

# **SISTEMAS AGROFORESTALES APLICABLES EN LA SIERRA ECUATORIANA**

**RESULTADO DE UNA DECADA DE EXPERIENCIA EN EL CAMPO**



*Carlos Nieto Cabrera, Raúl Ramos Veintimilla, Jefferson Galarza Rosales*



MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

**Sistemas Agroforestales aplicables en la Sierra  
Ecuatoriana  
Resultados de una década de experiencias de campo**

Carlos Nieto Cabrera.  
Raúl Ramos Veintimilla.  
Jefferson Galarza Rosales.

**Enero 2005**

**Quito-Ecuador**

**Revisión de texto**

Comité de publicaciones de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP

**PRIMERA EDICIÓN**

Boletín técnico No. 122

**Fotografías**

Raúl A. Ramos V. (EESC-INIAP)

**Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias**

Estación Experimental Santa Catalina

Panamericana Sur Km 1

Casilla: 17-10-340

Quito-Ecuador

Tel: 593 – 2 - 2690691 / 2690694

E-mail: [iniap@iniap-ecuador.gov.ec](mailto:iniap@iniap-ecuador.gov.ec)

**Esta obra debe citarse de la siguiente manera:**

Nieto, C. C.; Ramos, V. R.; Galarza, R. J. 2004. Sistemas Agroforestales aplicables en la Sierra Ecuatoriana, Resultados de una década de experiencias de campo. INIAP-PROMSA. Editorial NUEVA JERUSALEN. Quito-Ecuador. Boletín técnico No. 122. xxp.

**Diseño, diagramación e impresión**

Imprenta Nueva Jerusalén, Telf. 593 – 2 - 2905214

Enero 2005

Quito-Ecuador

El contenido de esta obra es de responsabilidad exclusiva de los autores y no representa necesariamente el punto de vista de las instituciones que han colaborado para su elaboración.

©Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias

Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios

Ministerio de Agricultura y Ganadería

Primera Edición, 2005

Número de derecho de autor: 020902

ISBN: 9978 – 43 – 989 – 7

### *Dedicatoria*

*Los autores dedican este pequeño aporte a los productores agropecuarios de la Sierra ecuatoriana, hombres y mujeres que diariamente labran la tierra en las condiciones más difíciles para mantener viva la esperanza de un mejor futuro.*

## Presentación

La agroforestería es una de las pocas alternativas de uso del suelo que combina la producción de bienes y servicios con la conservación de los recursos naturales y la mejora de la calidad ambiental. Plantar sistemas agroforestales significa conservar el estado productivo de los suelos agrícolas o recuperar suelos degradados, incrementar la biodiversidad y facilitar los flujos o micro ciclos del agua dentro de los entornos de influencia, pero al mismo tiempo significa garantizar una producción sostenible y diversificada de alimentos en la finca y la comunidad. La agroforestería es considerada como una alternativa a los sistemas agrícolas convencionales, que hoy están en decadencia en todas partes y también es una alternativa a la reforestación, la cual no ha tenido mucha acogida, entre otras razones, por el largo plazo que se requiere para lograr resultados. La agroforestería permite hacer las dos cosas en forma simultánea y en la misma parcela.

Sin embargo, hay resistencia o por lo menos falta de confianza por parte de los productores o dueños de fundos para plantar sistemas agroforestales en sus parcelas agrícolas. La razón principal que justifica esta falta de entusiasmo es que los sistemas agroforestales son opciones productivas de mediano o largo plazo. Para vencer esta resistencia de los productores a plantar sistemas agroforestales en sus fincas se requiere documentar los beneficios de la agroforestería, en términos económicos y en forma sistemática, a largo plazo. Aunque hay varios sistemas agroforestales que han permanecido intactos en el largo plazo en varias localidades de las tres regiones naturales del Ecuador, la falta de información sistemática de campo no permite descripciones y evaluaciones concretas para mostrar en forma tangible los beneficios de las plantaciones agroforestales en suelos de vocación agropecuaria.

El presente texto pretende ser una contribución a la promoción de la producción alternativa y a la creación de confianza entre los actores del desarrollo rural para instalar sistemas agroforestales en áreas de vocación agropecuaria, especialmente en la Sierra de Ecuador, que es una de las regiones naturales con mayores problemas de degradación de recursos naturales y de mayor dificultad de producción de alimentos. Este texto fue elaborado con la finalidad de contribuir con información, escrita, donde agricultores, promotores rurales, estudiantes y profesionales encuentren un apoyo para un desempeño de sus actividades cotidianas.

En este documento se presenta información técnica orientada en dos ámbitos. El primero, que presenta información básica y sustentada sobre la cual se propone un nuevo enfoque de la actividad productiva agroforestal, incluyendo un resumen de la propuesta nacional de investigación en agroforestería y el

segundo, que muestra los resultados concretos de un experimento "Efecto de dos sistemas agroforestales sobre el crecimiento y producción de varios cultivos de la sierra", donde el principal objetivo fue probar dos combinaciones agroforestales frente a un testigo, a campo abierto, para optimizar el uso del suelo y buscar una alternativa de manejo sostenible de pequeñas parcelas que representan el minifundio de la sierra ecuatoriana. Este experimento fue conducido en la Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIAP, por un período de 10 años consecutivos, y fue auspiciado por el Programa de Investigación en Raíces y Tubérculos Andinos (RTA's) financiado por la Cooperación Suiza para el Desarrollo, COSUDE, desde 1994 a 1999 y por el Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios, PROMSA, desde el 2000 al 2003.

Los autores expresan su reconocimiento y agradecimiento al INIAP, al Programa de Raíces y Tubérculos Andinos, CIP-COSUDE, al Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios PROMSA por haber facilitado los recursos y la confianza para generar la información de campo que se presenta en éste documento. A la Red Agroforestal Ecuatoriana, RAFE, por haber colaborado en la coordinación, capacitación y otras actividades relacionadas con la investigación. En forma similar agradecemos al equipo técnico de la Estación Experimental Santa Catalina, pertenecientes al Programa de Agroforestería y los Departamentos de Suelos y Protección Vegetal, quienes apoyaron de una forma desinteresada en el desarrollo y ejecución del experimento en campo. También dejamos constancia de nuestro reconocimiento a los siguientes profesionales: Neidy Clavijo, especialista en Agricultura Ecológica, Alexander Navas, especialista en Agroforestería Tropical, Margoth Nieto, técnico en Ejecución Agroforestal, Angel Guananga, estudiante en preparación de tesis de ingeniería Agroforestal, Rocío Vaca, especialista en el área contable y a la memoria de Juan Córdova, quienes desarrollaron actividades concretas de campo y de gestión administrativa para lograr la continuidad del experimento y publicación de los resultados. A Gustavo Bernal y Víctor Barrera, miembros del comité de publicaciones de la Estación Experimental de Santa Catalina, por su valioso aporte en la lectura y sugerencias a los borradores de esta publicación.

Los Autores

## Capítulo I

La agricultura en Ecuador y su efecto en la  
degradación de los recursos naturales

## **1.1 Análisis histórico de los procesos de producción agropecuaria en Ecuador**

Ecuador, al formar parte de la Zona Andina, es uno de los países en donde se originaron culturas diversas, todas éstas fundadas en procesos de desarrollo agropecuario. Información histórica y datos arqueológicos encontrados en varios sitios del Ecuador, entre ellos, Machalilla, Cochasquí, San Gabriel, Imbaya, Ingapirca y otros, demuestran que los procesos agropecuarios en Ecuador tuvieron lugar desde hace 3 mil años antes de Cristo.

Las culturas o etnias antecesoras a los Incas, asentadas en lo que hoy es el territorio ecuatoriano, contribuyeron al proceso de domesticación de varios cultivos y especies animales. Más de 50 especies de plantas nativas fueron domesticadas en la Zona Andina, muchas de las cuales, todavía se encuentran en los campos de cultivo en la actualidad (Nieto, *et al.*, 1984). Las poblaciones ancestrales de Ecuador, desarrollaron varios métodos para cultivar la tierra, producir cultivos, procesar cosechas y conservar alimentos, los que fueron de alguna manera alterados o modificados, durante los 60 años que duró la conquista Incaica y, que a pesar de todo el proceso de transformación vivido durante los últimos 500 años después de la conquista española, algunas tecnologías todavía se encuentran vigentes en áreas rurales de Ecuador.

Con la conquista Española, se inicia una serie de transformaciones en las relaciones agro-socio-económicas y métodos de producción, las que opacaron, en algunos casos hasta casi la extinción, las formas tradicionales de hacer agricultura en Ecuador y en la Zona Andina. Las transformaciones de los sistemas de producción agropecuaria empezaron a imponerse en la época de la colonia, se acentuaron en la época republicana, y algunos se consolidaron en la segunda mitad del siglo XX, hasta llegar a los sistemas de producción "modernos" que hoy se han impuesto en la mayoría de los agroecosistemas. Sin embargo, se puede decir que en Ecuador, los procesos de transformación agropecuaria han seguido direcciones distintas en cada región natural.

En la sierra, que históricamente a sido la región de mayor asentamiento poblacional y por lo mismo, la región donde se ha ejercido una mayor presión a los recursos naturales, la llegada de los conquistadores trajo grandes transformaciones a los sistemas de producción, de tenencia y de uso de la tierra. Se fomentó la deforestación, que por cierto ya había a cargo de las poblaciones nativas (Hidalgo, 1998); se impusieron sistemas de labranza intensa del suelo, se impusieron cultivos introducidos (ejemplo los cereales) y la cría de animales introducidos, a expensas de cultivos y animales nativos. En consecuencia, los hábitos alimenticios de la población se cambiaron, dando lugar a un proceso sistemático de desnutrición, el que se ha agudizado en la actualidad. Se implantó el sistema de hacienda que marcó el inicio del proceso



de privatización legalizada de tierras, y con éste, varios conflictos, algunos de ellos hasta hoy no resueltos. Se implantó el sistema huasipungo al comienzo y el trabajo asalariado más tarde, como relaciones laborales en la agricultura. El sistema huasipungo, podría significar sin duda, el inicio del éxodo de la población indígena hacia las montañas, lo que ha marcado el proceso de intervención del ecosistema páramo, con todas las consecuencias nefastas muy conocidas, para la conservación ambiental y de los recursos naturales.

Más tarde, especialmente durante la segunda mitad del siglo XX, en esta región, aparecen transformaciones impulsadas por los gobiernos de turno, los que bajo el justificativo de "Desarrollo rural" han intervenido en muchas facetas de los sistemas de producción y otra vez en la tenencia y uso de la tierra. Las dos grandes transformaciones de esta época son: i) La reforma agraria, impulsada como parte de una iniciativa de los Estados Unidos para América Latina (para mitigar el movimiento socialista-comunista, que se gestaba en la región), el que tuvo su triunfo en Cuba y que perdura hasta hoy y ii) La llamada "revolución verde" que significó la importación, validación y promoción del uso de insumos industriales y de tecnologías de producción generadas en otras latitudes. Desde 1964, la reforma agraria y durante las décadas de los 70 y 80, la revolución verde, en Ecuador tuvieron su auge; pero sus resultados y consecuencias no han sido favorables para la población rural. Si bien es verdad, el proceso de revolución verde significó un aumento notorio de la producción y productividad agropecuaria, se podría decir que comparando estos ingresos con los costos ambientales y los de la destrucción y erosión de los recursos naturales, el balance final es sustancialmente negativo (Southgate *et al.*, 1994; Witaker, 1996; Nieto, 1997)

Sin dejar de reconocer la importancia que ha significado para el desarrollo agropecuario, la introducción de cultivos anuales y las tecnologías introducidas por los europeos, la consecuencia negativa más notoria de los procesos de reforma agraria y de revolución verde en la Sierra, es sin duda la erosión del suelo. Más de la mitad de los suelos agrícolas de la región presentan algún grado de erosión; mientras que no menos del 20%, tienen erosión grave. La erosión del suelo tiene como una de sus causas principales a la reforma agraria, ya que mediante este proceso, se ubicó a una gran masa de agricultores a labrar tierras frágiles de laderas y montañas (de topografía escarpada y capa arable superficial), mientras que las tierras de los valles se quedaron para ser cubiertos con pastos y albergar en su mayoría a sistemas extensivos de producción ganadera. La revolución verde por su lado, incentivó la erosión del suelo debido a que entre sus componentes tecnológicos se incluyó la labranza intensiva (principalmente mecanizada), en combinación con sistemas de cultivos de escarda o de ciclo corto, que requieren de remociones de suelo constantes (Nieto, 1997; MAG, 1999). Los sistemas de labranza mecanizada en suelos superficiales y con pendientes elevadas, aceleró el proceso de erosión en una forma nunca antes observada.

A partir de la década de los 80, aparece otra gran transformación agropecuaria en la Sierra, esta se refiere a la proliferación de agricultura bajo invernadero; la mayoría para cultivar flores de exportación, pero últimamente también para la producción de frutas y hortalizas. A finales de la década de los 90, existía alrededor de 3.000 ha de suelo en la Sierra con sistemas de producción agrícola bajo plástico. La exportación de flores desde la Sierra ha marcado un hito histórico, en la economía de la región, ya que tradicionalmente la agricultura de esta zona ha cubierto el consumo interno de alimentos. Mas al mismo tiempo, las consecuencias para el ambiente y los recursos naturales son preocupantes. Primero, no existe un sistema efectivo de recolección y reciclaje del plástico usado en invernaderos, para evitar la dispersión indiscriminada de residuos de plástico en los campos, y luego, los efectos negativos manifiestos para la salud humana y el ambiente, por el uso excesivo e indiscriminado de pesticidas que se hace en la mayoría de invernaderos y también la esterilización de los suelos por la aplicación de agroquímicos como desinfectantes.

En la región Costa, el proceso de desarrollo agropecuario sigue un camino distinto, aunque las consecuencias negativas para el ambiente y los recursos naturales son similares. En esta región, el proceso agropecuario tradicionalmente se ha enfocado a la exportación y el recurso natural afectado ha sido la biodiversidad, debido a la tala del bosque nativo. El proceso de deforestación del bosque tropical primario se inició muy temprano en esta región. Durante la época republicana, el uso de la biodiversidad, principalmente de la agrobiodiversidad, en procesos agrícolas de exportación y agroindustriales, ha sido el motor de la economía nacional, hasta antes del surgimiento de las exportaciones petroleras. No obstante, durante y después del auge petrolero, la economía nacional sigue siendo soportada en gran medida por las exportaciones de banano, cacao y café, y últimamente de camarón y otros productos tropicales no tradicionales de la costa.

Por otro lado, la agroindustria, de mayor proyección económica en la costa, se ha basado en sistemas de monocultivo, con el uso de especies exóticas tales como banano, *Musa paradisiaca* L.; arroz, *Oryza sativa* L.; palma africana, *Elaeis guineensis* Jacq.; caña de azúcar, *Saccharum officinarum* L., y otros cultivos, que son productos clave de la economía nacional. Sin embargo, tanto la agricultura industrial como la de exportación han surgido a costa de la desaparición de casi el 100% de la foresta tropical nativa. Aún en la actualidad se impulsa con gran énfasis el cultivo de palma africana en la costa norte del país, afectando o amenazando los pocos remanentes del bosque húmedo tropical, que todavía quedan en esa región.

Terminada la Segunda Guerra Mundial, las exportaciones de banano comenzaron, aprovechando elementos coyunturales y estructurales que mejoraron las ventajas comparativas ecuatorianas, pues se presentaron

problemas en las plantaciones bananeras de América Central, especialmente debido a la presencia de la sigatoka y mal de Panamá. Así, las transnacionales buscaron nuevos abastecimientos en Latinoamérica, donde había disponibilidad de tierras, mano de obra barata y apoyo oficial para la construcción de infraestructura. En 1950 empieza el auge del cultivo y exportación de banano que dinamizó las relaciones externas y, al ampliar la frontera agrícola sobre la base de pequeñas y medianas fincas bananeras, se posibilitó el ascenso de nuevos grupos de la sociedad y hasta el apareamiento de nuevas poblaciones. Con el banano se amplió la frontera agrícola, se expandió la red vial y se fomentó la migración de la sierra hacia la costa, en consecuencia se observó un desarrollo acelerado de las ciudades y el robustecimiento del mercado interno. Esto potenció la demanda de mano de obra, el aumento de obra pública y la diversificación de la economía. Los salarios de los trabajadores bananeros alcanzaron niveles superiores a los de cualquier otra actividad agrícola en el Ecuador.

El apogeo bananero declinó en la década de los 70, entre otras razones porque las transnacionales volvieron a Centro América, pues estos productores se recuperaron e incluso introdujeron variedades de banano más tolerantes a plagas y a los cambios climáticos. Sin embargo, para Ecuador, a comienzos de la década de los 70 empieza una nueva época de expansión económica con el descubrimiento de yacimientos de petróleo en Santa Elena y en la Amazonia. En consecuencia, la gran mayoría de los recursos e inversiones se volcaron hacia esta nueva actividad, que finalmente se convirtió en la base de la economía ecuatoriana. No obstante, la producción agropecuaria de exportación nunca declinó a niveles insignificantes. En la actualidad el banano, aún es el segundo rubro en la generación de divisas para el país y es el primer producto agrícola tropical de exportación, con más de 200 mil ha sembradas; secundado por otros cultivos como cacao, café y un grupo de productos no tradicionales (Witaker, 1996; Nieto, 1997; Bucheli, *et al.*, 2003).

Otras actividades agrícolas sobresalientes en la costa, son sin duda la presencia de los cultivos industriales, encabezados por caña de azúcar, cuya expansión ha sido significativa, especialmente durante la segunda mitad del siglo XX. En realidad, Ecuador, salvo contadas excepciones, ha sido autosuficiente en producción azucarera y no en pocas ocasiones ha generado excedentes para la exportación. El arroz, es otro cultivo de gran significación para la economía nacional. Ecuador, salvo raras ocasiones, ha sido autosuficiente en producción de arroz desde hace más de 20 años, contando inclusive con que éste es el primer producto de consumo per cápita nacional (Tabla 1.1). La importancia de este cultivo es no solamente debido a la gran cantidad de mano de obra (en su mayoría mano de obra familiar), que ocupa el proceso productivo, sino por la ocupación de mano de obra directa e indirecta en el proceso industrial de pilado de arroz.

Pese a todo lo referido, se debe insistir en el precio del deterioro ambiental, que la sociedad ecuatoriana ha tenido que pagar por el desarrollo de estas actividades agrícolas. En la Sierra, el problema ambiental más grave es la erosión del suelo. La recuperación de suelo erosionado del tipo "Cangahua", llega a costar entre USD<sup>1</sup> 750 y 1000 ha<sup>-1</sup>, costo que es similar al precio de compra de una hectárea de suelo en varias comunidades de la misma Sierra<sup>2</sup>. En la Costa, la deforestación y con ella la erosión de la biodiversidad ha sido la consecuencia más grave del desarrollo agropecuario. Para finales del siglo XX, más del 90 % de los bosques nativos de la región ya fueron talados y los remanentes (en el norte de la región), todavía no están libres de la intervención humana. La tasa de deforestación en Ecuador, para finales de los noventa era de alrededor de 200 mil hectáreas anuales. Adicionalmente, la contaminación de aguas y del mismo suelo agrícola por el excesivo uso de insumos (agroquímicos), es una situación de mucha preocupación en esta región (MAG, 1998; MAG, 1999).

En la región Amazónica, la situación de intervención humana y desarrollo agrícola ha sido un tanto distinta. Esta región fue literalmente olvidada durante gran parte de la época republicana temprana. Recién, después de la década de los 50, se inicia un proceso de intervención en esta región, la que se consolida como consecuencia de la explotación petrolera, que toma cuerpo a comienzos de los años 70. El ingreso de colonos, procedentes principalmente de la Sierra, se incrementa significativamente por las facilidades en vías de acceso que deja la actividad petrolera. De esta forma, al proceso de intervención en esta región, se podría diferenciar por subregiones. En la amazonia norte, el proceso de colonización ha sido más intenso, por las razones anotadas, mientras que en la amazonia centro y sur, ha habido un proceso de intervención más lento; lo que desde el punto de vista ambiental, es totalmente favorable. Todavía, en la actualidad, en las provincias de la amazonia centro y sur, existen muchas comunidades nativas, a las cuales solamente se tiene acceso por vía fluvial o aérea.

La actividad agrícola en la región amazónica, ha sido distinta a la observada en la Costa. Después de la tala del bosque primario, viene de uno a tres años de cultivos de ciclo corto (naranja, *Solanum quitoense* Lam.; maíz, *Zea mays* L.; yuca, *Manihot esculenta* Crantz. y en algunos casos, arroz), para luego dar paso a la siembra de pastos y a una producción ganadera extensiva, la que en muchos casos, presiona los remanentes de especies arbóreas o arbustivas, quedando los espacios convertidos en praderas degradadas. Últimamente, se está promocionando con énfasis la producción de cultivos perennes de exportación como café, *Coffea arabica* L., cacao, *Theobroma cacao* L. y

---

<sup>1</sup> Dólares de Estados Unidos de Norte América.

<sup>2</sup> Información obtenida del Proyecto de Desarrollo de los Pueblos Indígenas y Negros del Ecuador, PRODEPINE, en la sierra central.

algunos frutales no tradicionales, o cultivos industriales como palma africana; sin embargo, todos estos cultivos son exitosos únicamente en las zonas aluviales, es decir en suelos de valles, o de las riveras de los ríos, pero los sistemas descritos se promocionan en todas partes. El cultivo de plantas medicinales y de condimentos es otra actividad que empieza a tener importancia en esta región, dentro de la cual ha sobresalido exitosamente el cultivo del té, en la región amazónica central.

Desde el punto de vista ambiental y de la conservación de los recursos naturales, no hay duda que el daño mas serio, ha sido provocado por las actividades de extracción de petróleo, seguido por las actividades agropecuarias y la consecuencia mas grave es sin duda la destrucción de la biodiversidad, por la tala indiscriminada del bosque. La compactación de los suelos es otro problema de degradación ambiental, que se produce como consecuencia de las actividades ganaderas extensivas. Es reconocido, que uno de los errores más serios que se cometen en esta región es la promoción de cultivos agrícolas de ciclo corto, en un ecosistema frágil desde todo punto de vista. Si hay que hacer una actividad sostenible en la región esa debería ser el manejo integral del bosque o la plantación de especies perennes o arbóreas maderables de alta calidad, pero ninguna bajo el sistema de monocultivo. Los sistemas agrícolas mixtos como los agroforestales son los que se deberían promocionar, debido a que ofrecen las mayores ventajas económicas y son los más compatibles con el ecosistema frágil de esta región.

## **1.2 Análisis resumido del proceso de generación de tecnología agropecuaria en Ecuador**

En cuanto al desarrollo tecnológico, para apoyar la producción agropecuaria, en gran medida ha carecido de autenticidad. Se ha institucionalizado la introducción de tecnologías foráneas, en unos casos validadas y en otros, aplicadas directamente, sin pasar por un sistema de validación. Todo esto, en franco desmedro del desarrollo de las tecnologías de producción tradicionales, que aparentemente son más amigables con el ambiente y en desmedro de la generación de tecnologías nuevas de producción, adaptadas a la particularidad de los agroecosistemas de cada región. Después de los estragos causados por la aplicación de tecnologías de tipo revolución verde, la presión global para producir y utilizar materiales producto de la ingeniería genética, es quizá el último gran cambio "modernizador" de la actividad agropecuaria que podría afectar la agricultura en Ecuador. Dejando a un lado todas las consideraciones de orden social, nutricional y comercial, que se esgrimen en contra de los productos transgénicos, si por alguna razón se permitiría y/o promocionaría el uso de plantas modificadas genéticamente, de cultivos nativos, no hay duda

que estaríamos frente a un peligro serio de alteración de la base genética de los cultivos autóctonos.

Una revisión breve de las estrategias, causas y consecuencias del proceso Revolución Verde, así como de su versión moderna, la "Revolución Biotecnológica", necesariamente conduce a dar la razón a los contestatarios de estos procesos: Como ya se mencionó, luego de la Segunda Guerra Mundial, el mundo desarrollado entró en un proceso agresivo de desarrollo tecnológico, para incrementar la producción agropecuaria. En América Latina, se inició un apoyo significativo a la investigación agropecuaria, bajo el modelo norteamericano de "Estación Experimental", algunos de los cuales todavía subsisten, como es el caso del INIAP, en Ecuador. En cuanto a la actividad de investigación, se inició con técnicas convencionales de mejoramiento genético, para crear las variedades mejoradas, capaces de responder a sistemas de monocultivo y de dependencia total a insumos extra finca. Se importaron y validaron herramientas, maquinaria y equipos para laborar el suelo y automatizar procesos, se desarrollaron y promocionaron una serie de productos agroquímicos para controlar o potenciar procesos biológicos como: pesticidas, para eliminar poblaciones de plagas; herbicidas, para eliminar vegetación distinta a la cultivada (malezas); fertilizantes, para mejorar o alterar la fertilidad del suelo; hormonas y reguladores, para acelerar el crecimiento y maduración de cultivos.

El justificativo en los ámbitos mundial y nacional y que todavía perdura fue incrementar la producción agropecuaria, para combatir el hambre de los pueblos y fomentar el desarrollo de las poblaciones, especialmente las rurales. Para esto, y con las "propuestas tecnológicas" ya indicadas, se han explotado y sobre explotado los recursos naturales y se ha intervenido agresivamente en el ambiente natural. Las consecuencias directas del proceso son conocidas y se pueden resumir de la siguiente manera: Erosión de los suelos agrícolas, pérdida o contaminación de las fuentes y cursos de agua, erosión o extinción de la biodiversidad, especialmente de la agrobiodiversidad y degradación ambiental generalizada (MAG, 1998; MAG, 1999), todo lo cual ha conducido a un incremento de la pobreza de los pueblos, especialmente de los tropicales de América Latina, dando como resultado final la migración y abandono de los campos. Ejemplo, sólo en Ecuador ha cambiado la proporción de la población rural, de más del 60 % en los años 60, a menos del 30 % en el año 2000. Según información del III Censo Nacional Agropecuario, (Bucheli, *et al.*, 2003), de los 12 millones de habitantes del Ecuador, solamente 3'061.459 personas viven en el campo. Pero, esta migración, no se trata de un proceso normal de traslado de mano de obra de la agricultura hacia la industria, o la provisión de servicios, como sucede en los países con alto grado de desarrollo; sino es

migración interna que aumenta la miseria suburbana o es migración externa, que fomenta la desintegración familiar y otros problemas sociales conocidos.

La salida aunque todavía cuestionada por grupos ortodoxos-convencionalistas, parece estar en la promoción de una nueva forma de manejar los procesos productivos, iniciando con un cambio drástico en la generación de opciones tecnológicas. Esta salida tiene sustento en los principios de la Agroecología, que se fundamentan en un respeto a las condiciones propias e intrínsecas de los ecosistemas y agroecosistemas, para sobre ellas potenciar y optimizar la productividad de los mismos, pero sin destruir su base productiva.

La agroecología, al promover el principio, de "Producir conservando" o "Conservar produciendo", está todavía en discusión, pero se trata de un conjunto de conocimientos científicos y tecnológicos que permiten contestar a los principios y paradigmas marcados por el proceso de revolución verde. Una definición enmarcada en el campo académico en la que propone Sarmiento (2000), quien dice que la agroecología es una "rama de la Ecología que se encarga del estudio de las interacciones entre las plantas, el funcionamiento de los insumos agrícolas y la dependencia a fertilizantes, abonos y pesticidas, así como el comportamiento del cultivo frente a las condiciones del medio ambiente". La agroecología es por lo tanto, una ciencia nueva, que como su nombre lo indica propone seguir los principios de la Ecología, para hacer agricultura; es decir, el enfoque agroecológico satisface el uso sustentable de los recursos involucrados en la producción agropecuaria, y apunta hacia la producción sostenible de alimentos. La agroecología proporciona el conocimiento y las metodologías necesarias para el desarrollo de una agricultura, ambientalmente aceptable, altamente productiva y económicamente viable (Gliessman, 1998).

Por otro lado, los principios agroecológicos proponen, como línea prioritaria de acción, garantizar la seguridad y preservar la soberanía alimentaria de las comunidades rurales. Esto, considerando que el concepto de "seguridad alimentaria", rebasa los límites de lo tecnológico-productivo y entra en lo económico y social; es decir, implica la garantía de producción, distribución y consumo de alimentos. Del mismo modo, "soberanía alimentaria" es el derecho legal y moral de los pueblos para conservar su base alimenticia, producir suficientes alimentos, mantener sus costumbres y tradiciones alimentarias y por ende, asegurar su propia seguridad alimentaria. La vulnerabilidad de la soberanía alimentaria, en países en desarrollo ha estado presente, constantemente; más todavía, hoy, que bajo el amparo de la "Globalización de las economías", y la "Apertura de mercados", se viola tanto la seguridad como la soberanía alimentaria de los pueblos del mundo, especialmente de aquellos del mundo subdesarrollado.

Lo irónico, en este campo de reflexión, es que la apertura de mercados involucra una libre competencia y, se critica a los productores de los países subdesarrollados de no ser competitivos, pero se esconde o se disfraza el hecho de que la producción "competitiva" del mundo desarrollado es altamente subsidiada. Como ejemplo, en el año 1990, el subsidio a la producción en países desarrollados sumaba 299 millones de dólares, cantidad que significó alrededor de las tres cuartas partes de la deuda externa total de América Latina para ese año, (Gaibor, 1998), con subsidios de esta magnitud, ningún productor de un país pequeño podrá ser competitivo. Además, los sistemas productivos de los países en desarrollo son altamente dependientes de insumos y tecnología provenientes de los países desarrollados, con los que tienen que competir. Esto constituye una desventaja competitiva adicional muy seria y sin duda, es otra expresión de la inequidad que siempre ha existido entre grupos de países.

La propuesta agroecológica indica que sí es posible transformar a los sistemas productivos rurales de países tropicales como Ecuador, en sistemas competitivos y quizá aún estamos a tiempo de hacerlo. Mas para esto se requiere de un cambio drástico en los esquemas y sistemas productivos. La mayoría de los agroecosistemas en Ecuador, deben ser establecidos con plantas perennes, de cobertura total del suelo, que no requieran remoción constante del suelo y que no requieran aplicación de pesticidas por calendario. Los agroecosistemas tropicales deben estar compuestos de cultivos perennes de propósito múltiple, bajo arreglos espaciales o temporales, que fomenten la biodiversidad y el equilibrio, biológico. Esto significa que Ecuador, para ser competitivo debe producir y exportar, por ejemplo: madera, en muebles; caña de azúcar, como bioalcohol; cacao, procesado en barras; plantas aromáticas, desecadas y empacadas; colorantes, y frutas nativas, en polvo, pulpa o extractos; fibras nativas, en productos acabados; plantas ornamentales, productos de origen animal y otros. Ecuador, debe exportar además turismo, en forma de ecoturismo, agroturismo y turismo científico y por supuesto se debe importar (como hemos venido haciendo), trigo, avena, cebada, soya, y otros productos alimenticios propios de sistemas productivos anuales.

En este contexto, es evidente que la alternativa para los pueblos y comunidades rurales de países como Ecuador, es cambiar los sistemas de producción de convencionales (con un balance energético negativo) a sistemas productivos auto suficientes que garanticen la sostenibilidad productiva de los agroecosistemas. Una de las opciones para conseguir este objetivo es la Agroforestería, como uno de los sistemas productivos que encajan perfectamente dentro de los principios de la Agroecología. La agroforestería a mas de ser una de las alternativas que garantizan, en el largo plazo, el uso intensivo del suelo, pero también su conservación, favorece el desarrollo de la biodiversidad y facilita la conservación y descontaminación de las fuentes de



agua; además, garantiza la producción multipropósito de bienes y servicios, en beneficio del propietario de la finca y de su comunidad.

