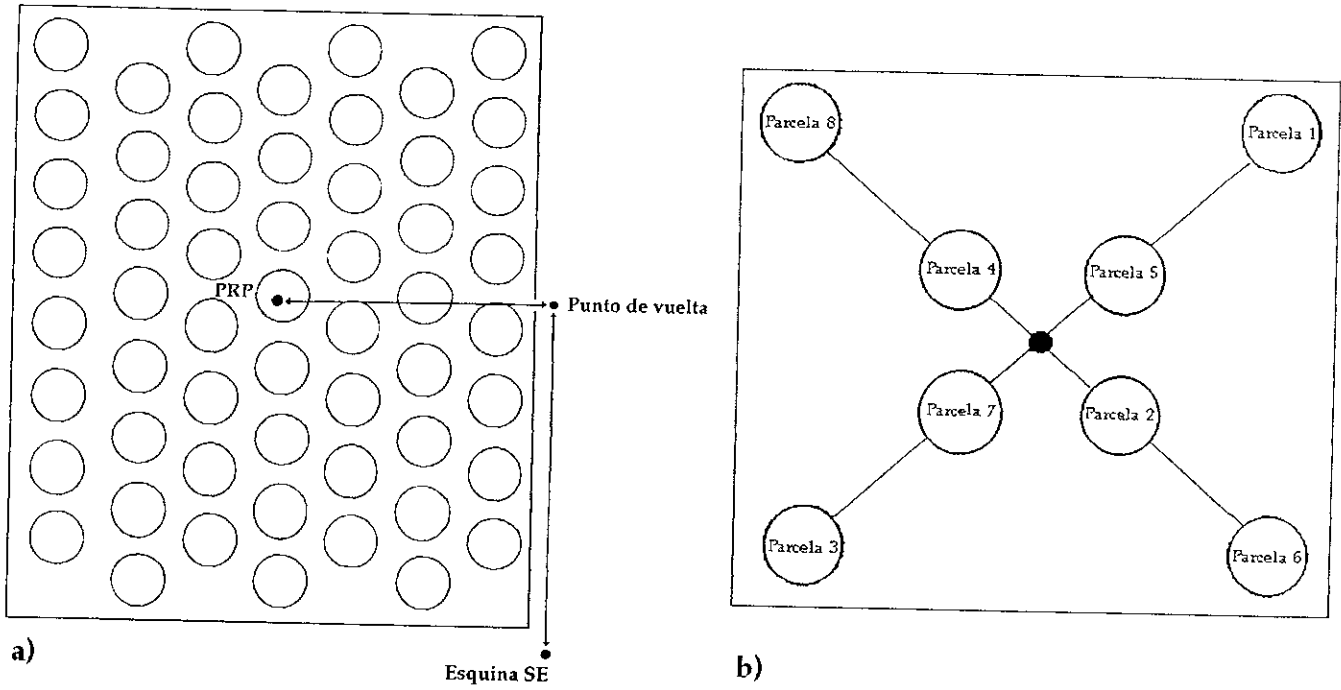
Porcentaje de carbono\*densidad aparente\*30 (Delaney, 1998). Los valores fueron promediados para obtener un valor representativo para cada uso de la tierra.

La biomasa de los cafetales se calculó usando los valores de biomasa total de las 15 plantas cosechadas. Las plantas fueron secadas al horno igual que las musáceas, con la diferencia de que la planta de café completa fue secada en vez de una submuestra como se hizo para las musáceas. De esta manera, se obtuvo el peso total para cada planta. Con estos valores se obtuvo un valor promedio y este último fue usado para calcular contenido de carbono por hectárea, tomando en cuenta también, la densidad de cafetos/hectárea averiguada durante las entrevistas con los caficultores.

Como ya se indicó, el contenido de carbono de la biomasa abajo del suelo se calculó usando el 10% del carbono fijado por la biomasa arriba del suelo.

Figura 3.1

a.) Ubicación del punto de referencia de parcelas (PRP) y b.) de las parcelas permanentes de muestreo.



#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se muestrearon fincas de café, que contaban con árboles de sombra principalmente del género *Inga*. Además, todas las fincas poseían como sombra del café plantas del género *Musa* (musáceas). Los árboles de sombra, en ocasiones son plantados ordenadamente con espaciamientos de 10 por 10 metros y en otras fincas son plantados al azar. También algunos caficultores usan como sombra árboles que ya se encontraban presentes en el terreno y aquellos que surgen por regeneración natural en el terreno. Algunos de los árboles usados como sombra para el café están listados en el Cuadro 4.1.

Todos los cafetales muestreados se encuentran sembrados a una distancia de dos metros entre surcos y un metro entre plantas. El manejo que reciben las plantaciones incluye la regulación de la sombra obteniendo como producto leña, la poda de recepa (cortar el árbol de café a una altura de 30 cm del suelo para renovar los brotes) y la de recope (consiste solamente en podar la copa del árbol de café, para permitir que surjan nuevos brotes, pero que una porción del árbol siga produciendo frutos). El caficultor siempre está renovando por completo varios árboles de su plantación, removiendo aquellos que no están produciendo y reemplazándolos por nuevas plantas. Además, todos los años los caficultores aumentan la extensión de tierra plantada con café. Por esta razón en varias ocasiones se encontraron extensiones de tierra con plantas de café de varios años, a la par de plantaciones de uno o dos años de edad. También se encontraron entre las plantaciones de variedades de porte bajo, remanentes de la población original de la variedad típica o de la variedad bourbon. Con respecto a la extensión de las plantaciones, solamente tres de éstas tenían una extensión mayor a una hectárea, y todas las demás se encontraban en el rango de 0.35 a 0.7 hectárea. La finca de café viejo (variedad típica) que se muestreó fue establecida hace más de 50 años y tanto los cafetales como los árboles de sombra fueron sembrados al azar (para consultar datos específicos de cada finca ver Cuadro C.1 - Apéndice C).

El tiempo promedio para completar el muestreo de una finca, fue de 3 horas, pero esto dependía mucho de las condiciones del terreno, de la edad y del manejo de la plantación. Hubo casos donde se terminó el muestreo en poco tiempo y algunas fincas donde no se pudo terminar en medio día. La información dada por el dueño, era determinante para completar el muestreo a tiempo. Cuando los datos sobre el tamaño de

la finca que el dueño proporcionaba no eran correctos o él no había podido describir adecuadamente la forma de su plantación, el tiempo para instalar las parcelas, aumentaba considerablemente. La experiencia de campo indicó que entre más quebrado era el terreno y la plantación era de mayor edad, el tiempo aumentaba. Movilizarse dentro de la finca para establecer las parcelas y determinar los límites de las parcelas de muestreo, se dificultaba por la falta de visibilidad.

Estudios posteriores podrían versar sobre el tiempo requerido por finca y qué variables lo afectan significativamente como relieve y edad de la plantación. Es razonable considerar que se pueden llevar a cabo, con un equipo de tres miembros, muestreos en dos fincas diferentes por día. Otro esfuerzo de investigación interesante, podría ser determinar el tamaño del equipo de muestreo óptimo. Para la experiencia de campo, el equipo de tres resultó adecuado y la presencia de algún miembro adicional no pareció facilitar o apresurar el muestreo.

**Cuadro 4.1**

Nombres comunes y científicos de los árboles identificados durante las visitas a los cafetales de La Unión.

Nombre común	Nombre científico	Nombre común	Nombre científico
Arveja	<i>Cajanus cajan</i>	Mecate capulín	<i>Trema micrantha</i>
Brotón	<i>Gliricidia sepium</i>	Nance	<i>Byrsonima chrasypolia</i>
Cedro	<i>Cedrela mexicana</i>	Paterna	<i>Inga paterno</i>
Cerel	<i>Inga. sp</i>	Pimientillo	<i>Visnea camparaguey</i>
Cuernavaca	<i>Solanum bansii</i>	Sunzo	<i>Licania platypus</i>
Cuje	<i>Inga. sp</i>	Suquinay	<i>Vernonia canescens</i>
Guamo hoja ancha	<i>Inga rodrigueziana</i>	Taxiste blanco	<i>Lasianthea fruticosa</i>
Guamo hoja fina	<i>Inga edulis</i>	Toquillo	<i>Verbesina c.f. sublobata</i>
Guamo verde	<i>Inga. sp</i>	Yaje	<i>Leucaena brachycarpa</i>
Higuerillo	<i>Ricinus comunis</i>	Quesillo	<i>Conostegia xalapensis</i>
Jiote	<i>Bursera simarouba</i>	Vainilla	<i>Cassia spectabilis</i>
Juniapa	<i>Piper auritum</i>	Zapote	<i>Pouteria mammosa</i>
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>		

## **A. Validación de los métodos para el establecimiento de parcelas permanentes de muestreo**

Para poder evaluar los resultados obtenidos con la aplicación de los métodos, estos se dividieron en sus componentes principales. A continuación se evalúa la dificultad que cada uno de los mismos presentó en el campo. La dificultad está medida en términos de lo fácil o difícil que fue hacer lo que los métodos originales indicaban que se debía hacer (ver Apéndice D). Si llevar a cabo una acción en específico se podía realizar siguiendo las instrucciones al pie de la letra, entonces se consideró fácil o "sin dificultad". Ahora bien, si un paso no podía llevarse a cabo de acuerdo con las instrucciones dadas se consideró que hubo "poca dificultad". Si el paso no se pudo realizar en absoluto, se le asignó la categoría de "imposible". Una evaluación de cada componente se encuentra a continuación.

### **1. Mapeo del área**

a. Fotografías aéreas y mapas topográficos. Tanto mapas como fotografías aéreas, se encontraban disponibles, pero la escala era inapropiada (1:50,000 y 1:60,000 respectivamente) para determinar la ubicación, tamaño y número de pequeñas y fragmentadas fincas de café. Estas escalas eran muy pequeñas para ser utilizadas como herramientas de navegación entre los diferentes puntos que debían ser visitados. Para este propósito, se necesitaba contar con mapas de una escala mucho más grande, que permitieran ubicar las fincas a visitar, que se encontraban esparcidas dentro de las aldeas y en los terrenos entre aldeas (MacDicken, 1996).

Lo que sí funcionó muy bien, fue una copia de un mapa dibujado anteriormente por miembros de la aldea de Capucal Chagütitón, donde ellos ubicaron sus hogares y también sus fincas de café (ver Figura B.4, Apéndice B). Este mapa fue muy útil para organizar las visitas a las fincas en esta aldea, ya que los miembros locales del equipo no vivían en esta aldea y por lo tanto no conocían muy bien dónde se encontraban ubicadas las fincas. Con las otras aldeas, esta actividad no fue necesaria, porque los miembros locales del equipo conocían donde quedaban las fincas y ellos ayudaron a organizar la visitas diarias de acuerdo con la ubicación. Sin embargo, al final del estudio, se tomó una copia de mapas similares, hechos para otras de las aldeas y se ubicaron todas las fincas visitadas, para que en futuras visitas fuera fácil

encontrar las parcelas de muestreo (ver Figuras B.2 y B.3, Apéndice B). Esta acción es muy importante, ya que la efectividad del establecimiento de parcelas permanentes, depende grandemente de la habilidad de ubicarlas durante posteriores visitas al sitio, para llevar a cabo las actividades de monitoreo y verificación. El poder remuestrear las parcelas permanentes, no sólo reduce costos, sino que permite llevar a cabo un inventario de carbono, estadísticamente más confiable (MacDicken, 1996).

b. Lista de cafetaleros y asignación de un número a cada finca. Los contactos hechos con Prozachi, Anacafé y la Municipalidad, permitieron contactar a varios caficultores de las aldeas donde se trabajó. En cada una de las aldeas se llevaron a cabo reuniones con líderes comunitarios para informarles acerca de la investigación que se haría y para obtener una lista de los caficultores. Éstas fueron las listas usadas para organizar el esfuerzo de muestreo. Las listas locales, incluyeron el nombre del caficultor, las variedades de café plantadas y la presencia de árboles de sombra. Con esta información, se descartó a aquellos caficultores que no tenían las variedades caturra, catuai o catimor, así como también aquellos que no tenían sombra o cuya finca tenía menos de 0.35 de hectárea. A las propiedades que llenaban los requisitos, se les asignó un número.