Precisamente, el propósito de la preparación y publicación de este libro, es contribuir con información, escrita a manera de texto informativo, en el cual, se espera que agricultores, promotores rurales, estudiantes y profesionales encuentren un apoyo para su trabajo de investigación, capacitación, educación o desarrollo rural. El libro trata de cubrir dos ámbitos de la información, ambos relacionados con la Agroforestería. El primero, que presenta información básica y sustentada sobre la cual se propone un nuevo enfoque de la actividad productiva agropecuaria, incluyendo un resumen de la propuesta nacional de investigación en Agroforestería, que abarca los capítulos del uno al cinco y el segundo, que muestra los resultados concretos de un experimento en Agroforestería, conducido en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, por un lapso de 10 años consecutivos, y que cubre el capítulo seis.

Se espera que este texto, siendo un aporte inicial, constituya un incentivo para estudiantes y profesionales jóvenes para continuar con la búsqueda de soluciones alternativas a los procesos productivos, que permitan construir agroecosistemas sostenibles y garantizar la conservación de la base productiva de los mismos.

Tabla 1.1 Consumo per cápita de los principales alimentos de la población ecuatoriana (Fuente: Estadísticas del Banco Central de Ecuador, promedio de varios años).

Cultivo o Producto	Consumo per cápita *	Característica del producto
Arroz	45	Introducida/autosuficiente
Trigo	44	Introducida/importada
Papa	26	Nativa/autosuficiente
Maíz suave	6	Nativa/autosuficiente
Leguminosas de grano	<3	Nativa/autosuficiente

\*=Kg. persona<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>



**Foto 1. Ecosistema de páramo intervenido con maquinaria para convertir en sistemas agrícolas.**



**Foto 2.** Suelos agrícolas degradados por erosión hídrica y eólica como consecuencia de laboreo intensivo.

## Capítulo II

### Descripción de los Ecosistemas, Agroecosistemas y Sistemas Agroforestales (SAF's)

## 2.1 Ecosistemas versus Agroecosistemas

El concepto clásico de sistema es muy conocido y aplicado en varios campos y disciplinas de la ciencia y la tecnología. Un **Sistema** es un conjunto de componentes o elementos que forman un todo e interactúan armónicamente entre sí, para cumplir una función dentro de un límite determinado, que recibe insumos y proporciona productos, subproductos y deshechos. Si alguna de estas condiciones falta, entonces el sistema deja de ser tal.

Los componentes o elementos de un sistema pueden ser subsistemas, es decir, unidades que a su vez tienen la capacidad de funcionar como sistemas en forma independiente. Esto da lugar, a una categorización escalonada de éstos, existiendo sistemas funcionales tan simples como una hoja de árbol, pasando por una planta, una parcela de cultivo, un huerto, una finca y hasta una comunidad (conjunto de fincas, considerado como agroecosistema y es la categoría manejable más compleja).

Aplicando este mismo concepto general de sistema, se puede definir la categoría de **Ecosistema**, de la siguiente manera: conjunto de elementos bióticos y abióticos, que interactúan entre sí, por medio de flujos e intercambios de materia y energía, dentro de un límite geográfico determinado, donde sus insumos provienen de la atmósfera (agua y nutrimentos), del suelo (nutrimentos) y del sol (energía) y que sus productos son básicamente el mantenimiento de la cadena alimenticia primaria (productores primarios, consumidores herbívoros, consumidores carnívoros y saprotrofos o descomponedores). Además, el ecosistema produce pérdidas obligadas, ya sea por lixiviación directa hacia los horizontes inferiores del suelo o por medio de los procesos de descomposición, con la intervención de microorganismos, principalmente los saprotrofos (Figura 2.1).

Aunque, debido a la intervención humana generalizada, ya no existen, o quedan muy pocos ecosistemas en su estado original; una característica sobresaliente de éstos ecosistemas, es que los productores primarios son las poblaciones o individuos de vegetación natural, con capacidad de hacer fotosíntesis y de generar la base del sustento de varias cadenas alimenticias, que eventualmente llegan a soportar la supervivencia de componentes de otros ecosistemas, incluyendo la supervivencia de componentes de ciertos agroecosistemas.

En contraste, un **Agroecosistema** (Figura 2.2), se caracteriza porque sus componentes principales no son solamente elementos de la naturaleza. El eje central del agroecosistema sigue siendo el productor primario, pero en este caso ya no se trata de vegetación natural, sino de cultivos y/o pasturas. Del

mismo modo, el producto principal no es el mantenimiento de la cadena alimenticia, sino la producción de bienes y servicios para el mercado, y el consumo de la familia o de la comunidad. Otras características importantes son, la presencia del hombre (agricultor), como proveedor de insumos y la de los animales domésticos, como elementos clave dentro del agroecosistema, ya que hacen el papel de consumidores secundarios (herbívoros o carnívoros). Las plagas de los cultivos, se encuentran como consumidores secundarios, y al mismo tiempo, su combate significa entrada de insumos externos al agroecosistema, los que son provistos por el agricultor. El resto de elementos, interacciones, entradas y salidas, son muy semejantes a las del ecosistema. Sobresale naturalmente, la entrada de energía solar como el insumo natural más importante para el agroecosistema.

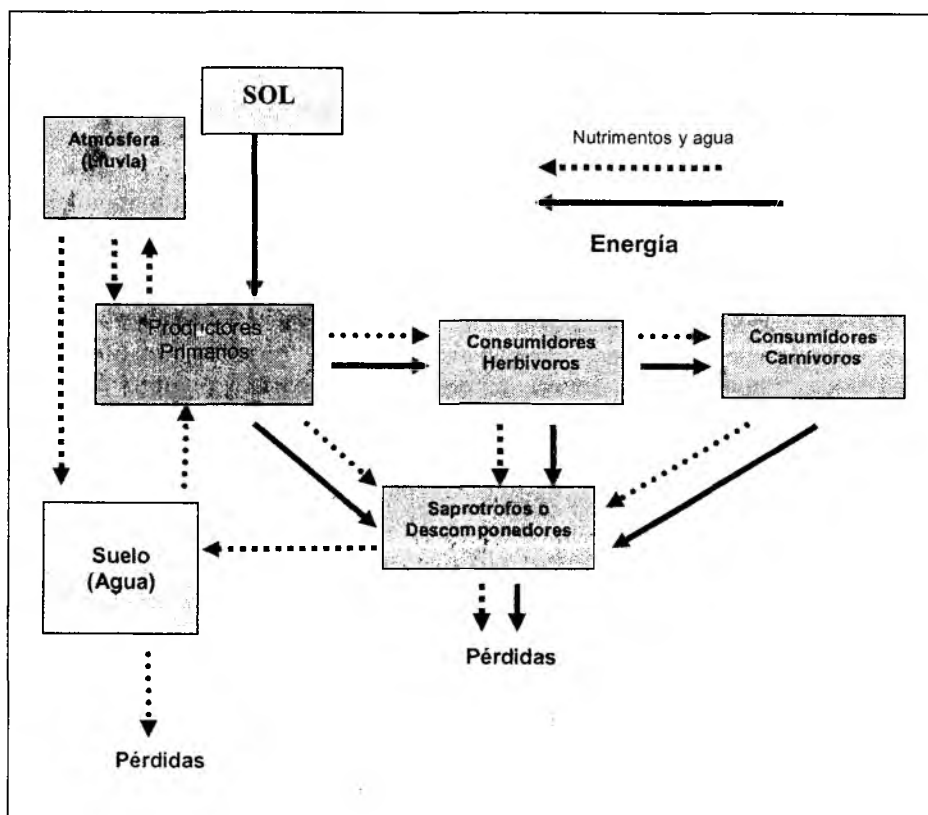


Figura 2.1 Representación esquemática de un ecosistema, con sus componentes e interacciones. (Tomado y adaptado de Gliessman, 1998).

De esta forma, se puede afirmar que agroecosistema es sinónimo de sistema agrícola o sistema agropecuario, y este cuenta por lo menos con un elemento de utilidad agrícola o pecuario, cuyos componentes bióticos interactúan con el ambiente físico (abióticos) y ocurren flujos de materiales y energía que entran y salen desde y hacia diferentes subsistemas. Por lo tanto, se corrobora la existencia de diferentes niveles de agroecosistemas de interés; desde una parcela de cultivo o pradera de pastoreo, pasando por una finca, hasta una comunidad rural, que cumple los requisitos del concepto de sistema.

Es importante aclarar, que en la Figura 2.2, se presenta solamente un modelo de agroecosistema, y que no se trata del único. Los agroecosistemas pueden ser mucho más complejos, pero también, puede haber otros mucho más simples que este modelo. De hecho, la **tecnificación del agro**, ha propiciado una simplificación en extremo de los agroecosistemas. No es difícil encontrar fincas e incluso comunidades enteras dedicadas a un solo cultivo. La simplificación extrema de los agroecosistemas trae consigo consecuencias negativas difíciles de superar, así: pérdida de biodiversidad, especialmente de agrobiodiversidad, ruptura de las relaciones e interacciones entre plagas de cultivos y sus enemigos naturales, erosión y contaminación del suelo, contaminación de aguas, deforestación; todo lo cual, mina la sostenibilidad de la producción y vulnera la seguridad alimentaria de la familia rural. Es muy penoso ver grupos rurales adquiriendo en los mercados de los centros poblados, productos alimenticios (hortalizas, frutas, granos, plantas medicinales, plantas de condimento), que pueden y deben ser producidos en las fincas. Esto es la mejor prueba de que sus fincas no son verdaderos agroecosistemas, sino parcelas de monocultivo. El reto de la agricultura alternativa es construir agroecosistemas que sin dejar de ser productivos, simulen al máximo las características e interacciones de los ecosistemas, para garantizar la sostenibilidad de los mismos. La inclusión de árboles en los campos de cultivo o en las praderas, es decir la instalación de sistemas agroforestales es el mejor camino para construir agroecosistemas que funcionen biológicamente como un ecosistema, pero que son productivos y rentables como un agroecosistema.

## **2.2 Sistemas Agrícolas, versus Sistemas Forestales, versus Sistemas Agroforestales**

Los sistemas agrícola, forestal y agroforestal son agroecosistemas típicos, en los cuales se puede encontrar los elementos clásicos de un sistema: productores primarios (cultivos, árboles o pastos), consumidores (animales domésticos), entradas de insumos por intervención humana, otras entradas como, energía solar, agua y nutrimentos desde el sol y la atmósfera respectivamente y las salidas de productos o subproductos hacia consumidores y mercados. Sin embargo, es necesario una definición específica y

diferenciación para cada uno de estos sistemas, para encontrar puntos de convergencia, de interacción o divergencia, que permitan identificar opciones y recomendaciones para su mejor gestión y aprovechamiento.

Un sistema agrícola es aquel que representa típicamente a los agroecosistemas convencionales. Los productores primarios son cultivos o praderas o ambos. Estos sistemas son los más conflictivos y controversiales desde el punto de vista ambiental. Los agroecosistemas agrícolas están catalogados entre los más destructores de los recursos naturales, sobre todo aquellos cuya base productiva primaria son los cultivos anuales. La tendencia de los últimos 50 años en algunos países y continentes ha sido la eliminación de los ecosistemas forestales, para reemplazarlos con agroecosistemas agrícolas. De hecho, la expansión de la frontera agrícola, especialmente en los trópicos, se ha basado en el reemplazo de ecosistemas de bosques por sistemas agrícolas.

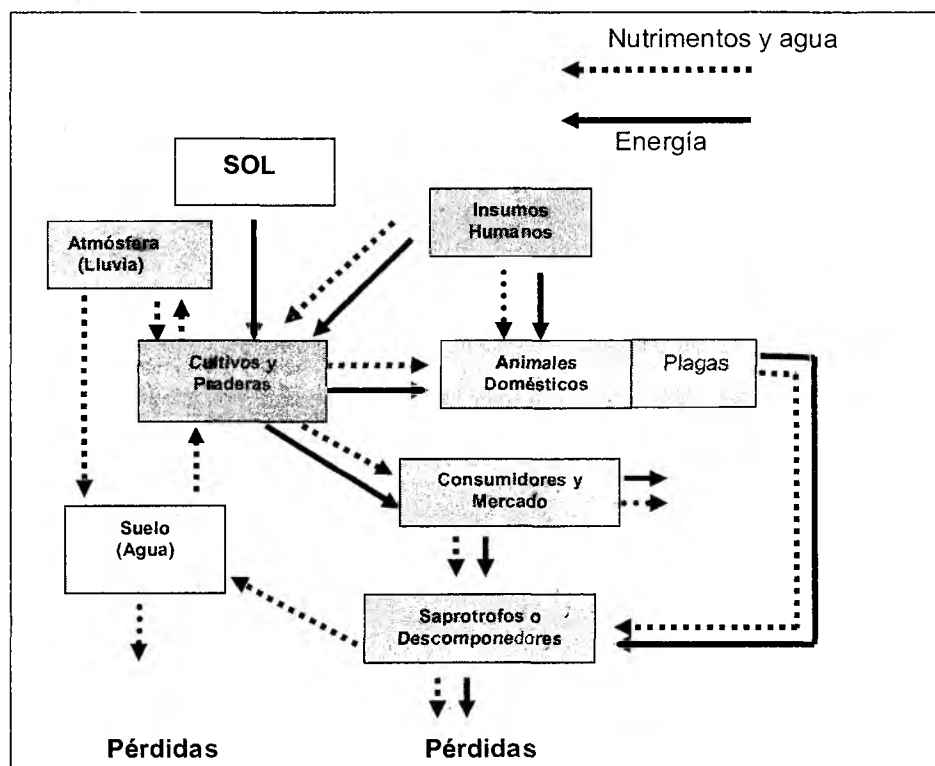


Figura 2.2 Representación esquemática de un agroecosistema, con sus componentes e interacciones. (Tomado y adaptado de Gliessman, 1998).



Un sistema forestal es aquel cuyos elementos productores primarios son especies forestales, arbóreas o arbustivas, se las puede encontrar en bosques naturales, los que serían clasificados como ecosistemas, cuando éstos no han sido intervenidos o el grado de intervención no ha causado efectos ni impactos significativos. Sin embargo un sistema forestal típico es una plantación forestal que podría ser un sistema diseñado para recuperar un área degradada, para reforestar un área deforestada o simplemente para dar una ocupación forestal al suelo. Generalmente, los sistemas forestales son manejados como opciones no prioritarias de uso del suelo. Después de descartar todas las opciones productivas posibles, se elige la forestación como alternativa productiva de uso del suelo.

Un sistema forestal es un sistema compatible con el ambiente o por lo menos más compatible que un sistema agrícola y sirve para proteger, restaurar suelos degradados o para ocupar suelos abandonados; pero carece de algunos elementos deseables en un agroecosistema, como es la diversidad, especialmente si trata de un sistema forestal plantado como monocultivo. La mayor dificultad para promocionar sistemas o plantaciones forestales es el tiempo requerido para recuperar el capital invertido y alcanzar beneficios económicos por la inversión. No es fácil encontrar propietarios de fundos que estén dispuestos a ocupar sus predios con sistemas forestales y esperar por lo menos 12 ó 15 años para recuperar su inversión. Esto, a pesar de que esperar 15 años parece atractivo en comparación de los 30 a 60 años que tiene que esperar un plantador forestal en países templados.

Por otro lado, en países con escasez de tierra cultivable y en donde prevalecen sistemas de producción de subsistencia, como es el caso de la Sierra de Ecuador, es difícil encontrar agricultores que estén dispuestos a cambiar la ocupación de su tierra de sistemas agrícolas a sistemas forestales. Entonces, la alternativa es la búsqueda de sistemas que siendo compatibles con los beneficios ecológicos de las plantaciones forestales, también sean capaces de proporcionar alimentos para la subsistencia de las familias rurales. Aparentemente, y por la información hasta ahora disponible, estos sistemas son los agroforestales.

Un sistema agroforestal es un conjunto o arreglo de componentes unidos e interrelacionados en forma tal que funcionan como una unidad integral de producción o un todo. Este, es un sistema cuyos productores primarios son árboles, arbustos y plantas anuales, todos en la misma parcela. Mediante el manejo de los sistemas agroforestales se busca que las relaciones de competitividad se minimicen y las relaciones de complementariedad o de sinergismo se potencien. En la Tabla 2.1, se presenta un análisis comparativo de los tres agroecosistemas, agrícola, forestal y agroforestal.

La agroforestería, por lo tanto, optimiza el uso de los recursos agua y suelo en la finca, y maximiza el aprovechamiento de la energía solar en comparación con sólo la agricultura o la forestación. Además, usa mejor el espacio y aprovecha las aguas subterráneas, todo lo cual, redundando en una mayor seguridad para el agricultor. Sin embargo, hay que indicar que el manejo de sistemas agroforestales, presenta ciertos inconvenientes o limitaciones, como se puede observar en la Tabla 2.1. El principal inconveniente reclamado a la agroforestería es la mayor demanda de mano de obra y esto, es una seria limitación en áreas o países con escasez de mano de obra; aunque al mismo tiempo, significa mayores posibilidades de empleo en áreas con desempleo rural. Además, un sistema agroforestal presenta dificultades para el laboreo mecanizado de los suelos, o para labores culturales mecanizadas como: deshierbas, controles fitosanitarios y cosecha; por lo que éste sistema dificulta la aplicación de tecnologías convencionales, especialmente aquellas que requieren labores mecanizadas.

### **2.3 Clasificación de los Sistemas Agroforestales**

Los sistemas agroforestales son muy diversos. La literatura está llena de información sobre la diversidad de sistemas agroforestales, especialmente en los trópicos (Montagnini *et al.*, 1992; Kass, *et al.*, 1997; Nair, 1993; Jiménez y Muschler, 2001). Los modelos de sistemas agroforestales en función de sus tres componentes principales (agrícola, forestal y animal) se presentan en la Figura 2.3. Se podría decir que el límite para proponer un arreglo agroforestal está en la mente del agricultor. Sin embargo, las tres principales categorías de sistemas agroforestales que han sido estudiadas, validadas y promocionadas en el mundo son las siguientes:

Tabla 2.1 Análisis de contraste entre agroecosistemas agrícolas, forestales y agroforestales.

Característica	Agroecosistema		
	Agrícola	Forestal	Agroforestal
Micro biodiversidad en el suelo	Baja	Media	Alta
Diversidad de fauna silvestre	Nula	Baja	Alta
Diversidad de flora	Baja	Baja	Alta
Favorece a la fauna benéfica	No	Si	Si
Promueve polinizadores	No	Si	Si
Mejora la fertilidad del suelo	No	Si	Si
Promueve el ciclo de nutrimentos	No	Si	Si
Favorece la erosión del suelo	Si	No	No
Optimiza el uso del suelo	No	Si	Si
Promueve relaciones de competencia	Si	No	Si
Promueve relaciones de Sinergismo	No	No	Si
Protege las fuentes de agua	No	Si	Si
Facilita el uso de agua subterránea	No	Si	Si
Mejora condiciones de micro clima	No	Si	Si
Disminuye el riesgo de ataque de plagas	No	Si	Si
Disminuye la acción destructora del viento	No	Si	Si
Promueve la captura de CO <sub>2</sub>	No	Si	Si
Mejora el entorno paisajístico	No	Si	Si
Facilita la división territorial	No	No	Si
Demanda de insumos extra finca	Alta	Baja	Baja
Facilita labores mecanizadas	Si	No	No
Grado de ocupación mano de obra	Alto	Bajo	Alto
Demanda de tecnología extra finca	Alta	Baja	Baja
Sistema productivo multipropósito	No	No	Si
Diversifica la producción de alimentos	No	No	Si
Es rentable a corto plazo	Si	No	No
Es rentable a largo plazo	No	Si	Si
Facilita la equidad de género	No	No	Si
Favorece la seguridad alimentaria	No	No	Si
Incrementa el valor del predio	No	Si	Si
Es sustentable en uso de Recursos Naturales	No	Si	Si
Sostenibilidad del Sistema	Nula	Media	Alta

- a) **Sistemas agroforestales secuenciales**, son aquellos relacionados cronológicamente entre las cosechas de cultivos anuales y la producción del componente arbóreo. Ejemplo, los sistemas migratorios, en donde se desbroza un área de bosque, se siembra uno o dos ciclos de cultivo anual y luego se deja que se recupere el bosque. Este sistema es una práctica muy común de producción en la Amazonía de Ecuador. Los sistemas conocidos como Taungya, que consisten en ocupar áreas recién plantadas con bosques en la producción de cultivos anuales, mientras el crecimiento del bosque lo permita, son también sistemas secuenciales. Los sistemas conocidos como cultivos en callejones, se ubican en esta categoría, en los cuales se explota el bosque y se plantan cultivos anuales en franjas alternadas, dejando espacios equivalentes de bosque intacto, lo que permitirá acelerar la repoblación del bosque cuando los cultivos anuales se retiren.
- b) **Sistemas agroforestales simultáneos**, que consisten en la plantación simultánea en la misma parcela especies perennes y especies anuales (cultivos o forrajes), e incluye la combinación con la cría y producción de animales. La combinación simultánea también puede ser entre especies perennes (árboles con arbustos, árboles maderables con frutales perennes o árboles con cultivos perennes). Sistemas agroforestales de este tipo son muy comunes en la costa ecuatoriana. Ejemplo los sistemas de sombra de café o cacao o los sistemas de pimienta o pitajaya, en tutores vivos. Los sistemas silvopastoriles, en los cuales tanto la especie arbórea como la forrajera son perennes y plantados simultáneamente, también pertenecen a esta categoría.
- c) **Sistemas agroforestales complementarios**, que consisten en plantaciones de especies arbóreas en hileras de protección (cercas vivas), barreras rompevientos, cordones de protección de canales de agua, cinturones buffer para mitigar el efecto de contaminación de arroyos, quebradas, lagos u otras fuentes de agua, o cualquier otro sistema que permita el uso combinado de especies arbóreas, arbustivas, cultivos, o pastos, en la misma parcela. Para algunos autores éstos no son considerados como sistemas agroforestales, sin embargo son los más utilizados, especialmente en áreas de minifundio o de escasez de tierra.

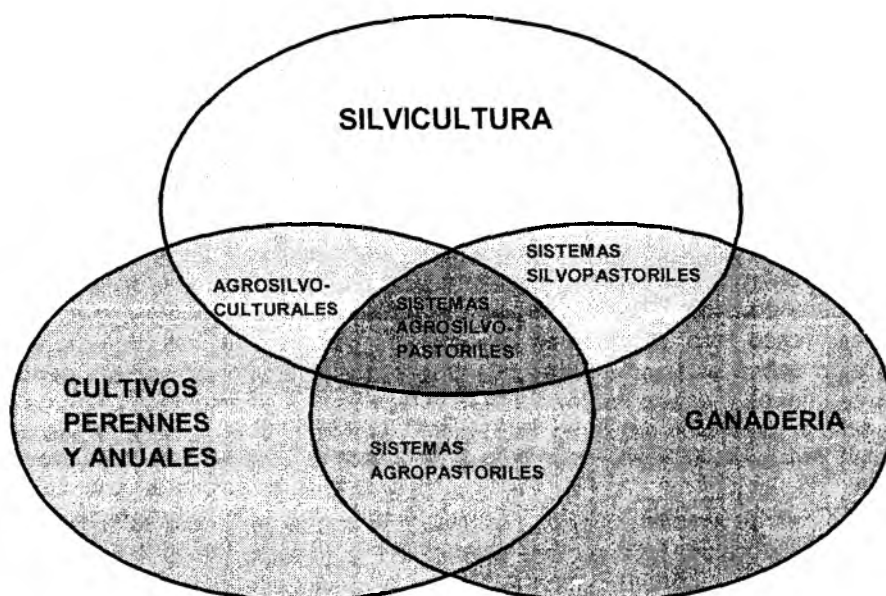


Figura 2.3 Modelos de Sistemas Agroforestales en función de sus componentes principales.

## 2.4 Descripción de algunos Sistemas Agroforestales, aplicables en la Sierra de Ecuador

Dentro de las tantas formas de clasificar a los SAF's, se encuentra una muy usual, que se refiere a la clasificación por su uso o aplicación. Muchos de los sistemas aplicables a las condiciones de la Sierra de Ecuador, se encuentran dentro de las siguientes categorías:

### 2.4.1 Sistemas agroforestales, propiamente dichos

Estos corresponden a aquellos en los que prevalecen las combinaciones o arreglos espaciales de árbol-cultivo o de árbol-arbusto-cultivo. Ejemplo, un SAF

en callejones, que permite optimizar la producción de cultivos alimenticios y la de otros bienes útiles, a partir del componente forestal.

La modalidad de cultivo en callejones es muy aplicable para las condiciones de suelos de ladera de la Sierra de Ecuador. De hecho existen múltiples experiencias de plantaciones en callejones en la Sierra, aunque la mayoría de ellas no están documentadas. Los términos utilizados para describir los cultivos en callejones son: cultivo entre hileras, intercultivo de setos, cultivo en avenidas, agricultura de hileras en contorno (cuando las hileras son plantadas a lo largo de los contornos para controlar la erosión del suelo en las laderas) (Carter, 1997; Jiménez, 2001). De todas maneras, un **sistema en callejones**, es la siembra de cultivos anuales en los espacios o callejones entre hileras de especies leñosas (arbóreas o arbustivas), generalmente de crecimiento rápido y fijadores de nitrógeno, que son podados periódicamente durante la fase inicial del ciclo para evitar exceso de sombra ó la competencia radicular con los cultivos asociados, y para incorporar el follaje podado al suelo o usarlo como forraje fresco para animales en la finca. Los árboles o arbustos que forman el callejón deben estar orientados de manera que minimicen la sombra dentro de los callejones o deben estar en líneas verticales a la pendiente en laderas para minimizar la erosión del suelo, ver Foto 3. (Montagnini *et al.*, 1992; Kass, *et al.*, 1997; Jiménez y Muschler, 2001).

Las hileras de árboles, cuando se ubican en zonas de ladera permiten formar terrazas naturales. Esta es una práctica de gran importancia en el manejo y restauración de cuencas degradadas, en las cuales el suelo es el recurso base que más limita la producción (Jiménez, 2001). Sin embargo, el uso de cultivos en callejones se basa en el principio de que es posible obtener un uso productivo y sostenido de la tierra, cuando los métodos de conservación y rehabilitación son introducidos antes de que se produzca degradación seria de los recursos (Montagnini *et al.*, 1992).

Entre las especies recomendadas para sistemas agroforestales se encuentran los árboles o arbustos fijadores de nitrógeno, para mejorar la fertilidad del suelo y disminuir el uso de abonos químicos. Las características deseables de las especies a utilizarse son las siguientes: fácil establecimiento, crecimiento rápido, buena producción de follaje, capacidad de rebrote, resistencia a podas periódicas, que proporcionen otros productos: leña, forraje, etc. (Herrera, *et al.*, 1993).

Según Kass, *et al.*, (1997), el cultivo en callejones tendría más posibilidades de éxito y ofrecería mayores ventajas a los usuarios en las siguientes situaciones: suelos fértiles sin limitantes de nutrimentos, áreas de pendiente con peligro de erosión, cantidades de lluvia adecuadas durante el período de cultivo, alta disponibilidad de mano de obra y una baja disponibilidad de recursos

financieros. Posiblemente, no todos los agricultores tendrían las condiciones mencionadas. Sin embargo, de que existen algunas consideraciones que limitan el uso de los cultivos en callejones, se pueden realizar modificaciones en algunos componentes del sistema para aumentar su productividad, sostenibilidad y hacerlo más atractivo.

#### 2.4.2 Sistemas agroforestales protectores

Estos son arreglos con doble propósito, proteger a otros cultivos, huertos caseros, viviendas, hatos de ganado, cuerpos de agua, y producir bienes complementarios para el productor como: forraje, frutas, leña, fibra, etc. Existe una serie de sistemas o arreglos agroforestales, que tienen la categoría de protectores. Ejemplo, aquellos que protegen contra ruido, polvo, contaminación de aguas, o incluso contra invasión de personas o animales (Esta última categoría se superpone con la categoría de cercas vivas). Un ejemplo típico de estos sistemas son las **barreras rompevientos**.

#### 2.4.3 Sistemas agroforestales como bancos forrajeros

Los bancos forrajeros son arreglos espaciales de árboles y arbustos, y que cumplen dos condiciones: i) son especies que facilitan la optimización de la productividad de biomasa por unidad de superficie y tiempo, y ii) son especies de alto valor nutritivo. Aunque existen una infinidad de especies aptas para formar estos arreglos de bancos o reservas forrajeras, sobresalen los géneros y especies dentro de tres familias botánicas: Moráceas, Leguminosas y Malváceas. De esta forma, un *Banco forrajero*, es un sistema de cultivo en el cual las leñosas perennes o forrajeras herbáceas se siembran en bloques compactos con alta densidad, con el propósito de maximizar la producción de Biomasa de alta calidad nutritiva para los animales (Pezo e Ibrahim, 1999).

Los bancos forrajeros, a su vez, se pueden clasificar en varias categorías, dentro de las que sobresalen las siguientes: i) **Banco de proteína**, es la siembra de especies de árboles y arbustos ó herbáceas con follaje de alto contenido proteico (más de 15 % de proteína cruda), dispuestos en arreglos de altas densidades de plantas por unidad de superficie, que pueden ser cosechados y llevado a los animales en un sistema de corte y acarreo o a su vez, ser pastoreados directamente, por lo general, en cortos períodos durante el día, ii). **Banco energético**, es la siembra de especies con altos niveles de energía digerible (más de 70 % de digestibilidad), iii) **Banco energético-proteico**, es la siembra de especies con los dos requisitos anteriores, ejemplo, gramíneas y leguminosas juntas. En la Tabla 2.2, se presenta un resumen de las especies recomendadas para sistemas agroforestales bajo la modalidad de bancos forrajeros.

Tabla 2.2 Principales especies usadas en los bancos forrajeros (Tomado y adaptado de: Camero, 1994; Oviedo et al., 1994; Valerio, 1994 y Pezo e Ibrahim, 1999).