## 2. Selección de la muestra de fincas para determinar la biomasa acumulada

a. Selección de la muestra de fincas para determinar la biomasa acumulada. De una lista de 69 fincas, 40 fueron escogidas usando números aleatorios para obtener una muestra de fincas a muestrear. Se escogieron 40 fincas para muestrear un mínimo de 30 y contar con varias opciones en caso de que una de las fincas no pudiera ser muestreada. Los miembros locales del equipo, ayudaron a a organizar la visitas diarias de acuerdo con la ubicación de las fincas.

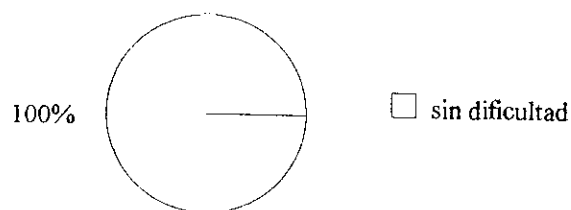
En este trabajo, la organización de las visitas diarias se apoyó grandemente en los miembros locales del equipo, ya que ellos conocían muy bien el área en estudio. Esta es una de las razones por las cuales es importante contar con personas locales como miembros del esfuerzo de muestreo. Otra razón importante es el contacto y nivel de familiaridad que se logra con los habitantes del lugar, gracias a la compañía de una persona local.

### 3. Entrevista con el caficultor

#### a. Entrevista con el caficultor.

**Gráfica 4.1**

Dificultad para entrevistar al caficultor (n=30)



Como se puede apreciar en la gráfica 4.1, la entrevista con el caficultor se llevó a cabo sin problemas. Los caficultores fueron muy colaboradores y proporcionaron información valiosa para llevar a cabo el muestreo. Un componente de esta entrevista que fue vital para poder muestrear con éxito las fincas, fue el bosquejo y las dimensiones de los lados de la finca que el caficultor proveía. Si los datos eran correctos, el trabajo de establecer el PRP y las parcelas permanentes se facilitaba.

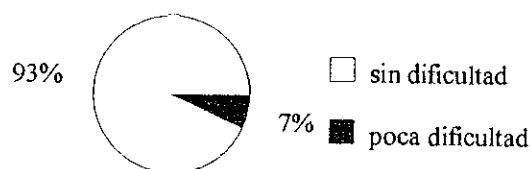
El éxito logrado se debe principalmente a las experiencias anteriores de los habitantes con otros proyectos y programas que han involucrado el contacto con personeros de diferentes instituciones. Los habitantes han tenido la oportunidad de interactuar con instituciones e individuos ajenos a su comunidad en actividades anteriores, lo que ha permitido el desarrollo de una actitud de confianza para con individuos que expresan el deseo de trabajar con los habitantes en actividades que involucran diferentes aspectos de la vida diaria en la comunidad. Por otro lado, si los habitantes del sitio donde se desea trabajar en un esfuerzo similar, no han tenido contacto con instituciones o individuos ajenos a su comunidad, es necesario realizar toda una serie de actividades introductorias de acercamiento, previo a la planificación de un esfuerzo de investigación. Este aspecto es extremadamente importante y siempre debe ser tomado en consideración.

#### 4. Ubicación del punto de referencia

##### a. Bosquejo de la plantación de café

**Gráfica 4.2**

Dificultad para hacer el bosquejo de la plantación de café (n=30)



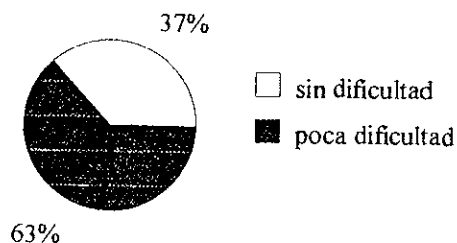
La gráfica 4.2 muestra que en el 7% de las plantaciones, el equipo tuvo problemas para obtener un bosquejo de la plantación que permitiera llevar a cabo el muestreo sin problemas. Los problemas encontrados con el bosquejo, se refieren a casos en los que el caficultor no pudo describir la forma de su terreno, debido a que algunos de ellos no conocen bien los linderos de sus terrenos. A excepción de unos dos propietarios, los caficultores no cuentan con títulos de propiedad u otro documento similar que indique la extensión y forma de cada terreno. Ellos no se han preocupado por averiguar con exactitud esta información con el fin de tramitar estos documentos. Otra situación que se encontró, fue que los caficultores sí conocían la forma de su finca pero no se consideraban aptos para producir un bosquejo de la misma. Al no querer dibujarla, intentaban guiar al entrevistador para que éste hiciera el dibujo con resultados, en ocasiones, deficientes.

La importancia del bosquejo de la plantación, se debe a que con ayuda de éste, el equipo podía determinar el centro de la finca y la ubicación de las parcelas. El bosquejo fue muy importante especialmente en parcelas con forma irregular ya que a éstas, se debía prestar especial atención para decidir cuál era la mejor manera de recorrer los linderos de la parcela al punto de vuelta y después hacia el interior de la misma para poder ubicar el centro. El bosquejo también es muy importante para la identificación de las parcelas permanentes que permita su reubicación y muestreo en futuras visitas, ya que en el bosquejo se debe indicar claramente la ubicación del punto de vuelta, el PRP, la longitud de los linderos y accidentes geográficos que sirvan como referencia.

b. Determinar el largo y ancho de la plantación.

**Gráfica 4.3**

Dificultad para determinar el largo y el ancho de la plantación (n=30)



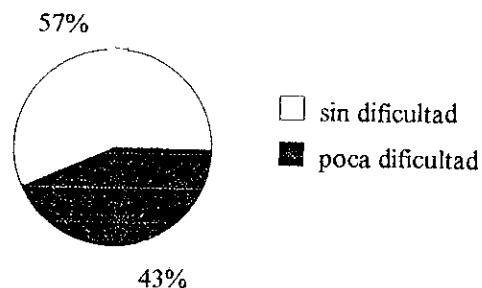
Muchos caficultores tienen una idea de cuanto miden los linderos de sus plantaciones, pero éstos estimados no son siempre confiables. La información obtenida durante la entrevista, se verificó midiendo los linderos durante la visita. Se encontró que en el 37% de las propiedades, los datos proporcionados por el dueño no eran correctos. Lo más apropiado, es medir los linderos para corroborar la información proporcionada por el caficultor, antes de proceder a determinar qué lados son el más largo y el más ancho. Estos lados son muy importantes para establecer el centro de la plantación (PRP) y las parcelas, ya que indican dónde se encontrará el centro de la plantación.

c. Ubicar el centro de la finca: A partir de la esquina sudeste se caminó sobre el lado más largo hacia el punto de vuelta. Se rotó 90° hacia el interior y se caminó la mitad del ancho total para llegar al centro. El procedimiento anterior funciona bien cuando la plantación tiene forma rectangular o cuadrada. En casos donde la finca muestreada tenía forma diferente a un cuadrado o rectángulo, seguir este procedimiento no dirigió al equipo al centro de la propiedad. En estos casos, el equipo procedió de diferentes maneras, de acuerdo con la situación. Usualmente lo que se hizo fue obtener un promedio de los lados paralelos de la propiedad para tener un valor de distancia más representativo (ver Apéndice C - Casos especiales). Otra medida que tuvo que tomarse, fue caminar paralelo al lindero de la finca al rotar hacia el interior, en vez de hacerlo a 90° porque varias fincas tenían lados que no se encontraban en ángulos rectos uno del otro (ver Apéndice C - Casos especiales). Realizar este paso con éxito, es muy importante, pues determina si el PRP se establecerá en el centro de la propiedad. Establecer el PRP en el centro es imprescindible, para poder ubicar las parcelas en los sitios recomendados.

d. Tomar el rumbo desde el punto de vuelta hacia el PRP y viceversa

**Gráfica 4.4**

Dificultad para determinar el rumbo del punto de vuelta al PRP y viceversa (n=30)



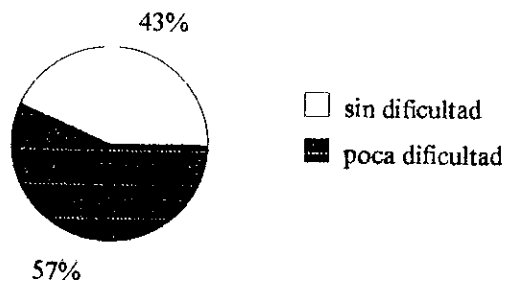
Determinar el rumbo del punto de vuelta al PRP y viceversa es un paso muy importante para poder establecer parcelas permanentes de muestreo, ya que orienta al investigador al hacer visitas de monitoreo o verificación. Por lo tanto, poder tomar los rumbos, era extremadamente importante. En fincas donde la plantación de café era de mayor edad o en aquellas con pendientes elevadas, tomar el rumbo se complicó. Esta situación se presentó en el 43% de las visitas. Lo que se hizo en estos casos, fue tomar el rumbo a un accidente geográfico cercano al punto, p. ej., un árbol, y anotar en los formularios que el rumbo no había sido tomado al punto exacto. Indicar en los formularios que el rumbo no fue tomado al punto exacto es muy importante para poder ubicar en el futuro las parcelas de muestreo.

## 5. Ubicación de las parcelas

a. Establecer la parcela 1 a 45 m en dirección N 45°

**Gráfica 4.5**

Dificultad para establecer la parcela 1 (n=30)

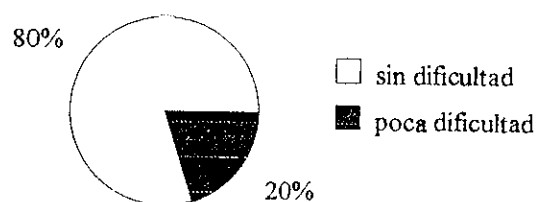


Para establecer la parcela 1, el mayor obstáculo fue el tamaño y forma de la parcela. En el 57% de las fincas de café visitadas, no se pudo establecer la parcela en el punto indicado, debido a que el terreno de la finca no era lo suficientemente extenso como para recorrer 45 metros en la dirección deseada y a partir de ese punto contar con suficiente terreno para tener un área de 250 m<sup>2</sup>. Esta situación se resolvió estableciendo la parcela a 15 m como primera alternativa y de no ser posible se establecía a la mitad de la distancia total hasta el lindero.

b. Establecer la parcela 2 a 15 m en dirección N 135°

**Gráfica 4.6**

Dificultad para establecer la parcela 2 (n=30)

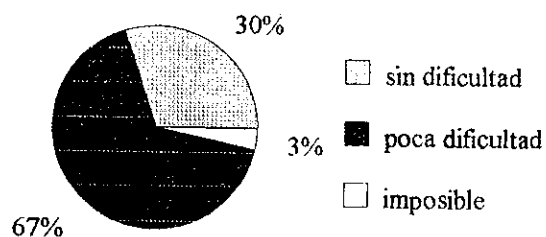


La parcela 2 no presentó mucha dificultad para establecerla en el punto indicado, debido a que las parcelas eran lo suficientemente extensas para cubrir la distancia. Cuando no se podía establecer a 15 m por algún obstáculo, se establecía a 45 m y de no ser posible, a la mitad de la distancia total hasta el lindero en la dirección indicada. De los casos en que no se pudo establecer en el lugar indicado, uno fue debido a la dirección. La parcela fue establecida en una dirección diferente y el caso debidamente reportado.

c. Establecer la parcela 3 a 45m en dirección N 225°

**Gráfica 4.7**

Dificultad para establecer la parcela 3 (n=30)

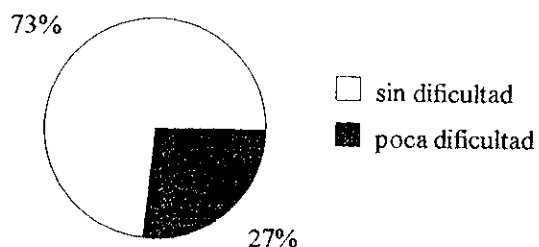


La parcela 3 presentó el mismo problema que la parcela 1. En el 67% de las plantaciones no fue posible establecerla a la distancia de 45 m recomendada, debido a que el área de la fincas no era suficiente para establecer una parcela de 250 m<sup>2</sup> en la posición indicada. Como con la parcela 1 se procedió primeramente a establecerla a 15 m y si esto no era posible, se hizo a la mitad de la distancia total hasta el lindero. En una ocasión, no se pudo establecer la parcela debido a una forma rectangular muy alargada y angosta de la plantación (ver Apéndice C - Casos especiales).

d. Establecer la parcela 4 a 15 m en la dirección N 315°

**Gráfica 4.8**

Dificultad para establecer la parcela 4 (n=30)



La parcela 4 no presentó mucha dificultad para establecerla donde correspondía, ya que al igual que la parcela 2, la distancia de 15 m se abarcaba sin dificultad en las plantaciones visitadas. Al igual que con las otras parcelas, si no se podía establecer a 15 m por alguna razón, se establecía a 45 m y de no ser posible a la mitad de la distancia total al lindero. Los casos en los que no se estableció a 15 m se debió a obstáculos físicos que lo impidieron, como una colmena de abejas o la presencia de un beneficio de café. Uno de los casos en los que no se pudo establecer se debió a la dirección. Igual que con el caso similar con la parcela 2, la parcela se estableció en una dirección levemente diferente y el caso reportado.

El no establecer las parcelas en la dirección y distancia indicadas, es un obstáculo que no presenta problemas para el esfuerzo de muestreo siempre y cuando se tenga cuidado de que parcelas vecinas no se traslapen y generen resultados erróneos. Con el objetivo de mantener la consistencia del esfuerzo de muestreo, es muy importante tratar de establecer cada parcela en el lugar indicado de preferencia y si no, en

la segunda opción de distancia (parcelas 5, 6, 7 y 8). Para facilitar la reubicación de las parcelas permanentes es extremadamente importante indicar en los formularios la ubicación exacta de cada una.

En general, los métodos validados, no presentaron obstáculos imposibles de resolver. La observación más importante es que los formularios deben incluir toda la información que sea necesaria, para poder ubicar fácilmente las parcelas permanentes. Ésta incluye especialmente toda aquella información que se refiera a las alteraciones que se hayan hecho a los métodos originales. La mayor limitante encontrada en la validación, fue una combinación de tamaño y forma de las fincas visitadas. El tamaño pequeño acompañado de formas irregulares, no permitió establecer las parcelas de muestreo en los sitios indicados. Sin embargo, las parcelas fueron establecidas y el muestreo se llevó a cabo en todas las fincas visitadas. Lo que indica que con ciertas modificaciones, los métodos funcionaron de manera satisfactoria. El mejor indicador de éxito es que se pudo levantar el inventario de carbono y establecer parcelas permanentes que permitirán monitorear los cambios sufridos por los sumideros de carbono con el tiempo.

El equipo encontró varias maneras de abordar los problemas y una lista de los más importantes y valiosos se da en las recomendaciones. Futuros esfuerzos de validación de los métodos, deben incluir un estudio dirigido específicamente a determinar la relación del tamaño reducido y las formas de las propiedades agroforestales, con la habilidad de establecer las parcelas de muestreo y llevar a cabo un inventario de carbono para determinar si son variables que limitan la aplicación de los métodos.

Una situación muy interesante que se dio en varias fincas y se ilustra en los casos especiales del Apéndice C con la finca # 60 es cuando la plantación contaba con cierta extensión de terreno, pero sólo se muestreó una porción del terreno. En este caso, el terreno extenso y la topografía muy variada, complicaba el establecimiento de las parcelas. Lo que se hizo para resolver la situación, fue establecer las parcelas en una porción del terreno, anotando la situación en los formularios. La otra variante de este caso, es trazar un área más o menos rectangular o cuadrada dentro de la extensión sembrada con café, para simplificar el establecimiento de las parcelas permanentes (ver Apéndice C, finca # 11). Esta manera de abordar el muestreo, simplificó el trabajo en varias fincas donde se hubiera podido complicar el trabajo.

## B. Inventario del carbono fijado

A continuación se presentan los resultados del inventario de las fuentes de carbono por uso de la tierra. El cuadro 4.2 presenta la toneladas de carbono fijadas por los componentes de la biomasa arriba del suelo. El cuadro 4.3 presenta las toneladas de carbono fijadas por cada fuente de carbono.

**Cuadro 4.2**

Toneladas métricas de carbono fijadas por la biomasa arriba del suelo en cada uso de la tierra (tMC/ha)\*

Fuente de Carbono	Uso de la Tierra			
	Cafe Tecnificado n=29 tMC/ha	Cafe Viejo n=1 tMC/ha	Bosque Secundario n=2 tMC/ha	Agricultura n=2 tMC/ha
Árboles	14.38	55.00	105.36	0.00
Cafetales	3.77	3.77	0.00	0.00
Musáceas	0.86	0.19	0.00	0.00
Vegetación Herbácea	0.04	0.00	0.29	0.07
<b>Total (tMC/ha)</b>	<b>19.05</b>	<b>58.97</b>	<b>105.64</b>	<b>0.07</b>

\*Valores a compararse cualitativamente, no son estadísticamente confiables por falta de repeticiones.

El uso de la tierra con mayores volúmenes de carbono fijado, es el bosque secundario, debido a su composición vegetal dominada por árboles de mayor tamaño. También la mayor densidad, tanto de los árboles como de la vegetación herbácea del bosque, contribuye a una mayor concentración de carbono. Es importante mencionar que la composición florística de un bosque, incluye varios estratos (vegetación herbácea, arbustos, arbustos leñosos, árboles jóvenes, árboles maduros) que no se encuentran presentes en un sistema de producción simplificado que recibe un manejo por parte del hombre. El uso de la tierra que tiene menor cantidad de carbono fijada, corresponde a los terrenos dedicados a la agricultura debido a las prácticas necesarias para los cultivos limpios, como es la remoción de los árboles existentes y el control de malezas. El cafetal viejo fija un poco más de la mitad del carbono fijado por el bosque, mientras que el sistema de cafetales tecnificados, fija menos de la mitad del carbono fijado por el primero.

Entre los sistemas cafetaleros, se puede indicar que la diferencia en el carbono fijado por los dos sistemas, se debe principalmente a que en los cafetales antiguos, los árboles encontrados tenían un mayor volumen, por lo tanto más biomasa, debido a su mayor edad. La finca de café antiguo fue establecida hace más de 50 años comparada con las fincas de café tecnificado, que han sido establecidas en la última década. La mayor edad de los árboles influye directamente sobre la contribución de las musáceas (menor en el cafetal viejo que en los cafetales tecnificados) ya que las musáceas son una sombra temporal que es reemplazada por los árboles a medida que éstos crecen. Sin embargo, estas observaciones no pueden ser concluyentes, debido a la falta de repeticiones que pudiera indicar la veracidad de las mismas.

La fuente de carbono que contribuye mayormente al carbono fijado por la biomasa arriba del suelo, son los árboles, debido al mayor volumen de éstos. La contribución hecha por otras fuentes como cafetales, musáceas y vegetación herbácea, es considerablemente menor a la hecha por los árboles. La menor contribución al carbono fijado, le corresponde a la vegetación herbácea. Esto se debe en parte a que el inventario se hizo en época de sequía, cuando las malezas y otras plantas anuales no proliferan. Estos datos son valiosos para el monitoreo de las fuentes de carbono, si se toma muy en cuenta el realizar los monitoreos durante la misma época con el objeto de tener un registro consistente, ya que monitorear durante la época lluviosa, puede alterar los valores para vegetación herbácea.

#### Cuadro 4.3

Toneladas métricas de carbono fijadas por las fuentes de carbono en cada uso de la tierra (tMC/ha)\*

	Uso de la Tierra			
	Café Tecnificado n=29	Café Viejo n=1	Bosque Secundario n=2	Agricultura n=2
Fuente de Carbono	tMC/ha	tMC/ha	tMC/ha	tMC/ha
Biomasa Arriba del Suelo	19.05	58.97	105.64	0.07
Biomasa Abajo del Suelo	1.90	5.89	10.56	0.01
Suelos	93.31	117.52	106.00	87.84
Hojarasca	1.23	1.49	2.14	0.10
Total (tMC/ha)	115.49	183.87	224.34	88.02

\*Valores a compararse cualitativamente, no son estadísticamente confiables por falta de repeticiones.

De acuerdo con los datos del cuadro 4.3, tanto el café tecnificado como el café viejo, fijan una cantidad considerable de carbono, especialmente si se comparan con los terrenos dedicados a la agricultura, que fijan un poco más de 88 toneladas métricas de carbono. Mientras que el café tecnificado fija 115.49 toneladas por hectárea y el café viejo 183.87 toneladas. La diferencia entre el carbono fijado por el café tecnificado y el cafetal viejo, reside mayormente en las toneladas fijadas por la biomasa arriba del suelo. Esta diferencia, como se explicó anteriormente, se debe principalmente a la contribución de los tallos leñosos de mayor edad en el cafetal viejo. El suelo también presenta una mayor fijación en cafetal viejo, probablemente debido a una mayor incorporación de materia orgánica al suelo. Sin embargo, estos resultados sólo pueden ser interpretados cualitativamente ya que no se cuenta con suficientes repeticiones para hacer un análisis estadístico.

El bosque secundario, es el uso de la tierra que más carbono fija, principalmente debido a su composición de tallos leñosos y el suelo. Las cuatro fuentes de carbono muestreadas, poseen valores mayores para el bosque secundario, debido a la mayor biomasa de este sistema contra los otros sistemas manejados y controlados por el hombre con fines productivos.