Nombre común	Nombre científico	Tipo de especie	Forma de siembra	Tipo de banco
Poró gigante	<i>Erythrina Poepigiana</i>	Arbol	Estacas	Proteína
Poró enano	<i>E. Berteroana</i>	Arbol	Estacas	Proteína
Poró blanco	E. Fusca	Arbol	Estacas	Proteína
Madero negro	<i>Gliricidia sepium</i>	Arbol	Estacas	Proteína
Clavelón	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	Arbusto	Seudo-estacas	Proteína
Amapola	<i>Malvaviscus arboreus</i>	Arbusto	Seudo-estacas	Proteína
Calliandra	<i>Calliandra calothyrsus</i>	Arbusto	Semilla	Proteína
Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>	Arbusto	Semilla	Proteína
Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Arbol	Semilla, plántulas	Proteína
Cratylia	<i>Cratylia argentea</i>	Arbusto	Semilla, plántulas	Proteína
Ojoche o ramón	<i>Brosimum alicastrum</i>	Arbol	Semilla, plántulas	Proteína
Morera	<i>Morus spp.</i>	Arbusto	Seudo-estacas	Energético proteico
Nacedero	<i>Trichantera gigantea</i>	Arbusto	Seudo-estacas	Energético proteico
Sauco	<i>Sambucus mexicana</i>	Arbusto	Tallos maduros	Proteína
King grass	<i>Panicum purpureum</i>	Pasto	Tallos maduros	Energético
Pasto guinea	<i>Panicum maximum</i>	Pasto	Tallos maduros	Energético
Pasto jaragua	<i>Hyparrhenia rufa</i>	Pasto	Tallos maduros	Proteína
Pasto estrella	<i>Cynodón spp.</i>	Pasto	Tallos maduros	Proteína
Sorgo forrajero	<i>Sorghum vulgare</i>	Pasto	Tallos maduros	Proteína

#### 2.4.4 Sistemas silvopastoriles

Estos corresponden a aquellas opciones de producción pecuaria que involucran la presencia de leñosas perennes (árboles y arbustos), interactuando en el mismo sitio y tiempo con las plantas forrajeras tradicionales, en un sistema de manejo integral de producción ganadera. Dentro de la categoría de sistemas agroforestales, interactúan por lo menos tres componentes: el árbol, el pasto y el animal, todos bajo la gestión y decisiones del ganadero. Por lo tanto, las preguntas que se deben hacer para propiciar un manejo sustentable de estos sistemas son: ¿cuáles son los efectos de los árboles sobre el pasto, sobre los animales y por ende sobre los ingresos del ganadero? y ¿Cuáles son los efectos de los animales sobre los demás componentes? (Borel, 1999; Pezo e Ibrahim, 1999). De las respuestas a estas preguntas se pueden definir las mejores combinaciones de los componentes y las mejores opciones de manejo de los sistemas silvopastoriles. Hay que considerar que una de las razones para plantar sistemas silvopastoriles, en lugar de solamente praderas es que estos permiten aprovechar en forma intensiva el suelo y al mismo tiempo permiten su



conservación. Sin embargo, los objetivos específicos de un sistema silvopastoril son los siguientes: (Russo, 1994; Gómez *et al.*, 1995; Pezo, *et al.*, 1999):

- Incrementar la productividad de las pasturas y por ende el rendimiento animal y el beneficio neto del sistema en el largo plazo.
- Diversificar las actividades productivas de la finca, el uso de mano de obra y la naturaleza de los productos del sistema.
- Reducir el riesgo económico a través de la diversificación de salidas del sistema (Ejemplo, frutas, alimentos de origen animal, madera, leña, postes y forrajes, sin disminuir la producción de pasto).
- Mejorar la fertilidad del suelo por el incremento de materia orgánica y minerales a través de la utilización de árboles fijadores de nitrógeno y de propósito múltiple que favorecen la disponibilidad de nutrimentos para las plantas asociadas.
- Contribuir al mantenimiento de la biodiversidad local y asegurar la sostenibilidad del uso de la tierra.
- Conservar praderas de buena calidad en épocas críticas por el efecto del microclima y la protección generada por los árboles.
- Atenuar los efectos perjudiciales del estrés climático sobre las plantas y los animales por acción del sol, viento, lluvia y minimizar la pérdida de suelo por escorrentía.

## **2.5 Interacciones eco-biológicas como base del funcionamiento de los SAF's**

Las relaciones eco-biológicas, denominadas también coacciones, son las interacciones entre los organismos vivos o componentes de los ecosistemas y agroecosistemas (Montalvo, 1982). Las interacciones de los componentes se refieren a la influencia de un componente del sistema sobre el desempeño de los otros componentes así como también en el sistema como un todo y estas interacciones de los componentes son una herramienta potencialmente valiosa para el manejo de un sistema agroforestal (Reinhold, 1999).

Ninguna especie o componente del agroecosistema es independiente de otros. Los productores, consumidores y desintegradores en una comunidad interactúan de diversas maneras, y cada uno establece asociaciones con otros organismos, para sobrevivir o dar paso al funcionamiento de un proceso interno (Solomon *et al.*, 1999). Los sistemas en los que se aprovecha una sola especie,

son inestables, pues cuando están bajo estrés son vulnerables a competencia, enfermedad, parasitismo, depredación u otras interacciones negativas (Odum, 1991). Esto indica que cuando un sistema de producción es simple, ejemplo una parcela de cultivo, sembrada en monocultivo, las relaciones eco-biológicas se minimizan o desaparecen, pero a medida que un agroecosistema se vuelve complejo, como es el caso de una parcela con cultivos asociados o de un sistema agroforestal, las relaciones eco-biológicas ya sean positivas o negativas se proliferan. Esto es explicable, porque a medida que los sistemas se vuelven complejos es porque más componentes forman parte del sistema e interactúan entre sí, para cumplir procesos o para dar resultados.

Dentro del estudio de los agroecosistemas, uno de los aspectos más importantes es establecer y caracterizar a las relaciones eco-biológicas o interacciones entre sus componentes, para intervenir y favorecer a aquellas cuyos resultados son positivos para incrementar la productividad o para la conservación de los recursos y, para evitar o minimizar aquellas interacciones deletéreas, o que afectan a los componentes y al funcionamiento del agroecosistema. Una versión resumida de las características y funcionalidad de algunas interacciones eco-biológicas que se pueden identificar en los SAF's, se describe a continuación:

**Sinergismo.**- Es una interacción donde los efectos netos son positivos para ambas especies (Reinhold, 1999). En el sinergismo, la adición de un factor puede hacer a otro más eficiente. Por ejemplo, si se adiciona nitrógeno a un cultivo, se produce más materia seca por agua transpirada. Esto puede ser debido a la influencia que el nitrógeno tiene sobre el crecimiento de las raíces o sobre la formación de más área foliar (Bertsch, 1998).

**Antagonismo.**- Se entiende por antagonismo la inhibición que ejerce un organismo en el desarrollo de otro (Jauch, 1985). En este caso, la adición de un factor tiene un efecto directo supresor o antagónico sobre otro factor. Una mayor intensidad de luz proporciona un aumento en la temperatura y esto a su vez causa, o puede causar, una menor eficiencia en el uso de agua (Bertsch, 1998). Una especie arbórea que tiene raíces superficiales y expansivas es antagónica con casi cualquier cultivo porque produce una competencia por agua y nutrimentos en la capa superficial, justamente donde se encuentran las raíces de los cultivos.

**Simbiosis.**- Es una coacción en la que ambos organismos participantes se nutren ventajosamente entre sí. Esta puede ser disyuntiva o conjuntiva según el grado de unión de los organismos participantes. En el primer caso los participantes están separados mientras dura la relación simbiótica, ejemplo: las relaciones ecológicas de las plantas que forman una comunidad, las agrupaciones voluntarias de animales y las relaciones habitacionales entre

plantas y animales son del tipo de simbiosis disyuntiva. En el segundo caso, existe convivencia íntima y los componentes simbiotes no pueden ser separados sin que se produzcan daños a uno o ambos. Ejemplo, las bacterias nitrificantes del género *Rhizobium*, viviendo en las nodulaciones que presentan las raíces de las leguminosas y que tienen por función la fijación de nitrógeno atmosférico, y ponen disponible para la planta mientras que las plantas proveen a las bacterias sustancias nutritivas y agua (Montalvo, 1982).

**Depredación.**- Aquí, una población (el depredador) afecta a la otra (la presa) por ataque directo, pero a la vez depende de ella. En este caso el predador (organismo o población fuerte) daña a la presa (organismo o población débil). Ejemplo, la relación animal "carnívoro-presa". El sobre pastoreo o el pastoreo selectivo, que se producen cuando los animales consumen intensamente determinadas especies forrajeras, se clasifica también como depredación. La depredación y el parasitismo son ejemplos comunes de interacción entre dos poblaciones que da por resultado efectos negativos sobre el crecimiento y la supervivencia de una población, mientras que la otra goza de efectos benéficos (Odum, 1991; Montalvo, 1982).

**Parasitismo.**- Es una coacción que se produce cuando el organismo débil (el parásito) se beneficia y el fuerte (el huésped) se perjudica. Ejemplos son las enfermedades o daño directo causado al huésped por insectos en las plantas. Otro ejemplo de parasitismo, son las plantas epifitas, como las orquídeas del trópico, algunas especies del género *Ficus*, o de la familia *Bromeliaceas*, que viven sobre otros vegetales utilizándolos como soportes (Montalvo, 1982). Otro caso es la presencia de piojos, garrapatas o pulgas como parásitos de animales de sangre caliente, incluyendo la especie humana.

**Alelopatía.**- Es el efecto detrimental, que se produce entre plantas superiores, a través de la producción de sustancias químicas retardantes o inhibidores del crecimiento, que son dispersadas en el micro ambiente por la planta alelopática. Cuando una población produce una sustancia dañina para otra población con la cual compite, por espacio o nutrientes del suelo suele denominarse alelopatía. El término viene de *allelos* = uno y otro, y *pathos* = sufrimiento. (Odum, 1991; Montalvo, 1982).

**Competencia.**- La competencia en un sentido amplio, se refiere a la interacción de dos organismos que tratan de obtener el mismo recurso. La competencia interespecífica es cualquier interacción que afecte adversamente el crecimiento y supervivencia de dos o más poblaciones de distintas especies. Puede tener dos formas: i) Competencia del tipo de interferencia directa, que es inhibición directa de una especie por la otra y ii) Competencia del tipo de uso de recursos, que es una inhibición indirecta por escasez de un recurso común. Según Odum, (1991), la tendencia de la competencia hacia la separación de especies

muy estrechamente emparentadas, o similares, se conoce como principio de la exclusión competitiva. Esta es la interacción más común en los sistemas agroforestales. Generalmente, la competencia entre árbol-cultivo o entre árbol-pasto son argumentadas como las principales limitaciones que impiden un desarrollo armónico de la agroforestría.

**Comensalismo.-** Esta es una interacción en el que una población (el comensal) se beneficia y la otra (el huésped) no es afectada. Esta se presenta cuando el organismo débil se ayuda por el fuerte sin sufrir este último ningún deterioro. Un ejemplo es la zoodispersión de semillas por medio de la lana o el pelaje de los animales; otro ejemplo es los animales pequeños que se benefician al vivir bajo un árbol grande. Algunas bacterias inofensivas que viven en el intestino de los animales reciben el beneficio de la protección y alimento y el animal no gana ni pierde nada (Montalvo, 1982). El comensalismo representa un tipo simple de interacción positiva y, quizá, es el primer paso hacia el desarrollo de relaciones benéficas (Odum, 1991).

Vale la pena hacer hincapié en tres principios basados en estas categorías de coacciones: i) Las interacciones negativas tienden a predominar en las comunidades pioneras o en condiciones perturbadas, ii) Durante la evolución y desarrollo de los ecosistemas y agroecosistemas, las interacciones negativas tienden a reducirse al mínimo en favor de coacciones positivas que incrementan las posibilidades de supervivencia de las especies interactuantes y iii) Es más probable que las asociaciones recientes o nuevas presenten coacciones negativas severas, que las asociaciones con cierta edad (Odum, 1991). De acuerdo a esto, un sistema agroforestal, plantado en una área altamente perturbada o degradada, seguiría esta misma secuencia de desarrollo de interacciones; al comienzo habrán (como efectivamente las hay) muchas interacciones negativas o competitivas, pero cuando el sistema ha madurado, habrá recuperado las interacciones positivas y el sistema como tal, será productivo y sostenible.



**Foto 3.** Intervención del ecosistema páramo con parcelas paralelas a la pendiente, sobresale un sistema agroforestal que garantiza la conservación del suelo.

## Capítulo III

### La economía de los Sistemas Agroforestales

Las consideraciones de orden económico y financiero sobre la gestión de Sistemas Agroforestales (SAF's), deberían tener alta prioridad, ya que determinan en última instancia la factibilidad de aplicación de una propuesta agroforestal para el dueño de la tierra. Sin embargo, este aspecto está entre los menos estudiados. La mayoría de investigadores y promotores de SAF's, se han concentrado en los aspectos biológicos, agronómicos y de gestión, tendientes a incrementar la productividad. Pocos investigadores han puesto atención a procesos de cuantificación y valoración económica de los productos de la agroforestería (forraje, leña, frutos, madera, materia orgánica, bienes no tangibles, etc.), como tampoco se ha puesto atención a los costos de instalación, mantenimiento y remoción de los sistemas agroforestales. (Nair, 1993; Rule y Szymansky, 1995) La falta de información económica-financiera es todavía más seria para sistemas instalados en condiciones de finca. Muchas instituciones y proyectos han promovido e instalado agroecosistemas alternativos y proyectos agroforestales muy exitosos, pero no han cuantificado sus costos ni beneficios y en algunos casos ni siquiera han documentado sus resultados. La evaluación y cuantificación de los costos y beneficios de los SAF's, no solamente ayuda al propietario de la tierra a tomar decisiones acertadas, sino que facilita la promoción y difusión de los resultados en otros ámbitos geográficos y con otras comunidades.

Se considera importante que los investigadores o promotores de SAF's, tengan un conocimiento mínimo sobre los procedimientos metodológicos básicos que permiten un análisis económico y financiero de los resultados de los SAF's o agroecosistemas alternativos instalados en campos experimentales o en fincas. Las herramientas metodológicas disponibles se pueden dividir en dos grupos: i) Metodologías convencionales u ortodoxas que son recomendadas y utilizadas por lo general para análisis económico financiero *ex ante*; es decir, antes de instalar los proyectos. Entre las más importantes están las siguientes: Relación Beneficio-Costo (B/C), Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Análisis de Sensibilidad, ii) Metodologías no convencionales, las cuales mas bien son modelos, matrices o índices, que permiten la toma de decisiones con un enfoque mas apegado a la lógica del productor, antes que al análisis económico o financiero por si mismo. Entre estas sobresalen las siguientes: Índice Equivalente Tierra (IET), método "Con y Sin", denominado también análisis de "Presencia y Ausencia", costo de oportunidad de la mano de obra, valoración de los beneficios intangibles y matriz de valoración de costos e ingresos.

### **3.1 Métodos tradicionales de valoración económica y financiera, aplicables a la evaluación de SAF's**

Antes de proceder a describir los métodos de evaluación económica o financiera, es conveniente diferenciar la terminología de **Análisis económico y**

**Análisis financiero.** El análisis financiero examina la factibilidad de inversión de un proyecto desde el punto de vista individual de un productor o empresario, mientras que el análisis económico se concentra en la factibilidad de la inversión desde una perspectiva de la comunidad o de la sociedad como un todo (Nair, 1993; Droms, 1990). Ejemplo, un proyecto puede ser muy atractivo desde la óptica financiera de un granjero, porque su proceso productivo utilizará insumos que en ese momento tienen subsidio del Gobierno, pero ese mismo proyecto no será tan atractivo desde el punto de vista económico, ya que necesariamente tendrá que tener en cuenta en su tabla de costos el valor de subsidio que paga la comunidad, a través del Gobierno. Varias otras situaciones de orden práctico pueden explicar las diferencias entre los dos enfoques. Por ejemplo, programas de reforestación o agroforestales en los cuales desde la óptica financiera del granjero no se consideran el valor de las plantas y del transporte, porque algún gobierno local u organización de apoyo comunitario subsidia. Pero cuando se pretende hacer el análisis de factibilidad desde la conveniencia de la comunidad o sociedad, necesariamente deberá considerarse los costos de las plantas y los costos del transporte hasta el sitio.

**Valor Presente Neto.-** Es un índice que permite evaluar la viabilidad económica de un proyecto (sistema agroforestal). Para calcular el Valor Presente Neto (VPN) se procede primero a determinar todos los beneficios y costos anuales durante el ciclo de vida esperado del proyecto. A estos valores se les descuenta aplicando la tasa de descuento convenida y se obtiene la sumatoria de los valores de todos los años, como un indicador de la viabilidad del proyecto durante el tiempo estimado para su funcionamiento. La fórmula de cálculo es la siguiente:

$$VPN = \sum (B_t - C_t) / (1+r)^t$$

Donde:

B = Beneficios en el año t

C = Costos en el año t

r = Tasa de descuento aplicada

Cuando el VPN es superior a cero, se trata de un proyecto o actividad económicamente viable, ya que significa que los beneficios a largo plazo excederán a los costos a largo plazo. Una precaución a tomarse en cuenta con este índice es que no proporciona una idea sobre los requerimientos de inversión, es decir no se conoce el tamaño del proyecto. Se dan casos en que un proyecto es escogido por presentar un valor de VPN ligeramente superior al deseado, pero si los costos de inversión son inferiores para el proyecto deseado, la decisión quizá no es la más acertada.

Ejemplo, en la Tabla 3.1, se presentan los cálculos de VPN para cinco alternativas productivas, incluidos algunos SAF's, calculados sobre un período



de 76 años en el futuro. En primer lugar está claro que a juzgar por el indicador VPN, las opciones de: nogal-trébol-maíz-soya y la rotación trébol-maíz-soya, en manejo convencional, son las más viables y por lo tanto serían las recomendadas. Dentro de las dos, la opción de solamente cultivos, parece la más recomendada, pero si los costos (especialmente los de operación), de la primera fueran sustancialmente más bajos, aunque su VPN es inferior, es preferible escoger el sistema nogal-trébol-maíz-soya. Esto es especialmente cierto si los sistemas son opciones para agricultores de subsistencia, en los cuales la capacidad de inversión es muy limitada. Por otro lado, este índice señala que las opciones de nogal en monocultivo no son recomendadas, ya que probablemente proporcionan un VPN tan bajo que ni siquiera alcanzan a cubrir el valor de oportunidad del dinero. Esto podría ser una demostración de la razón por la cual los productores se niegan a plantar árboles como bosquetes en sus fincas.

Otro inconveniente es que el VPN, se presta para cierto nivel de manipulación, debido a que se puede variar la tasa de descuento aplicada, en función de favorecer o afectar ciertos proyectos o alternativas. Para evitar esto, se recomienda trabajar con la tasa activa vigente en el mercado financiero local. En todo caso, el VPN es un índice muy recomendado para análisis *ex ante*, es decir antes de iniciar la instalación de los proyectos y de hecho, es un índice que permite discriminar las opciones de proyectos (Droms, 1990; Nair, 1993).

Tabla 3.1 Valor Presente Neto y Relación Beneficio/Costo, para cinco alternativas productivas, calculados con una tasa de descuento del 4% a un ciclo de vida del proyecto de 76 años, para la reservación indígena Winnebago, Nebraska, (Tomado de Rule y Szymansky, 1995).

Sistema productivo	VPN (USD)	B/C
Nogal con: trébol, maíz y soya en rotación	715.650	2,44
Rotación trébol-maíz-soya manejo convencional	1'765.884	2,76
Nogal en monocultivo con remoción del suelo	23.340	0,82
Nogal en monocultivo con uso de herbicidas	30.711	0,82
Rotación maíz-soya, con alto uso de insumos	127.113	1,46
Valor de oportunidad del dinero	98.000	-

**Tasa Interna de Retorno.**- Es un indicador de la tasa de retorno que un proyecto puede pagar, luego de cubrir las inversiones y costos de operación. En otras palabras, la Tasa Interna de Retorno (TIR), determina el poder de retorno del dinero invertido en cualquier proyecto. La fórmula de cálculo es la siguiente

$$TIR = \sum (B_t - C_t) / (1 + p)^t = 0$$

Donde:

B = Beneficios alcanzados en el año t

C = Los costos incurridos en el año t

p = La tasa interna de retorno aplicada

Si la TIR de un proyecto excede el costo de oportunidad del capital entonces el proyecto es técnicamente recomendado. El valor referencial para decidir la instalación de un proyecto debe ser la tasa activa del mercado financiero local o nacional. Es decir, si la TIR calculada para el proyecto supera la tasa de interés (que sería el costo de oportunidad del dinero), entonces se recomienda instalar el proyecto. Obviamente mientras más alta es la TIR, menor riesgo de fracaso existe; entonces cuando se compara entre varias alternativas se aconseja escoger a aquellos proyectos con los valores de TIR más altos.

La ventaja de usar la TIR como indicador económico o financiero es que éste no depende de ningún valor preestablecido de tasa de descuento; pero la TIR pierde su validez como indicador de evaluación cuando hay variaciones de costos y beneficios durante el ciclo de vida del proyecto. Este podría ser el caso de los proyectos agroforestales. De todas formas, es un índice aplicable para discriminar opciones agroforestales a nivel de finca o comunidad, y de hecho, es uno de los índices preferidos por los organismos financieros (Droms, 1990; Nair, 1993; Calvo y Gomez, 2000).

**Análisis de Costo Beneficio.-** Llamado también la relación Beneficio/Costo, es un indicador que relaciona flujos de beneficios y costos actualizados, en una forma relativa, por lo tanto, se utiliza para saber cual es el peso relativo de los beneficios de una actividad productiva, con respecto a sus costos; para cuyo cálculo se debe identificar y cuantificar todos los efectos producidos por el sistema agroforestal o Agroecosistema a evaluarse. Luego se debe categorizar esos efectos en términos de costos y beneficios. Si la actividad es a largo plazo, esta categorización se puede hacer para cada año en el futuro por separado. Se procede a calcular el VPN, tanto de los costos como de los beneficios, antes de aplicar el cálculo de B/C. La fórmula de cálculo es la siguiente:

$$B/C = \text{Total Beneficios descontados} / \text{Total Costos descontados}$$

Ejemplo. Si el total de Beneficios descontados de un proyecto es USD 60.000 y el total de costos descontados en USD 40.000, se tiene que la relación B/C = 1,5. La interpretación de esta relación es: Si la relación es superior a 1, el proyecto proveerá un retorno neto positivo por unidad invertida, por lo tanto es recomendado; si ésta es igual a 1, indica que hay un equilibrio entre los ingresos y los costos, es decir que la actividad no deja ni ganancias ni

pérdidas, y en el caso de que la relación B/C sea menor a 1, el proyecto no dará un retorno positivo por unidad invertida y deberá ser rechazado.

Una ventaja de la relación B/C es su versatilidad para comparar proyectos de diferentes tamaños y características (Tabla 3.1), pero la desventaja es que al utilizar los valores de VPN para su cálculo, ésta depende de la tasa de descuento y por lo tanto puede dar lugar a obtener valores a conveniencia, con solamente cambiar la tasa de retorno. De la observación de la información de la Tabla 3.1, a juzgar por la relación B/C, se puede concluir que las combinaciones nogal-trébol-maíz-soya y la rotación trébol-maíz-soya, en manejo convencional, son las recomendadas; a pesar de que también la rotación maíz-soya con alto uso de insumos proveerá retornos positivos.

**Análisis de Sensibilidad.**- como se observa existe una alta dosis de incertidumbre alrededor de los elementos que componen los análisis anteriores. La incertidumbre se da con: los precios futuros de los insumos, los precios futuros de los productos, la selección de las tasas de descuento, y cuando se trabaja con proyectos como los SAF's, que están sujetos a muchas variables impredecibles como los cambios de precios por los gobiernos, entonces las incertidumbres se incrementan. Por estas consideraciones, se recomienda el análisis de sensibilidad, que es una herramienta que permite determinar cómo el análisis económico o financiero puede ser afectado si las variables y supuestos del proceso productivo cambian durante el ciclo de los proyectos.

Esta herramienta es una metodología analítica, con la que se puede medir los efectos de circunstancias que han sido variadas en forma deliberada. Se puede cambiar las cantidades, los precios de insumos, los precios de los productos, las tasas de retorno y otros. En cada caso, se vuelve a recalcular el índice escogido (ejemplo el VPN), manteniendo fijos los otros factores (Khan y Ehrenreich, 1993; Droms, 1990; Calvo y Gomez, 2000). Para ilustrar los resultados y la interpretación de esta herramienta metodológica, en la Tabla 3.2, se presentan los resultados del análisis de sensibilidad de dos sistemas productivos, yuca en monocultivo y yuca en un sistema agroforestal con eucalipto. De la observación de los resultados, se determina que la alternativa agroforestal es más atractiva que la de monocultivo, para las diferentes alternativas de tasas de descuento; pero además, dentro de la propuesta agroforestal, no se encuentra cambios sustanciales del VPN, como influencia de las tasas de retorno.

Tabla 3.2 Resultados del análisis de sensibilidad para dos alternativas de producción en fincas, en la cuenca de Phu Wiang, Tailandia. Se utilizó el VPN, calculado en moneda local, a tasas de descuento variables, para un período de tres años. (Tomado de Wannawong *et al.*, 1991).

Sistema productivo	Tasas de descuento				
	5%	7%	8%	9%	11%
Yuca en monocultivo	3009	2872	2807	2744	2624
Eucalipto-yuca	4229	4052	3968	3887	3771

### 3.2 Métodos no tradicionales de análisis económico aplicables a la evaluación de SAF's

#### 3.2.1 Índice Equivalente Tierra

Este es un procedimiento que permite discriminar las opciones de uso del suelo, mediante la evaluación en términos relativos de los ingresos de diferentes alternativas de uso del mismo, que podrían ser asociaciones de cultivo o sistemas agroforestales (Calvo y Gomez, 2000). El procedimiento de cálculo es el siguiente:

- a) Determinar los rendimientos agronómicos de las partes aprovechables de los diferentes componentes del sistema (por ejemplo componentes de un SAF), incluyendo el rendimiento del sistema control, es decir, la parcela en monocultivo o la parcela sin la influencia de árboles.
- b) Se calcula la suma algebraica de los cuocientes de dividir el rendimiento en SAF o cultivo asociado, para el rendimiento en la parcela control, por cada componente.
- c) La interpretación del resultado es como sigue:
  1. Si la sumatoria es mayor que 1, significa que existe una interacción de complementariedad entre los componentes del sistema agroforestal o cultivo asociado. Por lo tanto, el productor debería estar seguro de tomar la decisión de implementar esa opción de uso del suelo.
  2. Si la sumatoria es menor que 1, significa que existe una interacción de competencia entre los componentes del sistema agroforestal o cultivo asociado. Por lo tanto, el agricultor debería rechazar la propuesta y buscar otras opciones.
  3. Si la sumatoria es igual a 1, significa que existe una interacción de indiferencia entre los componentes del sistema agroforestal o cultivo asociado, es decir, que el agricultor podría seguir con la opción control (monocultivo), ya que el sistema propuesto no le reporta ninguna ventaja de ingreso por rendimiento.

Este índice (IET), también sirve para evaluar la Sostenibilidad de los SAF's, a través de calcular las tendencias de los IET, en el tiempo. En la Tabla 3.3, se presenta un ejemplo de aplicación del IET y de la interpretación de sus resultados.

Tabla 3.3 Procedimiento de cálculo y resultados del IET, para una asociación de cultivos, en comparación con el rendimiento de sus monocultivos respectivos.

Cultivo	Rendimiento en monocultivo	Rendimiento en asociación	IET
Forrajera	11,0 t ha <sup>-1</sup>	5,0 t ha <sup>-1</sup>	IET = $\frac{5+11}{1,5+3,6} + \frac{3,8+7,5}{3,8+7,5} = 1,38$
Maíz	3,6 t ha <sup>-1</sup>	1,5 t ha <sup>-1</sup>	
Yuca	7,5 t ha <sup>-1</sup>	3,8 t ha <sup>-1</sup>	

Un IET de 1,38 significa que la asociación maíz-yuca-planta forrajera es funcional y viable, ya que sus componentes presentan una interacción complementaria entre si. La decisión del productor de trabajar con esta asociación se sustenta en que para obtener el mismo rendimiento alcanzado en una hectárea con la asociación de cultivos, debería cultivar por lo menos 1,38 ha. con las opciones de monocultivo.

### 3.2.2 Valoración del método "Con y Sin"

Denominado también análisis de **Presencia y Ausencia**, consiste en visualizar los resultados de dos opciones productivas contrastantes por la inclusión o exclusión de un factor y tomar la decisión de instalar una de ellas. Para el caso de sistemas agroforestales, es muy fácil visualizar los resultados a futuro de las opciones con agroforestería y sin agroforestería (Figura 3.1). Este modelo relacional, es uno de los más versátiles para demostrar la utilidad económica de un sistema agroforestal a largo plazo, pero también sirve para representar los resultados de la evaluación de sistemas instalados, es decir para análisis económico *ex post*. El área coloreada de verde representa la cantidad o magnitud de ingreso que el agricultor pierde por tomar la decisión de plantar un sistema agroforestal. A medida que pasa el tiempo, la acumulación de la producción en la parcela con agroforestería se incrementa, mientras que aquella sin agroforestería, pierde capacidad productiva, esta tendencia se acentúa con el tiempo, hasta que en un momento dado, las dos curvas se cruzan y a partir de ese momento las situación cambia, dando lugar al área coloreada de azul, la que representa la magnitud o cantidad que el agricultor gana por haber tomado la decisión de plantar un SAF (Nair, 1993).

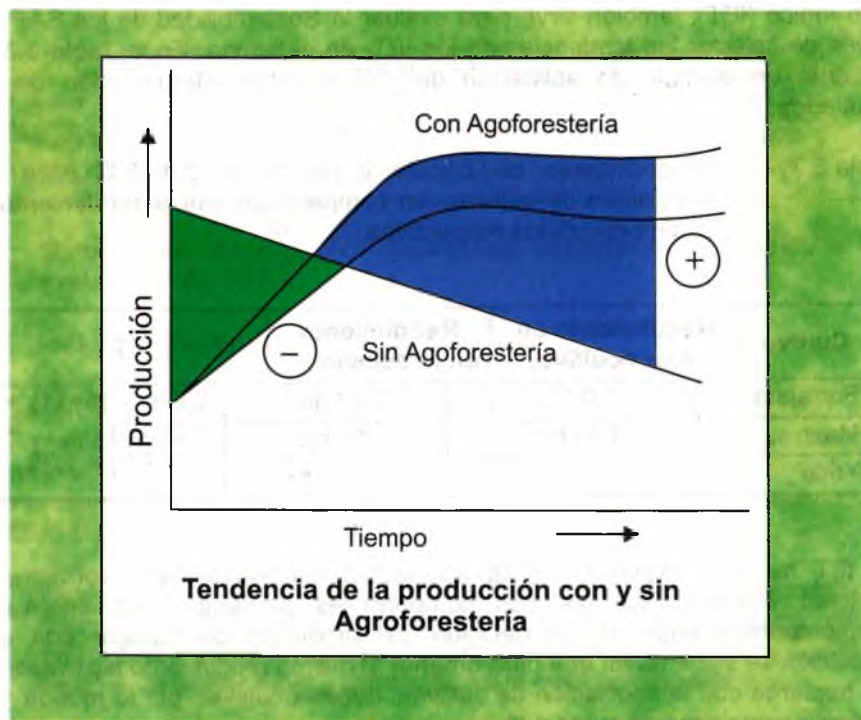


Figura 3.1 Representación de los resultados de dos opciones productivas para una parcela, "con y sin" agroforestería, en el largo plazo. (Tomado y adaptado de Nair, 1993).

Es necesario algunas puntualizaciones adicionales: i) Si la observación de los sistemas continúa en el tiempo (largo plazo), la producción de la parcela sin agroforestería, es decir la parcela de monocultivo tiende a llegar a cero o muy cerca de cero. Esto es precisamente lo que ha sucedido con varias parcelas o fincas en países como Ecuador, que por mala gestión, han llegado a tal grado de degradación de la capacidad productiva, que los ingresos no pagan ni siquiera los costos, tiempo en el que el agricultor toma la decisión de abandonar la parcela o finca y de migrar ii) Las dos curvas que representan la opción agroforestal, representan diferentes combinaciones o arreglos, por lo que su capacidad productiva es diferente entre sí, iii) Las opciones agroforestales incrementan la capacidad productiva por parcela, a pesar de la competencia que se genera entre árbol y cultivo, o entre árbol y pasto, debido precisamente a la acumulación del componente forestal, en forma de madera, leña o algún otro producto del maderable. Esto tiene un valor estratégico, en sitios en donde hay escasez de madera o de leña.

### **3.2.3 Valoración del costo de oportunidad para la mano de obra**

El concepto de costo de oportunidad es muy conocido y de amplia aplicación, en los procesos de análisis económico o financiero. Costo de oportunidad es el valor de la segunda mejor alternativa, que no es la escogida, es decir es el verdadero sacrificio incurrido por haber escogido una actividad o proyecto dado. Hay quienes mencionan que todo en la vida tiene un costo de oportunidad. Un ejemplo muy simple de costo de oportunidad, aplicable a un sistema productivo para una parcela dada, es el valor del arriendo de esa parcela. Si no se hubiera tomado la decisión de instalar el sistema productivo, el suelo tendría la oportunidad de ser arrendado para otra actividad; pues precisamente el valor del canon de arrendamiento de la parcela es el costo de oportunidad para la ocupación del suelo con la opción escogida.