La fuente de carbono más importante corresponde al fijado por el suelo, ésta no presenta diferencias tan drásticas como el carbono fijado por los árboles para los diferentes usos de la tierra. Esta situación, se debe en parte a la práctica generalizada entre los productores, de incorporar al suelo la materia orgánica proveniente de las diferentes prácticas de manejo (Martínez, 1997).

Uno de los componentes imprescindibles de un sistema agroforestal es el componente arbóreo. Los valores obtenidos en el presente estudio para el carbono fijado, corresponden a un sistema agroforestal donde uno de los componentes principales son los tallos leñosos. El carbono fijado por áreas cafetaleras, donde el café sea manejado sin sombra, presentarán valores muy diferentes a los reportados aquí.

Según Sánchez, los cafetales expuestos al sol, rinden mayores cosechas que aquellos manejados a la sombra. El alto rendimiento, se debe a que con sombra la actividad fotosintética se reduce, así como también su demanda de nutrientes y por lo tanto su desarrollo se ve mermado. Estas condiciones, implican

menores rendimientos en la cosecha. El café manejado a pleno sol, necesita mayores requerimientos de fertilizantes y abundante riego, debido a un mayor crecimiento y producción. Mientras tanto, el café manejado a la sombra reduce su demanda de nutrientes y sufre menor evaporación y transpiración, no requiriendo de riego abundante o planes de fertilización fuertes (Sánchez, 1994).

De acuerdo con los valores obtenidos para el carbono fijado en los cafetales con sombra, el escenario de café sin sombra tendrá valores muy diferentes. Esta diferencia se deberá en parte a que estará ausente el componente arbóreo que es un fuerte contribuyente en el otro sistema. Además, debido a una mayor actividad fotosintética, el cafeto contará con mayor biomasa y por lo tanto con más carbono fijado que en el sistema agroforestal. El carbono fijado por el suelo, también sufrirá modificaciones al demandar el cafeto, mayor cantidad de nutrientes. Además, el suelo no contará con el aporte de hojas secas de los árboles que eventualmente se degradan y se incorporan al suelo. El carbono fijado por la hojarasca, también sufrirá cambio debido a la ausencia de estas hojas secas. La vegetación herbácea sufrirá un posible aumento en el carbono fijado, debido a que la sombra inhibe el crecimiento de las hierbas y el café manejado a pleno sol no tendría esta condición. Como conclusión, se puede indicar que los valores serán diferentes y la contribución por parte de cada componente variará. Pero además de que serán diferentes, es claro que el volumen de carbono fijado por un cafetal sin sombra, será significativamente menor al volumen fijado por el café con sombra, ya que la contribución de los árboles, no puede ser sustituida por los otros componentes del sistema de café sin sombra.

Visto desde el punto de vista de sostenibilidad del sistema y tomando este término como la habilidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de generaciones futuras para satisfacer sus propias (UICN, WWF, PNUMA, 1991) el sistema de cafetales manejados con sombra es más sostenible que el manejado a pleno sol. La capacidad para que las generaciones futuras puedan satisfacer sus propias necesidades, puede definirse en términos de su acceso a recursos naturales que en la actualidad es vital para satisfacer nuestras necesidades. Este acceso estará limitado por la disponibilidad de los mismos y ésta depende del uso que las presentes generaciones les den. Con respecto al cultivo del café, el uso que se haga del suelo y el agua, definirá su sostenibilidad. De ahí que un uso que no agote los mantos acuíferos y que evite la erosión de los suelos, permitirá que futuras generaciones puedan servirse de ellos.

El cultivo de café con sombra, reduce considerablemente la pérdida de suelo por erosión. Un factor muy importante en el caso de Guatemala, es que mucho café es cultivado en terrenos con pendientes elevadas, no aptos para otras actividades agrícolas, que sufrirían una excesiva erosión si fuesen manejados con cultivos limpios. El café con sombra, también contribuye con nutrientes orgánicos al suelo, gracias a la hojarasca producida. Se ha probado que el aporte de materia orgánica al suelo, por parte de un cafetal manejado con sombra, equivale al aporte de un bosque caducifolio. La sombra y los cafetos también contribuyen a mantener la humedad del suelo, así como a mejorar la infiltración del agua y su aprovechamiento por parte de las plantas. A través del manejo que se hace de la sombra y de los cafetos, se obtiene como subproducto, la leña que contribuye con el 16% de la demanda nacional de este combustible. Si esta fuente "controlada" de leña no existiera, se sustituiría con la extracción de bosques naturales y se aumentaría la deforestación (Anacafé, 1995).

Otra característica del café con sombra, es que provee refugio a un gran número de especies de flora y fauna que no se encuentran en un café sin sombra. Esto se debe a que el sistema con sombra incluye varias especies vegetales que forman diferentes estratos y grandes extensiones de terrenos rodeados por ecosistemas naturales. Esta biodiversidad, permite mantener los pozos genéticos, tan importantes para usos que futuras generaciones necesitarán y que en el presente ni podemos imaginar (Anacafé, 1995).

Otro aspecto muy importante para evaluar la sostenibilidad del sistema, va muy acorde con el contenido de este estudio. El beneficio ambiental que el sistema agroforestal genera al fijar un porcentaje del carbono emitido por la actividad humana, es de vital importancia en la actualidad, cuando estamos viendo los estragos que puede causar el cambio climático. Esta contribución es significativa y si se incorporan medidas que permitan mejorar las prácticas culturales para fijar más carbono y reducir aún más las emisiones, el café puede llegar a presentar beneficios aún mayores tanto para los productores como para el mundo.

Como comentario final, es importante mencionar que el cultivo del café ha traído muchos beneficios a Guatemala y que si éste se hace tomando en cuenta el aspecto de sostenibilidad, su cultivo constituirá uno de los muchos vehículos que permitirán nuestro desarrollo económico así como la garantía de que generaciones futuras también podrán alcanzarlo.

## V. CONCLUSIONES

El inventario de carbono llevado a cabo, indica que los sistemas cafetaleros tecnificados fijan el 51% del carbono fijado por el sistema de bosque secundario que en muchas ocasiones sustituyen. También se pudo observar que al comparar los sistemas cafetaleros, el sistema tradicional fija 68 toneladas adicionales a lo fijado por los sistemas cafetaleros tecnificados. Esta última observación, sólo refleja los resultados obtenidos en una finca de cafetales antiguos y en ningún momento puede usarse para determinar si existe una diferencia significativa entre ambos sistemas respecto a la fijación de carbono.

La fuente de carbono responsable por la mayor cantidad de carbono fijado está formada por la materia orgánica del suelo en el sistema. El suelo no es solamente la fuente de mayor importancia sino una de las más frágiles ya que su potencial de fijación se ve reducido severamente con los cambios de uso de la tierra (Castellanos, 1998). El carbono presente en los árboles, también es una fuente mayoritaria y en el presente estudio, la segunda en importancia después del componente suelo. Esta cobertura forestal, es imprescindible e importante para cualquier proyecto que busque reclamar carbono.

Los resultados obtenidos al aplicar los métodos descritos en el Apéndice 6 de la Guía de Winrock, son únicamente una serie de observaciones y recomendaciones que serán tomadas en cuenta por el Instituto Winrock al publicar los métodos para sistemas agroforestales ya validados. Como Winrock lo indica en la sección de Limitaciones, los métodos funcionan adecuadamente con parcelas de formas rectangulares, cuadradas o circulares y con un área mayor a 0.25 hectáreas. Sin embargo, durante el trabajo de campo, se logró vencer los obstáculos y se pudo llevar a cabo el establecimiento de las parcelas y el inventario de carbono haciendo algunas modificaciones leves a los métodos.

Para poder concluir acerca de la manera en que este problema debe ser abordado, Winrock debe revisar otros sistemas agroforestales en otras regiones, para evaluar si las condiciones encontradas en La Unión son típicas de sistemas agroforestales con pequeños productores. Los resultados de este trabajo, acompañados por los que serán obtenidos durante la validación en Filipinas y la experiencia de los consultores de Winrock en el tema, formará los cimientos de los métodos que serán publicados en noviembre del presente año.

## VI. RECOMENDACIONES

Durante el trabajo de campo, el equipo se encontró con varias situaciones en las cuales no se podían utilizar los métodos originales a cabalidad. El equipo identificó maneras diferentes de llevar a cabo los pasos que no podían realizarse con el objetivo de poder llevar a cabo un muestreo completo que permitiera evaluar la factibilidad de los métodos completos en el campo. Los pasos que necesitaron más modificaciones durante el trabajo de campo, son aquellos destinados al establecimiento de parcelas permanentes de muestreo. A continuación, se encuentra una serie de recomendaciones basadas en la experiencia del equipo de muestreo en el campo.

En las fincas donde la diferencia de longitud entre los lados paralelos era significativa y por lo tanto sólo usar un lado como guía, no proveía una distancia que dirigiera al equipo al centro de la finca. El equipo recomienda medir ambos lados, obtener un promedio de la distancia y usar esta distancia para encontrar un centro más exacto. Esta recomendación es muy importante, debido al importante papel que juega el centro de la finca para poder ubicar las cuatro parcelas permanentes de muestreo.

Varias de las fincas visitadas, no poseían lados que formaran ángulos rectos y entonces, al rotar  $90^\circ$  hacia el interior de la finca y caminar en esta dirección para encontrar el centro, el equipo no lo encontraba. En estos casos, el equipo recomienda caminar en dirección paralela al lado de la finca y de esta manera ubicar un punto más cercano al verdadero centro de la finca. Al igual que con la recomendación anterior, la importancia de esta observación radica en el papel central que juega el centro de la finca para establecer las parcelas de muestreo.

Una vez se ha identificado el centro, la forma de las fincas es uno de los factores que más afectó el establecimiento de las parcelas de muestreo. Esta variable obstaculiza el establecimiento de las parcelas, pero no lo hace por completo. Es decir, en muchas situaciones diferentes, se tuvo que ubicar la parcela en un sitio diferente al originalmente propuesto, pero sí se lograron establecer. Lo que sugiere la validación de campo es que una combinación de área mínima y forma, se debe establecer para tener un método simple.

Una solución que en el campo resulta muy bien, es que cuando la finca es lo suficientemente grande, en vez de muestrear toda el área que a veces tiene una forma algo irregular, el equipo escogió una porción mayor a 0.35 hectárea donde un rectángulo o cuadrado podía ser "dibujado" y muestreado en vez de la finca entera. Este procedimiento, fue un buena solución y el único comentario es indicar claramente en los formularios el cambio. Esta medida también se tomó en fincas cuya forma permitió "dibujar" una forma cuadrada imaginaria cerca de o a lo largo de su perímetro. El lector puede observar ésto, al consultar los formularios de la ubicación del punto de referencia para cada finca visitada.

Si el conocimiento local y las maneras de vida de los habitantes locales, permiten la estimación de la altura y la identificación de las especies forestales, esta información puede ayudar a producir resultados más fieles a las toneladas reales de carbono fijadas y debe ser tomada en cuenta. Esto es posible, debido a que utilizar los datos de altura y densidad de la madera por especie, permite calcular de una manera exacta la biomasa de las especies forestales (MacDicken, 1996).

También los finqueros locales, pueden ser muy importantes para ubicar la muestra de fincas en un mapa. Esto es particularmente importante, si la escala de mapas disponibles no es apropiada o si no hay mapas disponibles. En la aldea de Capucal Chagüitón la comunidad ayudó a modificar un mapa de diagnóstico rural participativo para ubicar las fincas de café y permitió organizar las visitas tomando en cuenta la ubicación. En general, las buenas relaciones con los habitantes de la comunidad, no pueden sino traer beneficios para el levantamiento de un inventario de carbono ya que las buenas relaciones humanas conllevan a colaborar y trabajar en equipo sin problemas. Estas buenas relaciones, se deben basar en un canal de comunicación abierto y de dos vías.

Tomar los rumbos, puede complicarse en situaciones con vegetación densa y pendientes elevadas. Lo que el equipo tuvo que hacer en muchas ocasiones, fue subirse a árboles para tener una mejor visión. También, la mayoría de los rumbos fueron tomados hacia otros accidentes geográficos cercanos a los puntos a registrar, debido a que los puntos no podían ser vistos. Debido a la importancia de los rumbos, para la ubicación de las parcelas permanentes en visitas posteriores, es importante registrar detalladamente en los formularios, los rumbos y aquellas situaciones que se hayan encontrado para tomarlos.

Como una recomendación general, los formularios y la información registrada en ellos, es extremadamente importante. Si la información encontrada en los formularios es completa y bien detallada, reencontrar una finca y sus parcelas no será difícil. No está de más, recalcar la importancia de la información contenida en los formularios para el funcionamiento adecuado de una red de parcelas permanentes de muestreo. De esta información, depende el poder llevar a cabo eficientemente esfuerzos de monitoreo y verificación con costos bajos y una inversión de tiempo menor. Además, considerar las parcelas permanentes de muestreo como una fuente de información estadísticamente más confiable, debe valorarse muy alto.

Winrock también considera abordar el problema encontrado con el tamaño reducido de la fincas, enfocando los métodos hacia los posibles estratos pertinentes, al manejo y condiciones de los diferentes sistemas agroforestales. Es decir, para evitar el problema del minifundio que es una característica relevante en el contexto de países como Guatemala, el diseño de muestreo puede estratificar de acuerdo con el manejo que recibe el sistema. Esto evitaría los problemas encontrados en áreas pequeñas. Para que este enfoque funcione, debe cambiar el marco de muestreo que en los métodos originales es el total de fincas en el área. El marco de muestreo para este enfoque, estaría formado por el área cubierta por los estratos de acuerdo al manejo y en vez de seleccionar una muestra de fincas para muestrear, se necesitaría seleccionar coordenadas del punto de referencia de las parcelas, a partir del cual se ubicarían las cuatro parcelas permanentes. Este paso puede hacerse con alguno de los métodos clásicos de inventarios forestales, como son parejas de números aleatorios o el método sistemático, ambos utilizados por estrato.

Se han tenido pláticas con Anacafé y la OGIC (Oficina Guatemalteca de Implementación Conjunta) para utilizar los resultados del presente estudio, como la base para un proyecto a nivel nacional de fijación de carbono. Las pláticas han tenido como resultado un primer encuentro de capacitación en el cual participaron los técnicos de Anacafé. La capacitación continuará con prácticas de campo. Posteriormente, se diseñará el método a seguir, para levantar el inventario de carbono. Una vez levantado el inventario, se deberá preparar el proyecto, para negociar con inversionistas interesados. Los pasos a seguir se detallan a continuación:

1. Identificar los diferentes tipos de manejo que son aplicados al cultivo de café en Guatemala. Este manejo, puede incluir variedades de café, manejo de la sombra, distanciamiento de plantación, tratamientos

químicos u orgánicos y otros. En este momento, también se debe definir si el inventario se enfocará en trabajar a nivel de fincas dentro de cada estrato, o si se procederá a hacerlo únicamente por estrato.

2. De las variables identificadas, elegir las relevantes al inventario de carbono y estratificar el área cafetalera del país, de acuerdo con éstas.
3. Realizar un muestreo por estrato, para determinar la varianza y el tamaño de la muestra necesaria para levantar el inventario dentro de parámetros estadísticos confiables.
4. Con el tamaño de la muestra, obtener un listado con ayuda de números aleatorios ya sea de fincas o de coordenadas, donde se establecerán cuatro parcelas permanentes de muestreo y se harán las mediciones necesarias para calcular el carbono fijado.
5. Procesar los datos obtenidos en el campo, tanto en el área cultivada con café, como aquellos usos de la tierra que han sido sustituidos por el café, para diseñar la línea base y modelar los posibles escenarios con proyecto a lo largo del tiempo.
6. Calcular el beneficio neto del proyecto (carbono fijado), identificar y evaluar las fugas y preparar el proyecto para participar en los programas de IC.

Un posible escenario con proyecto, puede ser promover el uso de la pulpa de café, como fuente de energía, identificando una fuente energética que pudiera sustituir reduciendo emisiones o evitando deforestación. Según estudios realizados, la pulpa posee una alta eficiencia en combustión y además del jugo de la pulpa, se genera gas natural con un valor calorífero similar a la mezcla propano-butano (Anacafé, 1995).

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Anacafé. 1991. Manual del caficultor. Asociación Nacional del Café, Guatemala. 169pp.
- Anacafé. 1995. Hombres de café. Asociación Nacional del Café, Guatemala. 167pp.
- Alpizar, W. 1996. Implementación conjunta, aspectos técnicos comunes. Oficina Costarricense de Implementación Conjunta. San José. 8pp
- Brown, S., A.J.R. Gillespie, A.E. Lugo. 1989. "Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data". *Forest Science* 35:881-902.
- Figueres, C., A. Hambleton, L. Lay, K. MacDicken, S. Petricone, J. Swisher. 1996. Ejecutando la implementación conjunta: una guía para establecer programas nacionales de implementación conjunta. Centro para el Desarrollo Sostenible de las Americas-USAID-Lawrence Berkeley National Laboratory. 70pp.
- Fournier, L. 1996. Fijación de carbono y diversidad biológica en el agroecosistema cafetero. Boletín Promecafé. IICA. (71): 7-13.
- Holdridge, L. 1987. Ecología basada en zonas de vida. IICA, San José. 159pp.
- INDAPS. 1995. Diagnóstico integral de salud, aldea Campanario Avanzada, La Unión. Guatemala. 123 pp.
- INDAPS. 1995. Diagnóstico integral de salud, aldea Campanario Progreso, La Unión. Guatemala. 124pp.
- INDAPS. 1995. Diagnóstico integral de salud, aldea Capucal Chagüitón, La Unión, Guatemala. 138pp.
- INDAPS. 1995. Diagnóstico de salud, La Unión, Zacapa. Guatemala. 152pp.

- INE. 1994. Datos sobre la población del departamento de Zacapa. Guatemala.
- INSIVUMEH. 1989. Datos de la estación meteorológica de La Unión, Zacapa para las décadas de 1970 y 1980. Guatemala. 20pp.
- MacDicken, K. 1996. A Guide to Monitoring Carbon Sequestration in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock International Institute for Agricultural Development, Arlington. 90 pp.
- PROZACHI, 1996. Informe de Seguimiento de actividades al PTA. La Unión, Zacapa. 12pp.
- Sánchez, J. 1992. Consideraciones económico ambientales del café como cultivo conservacionista (Resumen). Anacafé, Guatemala. 3pp.
- Sánchez, J. C. 1994. Caficultura Moderna. 4a ed. Serie Comunicación Agrícola, Guatemala.
- Solís, R. 1995. Diagnóstico de la aldea Taxarté, La Unión, Zacapa. Estudio Profesional Supervisado-USAC, Guatemala. 36pp.
- Tomanand, M., J. Darmstadter, J. Firor. 1997. <http://www.rff.org/reourcs/124/climate.htm>
- UICN, WWF, PNUMA. 1991. Cuidar la Tierra. Estrategia para el Futuro de la Vida-Resumen. UICN, WWF, PNUMA, Gland, Suiza. 28pp.

### **Comunicación Personal**

- Delaney, M. 1998. Carbon Monitoring Specialist. Instituto Internacional Winrock para el Desarrollo Agrícola. Winrock International 38 Winrock Drive Morrilton, AR 72110-9370 EUA.  
c. electrónico [md@winrock.org](mailto:md@winrock.org)

- Castellanos, E. 1998. Doctor en ecología forestal. CIPEC, Universidad de Indiana en Bloomington.  
Universidad del Valle de Guatemala. 11 calle 15-79 zona 15 VH III.
- MacDicken, K. 1996 y 1997. Senior Forestry Consultant, Instituto Internacional Winrock para el Desarrollo Agrícola. Asian Development Bank P.O. Box 789 0980 Manila, Filipinas c. electrónico:  
kmacdicken@mail.asiandevbank.org
- Martínez, V. 1997. Caficultor. Capucal Chagüitón, La Unión, Zacapa.
- Vasquez, R. 1997. Caficultor y miembro del equipo de investigación. Campanario Progreso, La Unión, Zacapa.

## Formulario de la ubicación del punto de de referencia

Cuadrilla: \_\_\_\_\_

fecha: <sup>me/día/año</sup> \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

Número de Finca: \_\_\_\_\_ Número de Estrato: \_\_\_\_\_

Bosquejo de la plantación agroforestal

largo est. de la finca agroforestal = \_\_\_\_\_ / 2 = \_\_\_\_\_  
ancho est. de la finca agroforestal = \_\_\_\_\_ / 2 = \_\_\_\_\_

rumbo al pto de vuelta = \_\_\_\_\_  
rumbo al pto de referencia = \_\_\_\_\_

pendiente promedio de la finca = \_\_\_\_\_ grados

radio parcela corregido =  $8.92 / \cos$  \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_

	especie	DAP	distancia al pto de referencia	rumbo al pto de referencia
1er árbol de referencia				
2o. árbol de referencia				

## Entrevista con el cafetalero

Cuadrilla: \_\_\_\_\_

fecha: <sup>mes/día/año</sup> \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

Nombre del Cafetalero: \_\_\_\_\_

Número de Finca: \_\_\_\_\_ Número de Estrato: \_\_\_\_\_

Ubicación de la Finca: \_\_\_\_\_

Fecha aproximada de cuando fué establecida la plantación: \_\_\_\_\_

Uso de la tierra previo al establecimiento de la plantación:

\_\_ reposo \_\_ años \_\_ pastizal \_\_ años \_\_ agricultura \_\_ años \_\_ bosque