En el caso de sistemas agroforestales existe la idea generalizada de que son sistemas demandantes de mano de obra rural, tanto para la instalación como para el mantenimiento del SAF. Por el contrario, existen situaciones en las que se proponen SAF's muy atractivos económica o financieramente, pero porque se considera el valor de oportunidad de la mano de obra campesina igual a cero. Esto puede ser verdad en algunas comunidades alejadas de los centros de movimiento económico y esto explica la razón por la que perduran muchos sistemas productivos de subsistencia, en donde para el agricultor resulta atractivo manejar los sistemas productivos, a pesar de que las cosechas no pagan ni los costos. En estos casos, efectivamente la instalación de sistemas productivos demandantes de mano de obra como son los SAF's es atractiva.

Sin embargo, existen otras comunidades o localidades en donde existe gran demanda por mano de obra rural. Ejemplo, en la sierra de Ecuador, las zonas en donde se encuentran las empresas florícolas, son áreas en donde el costo de oportunidad de mano de obra rural es altamente competitivo. Por lo tanto, la conclusión de este análisis es que durante el proceso de evaluación *ex ante* de alternativas de SAF's, se considere el valor más alto de costo de oportunidad de mano de obra, encontrado para la región.

### **3.2.4 Matriz de valoración de costos e ingresos**

Esta, más que una metodología, es un procedimiento que permite valorar en forma ordenada los costos de instalación y de mantenimiento de una actividad productiva, que muy bien puede ser un sistema agroforestal. Existen muchos modelos de matrices de evaluación de costos, cada uno con diferente grado de dificultad para su aplicación y también con deficiencias u omisiones. La Tabla 3.4, es un modelo que permite valorar los costos de una actividad productiva durante el ciclo de vida de la misma. Los datos obtenidos en esta matriz, son

los mínimos necesarios para un análisis financiero *ex post* de la actividad. Como ilustración, en la Tabla 3.4, se presenta las categorías de rubros a evaluarse (costos de inversión, costos directos y costos indirectos), dentro de cada categoría, se presentan a manera de ejemplo algunos ítems propios de la categoría.

Tabla 3.4 Modelo de formato para valorar y cuantificar los costos de producción de una actividad productiva en el largo plazo. (Se aplica a una superficie estándar de una hectárea).

Rubro	Cantidad	Unidad	Costo unitario	Años (ciclo del proyecto)						
				1	2	3	4	5	6	7-10
<b>Costos Inversión</b>										
<i>Galpón</i>	100	m <sup>2</sup>	100	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
<i>Bomba de mochila</i>	1		150	30	30	30	30	30		
<i>Otros</i>										
<b>Total costos Inversión</b>										
<b>Costos Directos</b>										
<i>Plantones</i>	200	Plántula	1	200						
<i>Fertilizante</i>	10	sacos	15	150		150		150		150
<i>Mano obra plantación</i>	10	jornal	8	80						
<i>Otros</i>										
<b>Total costos directos</b>										
<b>Costos Indirectos</b>										
<i>Asistencia técnica</i>	12	visitas	20	240	240	240	240	240	240	240
<i>Otros</i>										
<b>Total costos indirectos</b>										
<b>Total costos producción</b>										

Los rubros dentro de la categoría costos de inversión, deben ser manejados de tal forma que se permita su amortización en el período de su vida útil, dentro del ciclo del proyecto. Ejemplo: un galpón, construido con materiales de la zona y sin acabados costosos, se podría amortizar en 10 años como mínimo; una bomba de mochila, no puede durar más de cinco años.

### 3.3 Valoración de beneficios intangibles de los sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales no sólo proporcionan ingresos de productos físicos cuantificables (forraje, madera, leña, frutos, etc.), sino también servicios



intangibles (o por lo menos difíciles de determinar y cuantificar en forma convencional), esto debido a que no son servicios transables en el mercado común. Hay que considerar que muchas veces la verdadera utilidad de los SAF's, no está en el aporte de los productos cuantificables sino en el aporte de los servicios intangibles, o en una combinación de los dos. Entre los servicios intangibles más importantes se pueden mencionar los siguientes (Tabla 3.5).

Una de las dificultades para valorar en su verdadera dimensión el aporte de estos servicios intangibles es la falta o desconocimiento de metodologías apropiadas, que permitan cuantificar sus costos e ingresos. A continuación se presentan en forma resumida dos propuestas metodológicas para cuantificar los servicios intangibles de los SAF's: La valoración económica del incremento de la materia orgánica y la valoración de la captura de carbono.

Tabla 3.5. Algunos beneficios no tangibles atribuibles a los sistemas agroforestales. (Tomado y adaptado de Nieto, *et al.*, 1999).

Atributo	Con agroforestería	Sin agroforestería
Valor paisajístico del entorno	Positivo	Negativo o neutro
Poblaciones de vida silvestre	Se incrementan	Disminuyen o se extinguen
Macro fauna del suelo	Se incrementan	Disminuyen o se extinguen
Micro biología del suelo	Se incrementan	Disminuyen o se extinguen
Fijación de Nitrógeno atmosférico	Positivo con perennes	Positivo con anuales
Incremento de la materia orgánica	Positivo con perennes	Negativo con anuales
Control de la erosión del suelo	Positivo o neutro	Negativo, mas bien fomenta
Mejora del microclima	Positivo	Negativo
Mitiga efecto de heladas	Positivo	Negativo
Incremento de la biodiversidad	Positivo	Negativo
Crecimiento de malezas	Disminuye	Incrementa
Captura de carbono	Positivo, con perennes	Negativo con anuales
Purifica y conserva fuentes de agua	Positivo	Negativo

### 3.3.1 Valoración económica del aporte de materia orgánica

Es evidente que luego de un periodo más o menos largo de la instalación de un SAF, uno de los cambios observados es la mejora en la fertilidad del suelo. Los contenidos de materia orgánica en el suelo empiezan a incrementarse sustancialmente a partir de que los componentes maderables o perennes empiezan a perder hojas, ramas secas, flores, frutos y otros: también, los SAF's forman microambientes nuevos, que atraen poblaciones o individuos de

la vida silvestre, los que incrementan la materia orgánica en forma de desechos de su actividad. Este incremento de materia orgánica puede ser cuantificado y valorado como un aporte del SAF a la fertilidad del suelo.

Se proponen dos alternativas para cuantificar económicamente el incremento de la fertilidad del suelo: i) Cuantificar el incremento de las cosechas de un cultivo sembrado en el terreno, donde estuvo el SAF, luego de que éste haya sido removido. Este incremento se medirá en comparación con el rendimiento de una parcela, en donde no hubo la influencia del SAF, ii) Medir y cuantificar el aporte de los factores de la fertilidad del suelo, por separado y en cualquier tiempo, sin necesidad de remover el SAF. Para este último caso, se propone el siguiente procedimiento, tomando como ejemplo la materia orgánica:

- a) Medir el incremento de materia orgánica, en porcentaje, muestreando la capa arable del suelo (de 20 a 30 cm de profundidad), con relación al contenido de materia orgánica inicial (antes de plantar el experimento), o con relación al contenido en la parcela testigo (sin árboles).
- b) Medir la densidad aparente del suelo, se debe usar suelo del mismo horizonte (de 20 a 30 cm de profundidad).
- c) Calcular el volumen y peso del incremento de materia orgánica considerando la densidad aparente del suelo, ejemplo:
  - Una hectárea de suelo, a 25 cm de profundidad contiene 2500 m<sup>3</sup>.
  - Considerando una densidad aparente de 1, el peso de esa hectárea de suelo, a 25 cm de profundidad, es igual a 2500000 kg.
- d) Si el porcentaje de incremento de materia orgánica en la parcela de SAF, con relación a la parcela testigo fue de 2 %, entonces la cantidad de materia orgánica incrementada será igual a 50000 kg (50 t).
- e) Suponiendo que el precio de mercado de una tonelada de abono orgánico (de procedencia animal o vegetal) es aproximadamente USD 80,00, entonces el valor del aporte de materia orgánica del SAF en los 5 años ha sido USD 4000 ha<sup>-1</sup>.
- f) Hay que tener en cuenta por lo menos dos aspectos para asegurar la validez de este procedimiento de cálculo: i) Calcular el incremento, promedio de materia orgánica, con base a un muestreo de suelo en toda el área experimental en la cual tuvo influencia el SAF, ii) Considerar la relación carbono nitrógeno (C/N), para asegurar de que el aporte de materia orgánica sea un aporte real. Si la relación C/N es muy alta, el

aporte de materia orgánica no es aprovechable por las plantas, ya que las bacterias y microorganismos que actúan en el proceso de descomposición de la misma, consumen el poco nitrógeno que dispone el suelo y la productividad del cultivo se ve afectada por escasez de nitrógeno. La siguiente escala es un indicador de la validez del aporte de materia orgánica a los suelos agrícolas:

- Relación C/N < 10 Bueno
- Relación C/N 10 a 14 Aceptable
- Relación C/N > 14 No aceptable

Este mismo procedimiento se puede seguir para valorar el incremento de elementos nutritivos como nitrógeno, por influencia del sistema agroforestal. De hecho, en la literatura científica existe infinidad de casos en los cuales se ha cuantificado el aporte de nitrógeno por fijación desde la atmósfera, por la acción de especies fijadoras que son componentes de los sistemas agroforestales, lo cual puede ser valorado en términos económicos, sin dificultad.

### 3.3.2 El proceso de fijación de carbono como un servicio ambiental de los Sistemas Agroforestales

En las últimas décadas, con el desarrollo desmesurado de algunas economías, la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera ha aumentado considerablemente, esto tiene como consecuencia un incremento en la temperatura ambiental de la tierra, que podría generar un cambio climático con alteraciones en los ciclos hídricos, sequías, inundaciones y más desastres naturales que comprometerían la existencia de vida en el planeta (Wigley, 1999; EPA, 2000).

Conscientes del problema, los países del mundo han decidido buscar alternativas para mitigar el proceso de cambio climático. Una de las acciones inmediatas es la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Para lograr este objetivo se establecieron acuerdos internacionales, entre estos el **Protocolo de Kyoto**, mediante el cual se fija la reducción de emisiones cuantificables en cantidad y tiempo, pero a la vez, presenta mecanismos de flexibilidad para que los países puedan cumplir sus compromisos. Uno de los mecanismos es el **Mecanismo de Desarrollo Limpio** (MDL), el cual permite a los países industrializados financiar proyectos forestales y energéticos en países en desarrollo, a cambio de certificaciones de reducción de emisiones. De esta forma, el MDL pretende cumplir dos objetivos fundamentales, contribuir a mitigar el **Cambio Climático** y ayudar a los países en desarrollo a lograr un **Desarrollo Sostenible** (UNFCCC, 1997).

Siendo el CO<sub>2</sub> el principal gas de efecto invernadero, el MDL forestal, que se fundamenta en la siembra de árboles, puede aportar a la mitigación del cambio climático como sumideros de CO<sub>2</sub>, a través del proceso de fotosíntesis y almacenamiento de carbono. (UICN-OIKOS, 2001).

Sobre el conocimiento del ciclo del carbono, y la capacidad de fijación y almacenamiento del mismo por los árboles, surge la alternativa de utilizar los bosques o los SAF's, para compensar las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera. Entonces, la base teórica para el desarrollo de proyectos de plantaciones forestales y conservación de bosques es el flujo de carbono desde la atmósfera hacia los bosques, los que harían de sumideros para almacenar el carbono. Este proceso debería ser financiado por países industrializados (emisores), a países en desarrollo, dado que acciones dirigidas a reducir emisiones tienen igual impacto independientemente del lugar en donde se ubiquen la fuente y el sumidero. Los bosques o sistemas agroforestales son sumideros de carbono, cuya capacidad de almacenar los flujos captados desde la atmósfera se ubican tanto en la biomasa aérea como en la biomasa radicular; por lo tanto, la valoración del carbono almacenado debería hacerse con base en la biomasa, tanto sobre el suelo, como debajo del suelo.

Una vez que se tenga el inventario de la biomasa del sistema agroforestal, es necesario realizar los respectivos cálculos para reportar los valores en términos de toneladas de carbono almacenadas, para esto se utiliza la fracción de carbono. Las estimaciones de la cantidad de carbono almacenado para diversos tipos de bosques naturales, bosques secundarios y plantaciones forestales en su gran mayoría asumen el valor de la fracción de carbono en materia seca de un 50 %, para todas las especies en general (Brown y Lugo, 1984). Igualmente, dentro de las políticas establecidas por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), recomiendan utilizar 0,5 como fracción de carbono en materia seca, en caso de no existir datos disponibles.

### **3.3. 2.1 Metodologías para cuantificar carbono sobre el suelo**

La cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre es conocida como biomasa. La energía de ésta que procede de la madera, residuos agrícolas y estiércol, continúa siendo la fuente principal de energía en varias zonas en desarrollo del mundo y, en algunos casos, también es el recurso económico más importante. Ejemplo, en Brasil, la caña de azúcar se transforma en etanol; en China, se obtiene gas a partir de estiércol. En otros países como Perú, se usa el estiércol de ganado bovino como combustible para uso doméstico. En Ecuador, un alto porcentaje de familias rurales todavía usan leña como combustible doméstico.

Los volúmenes de madera y de biomasa leñosa y foliar, son indicadores esenciales del potencial que tienen los bosques para capturar carbono, por lo tanto, la cuantificación de la producción de biomasa es muy importante, para lo cual, se requiere conocer las metodologías para realizar estimaciones reales de todos los componentes de las especies vegetales (follaje, tocón, fustes, ramas, y frutos). Por lo tanto, la biomasa viva sobre el suelo está básicamente dividida en dos partes: i) Biomasa de los componentes leñosos y ii) Biomasa del sotobosque como: pastos, hierbas, estados juveniles y otros (Snowdon *et al.*, 2001).

### 3.3.2.2 Determinación de la biomasa aérea por el método directo (destructivo)

Consiste en cortar el árbol y determinar la biomasa, pesando directamente cada componente (madera, ramas, corteza, follaje, frutos y semillas), en un determinado momento de la vida del árbol (Araujo *et al.*, 1999). La cuantificación se realiza en términos de peso seco, secado al horno a 80 °C y se expresa en kg árbol<sup>-1</sup> o kg ha<sup>-1</sup>, para cada componente o para el árbol total (Salazar, 1989; Ramos, 2003).

Para este tipo de evaluaciones primeramente hay que definir el tamaño de la parcela que se va a cuantificar, usualmente se trabaja con parcelas de 16, 25 ó 36 árboles, dependiendo de la uniformidad del rodal; cuanto menos uniformidad exista entre los árboles mayor debe ser el tamaño de la muestra. La periodicidad de las evaluaciones depende del objetivo de la investigación. Si en la parcela predominan árboles muy altos, que dificultan la operación de pesaje, se debe determinar el volumen del fuste para convertir ese volumen a peso seco, y luego sumar con el peso seco de la copa del árbol (que incluye el peso de las ramas y del follaje), para obtener el peso seco total (Ramos, 2003).

El volumen del fuste se determina midiendo el DAP (Diámetro a la altura del pecho) del árbol en pie, tumbando y realizando las medidas del fuste necesarias para calcular el volumen mediante la fórmula de cubicación de Smalian, (Salazar, 1989):

$$V = [(d_g^2 + d_f^2) / (\pi/4)] * L.$$

Donde:

V: volumen  
d<sub>(g f)</sub>: diámetros grueso y fino, respectivamente  
L: longitud de la troza

Una vez conocido el volumen del fuste y la gravedad específica promedio de la madera, se convierte el volumen a peso mediante la siguiente fórmula:

Peso del fuste = volumen del fuste x gravedad específica promedio

Para determinar el peso seco de los componentes del árbol, en la parcela definida seleccione al azar un ejemplar por hilera; luego de recopilar las dimensiones y peso del fuste y por componentes, obtenga muestras de 500 g., de la siguiente manera:

- a) Del eje o ejes, se toman submuestras (discos) de 10 cm de espesor en la base, a la mitad y en la parte superior del árbol, si con estas secciones no se obtiene aproximadamente 500 g de peso verde agregue otras secciones hasta completar los 500 g Si los discos son tan grandes que con uno o dos obtiene los 500 g divídalo en secciones y utilice sólo una de ellas. Dichas secciones del disco deben incluir partes desde la corteza hasta la médula.
- b) En el caso de ramas, obtenga una muestra de 500 g compuesta de secciones de 10 cm de diferentes ramas; si no se cuantifica las ramas por separado, hay que incluir a la muestra del eje un 15 % de muestra de ramas.
- c) En el caso del follaje, se desmenuza y se obtiene una muestra homogénea de 500 g.
- d) Coloque las muestras en bolsas plásticas individuales, identifíquelas correctamente (número y parte del árbol, parcela y especie), cierre bien las bolsas para evitar pérdida de peso por deshidratación y llévelas rápidamente al laboratorio para determinar peso verde exacto, (PV) desmenuzar, colocar en una bolsa de papel conservando la identificación y luego pasar a una estufa, a 70 °C, hasta obtener peso constante (PS).
- e) Con el peso verde (PV) y el peso seco (PS) de cada muestra se determina la relación PS/PV, para cada componente. Luego, se calcula el promedio de la relación, para todos los árboles muestreados en la parcela.
- f) Para determinar el peso seco de cada árbol en evaluación (biomasa) hay que multiplicar el promedio de la relación correspondiente (eje, ramas o follaje) por el peso verde correspondiente obtenido en el campo, luego sumar, para obtener el peso seco total del árbol. Sumando el peso seco total de todos los árboles, se obtiene el peso total de la parcela y aplicando una regla de tres con la densidad de la plantación se obtendrá el peso seco total por hectárea.

- g) La biomasa aérea, también se puede determinar mediante la **Técnica del árbol promedio**, que se basa en el concepto de que un árbol de tamaño promedio tendrá también una cantidad promedio de biomasa. Para esto, el área basal tiende a ser un buen indicador de la biomasa total. Los árboles seleccionados son muestreados por el método destructivo, para determinar su biomasa. El peso del árbol promedio es multiplicado por el número de árboles del rodal, para obtener un estimado de la biomasa total. Esta técnica puede ser modificada incluyendo un muestreo estratificado (MacDiken, 1997).

### 3.3.2.3 **Determinación de la biomasa aérea, por el método indirecto (no destructivo)**

Este método estima la biomasa por medio de análisis de regresión. Los modelos utilizados son ecuaciones matemáticas que relacionan la biomasa con las mediciones de la vegetación leñosa en pie, como: DAP >2cm, altura comercial, altura total, crecimiento diamétrico, etc. (Araujo *et al.*, 1999; Ortiz, 1993; Brown, 1997 y Segura, 1997). Los siguientes son algunos de los modelos disponibles como resultado de la investigación:

- a) **Modelos genéricos.** Brown *et al.*, en 1989, indican que se han desarrollado modelos generales como herramienta para estimar el contenido de biomasa aérea en inventarios forestales Tabla 3.6. Estos pueden ser utilizados, en forma general, cuando no existen modelos específicos para zonas o condiciones particulares.
- b) **Modelos de biomasa específicos para cada especie.** Según estudios de campo y laboratorio, se han generado modelos alométricos específicos para algunas especies forestales de uso comercial. Éstos requieren valores tomados en campo como DAP y altura del árbol y por simple aplicación del modelo, se determina la biomasa (Segura, 1997).
- c) **Uso de tablas de volumen.** Las tablas de volumen estiman el volumen de árboles en pie de acuerdo a sus dimensiones como: DAP y altura total del árbol. Posteriormente, con ayuda de la gravedad específica y el factor de expansión de biomasa (relación entre biomasa total y biomasa de fuste) puede estimarse la biomasa total aérea (Snowdon *et al.*, 2001).

Los valores de gravedad específica por especie pueden ser encontrados en la literatura o en su defecto determinados por análisis de laboratorio, tomando piezas de madera de dimensiones conocidas, se secan completamente (a 70 °C por 72 horas), se pesan y este valor se divide para su volumen (Vine *et al.*, 1999).

Tabla 3.6 Modelos alométricos para estimar la biomasa sobre el suelo con datos de inventarios forestales (Tomado de Brown *et al.*, 1989)

Tipo de clima y bosque	Ecuación	R <sup>2</sup> ajustado
Clima seco (<1500 mm de precipitación). Bosque seco	$y = 34,4703 - 8,0671 D + 0,6589 D^2$	0,67
Clima Húmedo (1500-4000 mm de precipitación) Bosque húmedo	$y = 38,4908 - 11,7883 D + 1,1926 D^2$	0,78
	$y = \exp [-3,1141 + 0,9719 \ln(D^2H)]$	0,97
	$y = \exp [-2,4090 + 0,9522 \ln(D^2HS)]$	0,99
	$H = \exp [1,0710 + 0,5677 \ln D]$	0,61
Clima Lluvioso (>4000 mm de precipitación) Bosque muy húmedo	$y = 13,2579 - 4,8945 D$	0,90
	$y = \exp [-3,3012 + 0,9439 \ln(D^2H)]$	0,90
	$H = \exp [1,2017 + 0,5627 \ln D]$	0,74

Y= Biomasa sobre el suelo en kg; H = Altura, en m; D = Diámetro a la altura del pecho; S = Densidad de la madera (t/m<sup>3</sup>).

#### 3.3.2.4 Determinación de la biomasa aérea, de los componentes herbáceos

El componente herbáceo está básicamente constituido por pasturas, plantas rastrojas o arbustivas de porte bajo, las que, pueden ser inventariadas por muestreos con marcos de superficie conocida; se recomiendan marcos de 50 x 50 cm. El trabajo en el campo consta de los siguientes pasos: i) Se lanza el marco en los sitios de muestreo seleccionados, ii) Se corta todo el material herbáceo que se encuentre dentro del marco, iii) Se pesa en fresco, tomando una submuestra de alrededor de 200 g para determinar el contenido de materia seca en laboratorio. El secado de las muestras se debe hacer al horno, a 70 °C, por lo menos en un tiempo de 72 horas.

#### 3.3.2.5 Metodologías para cuantificar carbono bajo el suelo

La importancia de las raíces en actividades como competencia por nutrientes y agua en el suelo, dinámica de producción, descomposición de raíces para el ciclaje de nutrientes y secuestro de carbono<sup>1</sup>, son temas muy importantes en el manejo de sistemas agroforestales, (Schlönvoigt, *et al.*, 2000).

<sup>1</sup> Llamado también fijación de carbono. Proceso por el cual se aumenta el contenido de carbono en un reservorio, excepto en la atmósfera.



Existe una variedad de métodos directos e indirectos para estimar la biomasa de raíces. Entre ellos, los más usados son los métodos directos (destructivos y no destructivos), es decir, la excavación de raíces o el muestreo de cilindros de suelo. También, existen métodos indirectos, que se han venido desarrollando en los últimos años como son: el uso de cámaras de video, radar, o modelos tridimensionales, pero que presentan limitaciones tanto económicas como de su aplicabilidad práctica (Schlönvoigt *et al.*, 2000, Snowdon *et al.*, 2001).

Dentro de los **métodos directos no destructivos** está el uso de modelos o relaciones de biomasa de raíces. Ésta se puede estimar usando la relación de biomasa de raíces versus la biomasa aérea, sin embargo, la literatura no contiene valores de biomasa de raíces para una amplia gama de especies. Algunos valores de biomasa en bosques tropicales sugieren valores de relación que llegan hasta a 0,3 o 0,49, aunque para ofrecer resultados conservativos se podría emplear un valor de 0,15 (MacDiken, 1997). En otros estudios en los cuales se ha medido biomasa de raíces, se han encontrado cerca del 10 % de la biomasa sobre el suelo en áreas húmedas y cerca del 30 %, en áreas semiáridas (Dixon, 1995).

Debido a que las estimaciones de biomasa de raíces son difíciles de desarrollar, y tienen costos elevados, Kurz y Beuquema, en 1996, desarrollaron algunos modelos, que se pueden usar como herramienta para estimar la biomasa radical por grupos de especies de árboles en sistemas forestales de Canadá (Tabla 3.7).

Tabla 3.7 Modelos alométricos para la estimación de biomasa de raíces (Tomado de Kurz y Beuquema., 1996).

Tipo de especie	Variable a estimar	Modelo
De madera suave	Biomasa de raíces	BR = 0,231 (BA)
De madera dura	Biomasa de raíces	BR = e <sup>0,359</sup> BA <sup>0,639</sup>

BR: Biomasa de raíces (Mg ha<sup>-1</sup>); BA: Biomasa aérea (Mg ha<sup>-1</sup>).

En cuanto al uso de **métodos directos destructivos** para análisis de biomasa de raíces, sobresale el muestreo con barreno. Schlönvoigt *et al.*, 2000, indican que es uno de los métodos que causa la mínima destrucción y que puede ser el más económico, si se pretende evaluar áreas relativamente grandes, aunque la calidad de información depende de la distribución y cantidad de puntos a muestrear.

El mapeo y cuantificación de raíces en un perfil de pared, es otro método cualitativo y cuantitativo, que se aplica a plantas individuales o grupos de plantas. Este método es importante para estudios de distribución de raíces de diferentes diámetros en las diferentes capas de suelo, o para conocer zonas de interacciones entre sistemas de raíces de diferentes plantas. Sin embargo, de que este método es muy laborioso, es la única forma de obtener esta información en suelos rocosos; aunque tiene una desventaja ya que se escapan muchas raíces finas de la evaluación (Schlönvoigt *et al.*, 2000).

La excavación de sistemas de raíces, es otro método cualitativo y cuantitativo para realizar estudios radiculares. Es un método que sirve para realizar estudios de distribución superficial de las raíces, aunque su limitante es que al realizar la excavación, se pierden raíces finas. Este método no se recomienda para plantas con sistemas radiculares profundos, por el trabajo que demanda la excavación (Schlönvoigt *et al.*, 2000).



**Foto 4.** Las barreras agroforestales plantadas en parcelas agrícolas incrementan la biodiversidad y diversifican la producción de alimentos.

## Capítulo IV

Propuestas metodológicas para un proceso  
de investigación aplicada en agroforestería

#### **4.1 La investigación convencional versus la investigación agroforestal**

Ecuador, con una gran diversidad y grandes posibilidades de desarrollo económico, pero sumido en el tercer mundo, entre otras razones por falta de visión de futuro, o por falta de valoración y potenciación de los recursos disponibles. El desarrollo de los pueblos se sustenta entre otros parámetros en la investigación científica, en el desarrollo tecnológico y en la educación de sus habitantes.

La investigación científica agropecuaria, primero debe garantizar la conservación de los recursos naturales base de la producción, luego debe valorar y potenciar los conocimientos y las tecnologías nativas en combinación con las tecnologías introducidas modernas, y por tanto, debe privilegiar la generación de opciones tecnológicas auténticas y acordes a la realidad ambiental, geográfica y sociocultural de cada país. Todo esto para asegurar que los resultados de la investigación apunten a la sostenibilidad de la producción agropecuaria.

Dentro de las alternativas ancestrales de producción, en los países tropicales, se destacan los sistemas agroforestales (SAF's). En Ecuador, la agroforestería es una opción de producción no convencional y en muchos casos es una alternativa a la reforestación; por lo tanto, la investigación y promoción de SAF's son necesarias para las tres regiones naturales del país.

En la Costa, sistemas de cultivos que requieren de sombra parcial permanente, deben ser manejados como sistemas agroforestales. La producción ganadera debería sustentarse en sistemas silvopastoriles. Programas de reforestación podrían tener éxito si se plantean como sistemas agroforestales. En la Amazonía, los sistemas agroforestales permitirían la conservación del bosque húmedo o, al igual que en la Costa, son una opción para cultivos de sombra o cultivos de tutoré. Sistemas silvopastoriles para programas ganaderos son definitivamente necesarios y funcionales en esta región. En la Sierra, los sistemas agroforestales son la primera opción para programas de conservación de suelos, para protección de fuentes de agua, para protección de cuencas hidrográficas y, lo que es más importante, los SAF's son una alternativa válida para optimizar la productividad y producción de las fincas. En esta región, los sistemas agroforestales son también una alternativa para las áreas intervenidas de páramo. En las tres regiones, la agroforestería es una alternativa para modificar factores del microclima, en favor del crecimiento y producción de

cultivos, y son la forma más fácil y económica de mantener la biodiversidad a nivel de parcela, finca o ecosistema.

En definitiva, la agroforestería es una opción de producción agropecuaria sostenible para países tropicales como Ecuador, que a pesar de haber incursionado por largo tiempo en modelos de producción convencional, todavía están a tiempo de cambiar paradigmas y privilegiar modelos de producción con plantas perennes, que no solamente aprovechen el flujo de energía solar constante y permanente, sino que faciliten la conservación de ecosistemas frágiles y recursos naturales escasos como son: suelo, agua y biodiversidad. En esta línea de reflexión, es obvio que una de las actividades a ser promovidas, es la investigación en agroforestería; una investigación aplicada, tendiente por un lado, a validar muchos modelos de SAF's, que ya se encuentran en las fincas y por otro, a desarrollar nuevos modelos que potencien las opciones productivas y conservacionistas de la finca.

#### **4.2 La investigación en agroforestería exige gestión de recursos naturales**

Una de las características de la investigación agropecuaria convencional ha sido su alta especificidad o especialización por rubros. Además del enfoque por rubros, la investigación convencional ha privilegiado en todos los sentidos la productividad del rubro, sin considerar o considerando muy poco la condición de los recursos naturales involucrados en la producción o su conservación. Esto, en algunos casos, se lo ha realizado por conveniencia, en otros por desconocimiento o falta de conciencia y en algunos por dificultades reales como limitaciones físicas o económicas. Sin embargo, la realidad del deterioro ambiental generalizado, y la escasez de recursos naturales para la producción, dan señales inequívocas de la necesidad de cambio de enfoque de la investigación. Modernamente, un proceso de investigación agropecuaria que no considere la gestión de los recursos naturales involucrados, parecería no encajar en la realidad ambiental global y local. En la Tabla 4.1, se muestran las diferencias más sobresalientes de procesos de investigación con y sin gestión de recursos naturales. El lector podrá hacer su propio juicio y análisis comparativo de los detalles que diferencian a los dos modelos de investigación. Es evidente que la investigación en agroforestería es un modelo de investigación con gestión de recursos naturales.

Tabla 4.1 Análisis comparativo de procesos contrastantes de generación de tecnología agropecuaria, con y sin Gestión de Recursos Naturales (GRN).

Rubro o factor	Tecnología integral con GRN	Tecnología individual sin GRN
Duración del proceso	Largo plazo	Corto mediano plazo
Adaptabilidad	Pequeña. Alta especificidad	Grande. Baja especificidad
Costo investigación	Generalmente alto	Bajo, excepción Tecnología de punta
Información de apoyo	Escasa, poco disponible	Abundante, disponible
Planificación y priorización	Incipientes	Disponibles
Demanda productos	Poco usual	Frecuente
Medición impactos	Difícil. No hay métodos	Fácil. Métodos disponibles
Políticas de adopción	Incipientes	Disponibles
Organización	Participativa. Varios actores	Programas y Departamentos, por rubros
Tecnología generada	Impacto a largo plazo	Impacto inmediato
Recursos Humanos	Grupo multidisciplinario	Investigador especializado

#### 4.3 Principios orientadores de la investigación en agroforestería

Los procesos y procedimientos de la investigación deben ser enfocados a conseguir la sostenibilidad de la producción. Se sugiere que la investigación en SAF's, se enmarque en los fundamentos del denominado **Triángulo de la sostenibilidad**, esto significa buscar viabilidad económica, funcionalidad ambiental y equidad social, en forma simultánea y complementaria uno de otro.

Otro aspecto importante en la investigación agroforestal es que la unidad de análisis debe ser la finca, visualizada como un sistema, aunque la toma de información puede ser en una parcela o en un individuo (árbol, arbusto, cultivo, animal). Esto significa que los planes y proyectos de investigación agroforestal deberían tratar de solucionar problemas o apuntar a complementar necesidades productivas o de conservación de la finca como un todo, antes que potenciar el rendimiento o la producción de un sólo rubro en forma aislada dentro de la finca.

El tercer aspecto a considerar es la diversificación de la finca como sustento de la producción. La diversificación en SAF's, se puede conseguir a través de fomentar el policultivo con especies perennes o a través de privilegiar las especies nativas frente a las introducidas. Se propone entonces, que estos tres aspectos orientadores de la investigación, sean asumidos como temas transversales a todas y cada una de las líneas o temas de investigación en SAF's.

#### **4.4 Enfoques estadísticos de la investigación en SAF's**

La aplicación de herramientas estadísticas en la investigación en sistemas agroforestales tiene dos enfoques principales: estático y dinámico. En el primer caso, se refiere al uso de los diseños experimentales clásicos: Diseño de Bloques Completos al Azar (BCA), Diseño de Bloques Incompletos al Azar (BIA), Diseños de Parcela Dividida, o dos veces dividida (DPD). En cuanto a los diseños de tratamientos, se aconseja trabajar con los Arreglos Factoriales. Una de las precauciones a tenerse en cuenta es la replicabilidad, que se refiere al número mínimo de repeticiones por tratamiento (se aconseja trabajar con un mínimo de tres).

Por facilidad, para lograr la replicabilidad en experimentos con SAF's, se aconseja utilizar a las fincas diferentes como réplicas, pero con cuidado de mantener la homogeneidad de tratamientos. La dificultad de aplicar replicabilidad en un experimento, dentro de una misma finca tiene que ver con el tamaño del terreno comprometido para el mismo. La investigación en SAF's se hace en parcelas o unidades experimentales grandes, y dependiendo del número de tratamientos, el tamaño del campo experimental puede ser tan grande, que casi siempre hay dificultades para plantar experimentos dentro de una finca.

El segundo enfoque estadístico es el denominado dinámico y se refiere a la posibilidad de análisis y manejo de la información. Los análisis en el tiempo (series de tiempo), los análisis de regresión lineal (simple o múltiple) y los modelos de regresión no lineal son los más comunes. Adicionalmente, la investigación en SAF's, tiene muchas posibilidades de ser enfocada con las metodologías de modelos de simulación. De hecho, muchos investigadores e instituciones están trabajando en modelos fisiológicos, productivos o matemáticos en SAF's. Para conseguir la efectividad en el enfoque dinámico es necesario asegurar la continuidad en la toma de información. Los experimentos agroforestales son de largo plazo y es muy común el abandono temporal o definitivo de los experimentos, dando como consecuencia vacíos en la toma de información, que a veces son muy difíciles o imposibles de recuperar.



Con respecto al diseño de tratamientos, las ventajas de trabajar con arreglos factoriales son las siguientes: la flexibilidad, que se refiere a la posibilidad de usar cualquier número de factores y de niveles por factor; la versatilidad, que se refiere a poder aplicar en cualquier experimento o ensayo de campo. Además, con la aplicación de los arreglos factoriales, se pueden estudiar las interacciones entre factores<sup>1</sup> y, finalmente en ausencia de interacciones, el experimento puede ser analizado como experimento simple, es decir se pueden evaluar los efectos principales de los factores. Sin embargo, también existen ciertas desventajas, así: el análisis estadístico es un tanto más complejo que en el caso de experimentos simples; existe cierta dificultad de interpretar los resultados; el tamaño del experimento crece cuando hay muchos factores o niveles dentro de factores.

#### **4.5 Enfoques económicos y sociales de la investigación en SAF's**

Además de los análisis estadísticos de los resultados biológicos o agronómicos, los resultados de la experimentación agroforestal deberían ser analizados en función económica y social. El interés de los agricultores por los resultados, de la experimentación agroforestal, es mayor cuando estos pueden ser mostrados en función de costos, ingresos y utilidades. Esto significa que tanto en la toma de la información, como durante el proceso de catalogación y análisis de la información obtenida, se deben escoger variables o indicadores financieros, económicos o sociales que permitan complementar el proceso de conclusiones, inferencias y recomendaciones.

Algunos índices y metodologías del análisis financiero, que se aplican a los resultados de la experimentación agroforestal se presentan en el Capítulo 3. Además, es conveniente ensayar ciertos niveles de análisis y reflexión sobre parámetros económicos, los que se vuelven más atractivos, cuando los experimentos agroforestales son conducidos por períodos largos de tiempo y, permiten disponer de suficiente información como para encontrar influencias de los SAF's, en las relaciones económico sociales de las comunidades involucradas. Los aspectos más sobresalientes sugeridos para los análisis económicos son los siguientes: influencia en el ingreso per cápita local, efectos en el empleo de la comunidad, influencia en los sistemas de producción local y efectos, e impactos en la economía local.

---

<sup>1</sup> La falta de aditividad de los efectos de los factores o la falta de paralelismo, cuando se representan las medias de los factores, se interpreta como interacción de los factores.

Tabla 4.2 Variables o indicadores de análisis sugeridos para procesos de investigación en Agroforestería.

Variable o Indicador	Unidad de medida
<b>Biológicas y Agronómicas</b>	
Altura de árboles (plantas)	m, cm árbol <sup>-1</sup>
Diámetro del fuste	DAP, cm árbol <sup>-1</sup>
Producción de biomasa	kg ha <sup>-1</sup> ; t ha <sup>-1</sup>
Crecimiento radicular	cm
Rendimiento aprovechable	kg ha <sup>-1</sup> ; t ha <sup>-1</sup>
Calidad de las cosechas	Varios parámetros
Presencia y acción de pestes	%; escalas arbitrarias
Ciclo vegetativo	Días
Fijación biológica de N	kg ha <sup>-1</sup>
Liberación del P	kg ha <sup>-1</sup>
Captación de carbono	t ha <sup>-1</sup>
<b>Ecológicas y Ambientales</b>	
Fertilidad del suelo	Contenidos: %, ppm.
Humedad del suelo	%, en base a volumen
Capacidad de infiltración	litros agua h <sup>-1</sup>
Compactación del suelo	Resistencia, kg cm <sup>-2</sup>
Presencia de vida silvestre	Número especies o individuos
Meso fauna del suelo	Biomasa; g cm <sup>-3</sup>
Microfauna del suelo	Biomasa, µg cm <sup>-3</sup>
Predadores y hospederos	Especies o individuos m <sup>-2</sup>
Relaciones alelopáticas	Efectos depresivos
Regeneración (sucesión)	Tasas de sucesión
Cantidad y calidad de agua	litros s <sup>-1</sup> ; g de sedimento l <sup>-1</sup>
Valor paisajístico	Escalas arbitrarias
<b>Climáticas</b>	
Radiación solar	Calorías cm <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> ; µmol. m <sup>-2</sup> ; W m <sup>-2</sup>
Humedad Relativa	%
Temperatura del aire	° C
Temperatura del suelo	° C
Velocidad del viento	m s <sup>-1</sup>
Dirección del viento	Puntos cardinales
Interferencia de precipitación	% sobre el total de lluvia
Evapotranspiración	mm de agua m <sup>-2</sup>
<b>Económicas y sociales</b>	
Costos de instalación	USD ha <sup>-1</sup>
Costos de mantenimiento	USD ha <sup>-1</sup>
Costos de remoción	USD ha <sup>-1</sup>
Ingresos maderables	USD ha <sup>-1</sup>
Ingresos no maderables	USD ha <sup>-1</sup>
Mano de obra involucrada	Jornal
Costo de la mano de obra	USD Jornal <sup>-1</sup>
Significación de la producción	Escala arbitraria
Preferencia de los productores	Escala arbitraria

#### **4.6 Variables e indicadores de análisis para investigaciones en SAF's**

Uno de los elementos clave para el éxito de la investigación en SAF's, es la habilidad del investigador para identificar las variables de análisis o indicadores para el registro de información o toma de datos en el experimento. Obviamente, luego de escoger las variables apropiadas, la toma de información en época oportuna, en las unidades apropiadas y con la metodología adecuada son aspectos decisivos para el proceso de investigación. En la Tabla 4.2, se presenta un listado de las variables más comunes para la toma de información de los experimentos en agroforestaría. El investigador, deberá escoger las variables a utilizar, en función de las facilidades físicas, de los recursos económicos y del tiempo de dedicación disponibles.



La investigación de campo en sistemas agroforestales es compleja pero sus resultados son altamente satisfactorios.

## Capítulo V

Necesidades y prioridades de investigación aplicables  
a la agroforestería en Ecuador

Identificar las necesidades prioritarias de investigación en un tema complejo como lo es la agroforestería, no es una tarea fácil ni que pueda ser ejecutada por una persona, ni siquiera para una institución. Por consiguiente, en este capítulo no se pretende determinar ni sugerir por parte de los autores las necesidades de investigación en agroforestería. Se trata de rescatar los resultados de un taller nacional, que se realizó en el año 2000, en Santo Domingo de los Colorados, en el cual, se determinaron las necesidades de investigación en agroforestería. Se cree que tanto los temas como los rubros y títulos propuestos en este taller, no han perdido actualidad ni importancia, por lo tanto quedan a disposición de los investigadores y promotores de la Agroforestería, la oportunidad de trabajar en uno o varios de estos temas priorizados, los que son aplicables en cualquiera de las regiones naturales de Ecuador.

### **5.1 Temas y prioridades de investigación agroforestal**

De acuerdo a la experiencia y visión de los investigadores nacionales involucrados en actividades relacionadas con agroforestería, se ha podido definir la necesidad de investigar en los siguientes campos o grandes temas (Tabla 5.1). Estos nueve macro temas de investigación fueron identificados en consenso entre los asistentes (alrededor de 50 entre investigadores y promotores rurales capacitados y productores, representantes de la empresa pública y privada), al primer Taller Nacional de Investigación Agroforestal, realizado en Santo Domingo de los Colorados, en febrero del 2000.

En virtud de la amplia gama de posibilidades que existen en el campo de la Investigación en Agroforestería, era necesario priorizar los temas propuestos y, con este propósito, los participantes establecieron los siguientes diez criterios para ser considerados en este ejercicio de priorización:

- 1) El grado de participación de las instituciones y de los investigadores individuales
- 2) El peso político que podría tener o que tiene el tema agroforestal
- 3) El impacto social para la comunidad, en caso de que la propuesta agroforestal sea implementada
- 4) El impacto económico que tendría la propuesta para los productores
- 5) El impacto ambiental que causaría la implementación de la propuesta
- 6) El potencial de adopción, por parte de los productores
- 7) El nivel de complejidad de la propuesta de investigación, tanto para la instalación como para el mantenimiento
- 8) El costo de la investigación
- 9) El área de influencia o de aplicación de los resultados
- 10) El riesgo de no ejecutar la propuesta agroforestal.

Los grupos de trabajo desarrollaron el ejercicio de priorización, para lo cual utilizaron puntajes de ponderación, asignados previamente y aplicados a cada uno de los criterios. Los puntajes variaron de 1 a 5 y fueron asignados de la siguiente manera: (1), si es muy baja la ocurrencia del criterio; (2), si es baja; (3), si es mediana; (4), si es alta, y (5), si es muy alta. En la Tabla 5.1, se presenta los resultados de la priorización.

Tabla 5.1 Temas priorizados de investigación en agroforestería a nivel nacional (Tomado de INIAP-GTZ, 2000).

Áreas o temas de investigación	Prioridad nacional
Arreglos espaciales	1
Especies o variedades de leñosas y asociadas	2
Productos no maderables de los SAF's	3
Relaciones protectoras o de mejora del micro clima	4
Arreglos temporales (secuencias)	4
La biodiversidad, efectos e impactos de los SAF's	6
Relaciones de competencia	7
Los SAF's, el paisaje y el turismo	8
Metodologías de campo y laboratorio (análisis)	9

De la observación de los resultados de priorización y de las conclusiones de los grupos de trabajo se pudo extraer las siguientes reflexiones:

- Las líneas o programas de investigación propuestos son, en primer lugar, de influencia relevante; en segundo lugar, de gran impacto ambiental; en tercer lugar, de gran potencial para activar la participación; y, en cuarto lugar, de impacto social significativo.
- Los estudios orientados a determinar la influencia de la agroforestería en la biodiversidad merecen alta importancia, sobretodo, desde la perspectiva de su área de influencia y de sus impactos en el medio ambiente.
- Las investigaciones cuyo propósito sea la identificación de los mejores arreglos o sistemas espaciales tendrían la ventaja de potenciar la participación, de prometer buenos niveles de adopción y de tener una amplia cobertura o área de influencia.
- Los trabajos que se desarrollen alrededor de relaciones protectoras y de influencia en el paisaje turístico serán de impacto, sobretodo, en la conservación del medio ambiente.

## **5.2 La propuesta de un Plan Nacional de Investigación en Agroforestería**

Como parte del trabajo realizado en el taller mencionado, se propuso un Plan Nacional Básico de investigación en agroforestería, cuyo objetivo fue *“Apoyar la conservación del medio ambiente, mediante el manejo sustentable de los recursos naturales renovables y a través de la incorporación de sistemas agroforestales en los procesos productivos desarrollados por los agricultores ecuatorianos”*. Este plan fue propuesto para los cuatro macro temas de investigación, los mismos que fueron convertidos en programas de investigación. Aunque este plan fue propuesto en una matriz de planificación, completa con la descripción de: resultados esperados y actividades, indicadores, medios de verificación y supuestos; aquí se detallan solamente los resultados esperados para cada programa.

### **Programa 1. La investigación en arreglos o sistemas espaciales**

#### **Resultados esperados:**

- R1: Alternativas Agroforestales bajo arreglos espaciales predominantes en el país, identificadas y seleccionadas.
- R2: Alternativas Agroforestales con arreglos espaciales, estudiadas y probadas.
- R3: Alternativas Agroforestales con arreglos espaciales, validadas a nivel de fincas.
- R4: Resultados de los estudios realizados ampliamente divulgados.

### **Programa 2. La investigación de especies y variedades (nativas o introducidas)**

#### **Resultados esperados:**

- R1: Principales especies potenciales para la conformación de sistemas agroforestales identificadas por cada una de las regiones naturales o macro agroecosistemas.
- R2: Especies leñosas aptas para la conformación de sistemas agroforestales identificadas.
- R3: Comportamiento silvicultural y ecológico de las especies identificadas estudiado.



**Programa 3. La investigación sobre el aprovechamiento de productos no maderables**

**Resultados esperados:**

- R1: Inventario, priorizado, de productos no maderables ejecutado.
- R2: Propuestas de manejo sustentable por ecosistema, desarrolladas.
- R3: Red de intercambio de información y germoplasma conformada.

**Programa 4. La investigación de relaciones protectoras o modificadoras de microclimas**

**Resultados esperados:**

- R1: Alternativas agroforestales para modificar el micro clima identificadas y seleccionadas.
- R2: Alternativas agroforestales para modificar el micro clima priorizadas por región.
- R3: Propuestas de investigación agroforestal para modificar el microclima ejecutadas y validadas.
- R4: Resultados de la investigación agroforestal para modificar el microclima divulgados.

**5.3 Actividades básicas de investigación en agroforestería**

Algunos subtemas o títulos de proyectos específicos de investigación, determinados como otro producto del taller ya mencionado fueron los siguientes:

- a) **Competencia (árbol-cultivo, árbol-pasto, árbol-cultivo-pasto)**
  - Competencia por radiación solar.
  - Competencia por nutrimentos del suelo.
  - Competencia por agua en el suelo.
  - Competencia por espacio.
  - Relaciones alelopáticas.
  
- b) **Relaciones protectoras o modificadoras del micro clima**
  - Efecto rompevientos en el micro clima para cultivos y animales.
  - Protección contra la polución con polvo o residuos tóxicos.
  - Protección contra el ruido.

- Protección contra la lixiviación de residuos de agricultura (barreras buffer).
- Protección de fuentes de agua.
- Protección de caminos y centros poblados.
- Protección contra heladas.

a) **Especies y variedades (nativas o introducidas)**

- Arbóreas de propósito múltiple.
- Arbustivas de propósito múltiple.
- Arbóreas o arbustivas de crecimiento rápido.
- Arbóreas o arbustivas no competidoras, ni alelopáticas, pero complementarias y sinérgicas.
- Cultivos o pastos tolerantes a la competencia con árboles y arbustos.
- Cultivos o pastos tolerantes a sombra.

b) **Arreglos o sistemas espaciales**

- Sistemas mixtos (policultivos).
- Cultivos de sombra (agricultura de dos y tres pisos).
- Cultivo en callejones y cultivos en franjas.
- Cultivos intercalados en el espacio.
- Sistemas silvopastoriles.

c) **Arreglos o sistemas temporales**

- Cultivos intercalados en el tiempo (cultivos de relevo).
- Arreglos temporales a largo plazo, con reemplazo inmediato (turnos de cosecha de maderables).
- Sistemas Taungya.

d) **Influencia en la biodiversidad y calidad ambiental**

- Influencias de SAF's en la vida silvestre animal (macro y micro fauna).
- Influencias de SAF's en la biodiversidad de interés agrícola (flora).
- Influencias de SAF's en la micro biodiversidad sobre y bajo el suelo.
- Sistemas de prevención, mitigación o corrección de impactos ambientales.



**Foto 6.** Cultivo de quinua bajo un sistema en callejones con higo, como un ejemplo de arreglo espacial para la sierra.

## Capítulo VI

Evaluación del desarrollo de dos Sistemas  
Agroforestales típicos de la Sierra  
Ecuatoriana por diez años consecutivos

## **6.1 Importancia agronómica de los sistemas agroforestales, algunos elementos introductorios**

Un sistema agroforestal es un conjunto o arreglo de componentes (árbol, arbusto, pasto, cultivo y animal doméstico, en la misma parcela de tierra) cuya interacción procura minimizar las relaciones antagónicas o de competencia y maximizar las relaciones sinérgicas o de complementariedad para lograr una producción agropecuaria estable y al mismo tiempo diversificar la producción de la finca con fuentes de alimento, de forraje, de combustible y producción de madera; mejorar el microclima para cultivos; desarrollar la vida silvestre, y mejorar el paisaje (Hoskins, 1990; Panayotou y Ashton, 1992; Montagnini, 1992). La agroforestería es una alternativa económicamente viable y ecológicamente funcional para áreas de minifundio, donde la falta de tierra es la principal dificultad para impulsar programas de reforestación (Nieto, 1998 a).

Los beneficios directos e indirectos de los sistemas agroforestales clásicos han sido descritos detalladamente por varios autores (Padilla, 1993; Tybirk, 1993; Brandle y Mash, 1995; Nieto, 1998 b) y los beneficios de varios otros sistemas y combinaciones de árboles, arbustos y cultivos en la preservación del ambiente (Burel, 1996). Sin embargo, la promoción de sistemas agroforestales en áreas de minifundio, tiene serios inconvenientes. Los agricultores se resisten a sembrar árboles en sus parcelas, debido a que éstos ocupan espacio, compiten por agua, luz o nutrientes y son hospederos de pájaros e insectos que atacan a los cultivos (Vela, 1990; Dove, 1992). Algunas creencias míticas que ligan la presencia de árboles con fuerzas malignas han causado la disminución de la siembra o a su vez, han favorecido la tala de árboles en varias comunidades rurales de los Andes de Ecuador (Vela, 1990).

La promoción de sistemas agroforestales en parcelas de minifundio presentan otras limitaciones, como: las pérdidas de rendimientos de cultivos aparecen muy temprano, mientras que los beneficios económicos de los árboles llegan tarde (Dove, 1992; Khan y Ehrenreich, 1993). El tamaño pequeño de parcela hace que los agricultores no puedan asumir casi ningún riesgo de pérdidas del uso del suelo ni cambio en el destino de la parcela. Muchos agricultores no son dueños de la tierra, por lo que al plantar árboles, los riesgos y pérdidas afectan al agricultor, mientras que los beneficios van al dueño de la parcela, (Khan y Ehrenreich, 1993).

Otra de las grandes limitaciones en la promoción de sistemas agroforestales en el área alto andina de Ecuador es la falta de información cuantitativa y confiable que permita mostrar al agricultor las ventajas económicas de sembrar árboles en combinación con cultivos. Falta asimismo estudiar las relaciones de competencia árbol-cultivo, en términos de fisiología y crecimiento del cultivo y

de los parámetros bioclimáticos afectados por la presencia de árboles en las parcelas de cultivo (Vela, 1990). Por otra parte, en la Sierra de Ecuador, se observa una acentuada escasez de recursos forestales; en muchas comunidades la necesidad de leña obliga a los campesinos a recolectar arbustos como chilca (*Baccharis* spp), pencos (*Agave americana*) o paja (*Stipa* spp), para utilizarlos como combustible y, dejan aún más desprotegidos los suelos en estas localidades.

A pesar de las evidencias mencionadas y de las muchas ventajas agronómicas, biológicas y ecológicas de sembrar árboles en combinación con cultivos, varios autores todavía cuestionan el valor económico de un sistema agroforestal o el valor de un árbol o grupo de árboles plantados en una finca o suelo agrícola (Añazco, 1996). Por lo tanto, durante la etapa de planificación de un SAF, se debe buscar las mejores combinaciones agroforestales, incluyendo el uso de especies arbóreas de propósito múltiple y el uso de cultivos tolerantes a la competencia con las especies arbóreas. De esta forma, la hipótesis principal a probarse en este experimento, fue **Los sistemas agroforestales son una opción económica y ecológicamente viable para hacer un uso intensivo del suelo, en condiciones de pequeño o mediano productor** y por lo tanto, son una alternativa para los agroecosistemas en zonas de montaña.

## 6.2 Proceso metodológico de la investigación

### 6.2.1 Descripción del sitio del experimento

El experimento se ubicó en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, parroquia Cutuglahua, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha. La descripción de la ubicación geográfica del sitio se presenta en la Tabla 6.1. Los suelos corresponden al orden Andisoles, compuestos de cenizas volcánicas, de textura franca y de topografía relativamente plana (< 5%). A pesar de que el experimento estuvo ubicado en una Estación Experimental, las características de suelo, con excepción de su fertilidad (en la Estación Experimental la fertilidad del suelo es relativamente alta), son muy representativas de la mayoría de suelos agrícolas de la Sierra ecuatoriana; o por lo menos de las subregiones Sierra Central y Sierra Norte. Esto implica que los resultados obtenidos en éste proceso de investigación son altamente replicables en las condiciones de los agroecosistemas de pequeños y medianos productores de las regiones indicadas; más todavía, si se considera que la mayoría de éstos agricultores se caracterizan por manejar sistemas intensivos de uso del suelo, debido a que el tamaño generalizado de finca es el minifundio (Bucheli, *et al.*, 2003).

## 6.2.2 Descripción del experimento

El experimento se inició en 1994 bajo la hipótesis general de que “Los sistemas agroforestales a probarse son una alternativa económica de uso intensivo del suelo, pero sin erosionar su potencial productivo, en el largo plazo”. Para probar esta hipótesis se diseñaron dos arreglos espaciales que fueron evaluados en comparación con una parcela testigo a campo abierto.

Tabla 6.1 Ubicación geográfica y características micro climáticas del sitio de la investigación, datos promedio de los últimos 30 años. (Fuente: Estación meteorológica Isobamba, del INAMHI)<sup>1</sup>.

Indicador	valor
Altitud	3050 m s n m
Longitud	78° 23' Oeste
Latitud	0° 22' Sur
Temperatura media anual	12 °C
Precipitación media anual	1200 mm
Humedad Relativa	80 %

Los sistemas agroforestales estudiados fueron: 1) La combinación acacia-quishuar, *Acacia melanoxylum* L. y *Buddleja incana* Ruiz y Pavón (AQ); y, 2) La combinación aliso-retama, *Alnus acuminata* O. Ktze y *Sparteum junceum* L. (AL). Acacia y Aliso, entraron como componentes arbóreos, mientras que, quishuar y retama, como componentes arbustivos. Se utilizó una parcela control, a campo abierto, de las mismas dimensiones y con el mismo manejo de cultivos que en las parcelas agroforestales. Cada sistema agroforestal (al que por su arreglo en el campo, se denomina como barrera agroforestal), se formó de dos hileras de árboles de 30 m de largo, con 30 árboles y 30 arbustos, separados en forma alternada a 1 m dentro de hileras y a 2 m entre hileras (Figura 6.1). Las barreras estuvieron orientadas de Norte a Sur para permitir la evaluación del efecto de la sombra: matutina proyectada hacia el Oeste y vespertina proyectada hacia el Este. El área ocupada por cada sistema fue de 2840 m<sup>2</sup>, incluidos caminos. Este experimento no correspondió a ningún diseño experimental tradicional o clásico. Únicamente se plantaron los sistemas agroforestales (barreras) y sus componentes en la forma como se presenta en la Figura 6.1. Dentro de cada componente de la barrera agroforestal, se identificaron por lo menos tres repeticiones, para la toma de datos. En algunos componentes, como se explicará mas adelante, la toma de datos se realizó en más de tres repeticiones. Para el análisis estadístico de datos se aplicaron diferentes metodologías, así: medidas de tendencia central y de dispersión (promedios, rangos y varianzas), para rendimientos de cultivos, raíces andinas

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador

y pastos; análisis de regresión para el crecimiento de especies y para evaluar la tendencia de los rendimientos en función del tiempo y análisis de varianza, para algunos casos específicos como crecimiento de malezas.

Como el objetivo fue diseñar sistemas que permitan la optimización del uso del suelo, el arreglo espacial de cada barrera fue complementado con la siembra de pastos en el interior de las barreras de árboles y arbustos y con raíces andinas, a los costados. En el espacio entre las hileras de árboles y arbustos se sembraron tres opciones de pastos: alfalfa, *Medicago sativa* L.; rye grass, *Lolium perenne* L. y una mezcla de rye grass con trébol blanco, *Trifolium repens* L.; en parcelas de 20 m<sup>2</sup> cada uno. La alfalfa fue transplantada en surcos distanciados a 0,4 m y a 0,2 m entre plantas, mientras que los dos pastos restantes fueron sembrados al voleo.

Del mismo modo, a un metro de la línea de árboles, a los dos costados externos, de las barreras, se sembraron tres especies de raíces andinas: zanahoria blanca, *Arracacia xanthorrhiza* Bancroft (Zb); jícama, *Polymnia sonchifolia* Poeppig y Endlicher (Ji) y miso, *Mirabilis expansa* Ruiz y Pavón (Mi), en dos surcos de 10 m de largo por 1 m de ancho (parcelas de 20 m<sup>2</sup>). Las raíces andinas se sembraron bajo un esquema de rotación entre ellas, dentro de cada año agrícola; evitando sembrar una misma raíz en el mismo sitio, por dos años consecutivos, pero no se pudo evitar la rotación raíz tuberosa sobre raíz tuberosa, aunque fueran de especies distintas.

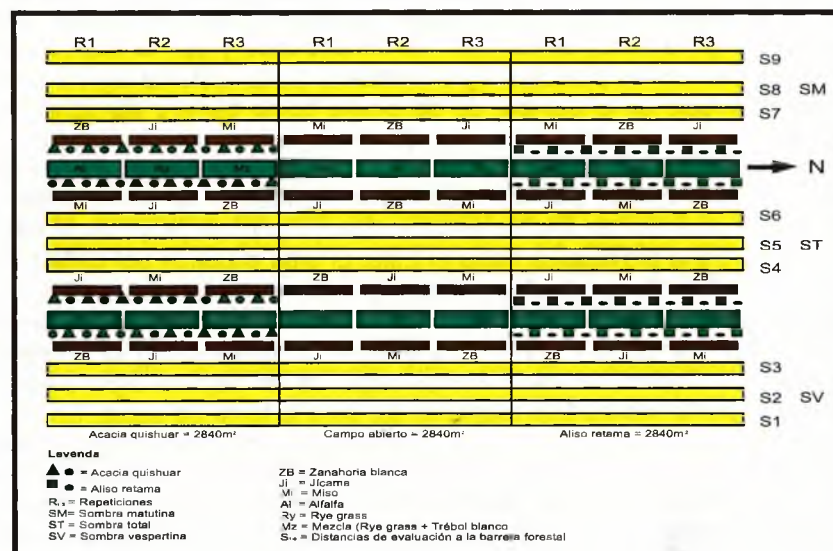


Figura 6.1 Disposición en el campo de los componentes de los sistemas agroforestales evaluados y del sistema control.



A continuación de las raíces andinas se ubicaron parcelas con cultivos propios de la zona, sembrados bajo un sistema de doble rotación. En primer lugar se evitó sembrar un mismo cultivo durante 2 años consecutivos y en segundo lugar se manejó un sistema de rotación con arveja dentro de un mismo año agrícola. Durante el tiempo que duró la investigación (de 1994 a 2004), se manejó la siguiente secuencia de cultivos (Tabla 6.2). Las parcelas de evaluación de esta secuencia de cultivos, se ubicaron a partir de 3 metros de las barreras forestales. Cada cultivo fue evaluado en una parcela neta de 10 m<sup>2</sup> y se trabajaron con 3 distancias por tipo de orientación o efecto sombra de la barrera forestal; de tal forma que el experimento contó con la siguiente distribución de parcelas en el campo (Tabla 6.3 y Figura 6.1).

Tabla 6.2 Secuencia de rotaciones de cultivos, sembrados a diferentes distancias, desde las barreras de especies leñosas.

Año agrícola	Secuencia de cultivo
1994 - 1995	Quinua - arveja, ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd - <i>Pisum sativum</i> L.)
1995 - 1996	Cebada - arveja, ( <i>Hordeum vulgare</i> L. - <i>Pisum sativum</i> L.)
1996 - 1997	Meloco - arveja, ( <i>Ullucus tuberosus</i> Lozano - <i>Pisum sativum</i> L.)
1997 - 1998	Papa - arveja, ( <i>Solanum tuberosum</i> L. - <i>Pisum sativum</i> L.)
1998 - 1999	Quinua - arveja, ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd - <i>Pisum sativum</i> L.)
1999 - 2000	Maiz - arveja, ( <i>Zea mays</i> L. - <i>Pisum sativum</i> L.)
2000 - 2001	Meloco - arveja, ( <i>Ullucus tuberosus</i> Lozano - <i>Pisum sativum</i> L.)
2001 - 2002	Avena y vicia - arveja ( <i>Avena sativa</i> y <i>Vicia sp</i> - <i>Pisum sativum</i> L.)
2002 - 2003	Cebada - arveja ( <i>Hordeum vulgare</i> L. - <i>Pisum sativum</i> L.)
2003 - 2004	Chocho - arveja ( <i>Lupinus mutabilis</i> Sweet - <i>Pisum sativum</i> L.)

Tabla 6.3 Descripción de la ubicación de las parcelas de secuencia de cultivos a diferentes distancias de las barreras forestales.

Sigla	Distancia desde la barrera forestal	Descripción de las parcelas
S1	12 m	Parcela ubicada al Este de la primera barrera forestal, recibe sombra en la tarde
S2	8 m	Parcela ubicada al Este de la primera barrera forestal, recibe sombra en la tarde.
S3	3 m	Parcela ubicada al Este de la primera barrera forestal, recibe sombra en la tarde.
S4	3 m	Parcela ubicada al Oeste de la primera barrera forestal y al Este de la segunda barrera forestal, recibe sombra en la mañana y en la tarde.
S5	8 m	Parcela ubicada en forma equidistante, en el centro de las dos barreras forestales, recibe sombra en la mañana y en la tarde.
S6	3 m	Parcela ubicada al Oeste de la primera barrera forestal y al Este de la segunda barrera forestal, recibe sombra en la mañana y en la tarde.
S7	3 m	Parcela ubicada al Oeste de la segunda barrera forestal, recibe sombra en la mañana.
S8	8 m	Parcela ubicada al Oeste de la segunda barrera forestal, recibe sombra en la mañana.
S9	12 m	Parcela ubicada al Oeste de la segunda barrera forestal, recibe sombra en la mañana.