Extensión aproximada de la plantación: \_\_\_\_\_

Razones por las cuales se estableció la plantación: \_\_\_\_\_

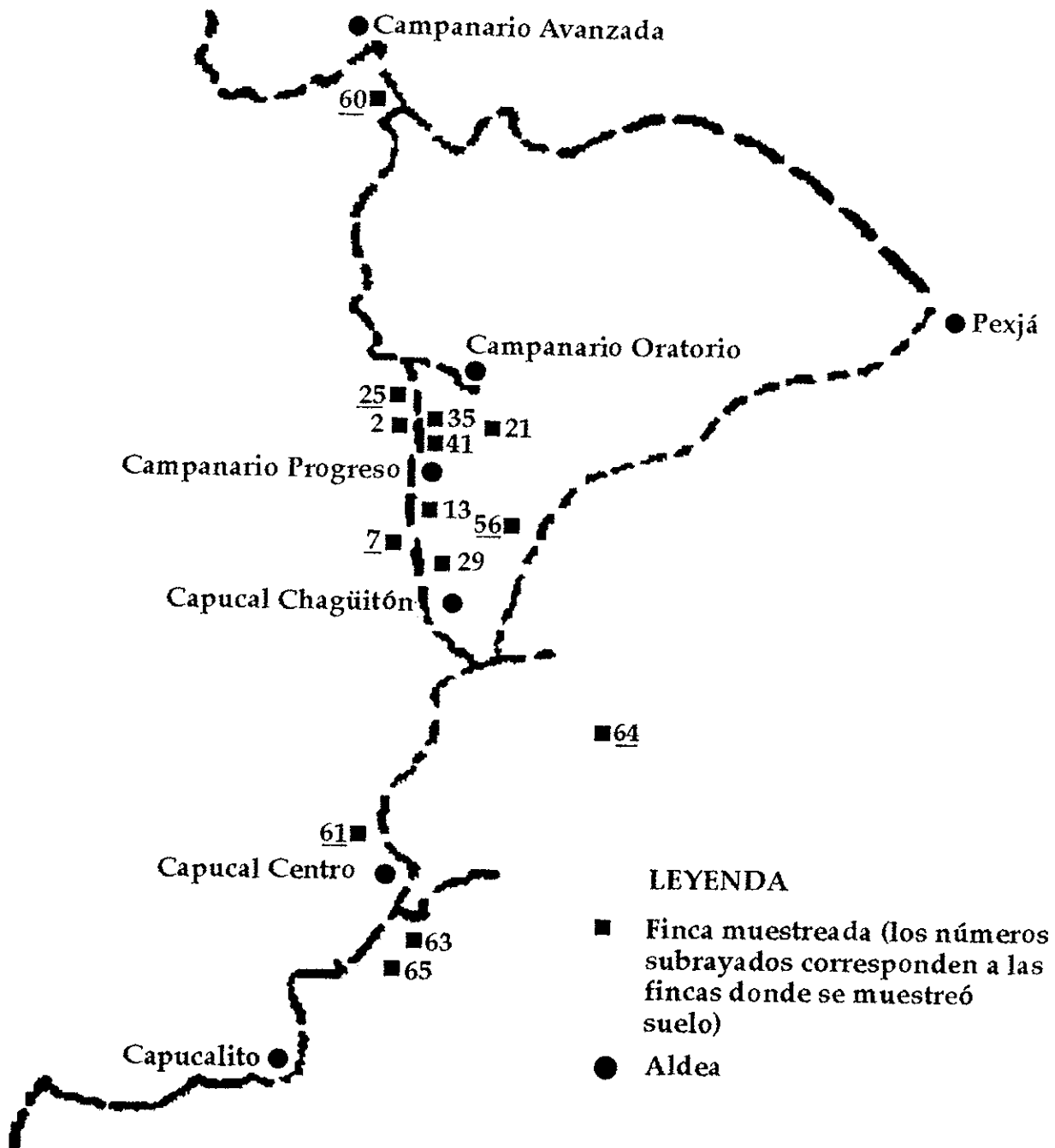
Componente arbóreo de la plantación:

especie	espaciamento	núm. plantado	t. crecimiento	problemas	producto/rendi.

Componente agrícola de la plantación:

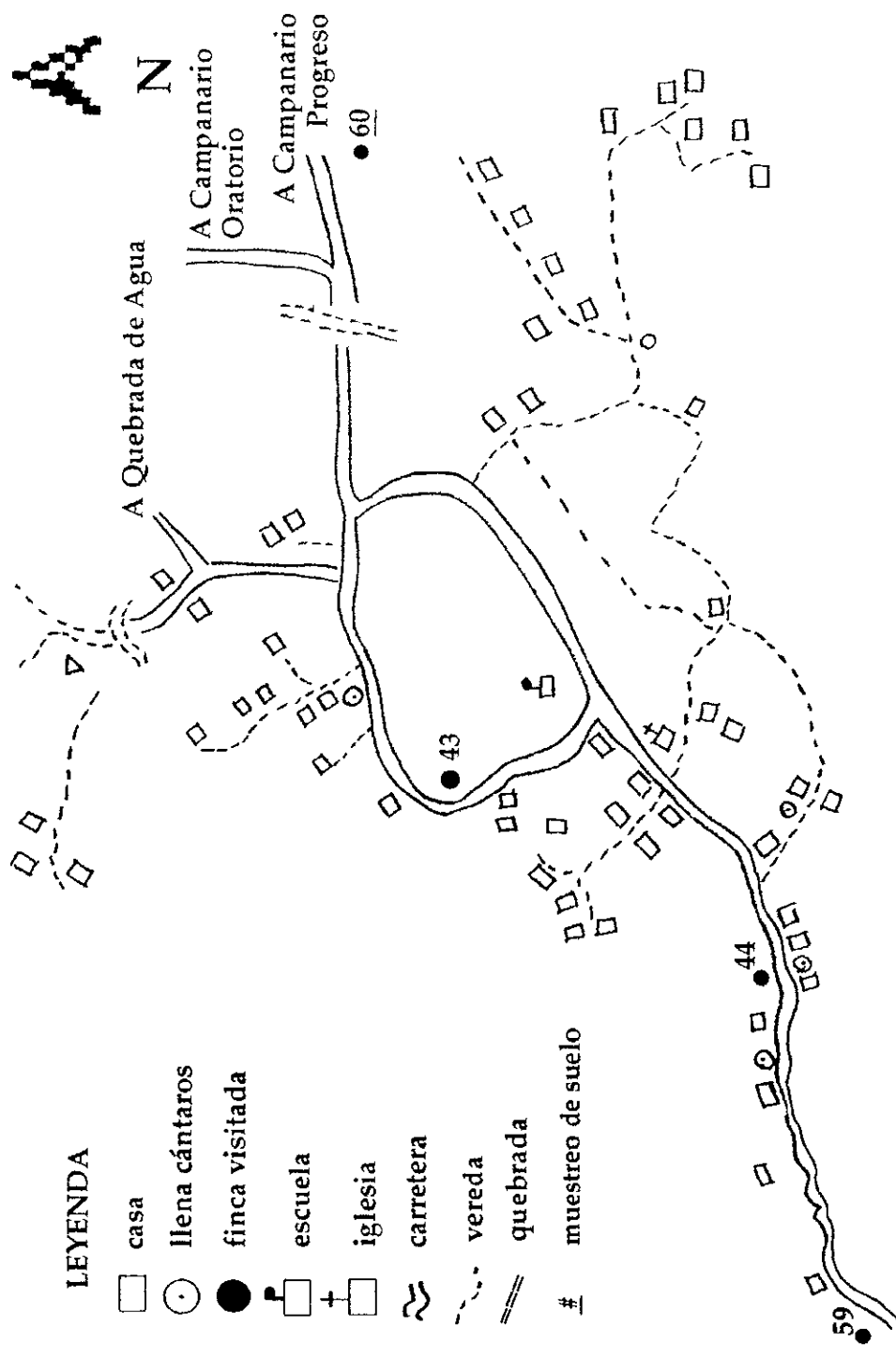
especie	espaciamento	fecha plantación	fecha cosecha	problemas	producto/rendi.





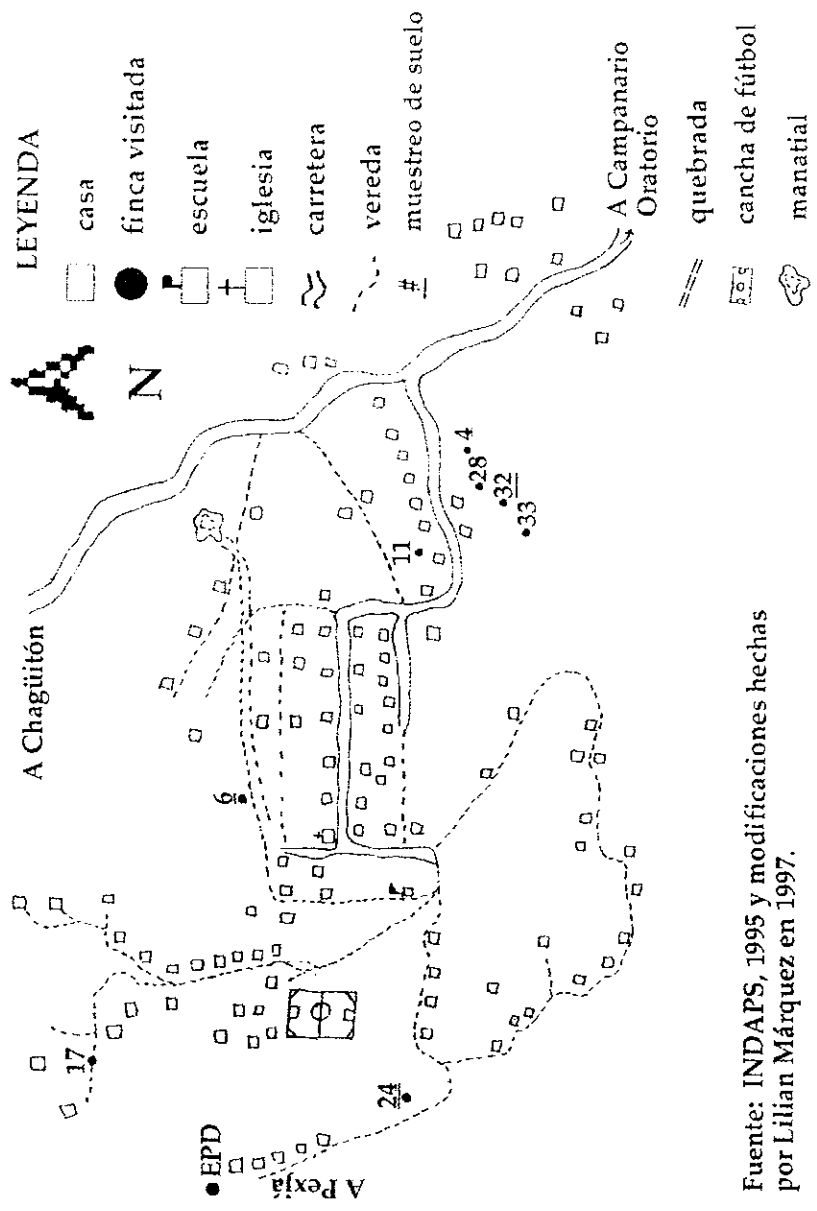
Fuentes: IGN citado en Solís, 1995 y visitas de campo hechas por Lilian Márquez en 1997.