El efecto de sombra fue evaluado siguiendo un trayecto transversal a las barreras forestales, empezando por la parcela denominada sombra 1 (S1) más alejada al Este y que recibe sombra vespertina (SV), hasta la sombra 9 (S9), más alejada al Oeste y que recibe sombra matutina (SM), pasando por las sombras 4, 5 y 6, (S4, S5 y S6), que reciben sombras totales (ST), por estar en el centro de las dos barreras. De esta forma, en cada efecto sombra (matutina y vespertina), se evaluaron tres distancias desde la barrera, siendo éstas 3, 8 y 12 m (Figura 6.1).

El manejo agronómico de los componentes de los sistemas agroforestales evaluados y la tecnología aplicada fue similar al manejo de los agroecosistemas típicos de subsistencia de la sierra ecuatoriana, es decir, sin la aplicación reiterada de agroquímicos, en cada ciclo de cultivo. Durante los diez años del experimento no fue necesario aplicar pesticidas, con excepción del cultivo de papa, que entró en la rotación en 1998 y fue necesaria la aplicación de pesticidas para controlar *Phytophthora* spp. En cuanto a la aplicación de fertilizantes, con excepción del primer año del experimento, en el cual, se aplicó una fertilización de 50-80-40 kg ha<sup>-1</sup> de N-P-K y del cultivo de papa, en el que se aplicó una fertilización de 100-150-100 kg ha<sup>-1</sup> de N-P-K, el manejo agronómico del resto de cultivos se hizo sin aplicación de fertilizantes.

Las especies arbóreas y arbustivas se manejaron con podas anuales, para conseguir la formación de fuste comercial de los árboles, y para obtener leña de árboles y arbustos y biomasa fresca (forraje) de los arbustos. Los pastos se manejaron con cortes sucesivos cada 90 días y las raíces andinas con un ciclo de cultivo por año.

### **6.2.3 Indicadores de campo y métodos de evaluación**

Durante los 10 años que duró el experimento, se procedió a la toma de información de campo, en forma sistemática, en cada ciclo de cultivo. En la Tabla 6.4 se presenta en forma detallada los indicadores utilizados así como las unidades de medida, para cada componente de los sistemas agroforestales evaluados.

### **6.3 Seguimiento del experimento y resultados relevantes**

Como ya se mencionó este experimento fue plantado el año 1994, con una expectativa de mantener por un período no menor a 10 años que se cumplió en el 2004; es decir, se han registrado una serie de datos de campo que responden a diez ciclos anuales de cultivo consecutivos, los mismos que luego de su análisis se informan en esta publicación. Sin embargo, es necesario aclarar que el experimento, durante el período de evaluación, ha sido objeto de algunos cambios o modificaciones al diseño original. En unos casos estos

cambios se han dado por decisión de los técnicos que en su turno han conducido el experimento, y en otros casos las modificaciones son el resultado del comportamiento mismo de los componentes de los sistemas agroforestales sometidos a estudio. Uno de los cambios más importantes fue que a partir de 1998, a los tres años del experimento, se modificó la localización de las parcelas de cultivos sembrados a diferentes distancias de las barreras forestales. Los primeros tres años del experimento se evaluaron cinco distancias, ubicadas a 8 y 12 m a los costados (Este y Oeste), de las dos barreras forestales y a 8 m equidistante, en el centro de las dos barreras; a partir de 1998, se incluyeron dos parcelas adicionales a cada costado de cada barrera, es decir, se incrementaron las distancias de observación de cinco a nueve (Figura 6.1). Este cambio obedeció a que a partir del cuarto año, las barreras empezaron a proyectar sombra en forma significativa a los costados y era necesario evaluar el efecto con mayor precisión.

Tabla 6.4 Descripción de los indicadores utilizados y de los métodos de evaluación de campo.

Componente / Indicador	Unidad de medida	Detalles de muestreo y medición
<b>En pastos</b>		
Biomasa fresca	t ha <sup>-1</sup>	Se muestreó una parcela neta de 1 m <sup>2</sup> , tomado al azar dentro de cada parcela. Se pesó en campo con una balanza cuya precisión alcanzó 1 g.
Biomasa seca	t ha <sup>-1</sup>	A partir de la biomasa fresca, luego de eliminar el contenido de agua en horno a 70 °C, durante 72 h.
<b>En raíces andinas</b>		
Rendimiento de raíces tuberosas	kg ha <sup>-1</sup>	Se muestreó una parcela neta de 18 m <sup>2</sup> , se separó de cada planta las raíces comerciales y se procedió a pesar en una balanza cuya precisión alcanzó 1 g.
<b>En árboles</b>		
Altura total del árbol	m	Se midió desde el nivel del suelo hasta el ápice final. En un inicio con una regla graduada cuya precisión alcanzó 1 cm. Posteriormente se utilizó un clinómetro.
Altura comercial del árbol	m	Calculada hasta un 60% de la altura total del árbol.
Diámetro a la altura del pecho, DAP	cm	Se midió con una cinta métrica, tomando la circunferencia del fuste a la altura del pecho del evaluador ( $\pm 1,3$ m) y posteriormente se dividió la circunferencia del fuste entre $\pi$ (3,1416).
Volumen de madera	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Calculado con los datos de DAP y altura. Se utilizó la fórmula del cilindro: $V = (AB \cdot H) \cdot 0,45$ ; donde, AB = área basal = $(\pi \cdot DAP^2) / 4$ , H = altura comercial del árbol y 0,45 factor de forma, para corrección de volumen.
Leña	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Se evaluó al final del experimento. El volumen de leña se estimó en un 40% de total estimado por árbol.

Forraje	Kg ha <sup>-1</sup>	Se evaluó el rendimiento de follaje mediante podas anuales, pesando la biomasa fresca por planta, luego de separar las partes leñosas.
<b>En arbustos</b>		
Leña	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Se evaluó al final del experimento, midiendo el diámetro medio y la longitud del tronco principal y ramas primarias. El volumen de leña se estimó de la sumatoria de los volúmenes del tronco y ramas principales de cada planta, utilizando la misma fórmula de cálculo que para volumen de madera.
Forraje	kg ha <sup>-1</sup>	Se evaluó el rendimiento de follaje mediante podas anuales, pesando la biomasa fresca por planta, luego de separar las partes leñosas.
<b>En Cultivos</b>		
Rendimiento de la parte aprovechable	kg ha <sup>-1</sup>	Se muestreó en cada ciclo de cultivo, en parcelas netas de 10 m <sup>2</sup> , ubicadas a las distancias respectivas de las barreras forestales.
Malezas	# m <sup>-2</sup>	Se determinó al final del experimento, el número de malezas por 0,25 m <sup>2</sup> , en cada parcela de cultivo.
En arveja	kg ha <sup>-1</sup>	En cada ciclo de cultivo, se evaluó el rendimiento de grano tierno, en parcelas netas de 10 m <sup>2</sup> , ubicadas a las distancias respectivas de las barreras forestales.
<b>En Suelos</b>		
Materia Orgánica	%	Se cuantificó el incremento de materia orgánica por efecto de los sistemas agroforestales al décimo ciclo de cultivo, en trayectos verticales a las barreras agroforestales.
<b>Análisis de ingresos</b>		
Productos cosechados	kg parcela <sup>-1</sup>	Anualmente, se cuantificaron los productos aprovechables o de valor comercial en cada componente de los SAF's y en la parcela a campo abierto.
Ingresos	USD parcela <sup>-1</sup>	Se multiplicó la cantidad cosechada de cada componente por el valor comercial a nivel de finca, para cada sistema agroforestal*

\*Debido a que el experimento se realizó en una etapa de mucha inestabilidad económica, que terminó con la dolarización en 1999, se tomó la decisión de valorar los ingresos a precios del 2004, para todo el período del experimento.

Otro cambio importante realizado por decisión de los técnicos conductores del experimento fue la siembra de una especie forrajera (avena-vicia), en el 2001, en lugar de un cultivo alimenticio, como estaba planificado originalmente. Este cambio no tuvo una incidencia negativa en el análisis de la información debido a que la evaluación de resultados se realizó en cada año en forma independiente.

A continuación se presentan los resultados relevantes por cada componente de los sistemas agroforestales: rendimiento de raíces andinas, rendimiento de pastos, rendimiento de la secuencia de cultivos sembrados a diferentes distancias de las barreras forestales, rendimiento de arveja en tierno, sembrada a diferentes distancias de las barreras y en rotación con los cultivos

alimenticios, crecimiento y rendimiento de árboles y arbustos. Esta presentación de resultados se completa con un análisis comparativo de ingresos por la venta de productos tangibles por cada sistema agroforestal en comparación con el sistema testigo a campo abierto, y un análisis complementario de por lo menos dos productos no tangibles de los sistemas (el crecimiento de malezas y el incremento de materia orgánica en el suelo).

### **6.3.1 Efecto de dos sistemas agroforestales en el rendimiento de tres especies de raíces andinas**

La siembra de las tres raíces andinas, en las áreas contiguas a las barreras forestales (a un metro de la hilera de árboles) se realizó bajo la hipótesis general de que "Las plantas productoras de raíces tuberosas o rizomas son especies que toleran micro ambientes de sombra" y que, por lo tanto son las especies ideales como componentes de un arreglo agroforestal que permita un uso intensivo del suelo. Como ya se mencionó, la búsqueda de un sistema agroforestal con base en un arreglo espacial de uso intensivo del suelo, se justifica para la región Sierra, debido a la escasez evidente del recurso suelo agrícola y a la proliferación exagerada de minifundio, en toda la región.

Las tres especies de raíces andinas se seleccionaron por las siguientes consideraciones: i) Su posible adaptación al sitio del experimento, ii) Son especies de valor comercial significativo, ya sea en la alimentación humana o como forraje fresco. Zanahoria blanca es reconocida y apreciada en la alimentación humana de poblaciones rurales y urbanas; jícama está siendo reconocida como una posible proveedora de azúcares no convencionales (azúcares no asimilables por el organismo humano), que podrían sustituir con éxito a la azúcar de caña para personas con diabetes (Nieto, 1991; Seminario, Valderrama y Manrique, 2003); Jícama y miso toleran cortes de follaje y reaccionan con rebrotes; El follaje de miso tiene contenidos de proteína similares a los de alfalfa<sup>1</sup>, iii) Aparentemente son poco exigentes en manejo agronómico, no tienen problemas mayores con plagas y no son exigentes en fertilización y, por lo menos el miso y la jícama, compiten exitosamente con malezas y iv) Pueden comportarse como perennes, o por lo menos semiperennes, dependiendo del manejo; es decir, que si el agricultor decide no cosecharlas en un ciclo determinado, la planta no se muere, como sucede con otros cultivos, sino que continua su crecimiento, reciclando la cosecha de raíces anterior, dando lugar a nuevo follaje y a una nueva formación de raíces tuberosas.

---

<sup>1</sup> Análisis del follaje de miso realizados en el laboratorio de Nutrición de la Estación Experimental Santa Catalina, del INIAP, dieron porcentajes de proteína en base seca superiores al 20%.

Del análisis de los resultados del comportamiento de las tres especies de raíces andinas, bajo la influencia de las barreras forestales, durante un período de 9 años consecutivos, se encontraron evidencias *claras de que las tres raíces son aptas para formar parte de sistemas mixtos de cultivo, como son los sistemas agroforestales o al menos son aptas durante los primeros cinco años de funcionamiento del sistema agroforestal.*

Los resultados de rendimiento promedio, en toneladas por hectárea, conjuntamente con las desviaciones estándar de las tres raíces bajo la influencia de los dos sistemas agroforestales y del testigo a campo abierto, se muestran en la Tabla 6.5, para la serie de nueve años consecutivos; mientras que para una mejor ilustración, en las Figuras 6.2, 6.3 y 6.4, se observa la representación gráfica de la influencia de los dos sistemas agroforestales en los rendimientos de zanahoria blanca, jícama y miso, respectivamente, en función del tiempo. Además, en la Tabla 6.6, se presentan los modelos de regresión, que expresan las tendencias del rendimiento de las interacciones raíz tuberosa por sistema agroforestal. Del análisis de estos resultados, se pueden establecer las siguientes interpretaciones y conclusiones, las que pretenden explicar las posibles causas del comportamiento de las tres especies en estudio:

- a) Las tres raíces tuberosas presentaron respuestas consistentemente similares, en función del tiempo, cuya tendencia fue claramente decreciente. Al comienzo (durante los primeros cuatro a cinco años), los rendimientos fueron altos para las tres raíces, pero a medida que pasó el tiempo, los rendimientos decrecieron. Por lo tanto, se podría afirmar que se trata de una respuesta combinada al efecto sombra de las barreras agroforestales y al monocultivo de raíces entre sí. Si bien es verdad que se evitó la siembra de una misma raíz en el mismo sitio por dos ciclos consecutivos, pero la repetición constante de raíz tuberosa sobre raíz tuberosa, durante nueve años consecutivos, hizo que los rendimientos tiendan a la baja, posiblemente por el agotamiento de elementos nutritivos (precisamente por la falta de rotación con otros cultivos que no sean raíces). Dado que el experimento se desarrolló sin la aplicación de fertilizantes, durante todo el periodo (decisión que se aplicó para simular las condiciones de manejo de cultivo por el agricultor de subsistencia de la sierra), es muy probable que los requerimientos preferenciales de algún elemento nutritivo del suelo se haya superpuesto para las tres especies en estudio.
- b) A juzgar por el rendimiento de raíces tuberosas por influencia de la especie en combinación con los sistemas agroforestales, se observó una interacción significativa entre ellos. Los rendimientos de zanahoria blanca, siguieron una tendencia lineal decreciente, mientras que los de

jícama y miso se ajustaron a modelos cuadráticos, aunque también decrecientes con el tiempo. Los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) fueron superiores a 90 en todos los casos. Esto significa que más del 80 % de la variabilidad del rendimiento de las raíces se explicó por la influencia del tiempo. En este caso, a medida que pasa el tiempo (años desde la instalación del experimento), los rendimientos decrecieron, pero siguiendo tendencias diferentes.

- c) Al observar los rendimientos promedio de las tres raíces por influencia de los sistemas agroforestales, en comparación con los rendimientos en las parcelas testigo (Tabla 6.5), se encontraron diferencias significativas a partir del cuarto año del experimento. Los rendimientos obtenidos en las parcelas testigo fueron superiores en forma consistente con el tiempo, para las tres raíces andinas evaluadas. Se podría concluir que estas diferencias en rendimiento se debieron al efecto sombra de las barreras agroforestales, o que la sombra de las barreras agroforestales empezó a influenciar en el rendimiento a partir del año cuatro.
- d) Por otro lado, la respuesta con bajos rendimientos de las tres especies al efecto de sombra matutina fue muy marcada, durante todo el período de prueba (Figuras 6.2, 6.3 y 6.4), aunque, a partir de los años: tres en miso, cinco en jícama y seis en zanahoria blanca, la respuesta al efecto de la competencia también fue evidente en las parcelas que recibieron sombra vespertina. Este comportamiento se podría interpretar como que la radiación solar de la mañana es más efectiva para la fotosíntesis y crecimiento de las raíces andinas, en comparación con la radiación solar de la tarde. Las condiciones meteorológicas del sitio, hacen que casi siempre haya nubosidad por las tardes, esto implica que la cantidad de radiación solar interferida por las nubes sea sustancialmente mayor en las tardes.
- e) Otra posible causa que explica el rendimiento diferenciado de las parcelas orientadas al Oeste de las barreras (con sombra matutina), es que el sitio está ubicado más o menos al pie, al Este del monte Atacazo (que alcanza los 4000 m de altitud). Esta elevación natural interfiere con la radiación solar en las tardes. Debido al ángulo de incidencia de la radiación, a partir de aproximadamente las 17 horas ésta es interferida por la montaña; por lo tanto, los campos de cultivo al Este de la montaña no reciben radiación directa (solo dispersa), en las últimas horas de la tarde. En este caso, las parcelas afectadas son justamente las que están orientadas al Oeste de las barreras. Estas parcelas recibieron sombra por interferencia de las barreras, en las mañanas y radiación dispersa por influencia de la montaña y de la nubosidad, en las tardes. Estas consideraciones explican los rendimientos sustancial y

consistentemente más bajos en las parcelas situadas al Oeste de las barreras, prácticamente durante todo el periodo del experimento, en comparación con los rendimientos de las parcelas situadas al Este de las barreras y a campo abierto.

- f) De las tres especies evaluadas, aparentemente miso es la que menos responde a la asociación con especies forestales. Efectivamente, miso presentó en forma muy rápida diferencias de rendimiento como respuesta a los efectos de sombra. A partir de apenas el cuarto año, las curvas de respuesta de miso al efecto de los dos sistemas agroforestales, se distanciaron significativamente de la curva de rendimiento a campo abierto (Figura 6.4). Esto se corrobora con el comportamiento de esta especie a campo abierto. Durante todo el período de nueve años, los rendimientos de miso fueron superiores a los rendimientos de jícama y zanahoria blanca (Incluso al año nueve, los rendimientos de miso, a campo abierto, fueron 30 % superiores a los rendimientos de jícama y casi 47 % superiores a los de zanahoria blanca (Tabla 6.5).
- g) Sin embargo, volviendo a los rendimientos de las tres especies, si se considera como referente el promedio de rendimiento, a nivel de agricultores, de 5 a 10 t ha<sup>-1</sup>, que corresponde a zanahoria blanca<sup>1</sup> (No existen datos ni observaciones para jícama ni para miso, ya que todavía no son cultivos que se producen en forma comercial ni son cultivos que se ofertan en el mercado), se podría decir que los rendimientos en SAF's están por encima del rendimiento de agricultores, por lo menos durante los primeros tres o cuatro años, para zanahoria blanca (Tabla 6.5). Esto da la posibilidad de recomendar el uso de estas especies como componentes de los sistemas agroforestales, y como opciones que permiten ocupar el espacio o área de interfase entre barrera forestal y cultivo.
- h) Por lo tanto, se puede concluir que la opción de cultivar raíces andinas en el área de mayor competencia con las especies forestales, por el lapso de al menos los primeros cinco años, es una alternativa muy atractiva para agricultores de subsistencia, que aprovecharían estos espacios con una opción productiva. De esta forma, se cumple uno de los objetivos de la instalación de este experimento, que se refiere a la búsqueda de opciones de uso intensivo del suelo. Además el rendimiento de raíces andinas sembradas en el área de interfase entre árboles y cultivos significa una compensación a las pérdidas de

---

<sup>1</sup> Observaciones directas de los autores en campos de cultivo, en Urcuquí, provincia de Imbabura y San José de Minas, provincia de Pichincha.



rendimientos e ingresos que afronta el agricultor durante los primeros años por la decisión de plantar sistemas agroforestales en sus parcelas agrícolas.

- i) Desde una perspectiva general, los resultados de este primer componente de sistemas agroforestales, dan la posibilidad de ensayar un equivalente del sistema "Taungya", ya que permite hacer un uso intensivo de los espacios de suelo, durante los primeros años de crecimiento de la barrera forestal.

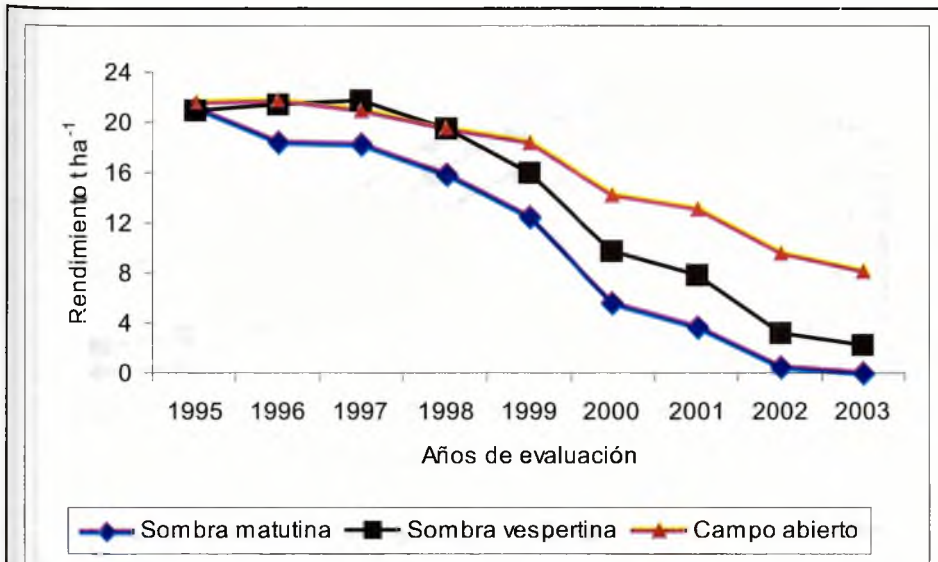
Este comportamiento de las tres raíces tuberosas, mostrando un rendimiento satisfactorio, bajo la influencia de las barreras agroforestales, por lo menos durante los primeros cinco años, corrobora, lo que se indica en la literatura. Varias evidencias se reportan, acerca de la adaptación de especies de raíces tuberosas, entre ellas las raíces andinas a sistemas agroforestales, puesto que la mayoría de ellas se adaptan a cultivos asociados, no requieren de la aplicación de pesticidas o de fertilizantes, son cultivos de doble propósito (consumo humano y producción de forraje), y presentan un amplio rango de adaptación a condiciones climáticas variables, especialmente de temperatura, humedad y luminosidad (Rea, 1982; Gosh *et al.*, 1987; Seminario, 1988; Vietmeyer y Dafforn, 1989; Hermann, 1997; Grau y Rea, 1997), o por su condición de plantas bienales o perennes sirven para proteger el suelo de la erosión, ya que pueden ser sembradas en contornos o franjas transversales para impedir el arrastre de suelo (INIAP, 1989). Cultivos de raíces tuberosas como achira *Canna edulis* Ker-Gawl., ahípa *Pachyrhizus ahípa* Wedd., maca *Lepidium meyenii*, Walpers, jícama *Polymnia sonchifolia* Poeppig y Endlicher y miso *Mirabilis expansa* Ruiz y Pavón, son parte de sistemas de producción de pequeñas fincas en la región Andina y están adaptados, principalmente, a sistemas mixtos o asociados y toleran exitosamente la competencia por luz, agua y nutrimentos (Vietmeyer y Dafforn, 1989). Sin embargo, otros autores indican que estas especies tuberosas andinas presentan varias limitaciones agronómicas, entre ellas que son agotadoras del suelo (Espinoza *et al.*, 1996) o que requieren de cierto manejo de protección contra plagas y enfermedades (Castillo *et al.*, 1996), lo cual podría implicar pocas posibilidades para competir con especies arbóreas.

Aunque no se ha podido encontrar información específica sobre el uso de estas especies tuberosas andinas en sistemas agroforestales, Vietmeyer y Dafforn, en 1989, indican que la jícama tiene potencial para sistemas agroforestales porque crece bien debajo de árboles. En Ecuador, las tres especies: zanahoria blanca, jícama y miso, son comúnmente sembradas en huertos caseros, en asociación con plantas frutales arbóreas o arbustivas o con otros cultivos (Nieto *et al.*, 1984; INIAP, 1989), lo que indica el potencial de estas tuberosas para producir en condiciones de competencia, especialmente bajo sombra. Varias

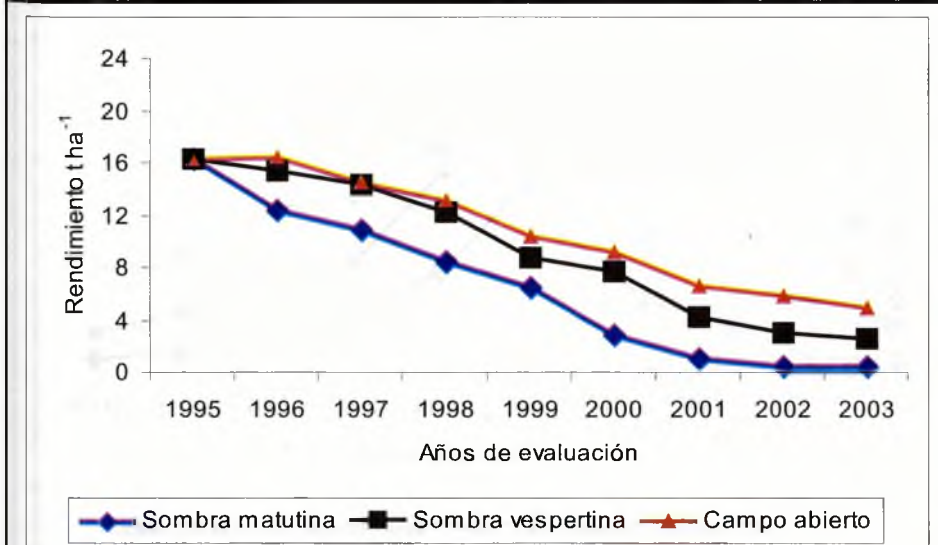
evidencias muestran que otras tuberosas podrían adaptarse a ambientes de competencia con especies arbóreas. Por ejemplo, Dadwal *et al.*, (1989) manifiestan que especies como camote, *Ipomoea batatas* L. y taro, *Colocacia* spp, son aptas para sistemas agroforestales, debido a que compiten exitosamente con especies arbóreas y rinden satisfactoriamente bajo su sombra, por lo menos durante los tres primeros años del establecimiento de los árboles.

Una información adicional muy importante, obtenida de los resultados de este componente del experimento es que el comportamiento o más bien la adaptación de las tres especies de raíces andinas fue diferente en las condiciones de sitio. Si se observan los datos promedios de rendimiento (Tabla 6.5), se encuentra que zanahoria blanca aparentemente presentó poca adaptación a las condiciones ambientales del sitio, durante los 9 años en estudio; mientras que miso parece haber presentado las mejores posibilidades de adaptación. Los rendimientos de zanahoria blanca, fueron los más bajos, tanto en combinación con las barreras forestales como en las parcelas a campo abierto, mientras que los rendimientos de jícama fueron medios entre las tres especies y los de miso, los más altos. Esto es muy explicable, debido a que la distribución natural de zanahoria blanca y jícama parece predominar en los valles bajos, es decir en áreas con temperaturas promedio más altas que las observadas en Santa Catalina. De hecho, las dos especies son muy susceptibles a heladas. Sin embargo, este comportamiento, da lugar a ensayar otra interpretación o recomendación. Tanto zanahoria blanca como jícama son especies que tendrían mucho potencial para sistemas agroforestales en zonas bajas (valles bajos y estribaciones de las cordilleras), que son áreas con mucha aptitud para sistemas agroforestales.

Queda como recomendación para estudiar en el futuro, la respuesta de estas raíces andinas a la influencia de otros arreglos forestales (combinaciones de árbol y arbusto) y en otros sitios, en donde se puedan variar las condiciones de suelo y de micro clima. También queda por estudiar la respuesta de estas raíces a la influencia de las barreras forestales, pero con la aplicación de fertilización. Posiblemente, si las raíces andinas hubieran sido manejadas bajo un régimen de fertilización, los rendimientos hubieran sido consistentes por encima de los rendimientos del promedio en campos de agricultores, por un tiempo mucho mayor de los cinco años observados en este experimento.

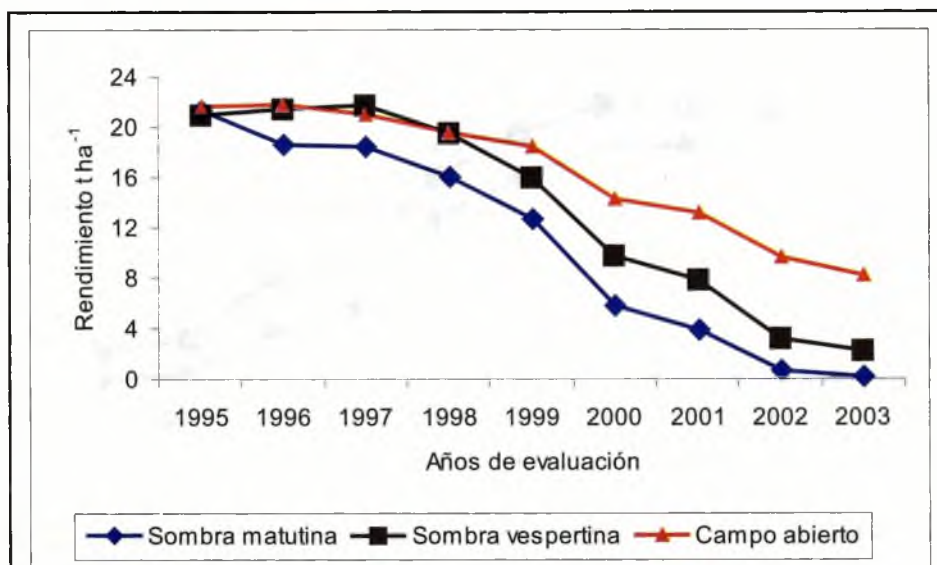


a). Zanahoria blanca en acacia-quishuar

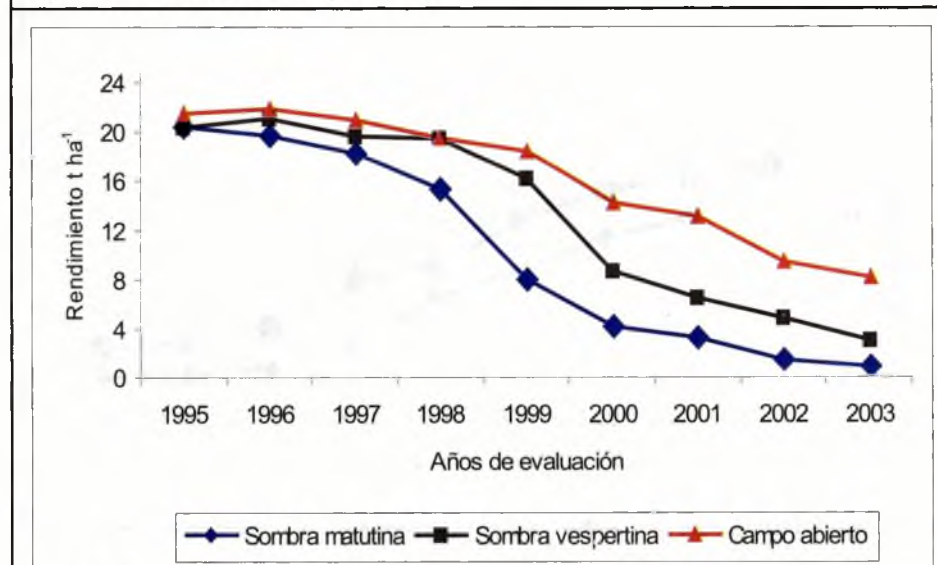


b). Zanahoria blanca en aliso-retama.

Figura 6.2. Representación gráfica del rendimiento promedio de zanahoria blanca, bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y un sistema control para nueve años consecutivos.