Figura B.1  
Detalle del mapa de La Unión, Zacapa,  
mostrando el área donde se llevó a cabo el estudio



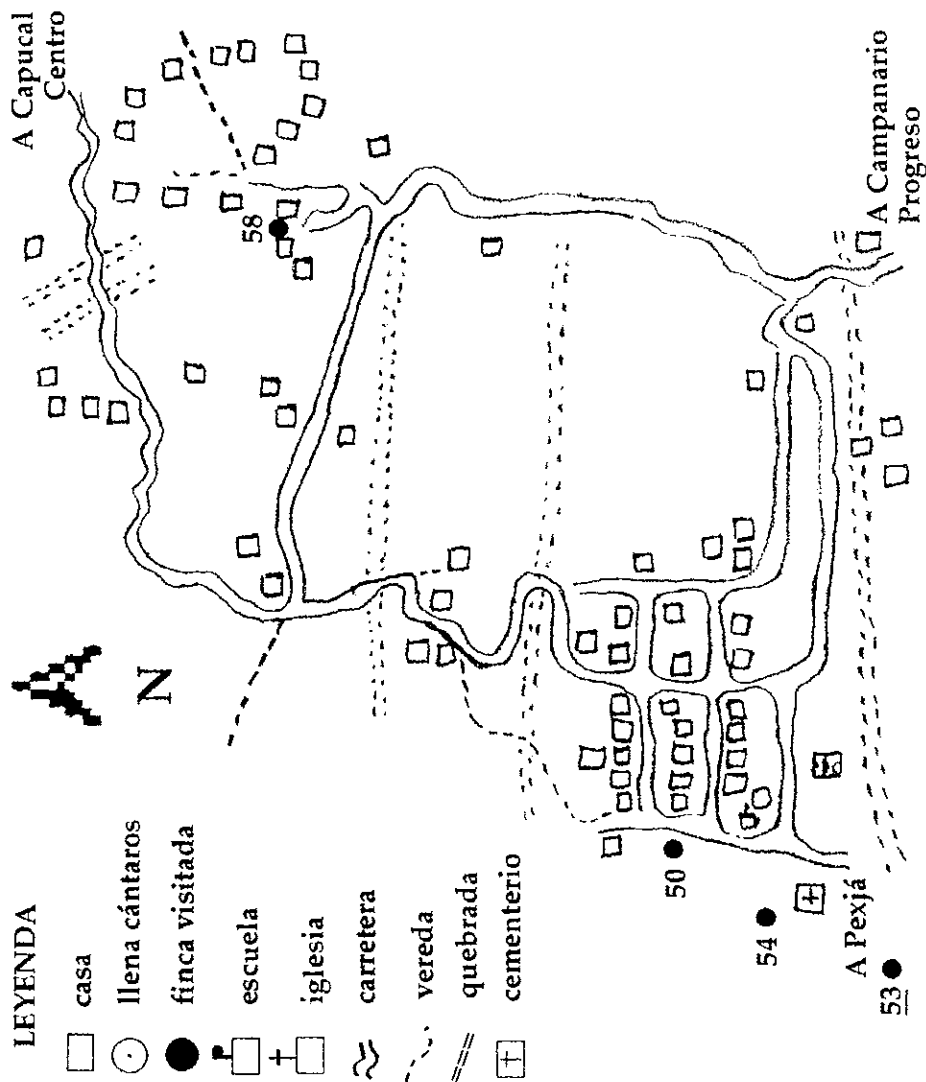
A La Unión Fuente: INDAPS, 1995 y modificaciones hechas por Lillian Márquez en 1997.

Figura B.2  
Bosquejo de la aldea Campanario Avanzada, La Unión, Zacapa



Fuente: INDAPS, 1995 y modificaciones hechas por Lillian Márquez en 1997.

Figura B.3  
Bosquejo de la aldea Campanario Progreso, La Unión, Zacapa



Fuente: INDAPS, 1995 y modificaciones hechas por Lilian Márquez en 1997.

Figura B.4

Bosquejo de la aldea Capucal Chagüitón, La Unión, Zacapa

*Apéndice C - Información detallada sobre las visitas hechas a las fincas.*

**A. Listado de Fincas Visitadas**

**Tabla C.1**

Número de las fincas visitadas, propietario, extensión (Has) y ubicación

Finca No.	Propietario	Has	Aldea
2	Tomás Ramírez	0.44	Camp. Progreso
4	Santos Domingo G.	0.35	Camp. Progreso
6	Clementino Díaz	0.39	Camp. Progreso
7	Eduardo Díaz	0.7	Camp. Progreso
11	Delfino García	0.52	Camp. Progreso
13	Timoteo García	0.44	Camp. Progreso
17	Pedro Vásquez	0.44	Camp. Progreso
21	Norberto Díaz	0.61	Camp. Progreso
24	Manuel Geniz	0.52	Camp. Progreso
25	Pedro Díaz	1.4	Camp. Progreso
28	Asención García	0.7	Camp. Progreso
29	Santiago López	0.7	Camp. Progreso
32	Jorge Vásquez	1.09	Camp. Progreso
33	Raúl Vásquez	0.7	Camp. Progreso
35	Magdaleno García	0.7	Camp. Progreso
41	Alejandro García	0.7	Camp. Progreso
43	Misael Duque	0.57	Camp. Avanzada
44	Emilio Martínez	0.7	Camp. Avanzada
50	Vicente Martínez	0.35	Capucal Chagüitón
53	Walter Vásquez	0.35	Capucal Chagüitón
54	Eusebio Díaz	0.39	Capucal Chagüitón
56	Irnaldo Martínez	0.52	Capucal Chagüitón
58	José Díaz	0.61	Capucal Chagüitón
59	René Rivas	4.2	Camp. Avanzada
60	Adan López	0.44	Camp. Avanzada
61	Camilo Agustín	0.7	Capucal Centro
63	Leonidas Agustín	0.35	Capucal Centro
64	Cupertino Pascual	0.35	Capucal Centro
65	Nemesio Agustín	0.35	Capucal Centro
EPD	Encarnación Pérez Díaz	0.54	Camp. Progreso

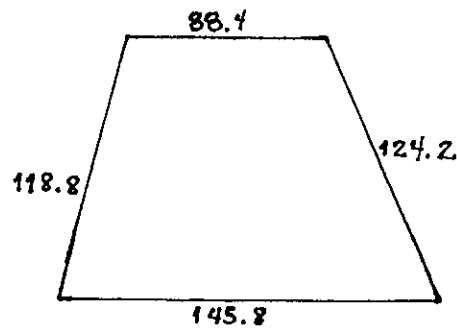
## B. Comentarios acerca de los casos especiales encontrados durante el muestreo

### 1. Finca #21

Esta finca tenía la forma de un trapecio y para determinar el largo y ancho, se tuvo que promediar ambos lados paralelos para poder encontrar un centro de la propiedad más cercano del verdadero centro. Si el equipo hubiera utilizado solamente un lado para el largo y otro para el ancho, es probable que el PRP hubiera quedado localizado en un sitio que no hubiera permitido establecer las parcelas de muestreo.

Figura C.1

Bosquejo de la finca # 21

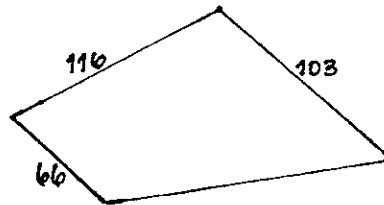


### 2. Finca #35

En esta finca, rotar  $90^\circ$  hacia el interior de la finca no hubiera conducido al equipo al centro de la misma, debido a que los lados no se encontraban en ángulos rectos. Aquí, los miembros locales del equipo caminaron paralelo al lado de la finca, en vez de caminar a  $90^\circ$  y esto produjo mejores resultados para ubicar el centro. Debe advertirse, que gracias al mejor sentido de orientación de los miembros locales del equipo, ellos decidieron que ésta era una manera mejor para encontrar el centro. Hicieron ésto sin consultar al investigador principal y sólo hasta después de que el centro estaba establecido, fue que el investigador se dió cuenta del cambio de dirección. Esto demuestra el valor del conocimiento local.

**Figura C.2**

Bosquejo de la Finca #35

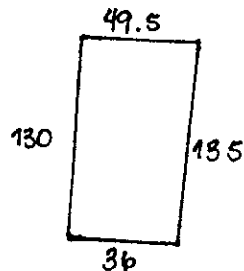


3. Finca #28

Esta finca tenía 0.7 hectáreas que, respecto a tamaño, debería ser suficientemente grande para establecer parcelas sin dificultad, pero la forma de esta finca, presentó grandes problemas para establecer la parcela 3. La forma era un rectángulo largo y angosto que permitió al equipo caminar un poco más de 9 m en la dirección de la parcela 3, lo que no era una distancia adecuada para establecer una parcela. Por lo tanto, en esta finca se establecieron únicamente tres parcelas. En los cálculos, esta finca fue evaluada usando 750 m<sup>2</sup> en vez de 1000 que fue el área total muestreada en todas las otras fincas.

**Figura C.3**

Bosquejo de la finca # 28



4. Fincas # 41, 43, 53

Estas fincas, presentaron problemas similares y no se pudieron establecer parcelas en las direcciones propuestas, a una distancia apropiada (15 m, 45m ó la mitad de la distancia total, sin riesgo de traslape). Una medida diferente se tomó aquí. El equipo estableció una parcela en una dirección diferente al rumbo

original propuesto. Esto se hizo para poder establecer 4 parcelas en cada finca. Toda la información, se registró en los formularios.

Figura C.4

Bosquejo de la finca # 41

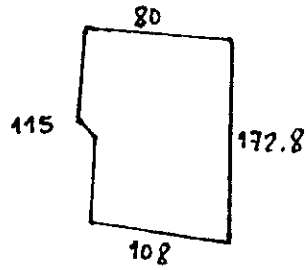


Figura C.5

Bosquejo del la finca # 43

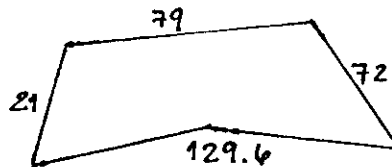
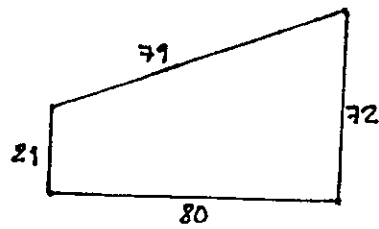


Figura C. 6

Bosquejo de la finca# 53



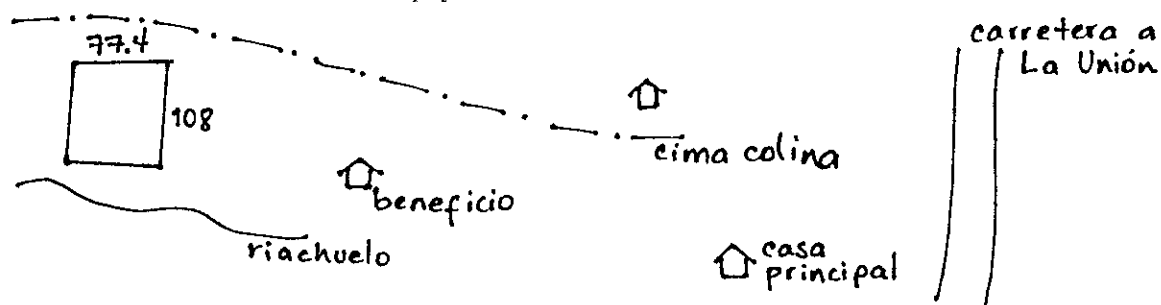
#### 5. Finca #60

Esta finca tenía un total de 3.5 hectáreas. El área plantada con café, tenía muchas variedades diferentes y tipos de manejo, y su terreno presentaba diferentes pendientes. También la finca estaba formada por la cima de una colina y había café plantado en ambos lados de la colina. El equipo tenía problemas para

visualizar el bosquejo de la finca y su relación con el terreno. Además, la persona encargada de la finca, no estaba segura acerca del manejo y época de siembra de la plantación. El equipo decidió que para hacer un mejor muestreo se escogería una de las áreas plantadas con café en vez de toda la finca. Entonces se hizo un muestreo más pequeño. Esto funcionó bien y se muestreó un área cuadrada de 0.44 ha sin dificultad.