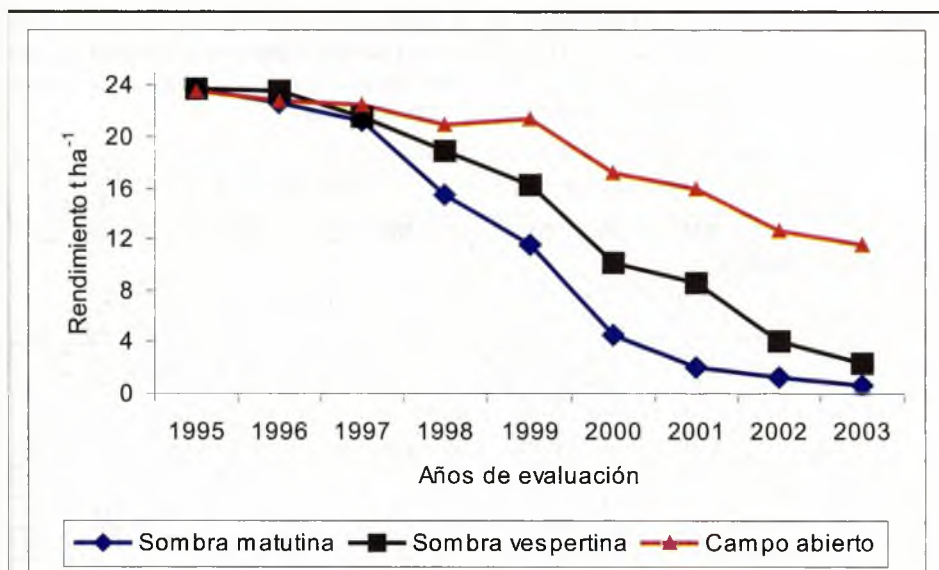


a). Jícama en acacia-quishuar

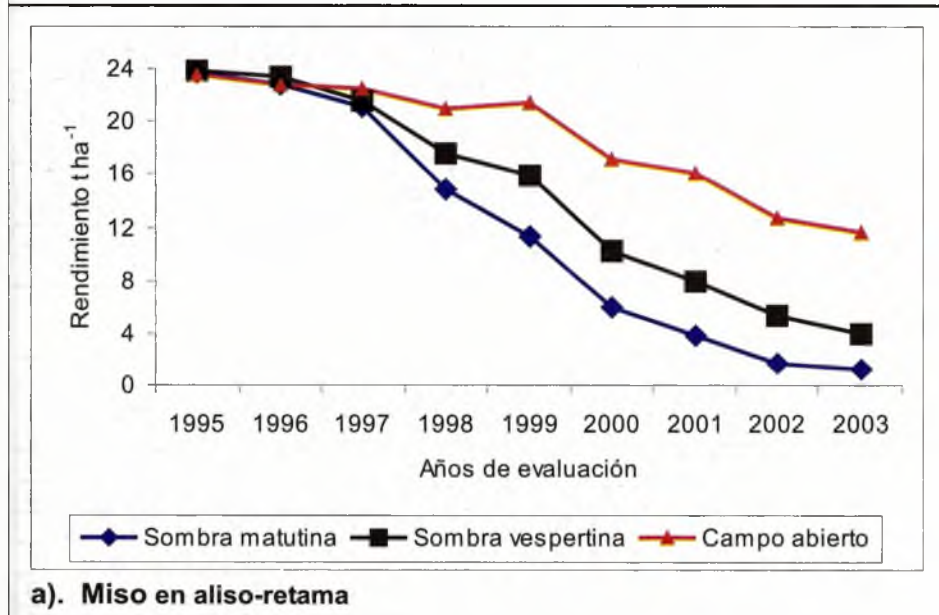


B). Jícama en aliso-retama

Figura 6.3 Representación gráfica del rendimiento promedio de jícama, bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y un sistema control para nueve años consecutivos.



a). Miso en acacia-quishuar



a). Miso en aliso-retama

Figura 6.4. Representación gráfica del rendimiento promedio de miso, bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y un sistema control para nueve años consecutivos.

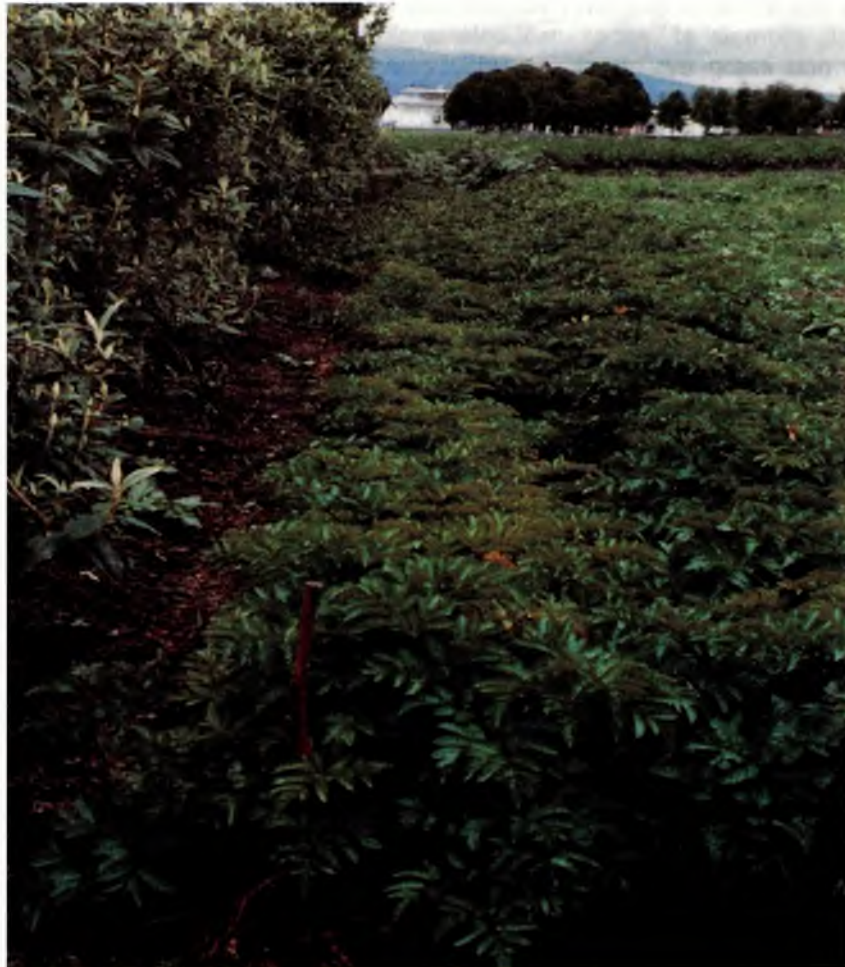
Tabla 6.5. Rendimiento promedio de la parte aprovechable ( $t\ ha^{-1}$ ), de tres raíces andinas, bajo la influencia de dos sistemas agroforestales, en combinación con dos efectos sombra y un testigo a campo abierto, durante nueve años consecutivos.

Cultivo / año	Acacia-quishuar				Aliso-retama				Campo abierto	
	SM	ds	SV	ds	SM	ds	SV	ds	Prom	ds
<b>Zanahoria blanca</b>										
1995	16,40	0,14	16,35	0,21	16,40	0,14	16,35	0,21	16,25	0,07
1996	14,46	1,09	15,88	0,08	12,47	0,68	15,43	0,18	16,48	2,51
1997	12,96	0,46	14,98	4,73	11,06	1,10	14,33	1,23	14,50	2,21
1998	8,63	0,81	13,30	0,71	8,60	0,28	12,20	0,07	13,20	1,48
1999	4,85	0,09	8,14	0,09	6,69	0,16	8,72	0,27	10,35	0,47
2000	3,75	0,67	6,78	0,08	3,06	0,15	7,63	0,26	9,21	0,79
2001	1,33	0,01	4,04	0,08	1,17	0,04	4,25	0,11	6,59	0,31
2002	0,13	0,18	2,65	0,21	0,63	0,88	3,02	0,08	5,93	0,64
2003	0,00	0,00	1,50	0,01	0,64	0,01	2,63	0,04	5,05	0,05
<b>Jícama</b>										
1995	21,25	0,35	21,00	1,41	20,40	0,00	20,40	0,00	21,61	0,22
1996	18,61	0,72	21,49	1,01	19,65	0,21	21,25	1,34	21,83	1,04
1997	18,35	0,60	21,73	0,63	18,25	0,15	19,68	0,20	20,90	0,64
1998	16,05	1,06	19,58	0,46	15,30	0,42	19,55	0,00	19,49	0,35
1999	12,69	0,27	16,04	0,77	7,97	0,50	16,19	0,43	18,44	1,07
2000	5,74	0,18	9,83	0,47	4,12	0,21	8,74	0,10	14,19	0,28
2001	3,82	0,15	7,90	0,70	3,38	0,26	6,50	0,16	13,05	0,34
2002	0,62	0,02	3,12	0,12	1,53	0,15	4,98	0,10	9,57	0,25
2003	0,18	0,01	2,23	0,04	0,93	0,01	3,09	0,08	8,18	0,06
<b>Miso</b>										
1995	23,75	0,07	23,75	0,21	23,65	0,07	23,83	0,06	23,60	0,22
1996	22,64	0,19	23,62	0,40	22,84	0,06	23,40	0,24	22,77	1,56
1997	21,32	0,79	21,50	0,52	21,12	0,31	21,57	0,07	22,48	0,69
1998	15,45	3,04	18,85	0,07	14,85	0,78	17,58	1,80	22,01	1,40
1999	11,63	0,42	13,20	0,47	11,24	0,36	14,86	0,68	21,35	0,53
2000	4,59	0,04	10,13	0,40	5,95	0,18	11,19	0,40	17,11	0,71
2001	2,09	0,13	8,54	0,81	3,87	0,47	7,00	0,13	15,98	1,15
2002	1,21	0,03	4,04	0,18	1,70	0,16	5,40	0,09	12,70	0,45
2003	0,59	0,10	2,34	0,05	1,25	0,07	4,01	0,13	11,58	0,14

SM = Efecto de Sombra Matutina.  
SV = Efecto de Sombra Vespertina.  
ds = Desviación estándar.

Tabla 6.6. Modelos de regresión que representan las tendencias del rendimiento aprovechable ( $y = t \text{ ha}^{-1}$ ), de tres especies de raíces andinas, en función del tiempo ( $x = \text{años}$ ), bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y un testigo a campo abierto.

Sistema agroforestales / Raíces andinas	Modelo	R <sup>2</sup>
<b>Acacia-quishuar</b>		
Zanahoria blanca	$y = -2,210x + 19,128$	0,96
Jícama	$y = -0,163x^2 - 1,24x + 23,622$	0,95
Miso	$y = -0,024x^2 - 2,97x + 28,509$	0,92
<b>Aliso-retama</b>		
Zanahoria blanca	$y = -2,006x + 18,103$	0,97
Jícama	$y = -0,049x^2 - 2,249x + 24,563$	0,96
Miso	$y = -0,025x^2 - 3,283x + 28,759$	0,97
<b>Campo abierto</b>		
Zanahoria blanca	$y = -1,604x + 18,861$	0,97
Jícama	$y = -0,172x^2 - 0,137x + 22,497$	0,97
Miso	$y = -0,162x^2 - 0,033x + 23,695$	0,93



**Foto 7.** Crecimiento de raíces andinas en el área de interface árbol-cultivo bajo la influencia de la barrera agroforestal acacia-quisuar.



### 6.3.2 Efecto de dos sistemas agroforestales en el rendimiento de tres especies forrajeras

Este es un segundo componente de los sistemas agroforestales en estudio. Tratando de buscar una opción de uso intensivo del suelo, se decidió incluir como parte de los arreglos agroforestales estudiados, la siembra de tres especies forrajeras: alfalfa, rye grass y la mezcla de rye grass con trébol blanco. Todas estas especies son típicas forrajeras de corte o pastoreo en la Sierra ecuatoriana. Además, todas tienen dentro de su rango de adaptación, a ambientes similares a los de Santa Catalina. La hipótesis planteada para este componente fue "Los pastos sembrados en el centro de la doble hilera de las barreras forestales, proporcionarán un ingreso complementario al agricultor, por lo menos durante los primeros años de desarrollo de los sistemas agroforestales". Este ingreso complementario será para compensar la pérdida de ingreso por competencia en espacio, que se produce por la plantación de árboles en los terrenos agrícolas.

En la planificación del experimento se consideraron a las tres opciones forrajeras como pastos de corte, sin embargo, el agricultor en la práctica puede también aplicar pastoreo para animales menores, especialmente ovejas, que son animales que pastorean las forrajeras y no tienen el hábito de destruir los componentes arbóreos.

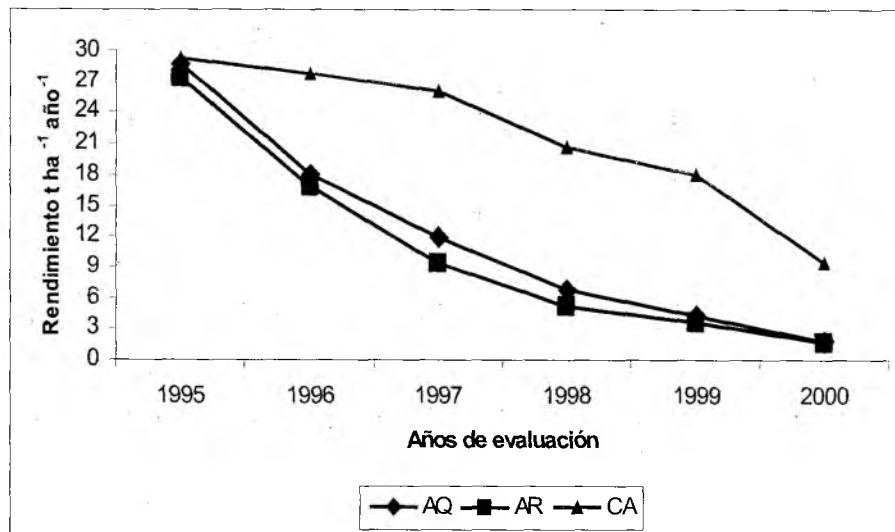


Figura 6.5. Representación gráfica del rendimiento de materia seca de alfalfa, bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y el sistema control, para seis años consecutivos.

Tabla 6.7. Rendimiento promedio ( $t\ ha^{-1}$ ) de materia seca de tres especies forrajeras, bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y un testigo, a campo abierto, durante seis años consecutivos.

Forrajera Año	Acacia-quishuar		Aliso-retama		Campo abierto	
	Promedio	ds	Promedio	ds	Promedio	ds
<b>Alfalfa</b>						
1995	28,59	1,60	27,39	1,95	29,18	1,19
1996	17,91	2,76	16,89	2,58	27,71	0,94
1997	11,90	2,18	9,40	0,54	26,07	0,17
1998	6,66	0,36	5,08	0,68	20,65	5,04
1999	4,26	0,43	3,68	0,44	17,89	1,35
2000	1,77	0,45	1,63	0,72	9,40	1,39
<b>Rye grass</b>						
1995	15,58	0,39	16,01	1,34	15,79	2,88
1996	12,94	1,18	14,06	0,91	10,69	0,76
1997	10,30	0,5	12,30	2,56	7,80	1,72
1998	6,49	1,52	9,61	1,47	4,13	1,51
1999	3,61	2,33	8,33	0,59	1,96	2,37
2000	1,75	0,69	7,13	0,32	0,56	0,79
<b>Mezcla*</b>						
1995	16,97	1,07	17,40	2,55	17,73	2,26
1996	16,30	0,82	16,02	0,24	16,71	1,02
1997	13,30	2,27	13,80	0,97	14,10	0,74
1998	11,45	0,58	11,84	0,05	11,20	0,94
1999	7,65	0,98	8,18	1,08	7,07	0,77
2000	3,02	0,30	4,27	0,06	2,36	1,20

\*= Rye grass con trébol blanco.  
ds = Desviación estándar.

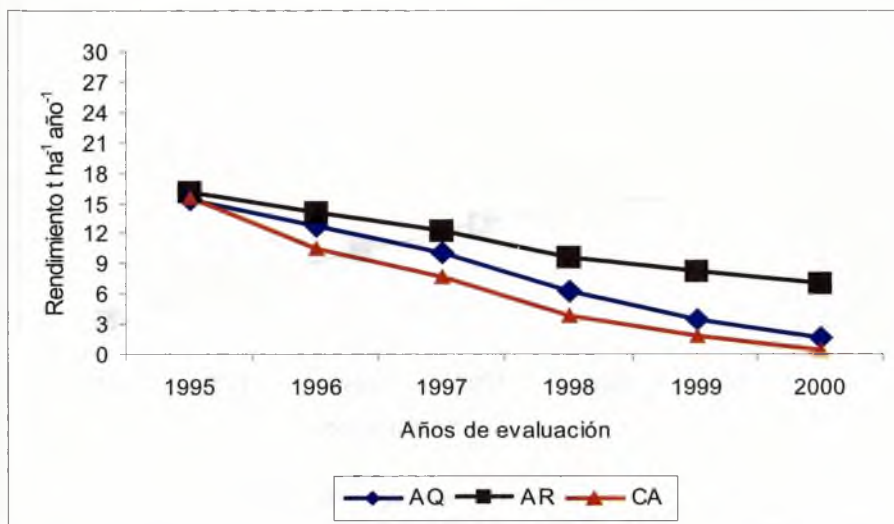


Figura 6.6 Representación gráfica del rendimiento de biomasa seca de rye grass, bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y el sistema control, para seis años consecutivos.

Tabla 6.8 Modelos de regresión lineal que representan las tendencias del rendimiento de materia seca ( $y = t \text{ ha}^{-1}$ ), de tres especies de pastos, en función del tiempo ( $x = \text{años}$ ), bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y un testigo a campo abierto.

Sistema Agroforestales/ Pasto	Modelo	R <sup>2</sup>
<b>Acacia-quishuar</b>		
Alfalfa	$y = -5,015x + 29,58$	0,91
Rye grass	$y = -2,88x + 18,539$	0,92
Rye grass - Trébol blanco	$y = -2,786x + 21,201$	0,95
<b>Sistema Aliso-Retama</b>		
Alfalfa	$y = -4,913x + 27,946$	0,88
Rye grass	$y = -1,837x + 17,670$	0,98
Rye grass - Trébol blanco	$y = -2,604x + 21,035$	0,96
<b>Testigo a Campo abierto</b>		
Alfalfa	$y = -3,341x + 34,073$	0,95
Rye grass	$y = -3,029x + 17,425$	0,96
Rye grass - Trébol blanco	$y = -3,105x + 22,397$	0,95

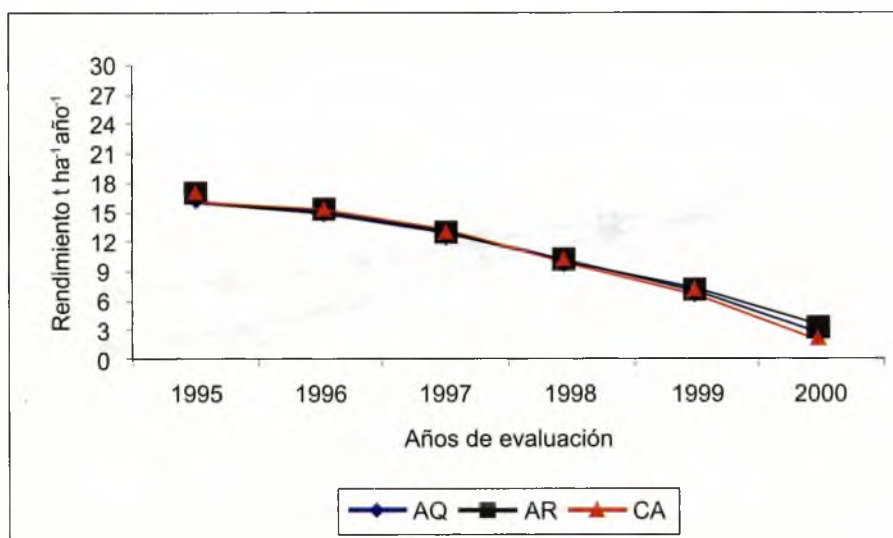


Figura 6.7. Representación gráfica del rendimiento de biomasa seca de la mezcla forrajera (rye grass-trébol blanco), bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y el sistema control, para seis años consecutivos.

La evaluación del rendimiento de las especies forrajeras se realizó durante un período de seis años consecutivos, a partir de la instalación del experimento. Aunque se habría podido disponer de datos de campo para periodos adicionales, se decidió suspender la evaluación del rendimiento forrajero, al año sexto del experimento y remover las parcelas de pastos, para reemplazarlas por nuevas parcelas de las mismas especies. Esto debido a que las parcelas de rye grass, a campo abierto y las de alfalfa, debajo de las barreras agroforestales, bajaron su rendimiento a niveles insignificantes (Tabla 6.7); lamentablemente, esta operación no dio el resultado esperado, pues los pastos ya no prosperaron debajo de los árboles, en esta segunda siembra.

Los resultados de rendimientos de las especies forrajeras se expresaron en toneladas de materia seca por hectárea y por año, y correspondieron a la suma de los rendimientos de cuatro cortes por año, para todas las tres opciones forrajeras, Tabla 6.7. Un informe parcial de este mismo experimento, en el que se presentaron los resultados de los primeros cuatro años, se publicó en la revista INIAP (Nieto, Córdova y Ramos, 1999), en este caso, se informaron los rendimientos promedios por corte, sin embargo las tendencias de respuesta de los tratamientos fueron similares a las que se está encontrando en esta ocasión. La representación gráfica de los rendimientos forrajeros, en función

del tiempo, que se presenta en las Figuras 6.5, 6.6 y 6.7, para alfalfa, rye grass y la mezcla rye grass-trébol blanco, respectivamente, permite una mejor visualización de las tendencias de los rendimientos con el tiempo. De la observación y análisis de los resultados de la información disponible, se pudo establecer las siguientes interpretaciones y conclusiones:

- a) Las tres opciones forrajeras evaluadas, demostraron ser una alternativa viable de rendimiento forrajero e ingreso económico complementario, para formar parte de arreglos agroforestales para la sierra ecuatoriana. Los rendimientos forrajeros fueron similares a los rendimientos en campos de agricultores, durante por lo menos los primeros tres años del experimento, para todas las opciones forrajeras, en combinación con los dos sistemas agroforestales evaluados (Tabla 6.7).
- b) Si bien es verdad que los rendimientos de materia seca de las tres opciones forrajeras siguieron la misma tendencia decreciente (lineal significativa), en función del tiempo, bajo la influencia de los dos sistemas agroforestales y bajo la influencia de la parcela testigo; los coeficientes de regresión calculados para estas tendencias fueron significativamente diferentes entre especies dentro de los sistemas agroforestales, así: alfalfa presentó un coeficiente de regresión (pendiente) mucho mayor que las opciones rye grass y mezcla, cuando estuvieron bajo la influencia de los sistemas agroforestales; mientras que las tres opciones forrajeras presentaron pendientes similares (estadísticamente no significativas) cuando estuvieron bajo la influencia de la parcela testigo, a campo abierto (Tabla 6.8). Del mismo modo, las magnitudes del rendimiento (especialmente si se expresa en términos del valor del intercepto), fueron diferentes en cada caso; se encontró que alfalfa es una especie cuyo comportamiento es mucho mejor en campo abierto, (Figura 6.5); mientras que rye grass, parece que se adapta mejor en ambientes de sombra (Figura 6.6) y la combinación rye grass -trébol blanco, parece tener un comportamiento indiferente, frente a los efectos de los sistemas agroforestales (Figura 6.7).
- c) La opción rye grass demostró ser una mejor alternativa que alfalfa y que la mezcla forrajera para combinar con los sistemas agroforestales, a lo largo de todo el período de evaluación. Aun al sexto año de evaluación, todavía el rendimiento de rye grass en combinación con los sistemas agroforestales, pero en especial, en combinación con aliso-retama, fue de cuatro a doce veces superior al rendimiento en las parcelas a campo abierto. Al mismo tiempo alfalfa demostró mejor comportamiento a campo abierto y muy poca respuesta debajo de las barreras agroforestales. Estos resultados, permitieron ensayar una

primera conclusión interpretativa. La especie forrajera rye grass es una alternativa productiva, para combinar con especies arbóreas o arbustivas, para hacer un uso intensivo del suelo, evitando espacios vacíos dentro de los arreglos agroforestales. La influencia positiva de las especies arbóreas en el crecimiento de los pastos es reportada en la literatura. Así, Lojan (1992) indica que el aliso por ser un árbol fijador de nitrógeno, se lo utiliza en sistemas silvopastoriles para mejorar la calidad de los pastos, especialmente si crecen dentro del área de las raíces. Investigaciones realizadas en Colombia indicaron un aumento en el contenido de proteína del pasto kikuyo que crecía debajo de los árboles. Los contenidos de proteína en el pasto fueron: 15 % bajo árboles de dos años, 20 % bajo árboles de doce o más años y apenas 10 % a pleno sol (sin árboles). También se probó que los terneros de 12 a 18 meses de edad ganaron un 33 % más de peso en pastoreo bajo árboles de aliso, frente al peso ganado por los animales pastoreados a pleno sol, Vanegas (1971) citado por Lojan, 1992.

- d) El rendimiento de alfalfa en las parcelas a campo abierto, superó a los rendimientos bajo las barreras agroforestales durante todo el periodo del experimento, incluso al sexto año del experimento, cuando el pasto se encontraba en plena decadencia, los rendimientos a campo abierto superaron a los rendimientos bajo sistemas agroforestales en cinco o seis veces (Tabla 6.7). Esto permitió llegar a la siguiente conclusión: alfalfa no es una buena opción para combinar con especies arbóreas, al menos no fue para las combinaciones agroforestales y en las condiciones ensayadas en este experimento.
- e) En cuanto al comportamiento de las dos especies forrajeras y de la mezcla, en función del tiempo, todas mostraron una tendencia similar frente al efecto de ambos sistemas agroforestales. Esta tendencia decreciente con el tiempo podría ser explicada desde tres puntos de vista: i) Las especies forrajeras cambian su tasa de crecimiento y de rendimiento de biomasa, a medida que pasa el tiempo, situación que es muy normal para toda especie forrajera, aunque no se encuentre bajo la influencia de ningún estímulo, como son los sistemas agroforestales, ii) El efecto precisamente de las barreras agroforestales que a medida que pasa el tiempo incrementan las relaciones de competencia, hace que los rendimientos de forraje disminuyan con el tiempo y iii) El manejo de las especies forrajeras fue sin la aplicación de fertilización. Esta decisión se tomó, para simular las condiciones de manejo de pastos de pequeños y medianos productores de la sierra. Posiblemente, si se hubiera aplicado una dosis de fertilización, los rendimientos de las especies forrajeras no hubieran presentado esta tendencia decreciente acelerada con el tiempo.

De los resultados obtenidos en este componente, quedan todavía varias preguntas por resolver en futuras investigaciones, así: i) Cómo responderán estas mismas especies forrajeras en combinación con otras especies forestales, que no sean las utilizadas en este experimento, ii) Cómo responderán estas especies forrajeras si además de combinar con sistemas agroforestales, se aplicarían diferentes dosis de fertilización, iii) Cuál sería la respuesta de estas especies forrajeras a tratamientos que incluyan pastoreo en lugar de corte, iv) Cuál sería la respuesta de estas especies forrajeras si son plantadas a diferentes distancias desde las barreras forestales y v) Cuál sería la respuesta de otras especies forrajeras al efecto de sistemas agroforestales.



**Foto 8. Crecimiento de rye grass en micro ambientes de sombra total bajo barreras agroforestales.**



### **6.3.3 Efecto de dos sistemas agroforestales en el rendimiento de varios cultivos sembrados en secuencia anual**

Este es un tercer componente de los sistemas agroforestales en prueba y quizá el más importante desde el punto de vista del agricultor. Una de las mayores dificultades que encuentran los agricultores para aceptar la plantación de árboles o especies maderables en los campos de cultivo, es la pérdida de rendimiento de cultivos, por efecto de la presencia de las especies arbóreas. Las pérdidas de rendimiento de los cultivos sembrados en parcelas contiguas a las barreras agroforestales se debe a los siguientes factores de competencia: i) Competencia por luz solar, la que se hace más evidente, cuando las especies arbóreas crecen y también, es mucho más patente cuando las especies arbóreas son de copa frondosa, ii) Competencia por agua en el suelo y por interferencia de la precipitación; en este caso la competencia es más evidente cuando las raíces de las especies arbóreas son superficiales, ya que absorben agua de la misma capa de suelo, en donde están las raíces de los cultivos. iii) Competencia por nutrimentos en el suelo; del mismo modo, este tipo de competencia se evidencia cuando las raíces de las especies arbóreas son superficiales y es más notoria, cuando el suelo es pobre en nutrimentos, iv) Competencia por espacio. En este caso es evidente que las pérdidas de rendimiento de cultivos, son proporcionales al espacio que ocupan las especies arbóreas, ya que estos espacios dejarán de ser sembrados con cultivos. El área que deja de ser sembrada con cultivos está compuesta de dos partes: el área efectiva que ocupan los arreglos agroforestales y el área de interacción o interferencia inmediata hacia afuera de las hileras de árboles; área que es variable, dependiendo de muchos factores como: tipo de raíz de la especie arbórea, (profunda-vertical o superficial-horizontal); tipo de copa, (frondosa o laxa); tipo de follaje (perennifolia o caducifolia); orientación de las hileras o barreras y manejo de las especies arbóreas (podas de follaje, podas de raíces).

Con estos antecedentes y precisamente tratando de evaluar la competencia de las barreras agroforestales con los cultivos, se planificó la siembra de una secuencia de cultivos alimenticios, (a manera de rotación anual) en las parcelas contiguas, a diferentes distancias de las barreras forestales.

Algunas consideraciones que explican el manejo del experimento son las siguientes: Durante los primeros tres años del experimento, bajo la hipótesis de que no habría competencia apreciable entre las barreras forestales y los cultivos, se midieron los rendimientos de tres secuencias de cultivos: quinua, en el ciclo agrícola 1994-1995, cebada en el ciclo agrícola 1995-1996 y melloco, en el ciclo agrícola 1996-1997, a cinco distancias desde las barreras: dos, a 8 m desde la línea de los árboles, a los costados externos a las barreras, dos a 12 m desde la línea de los árboles a los costados externos a las barreras y una a 8 m en el centro de las dos barreras (Figura 6.1).

El interés mayor, en este caso estuvo alrededor de la evaluación de los rendimientos, para valorar el ingreso económico de cada sistema agroforestal. Sin embargo, a partir del cuarto año del experimento, se ampliaron estas distancias, de cinco a nueve, para completar la secuencia de cultivos que se presenta en la Tabla 6.3 y el esquema de campo, que se presenta en la Figura 6.1. Esta ampliación, se realizó para evaluar con más precisión el efecto competencia con las barreras, para lo cual, se incluyeron en la evaluación, las parcelas ubicadas a 3 m., a los dos costados de las barreras; completando también la secuencia de cultivos que se presenta en la Tabla 6.2. El tamaño de parcela neta, utilizada para todo el proceso de evaluación, fue de 10 m<sup>2</sup>, para lo cual se tuvo que ajustar los largos de parcela, en función de las distancias de siembra de cada cultivo, en el año respectivo.

Tabla 6.9. Rendimiento promedio (kg. ha<sup>-1</sup>) de quinua, cebada y melloco, bajo la influencia de tres tipos de sombras (distancias de las barreras), proyectadas por dos sistemas agroforestales, durante los primeros tres años del experimento.

Cultivo - año y distancias	Sistemas Agroforestales		
	Acacia-quishuar	Aliso-retama	Campo abierto
Quinua, en 1995			
12 m	2578,24	2526,16	2617,60
8 m	2484,73	2509,26	2545,83
8 m ST	2548,15	2622,22	2594,07
Cebada- en 1996			
12 m	1215,00	1205,00	1190,00
8 m	1230,00	1210,00	1240,00
8 m ST	1180,00	1165,00	1220,00
Melloco, en 1997			
12 m	7804,00	7940,00	7988,00
8 m	7947,50	7600,00	8055,00
8 m ST	7600,00	8005,00	7900,00

ST = Parcela ubicada equidistante en el centro de las dos barreras, recibe Sombra total.