**Figura C.7**

Bosquejo de la finca # 60



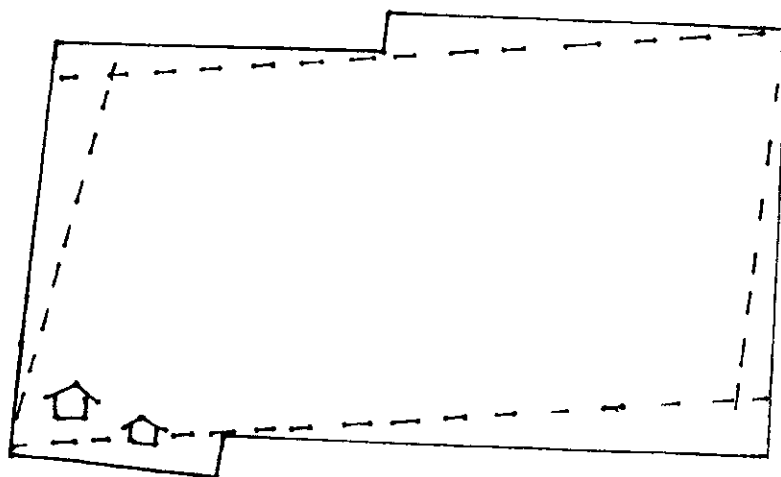
6. Finca # 11

Esta finca, tenía una extensión 0.52 hectáreas y se encontraba ubicada en el patio trasero de una residencia. La forma de la finca es más o menos la de un conglomerado de cuadrados y rectángulos. Esta finca tenía una extensión que permitió trazar líneas imaginarias entre sus esquinas, para formar un rectángulo y conforme a este "dibujo" establecer el PRP y las parcelas de muestreo.

**Figura C.8**

Bosquejo de la finca # 11

--- líneas imaginarias



### **Cuantificar carbono en Sistemas Agroforestales**

#### Mapeo del área

1. Mapee el área ubicando todas las fincas de café en un mapa topográfico, consultando fotografías aéreas y además con la ayuda de información proporcionada por los habitantes.
2. Estratifique las fincas en grupos, de acuerdo a aquellas características fisiográficas que se considere varían significativamente. Estas pueden ser suelo, drenaje, topografía o material parental.
3. Asígnele un número a cada finca.

#### Selección de una muestra preliminar de fincas para determinar el tamaño de la muestra requerido

1. Usando los números asignados, seleccione al azar tres fincas por estrato. En estas fincas, se mide la biomasa acumulada arriba y abajo del suelo usando los métodos descritos a continuación. Calcule la varianza de los datos y este valor, úselo para estimar el número de fincas por estrato, que deberán muestrearse para estimar la acumulación de carbono al nivel de precisión deseado.

#### Selección de una muestra de fincas para la determinación de la biomasa acumulada

1. Usando los números asignados a cada finca y el tamaño de muestra calculado en el paso anterior, seleccione al azar una muestra de fincas de cada estrato. Haga una lista de muestreo lo suficientemente grande, para que incluya varias opciones.
2. Ubique las fincas a ser muestreadas en el mapa topográfico. Este mapa, será muy útil para organizar efectivamente el esfuerzo de muestreo. Incluya los nombres de los dueños de las fincas.

#### Contacto con los dueños

1. Antes del inicio del muestreo, haga contacto con los líderes comunitarios y con los oficiales.
2. Contacte a los dueños de finca en la lista de muestreo. Presénteles a los miembros del equipo de muestreo.
3. Describa qué es un inventario de carbono. Explíqueles la importancia de este muestreo y se les informa qué mediciones se llevarán a cabo.
4. Pida permiso para inventariar la biomasa acumulada en sus fincas. Si alguno no diera permiso, se le agradece su atención y se le pregunta al dueño de la siguiente finca en la lista. La finca no autorizada se reemplaza con otra de la lista de opciones.

#### Entrevista con el dueño

1. Se lleva a cabo una entrevista con el dueño de cada finca. (Ver formulario adjunto)

#### Ubicación del punto de referencia de la parcela

1. Se prepara un mapa de la finca en el formulario de ubicación del punto de referencia.
2. Se determina la ubicación de cada una de las esquinas de la finca con la ayuda de una unidad de GPS. Estos valores son registrados en el mapa.
3. Se estima la longitud y ancho aproximado de la finca y los valores se registran en el formulario de la

ubicación del punto de referencia.

4. La longitud y el ancho de la finca, se dividen a la mitad. Los valores se registran en el formulario de la ubicación del punto de referencia.
5. Se ubica la esquina sureste de la finca y caminando a lo largo del lado más largo de la finca, se mide una línea exactamente igual a la mitad del valor estimado anteriormente para la longitud de la finca. Se registra la distancia y el rumbo de la línea, en el formulario de ubicación del punto de referencia. Al punto final de esta línea se le conoce como el punto de vuelta.
6. Se pinta un anillo azul en el DAP del árbol localizado en el perímetro de la finca que esté más cercano al punto de vuelta.
7. En el punto de vuelta, se rota exactamente  $90^\circ$  en relación a la dirección del camino recorrido y hacia el interior de la finca. Se camina en esta dirección por una distancia igual a la mitad de la distancia medida para el ancho de la finca. Al punto final de esta línea, se le conoce como el punto de referencia de parcela (PRP). Registre la distancia exacta y el rumbo de la línea en el formulario de la ubicación del punto de referencia.
8. Se marca el punto de referencia, con una estaca de 40 cm. La estaca debe ser enterrada 30 cm. en el suelo y los últimos 10 cm. quedan sobre el suelo y se pintan de azul.
9. Se mide la distancia y rumbos exactos de este punto, a partir de dos árboles de referencia. Estos valores se registran en el formulario. La diferencia entre los rumbos de los dos árboles de referencia, debe ser aproximadamente  $90^\circ$ . Se pinta un anillo azul en el DAP de cada árbol. Registre la especie y el DAP de cada árbol de referencia en el formulario.
10. Se determinan las coordenadas del punto de referencia de parcela, con el GPS. Estas coordenadas se registran en el formulario.
11. Una vez se haya seleccionado un tamaño de parcela, el mismo tamaño de parcela debe usarse en todas las parcelas durante todo el inventario de biomasa, sin importar el espaciamiento de los árboles encontrados en una finca en particular.

#### Ubicación de las parcelas

1. Si el tamaño de parcela para el inventario es de  $1/20$  ha o mayor, las siguientes distancias y rumbos serán usados para localizar cuatro parcelas en relación al punto de referencia de las parcelas (PRP):
  - la parcela 1 está ubicada 60.0 m del PRP en un rumbo de  $45^\circ$  NE
  - la parcela 2 está ubicada 20.0 m del PRP en un rumbo de  $135^\circ$  SE
  - la parcela 3 está ubicada 60.0 m del PRP en un rumbo de  $225^\circ$  SW
  - la parcela 4 está ubicada 20.0 m del PRP en un rumbo de  $315^\circ$  NW
2. Si el tamaño de la parcela para el inventario es de  $1/40$  ha o menos, entonces las siguientes distancias y rumbos se usarán para ubicar cuatro parcelas en relación al punto de referencia de las parcelas (PRP):
  - la parcela 1 está ubicada 45.0 m del PRP en un rubo de  $45^\circ$  NE
  - la parcela 2 está ubicada 15.0 m del PRP en un rumbo de  $135^\circ$  SE
  - la parcela 3 está ubicada 45.0 m del PRP en un rumbo de  $225^\circ$  SW
  - la parcela 4 está ubicada 15.0 m del PRP en un rumbo de  $315^\circ$  NW
3. Si el centro de la parcela o más del 25% del área de la parcela, se encuentran fuera del perímetro de la finca, no se establece una parcela en este punto. En su lugar, se trata de instalar una parcela en otro punto alternativo. La primera alternativa, es la parcela 5. Si ésta cae fuera de la finca, la siguiente alternativa es la parcela 6, después la 7 y finalmente la parcela 8.
4. Se instala la estaca de la cuerda en el centro de la parcela.
5. Se marca el centro de la parcela con un banderín que indique el número de la parcela.

#### Inventario de los tallos leñosos > 2.0 cm en DAP

1. Comenzando en el norte y moviéndose a favor de las manecillas del reloj, se registran la altura, el DAP y la especie de todos los tallos > 2.0 cm. de DAP que se encuentren dentro de la parcela. Los datos se registran en el formulario de biomasa de tallos leñosos.
2. Para los árboles que se encuentren en los límites de la parcela, si más de la mitad del tronco cae dentro de la parcela, el árbol se cuenta. Si más de la mitad del tronco cae fuera de la parcela, entonces el árbol no se toma en cuenta. Si el límite de la parcela coincide con el centro del árbol, se tira una moneda. Si cae cara, el árbol se cuenta; si cae escudo el árbol no se cuenta.
3. La distancia corregida de la pendiente, debe ser calculada para los árboles en el límite de la parcela y también para árboles que se encuentran justo afuera de la parcela si la pendiente es mayor que el 20%. Para hacer esto, determine el ángulo de la pendiente desde el centro de la parcela hacia el árbol en cuestión, con un clinómetro. Después, multiplique el coseno del ángulo (provisto en una tabla impresa en el clinómetro) por la distancia aparente. El valor resultante es la verdadera distancia horizontal. Use este valor para determinar si el árbol está dentro o fuera de la parcela.

#### Inventario de hierbas, hojarasca, suelo y tallos leñosos menores que 5.0 cm de DAP

Este inventario se hará en el siguiente orden:

1. vegetación herbácea
2. hojarasca
3. suelo

#### Procedimiento

1. Comenzando en el extremo norte de la parcela, se escoge un punto a 1 m de distancia del extremo de la parcela hacia adentro. Este será el primer lugar de muestreo para la vegetación herbácea, la hojarasca y el suelo.
2. Se coloca en el suelo un marco de muestreo con su extremo exterior, a un metro de distancia del límite de la parcela. En el muestreo se debe incluir solamente la vegetación que tiene su origen dentro del marco de muestreo. La vegetación que se encuentre dentro del marco pero se origine fuera de éste, no será tomada en cuenta. La vegetación que se origine dentro del marco y se extienda hacia afuera, sí será tomada en cuenta.
3. Se corta la vegetación herbácea y la pequeña vegetación leñosa que tenga un DAP menor 5.0 cm y se coloca en la bolsa de muestreo, se pesa y se anota el peso. Aleatoriamente, se escoge una pequeña submuestra (p. ej. lo que le quepa en la mano) de esta vegetación y se guarda en una bolsa de papel numerada para la determinación del contenido de humedad.
4. Colecte la hojarasca encontrada en el mismo sitio de muestreo, colóquela en una bolsa de muestreo, pese y anote el peso. Mezcle la muestra bien y escoja una pequeña submuestra (p. ej. lo que le quepa en la mano) de esta hojarasca y colóquelo en una bolsa de papel para determinar el contenido de humedad.
5. Colecte una muestra de suelo con un barreno o pala para el análisis del carbono en el suelo, póngalo en un plástico, ciernalo con una malla de 5 mm, mezcle bien con otras muestras de suelo, escoja aleatoriamente una muestra y colóquela en una bolsa numerada para determinar el contenido de carbono.
6. Proceda en el sentido de las manecillas del reloj, hacia el próximo sitio de muestreo dentro de la parcela.