Los resultados del rendimiento de los cultivos evaluados durante los primeros tres ciclos agrícolas, se presentan en la Tabla 6.9. En este caso, los datos presentados son el resultado del promedio de las parcelas de 8, y 12 metros, entre sí, a los costados externos de las barreras y los datos de las parcelas a 8 metros, equidistante en el centro de las dos barreras. De acuerdo a lo esperado, no se observaron diferencias de rendimiento para el efecto de los sistemas agroforestales, ni tampoco se observaron efectos significativos para ninguna interacción con los efectos de las distancias. Los rendimientos fueron

similares para el efecto de los sistemas agroforestales como para las parcelas testigo, a campo abierto incluso en el año 1997, con el cultivo de melloco, es decir, tres años después de plantado el experimento (Figuras 6.8). Como se mencionó, no se esperaba ninguna evidencia de competencia con las barreras forestales, ya que durante los primeros tres años ni siquiera las parcelas de raíces tuberosas que estaban localizadas a tan solo un metro de la hilera de árboles, no presentaron competencia.

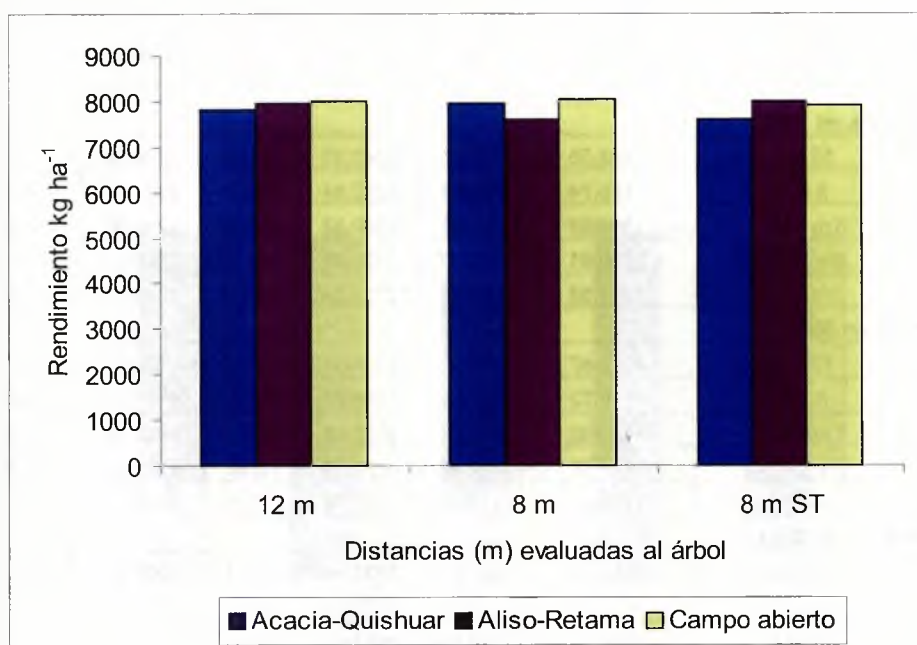


Figura 6.8 Representación gráfica del rendimiento promedio de melloco, bajo la influencia de tres tipos de sombras (distancias de las barreras), proyectadas por dos sistemas agroforestales, en 1997.

Tabla 6.10 Rendimiento promedio (kg ha<sup>-1</sup>) de una secuencia de cultivos, bajo la influencia de cinco tipos de sombras (distancias de las barreras), proyectadas por dos sistemas agroforestales, durante seis años consecutivos (sd = desviación estándar).

Cultivo - año y distancias	Sistemas Agroforestales					
	Acacia-quishuar		Aliso-retama		Campo abierto	
	Promedio	sd	Promedio	sd	Promedio	sd
<b>Papa, en 1998</b>						
12 m	21750,00	631,66	21783,33	754,76	20550,00	4415,31
8 m	22550,00	625,30	22066,67	814,04	22133,33	847,74
3 m SM	18633,33	1023,07	18483,33	760,04	21966,67	388,16
8 m ST	22673,33	852,37	22606,67	657,67	21853,33	939,43
3 m SV	21833,33	463,32	21213,33	1152,50	21133,33	653,20
<b>Quinoa, en 1999</b>						
12 m	2282,55	70,67	2243,15	93,55	2279,38	37,26
8 m	2186,74	27,89	2207,84	51,87	2263,02	54,55
3 m SM	1801,82	91,96	1530,63	105,10	2286,98	38,15
8 m ST	2286,61	272,27	2126,04	158,98	2316,67	28,69
3 m SV	2217,53	55,39	2023,39	50,50	2248,98	72,16
<b>Maiz, en 2000</b>						
12 m	4196,67	60,55	4175,04	142,63	4166,67	51,64
8 m	4176,72	49,13	4148,27	103,43	4166,67	51,64
3 m SM	3746,92	84,31	2962,63	88,82	4166,67	51,64
8 m ST	4049,37	127,78	4077,37	70,17	4166,67	57,74
3 m SV	4175,17	110,93	3392,74	217,42	4166,67	51,64
<b>Meloco, en 2001</b>						
12 m	3046,13	86,60	3037,14	77,59	3099,11	140,08
8 m	2972,02	95,12	3025,89	99,10	3047,62	95,68
3 m SM	2582,14	115,93	2503,04	72,66	3038,69	52,92
8 m ST	3094,05	170,74	3016,43	82,10	3051,79	93,32
3 m SV	2919,94	157,57	2919,70	66,41	2999,11	112,77
<b>Avena-vicia, en 2002</b>						
12 m	34725,00	513,57	34833,33	404,36	35366,67	825,00
8 m	34790,00	190,47	34610,00	391,05	34991,67	725,30
3 m SM	17350,00	1093,16	20581,67	3821,98	34716,67	564,47
8 m ST	32596,67	842,16	27983,33	1782,09	34430,00	926,66
3 m SV	19200,00	769,42	32850,00	732,53	34996,67	530,72

Cebada, en 2003						
12 m	1094,63	77,69	1074,06	57,61	1110,08	55,49
8 m	1044,26	68,52	1067,03	70,39	1107,92	84,48
3 m SM	698,17	49,04	562,04	47,19	1096,09	66,23
8 m ST	783,19	56,80	892,66	31,43	1066,76	50,38
3 m SV	745,18	36,11	668,57	32,30	1139,99	65,88
Chocho, en 2004						
12 m	1416,30	102,16	1495,46	103,14	1515,90	202,32
8 m	1417,93	56,34	1528,46	69,13	1474,40	97,86
3 m SM	351,98	29,62	543,80	74,50	1527,12	292,02
8 m ST	626,27	80,44	1064,57	53,99	1416,63	71,77
3 m SV	353,47	31,02	866,22	56,81	1562,10	49,22

SM = sombra matutina  
ST = sombra total  
SV = sombra vespertina

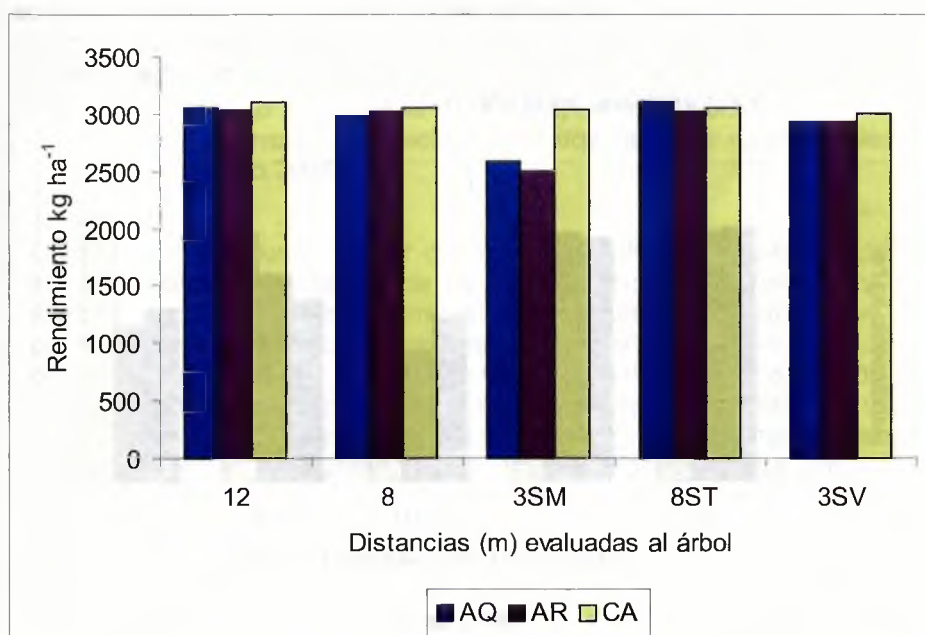


Figura 6.9 Representación gráfica del rendimiento promedio de melloco, bajo la influencia de cinco tipos de sombras (distancias de las barreras), proyectadas por dos sistemas agroforestales, en el año 2001.

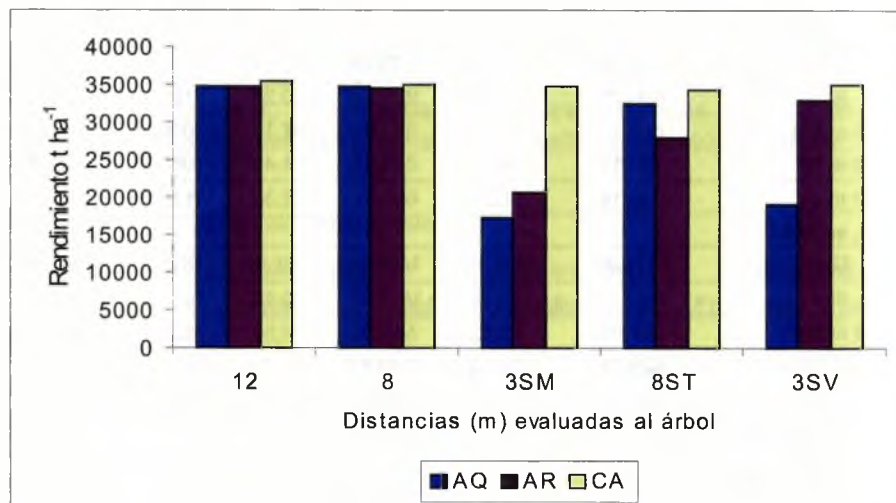


Figura 6.10 Representación gráfica del rendimiento promedio de forraje de avena-vicia, bajo la influencia de cinco tipos de sombras (distancias de las barreras), proyectadas por dos sistemas agroforestales, en el año 2002.

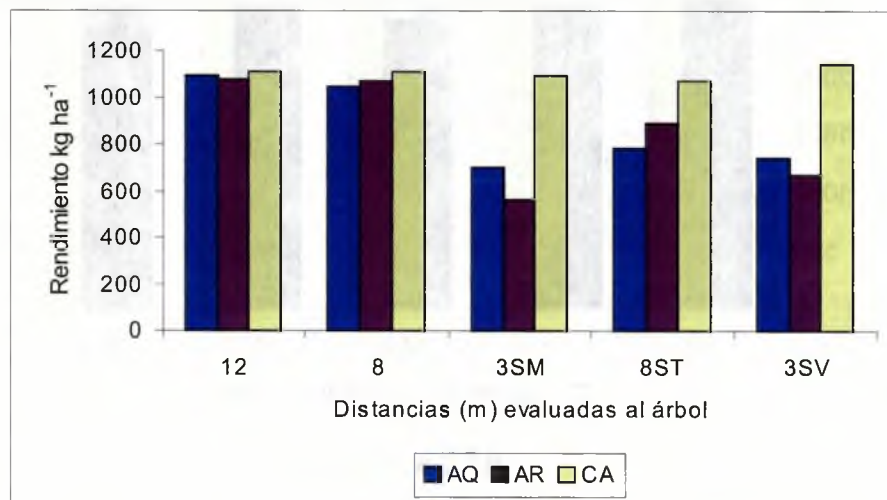


Figura 6.11 Representación gráfica del rendimiento promedio cebada, bajo la influencia de cinco tipos de sombras (distancias de las barreras), proyectadas por dos sistemas agroforestales, en el año 2003.

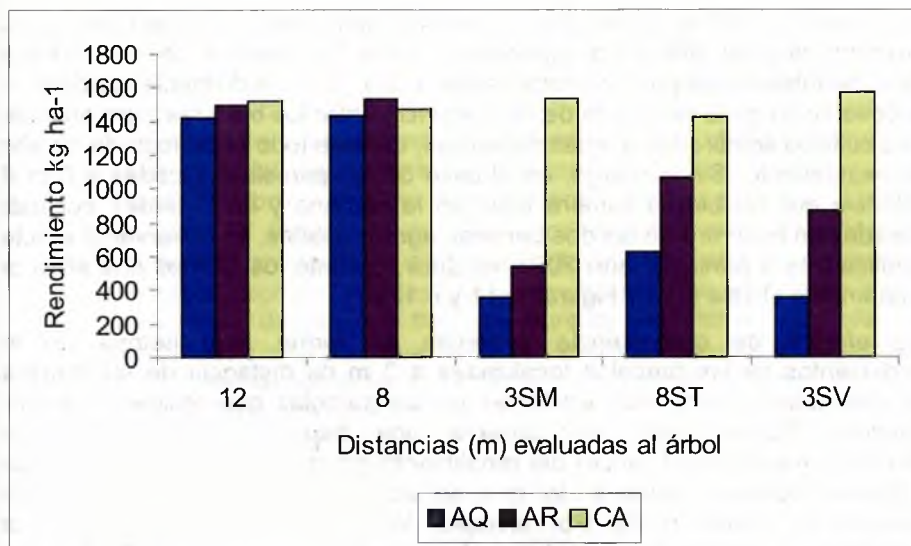


Figura 6.12 Representación gráfica del rendimiento promedio de chocho, bajo la influencia de cinco tipos de sombras (distancias de las barreras), proyectadas por dos sistemas agroforestales, en el año 2004.

Como ya se mencionó, a partir del ciclo 1997-1998 se modificó el diseño de toma de datos en la secuencia de cultivos alimenticios, evaluados en los espacios contiguos a las barreras agroforestales. Se adicionaron cuatro parcelas de toma de datos, localizadas a cada lado de las barreras, dos en el costado Este y dos en el costado Oeste, a solamente tres metros de las barreras. Las distancias de 8 y 12 m se mantuvieron de acuerdo a la ubicación original de los primeros tres años del experimento. Sin embargo, los resultados (Tabla 6.10) se presentan como una interacción entre los sistemas agroforestales con cinco parcelas de observación (distancias). Estas cinco parcelas se forman de la siguiente manera: dos de los promedios de rendimientos a 8 y 12 m entre sí, dos de los promedios de los rendimientos de las parcelas a 3 m sombra matutina (3 SM) y a 3 m sombra vespertina (3 SV), y una parcela, que está equidistante, a 8 m en el centro de las dos barreras.

Los resultados del rendimiento de la secuencia de cultivos por todo el período del experimento, del 1998 al 2004, se presentan en la Tabla 6.10; mientras que como complemento y para una mejor observación de las interacciones sistema agroforestal por distancia (sombra), en las Figuras de 6.9 a la 6.12, se presentan los rendimientos de los cultivos en los últimos cuatro años del

experimento (2001 a 2004). De los análisis estadísticos respectivos, no se encontró ninguna diferencia significativa para los efectos de los sistemas agroforestales en las parcelas localizadas a 8 y 12 m de distancia, es decir, no se observó ninguna evidencia de competencia entre las barreras agroforestales y los cultivos sembrados a estas distancias, durante todo el período de 10 años del experimento. Sin embargo, en el caso de las parcelas ubicadas a 8 m de distancia que recibieron sombra total (en la mañana y en la tarde), por estar ubicadas en el centro de las dos barreras agroforestales, se observaron efectos significativos a partir del año 2003, es decir, durante los últimos dos años del experimento (Tabla 6.10 y Figuras 6.11 y 6.12).

Los efectos de competencia aparecen en forma muy notoria en los rendimientos de las parcelas localizadas a 3 m de distancia de las barreras agroforestales, siendo más evidentes en las parcelas que recibieron sombra matutina. Desde 1998, se observa una baja paulatina (que fue estadísticamente significativa) del rendimiento en las parcelas de cultivos que recibieron sombra matutina, lo que se acentúa en los últimos años del experimento (Tabla 6.10). Por ejemplo, los rendimientos en las parcelas ubicadas a 3 m con sombra matutina, fueron solamente 63,7 % y 51,3 % para AQ y AR, respectivamente, en comparación con los rendimientos a campo abierto, para el año 2003 con el cultivo de cebada; y solamente 23 % y 35,6 %, para AQ y AR, respectivamente, en comparación con los rendimientos a campo abierto, para el año 2004 con el cultivo de chocho.

De igual forma, los rendimientos en las parcelas ubicadas a 3 m con sombra vespertina, también fueron sustancialmente disminuidos como efecto de la competencia con las barreras forestales. Así, en el año 2003, con el cultivo de cebada, se observaron que los rendimientos fueron apenas 65,4 % y 58,6 %, para el efecto de los sistemas AQ y AR respectivamente, en comparación con la parcelas testigo; mientras que en el año 2004 con el cultivo de chocho los rendimientos fueron de apenas 22,6 % y 55,5 %, para el efecto de los sistemas AQ y AR respectivamente, en comparación con la parcelas testigo. De todos estos resultados, se puede ensayar unas cuantas interpretaciones y conclusiones que permitirán llegar a entender la dinámica proyectada en el micro ambiente por efecto de los sistemas agroforestales instalados:

- a) Es un poco difícil cuantificar los efectos acumulados de una secuencia de cultivos, ya que se supone que cada cultivo tendría una influencia para el siguiente. Sin embargo en este caso se supone que la influencia debería ser positiva porque se rompió con el sistema monocultivo, propiciando una rotación constante durante todo el período de evaluación. Este supuesto permite evaluar los resultados bajo la consideración de que estos reflejan los efectos de las barreras agroforestales solamente y no la influencia del cultivo anterior.



- b) Los efectos competitivos de los sistemas agroforestales probados no aparecieron durante los primeros cuatro años del experimento. Luego se hizo evidente un efecto de interacción entre las barreras agroforestales y las distancias de siembra de los cultivos. A partir del quinto año del experimento, en las parcelas ubicadas a 3 m de las hileras de árboles empezó una influencia negativa paulatina a medida que pasó el tiempo, hasta que la competencia se hizo evidente y altamente significativa a partir del octavo año. También se encontró influencia negativa, en las parcelas ubicadas en el centro, a 8 m equidistante de las dos barreras durante los últimos dos años del experimento; mientras que no se encontró ningún efecto significativo de las barreras sobre las parcelas de cultivos localizadas a 8 y 12 m de distancia a los costados de las barreras, durante todo el periodo de 10 años consecutivos.
- c) Aunque, en este experimento no se han podido separar los efectos de competencia por radiación solar, agua y nutrimentos en el suelo, se podría afirmar que la competencia observada fue por radiación solar, dado que los suelos del sitio son relativamente de buena fertilidad (además, en cada ciclo de cultivo, se incorporó al suelo los residuos de las cosechas del cultivo respectivo, incluyendo los residuos de la arveja que se cosechó en tierno); al mismo tiempo el sitio tiene una precipitación promedio de 1200 mm por año. Precisamente esta característica de humedad suficiente durante el año, sirvió para mantener el sistema de dos cultivos al año, con rotación complementaria con arveja para cosecha en tierno, como se verá más adelante.

Los efectos negativos de sombra proyectada por las barreras forestales en el rendimiento de los cultivos esta bien documentada en la literatura y dependen de varios factores como: altura de las barreras, orientación de las mismas, distancia de siembra desde la línea de árboles, capacidad de expansión radicular de las especies arbóreas, entre otras (Rosenberg *et al.*, 1983; Khan y Ehrenreich, 1994; Nieto, 1998b). Los efectos de la sombra proyectada por especies arbóreas, no solamente reducen la capacidad de los cultivos para hacer fotosíntesis sino que afectan en forma significativa otras funciones como respiración, flujo de CO<sub>2</sub> a través de los estomas o expansión foliar y por ende los rendimientos se disminuyen significativamente (Okoli y Wilson, 1986; Tankou *et al.*, 1990). Khan y Ehrenreich (1994) reportaron disminución significativa de rendimiento de grano en trigo, sembrado a 8,5 m de distancia de una barrera agroforestal con árboles maduros, aun cuando el cultivo estuvo bajo riego, lo que fue interpretado como efecto de la sombra.

Varios reportes citados por Kort (1988) indican que la reducción del rendimiento de cultivos ocurre en un rango de 0,5 a 3 H, siendo H la altura de la barrera, mientras que Rosenberg *et al.*, 1983, indica que los efectos sombra de una barrera rompevientos fueron reportados como insignificantes más allá de 2H de distancia. Los rendimientos de soya bajaron en 13 % a 0,5 H y 6 % a 1 H y luego incrementaron, lográndose el máximo de incremento del rendimiento (31 %) a 4 H de distancia de la barrera, como una compensación por el microclima generado por la presencia de la barrera (Baldwin, 1988). Por su parte, Nieto, en 1998b, trabajando con barreras de árboles maduros orientados en diferentes direcciones encontró hasta 86,7 % de intercepción de radiación en barreras orientadas de norte a sur, en parcelas colocadas a 0,75 H. Esta intercepción significó reducción de rendimientos en soya de hasta un 68 %. Todas estas son evidencias de que la competencia por radiación solar es significativa en el área conocida como interfase entre árbol y cultivo, por lo menos hasta una distancia igual a la altura de la barrera.

Queda por estudiar en este experimento, los efectos separados de interferencia de radiación solar, o de competencia por agua y nutrimentos de los dos sistemas agroforestales. Éstos se podrían probar en interacción con otros tratamientos como fertilización, poda de raíces, tratamientos fitosanitarios, densidades de siembra o variedades dentro de un cultivo.

#### **6.3.4 Efecto de dos sistemas agroforestales en el rendimiento de arveja tierna, como complemento, en rotación con los cultivos**

Este podría denominarse un subcomponente de los arreglos agroforestales, ya que se trata de una secuencia de siembras sucesivas de arveja para ser cosechada en tierno, después de cada cosecha de los cultivos, informados en el acápite 6.3.3. Esta secuencia de rotación con arveja se evaluó durante nueve años consecutivos, de 1995 al 2003. La idea de rotar cada cultivo con arveja fue la misma que se ha manejado en el experimento. Se trató de lograr una opción que permita un uso intensivo del suelo, para esto se plantó un arreglo agroforestal espacial que se complementó con un arreglo temporal; que en este caso fue, la rotación con arveja y que permitió mantener el suelo ocupado entre junio y septiembre de cada año, es decir justamente en el período que queda entre cosecha y siembra de cada cultivo principal. Precisamente por el lapso reducido de tiempo entre siembra y cosecha de cada cultivo, se encontró que la única opción era sembrar arveja para su cosecha en tierno. Además, este cultivo, recibió las últimas lluvias del periodo, en junio, y aprovechó la humedad remanente del suelo para superar la temporada seca de julio y agosto y llegar a septiembre con la cosecha de arveja en tierno.

Contrariamente, a lo observado en el rendimiento de la secuencia de cultivos, en este caso, los resultados del rendimiento de arveja en tierno fueron mucho más expresivos para demostrar el efecto de la competencia entre árboles y cultivos.

Se podría decir que hubo un efecto significativo de distancias (tipos de sombra), en forma independiente del sistema agroforestal. En primer lugar, los rendimientos de arveja a la distancia de 12 m de las barreras, fueron similares a los rendimientos de las parcelas a campo abierto (Figura 6.13 y Tabla 6.11). Aquí, apenas se observó una ligera tendencia de los rendimientos a decrecer con el tiempo, pero definitivamente ninguna influencia de los sistemas agroforestales. No así, los rendimientos de arveja, cuantificados a 8 m de las barreras, en donde se notó un efecto de competencia, a partir del año sexto del experimento (Figura 6.14 y Tabla 6.12). Evidentemente, los rendimientos diferenciados en forma significativa de arveja a esta distancia mostraron un nivel de competencia apreciable, especialmente durante los últimos años. Ejemplo, los rendimientos en el 2003, llegaron solamente a 65,9 % y a 72,8 % para los sistemas AQ y AR, respectivamente, en comparación de los observados en la parcela testigo, a campo abierto (Tabla 6.12). Más todavía, si se observan los resultados alcanzados en las parcelas ubicadas a 8 m equidistante al centro de las barreras (Figura 6.15 y Tabla 6.13), es decir en aquellas parcelas que recibieron interferencia de radiación tanto en las mañanas como en las tardes, los resultados mostraron disminuciones altamente significativas de los rendimientos. Ejemplo, al año noveno del experimento, los rendimientos de arveja para los sistemas AQ y AR, apenas alcanzaron 27,7 y 39,2 %, respectivamente, en comparación con los obtenidos en la parcela testigo, a campo abierto. Bajo el supuesto de que las raíces de los árboles de 10 años de edad, no lleguen a 8 m de distancia, siguiendo la superficie del suelo (a 25 cm de profundidad), se podría afirmar que estos efectos observados en el rendimiento de arveja se deben totalmente a la interferencia de radiación solar por las copas de los árboles.

Los efectos de competencia de las barreras agroforestales sobre los rendimientos de arveja, se pudieron apreciar en forma muy evidente en las evaluaciones realizadas en las parcelas ubicadas a 3 m de las barreras. Aunque, en este caso, otra vez se puede apreciar un efecto mayor de la competencia con las parcelas que recibieron sombra matutina, (Figura 6.16 y Tabla 6.14), no obstante la competencia también es muy significativa en las parcelas que recibieron sombra vespertina (Figura 6.17 y Tabla 6.15). Sin embargo, en este caso, si se podría hablar de que los resultados muestran efectos confundidos de competencia por agua del suelo y competencia por radiación solar. Esto fundamentalmente, debido a que se pudo observar la presencia de raíces de árboles, aflorando en la superficie a la distancia de 3 m de las barreras. Además, hay que considerar que la época en que la arveja estuvo en el campo, durante todos los años del experimento, fue precisamente la época de sequía (meses de junio a septiembre), por lo que se supone que existe competencia por agua del suelo entre los árboles y arbustos con el cultivo respectivo, en este caso con arveja.

A pesar de los resultados evidentes de disminución del rendimiento de arveja en tierno, por efecto de la competencia con las barreras agroforestales, se puede afirmar que la siembra de arveja como un cultivo de rotación y complementario en cada ciclo de cultivo, es una opción muy válida, para complementar los ingresos que el agricultor deja de percibir por la decisión de poner árboles en su parcela.

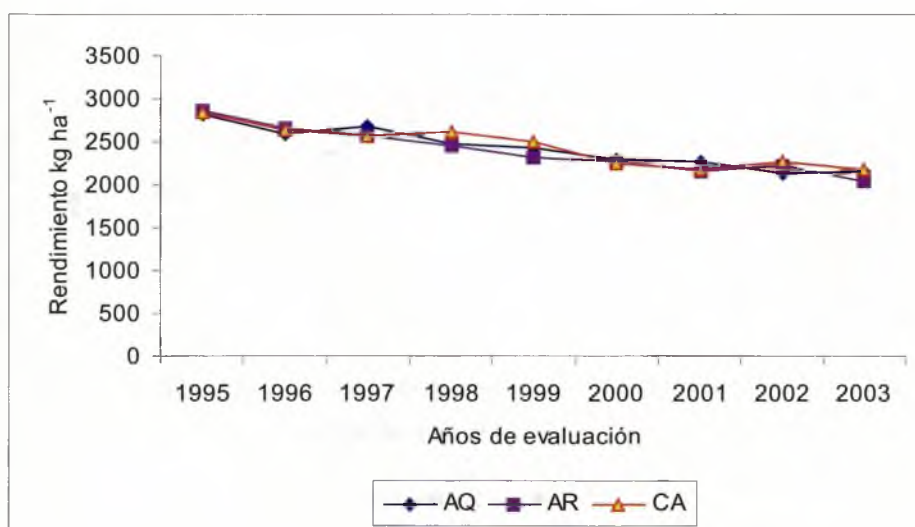


Figura 6.13 Representación gráfica del rendimiento promedio de arveja en vaina verde durante nueve años consecutivos, a 12 m de las barreras forestales.

Tabla 6.11 Rendimiento promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de arveja en vaina verde durante nueve años consecutivos, a 12 m de las barreras forestales, (sd = Desviación estándar).

Años	Acacia-quishuar		Aliso-retama		Campo-abierto	
	Promedio	Sd	Promedio	Sd	Promedio	Sd
1995	2846,67	76,45	2893,67	123,32	2864,44	190,92
1996	2616,68	123,65	2675,00	98,65	2644,24	145,43
1997	2706,23	167,72	2595,00	234,00	2590,00	234,53
1998	2502,99	287,63	2482,81	150,71	2638,02	283,10
1999	2447,14	203,76	2346,88	186,73	2511,46	126,57
2000	2316,67	130,95	2287,50	289,79	2280,83	190,92
2001	2285,83	207,83	2178,13	377,85	2194,79	128,19
2002	2166,68	153,81	2247,07	224,73	2302,17	129,43
2003	2187,28	104,89	2063,84	204,43	2207,15	291,76

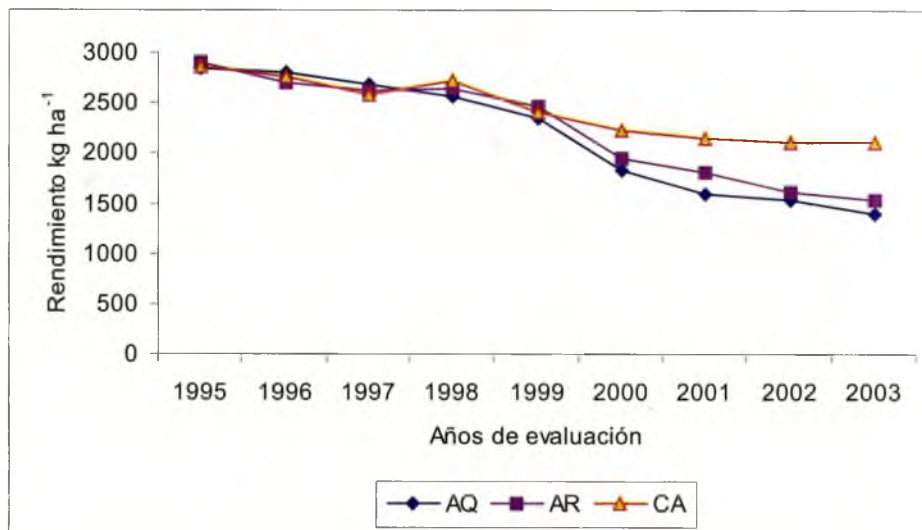


Figura 6.14 Representación gráfica del rendimiento promedio de arveja en vaina verde durante nueve años consecutivos, a 8 m a los costados de las barreras forestales.

Tabla 6.12 Rendimiento promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de arveja en vaina verde durante nueve años consecutivos, a 8 m de las barreras forestales. (sd = Desviación estándar).

Años	Acacia-quishuar		Aliso-retama		Campo-abierto	
	Promedio	Sd	Promedio	Sd	Promedio	Sd
1995	2846,67	145,65	2893,67	154,67	2864,44	324,22
1996	2796,60	234,00	2693,67	201,34	2768,32	235,67
1997	2686,23	311,00	2623,67	234,56	2590,00	190,32
1998	2572,27	391,14	2646,40	351,72	2714,19	282,07
1999	2346,09	287,34	2467,71	152,46	2405,99	226,10
2000	1833,33	312,92	1954,17	364,10	2229,17	173,92
2001	1586,67	272,37	1811,46	209,28	2152,71	148,96
2002	1520,40	123,96	1601,97	191,08	2107,86	243,60
2003	1392,95	123,71	1539,44	110,89	2114,08	134,33

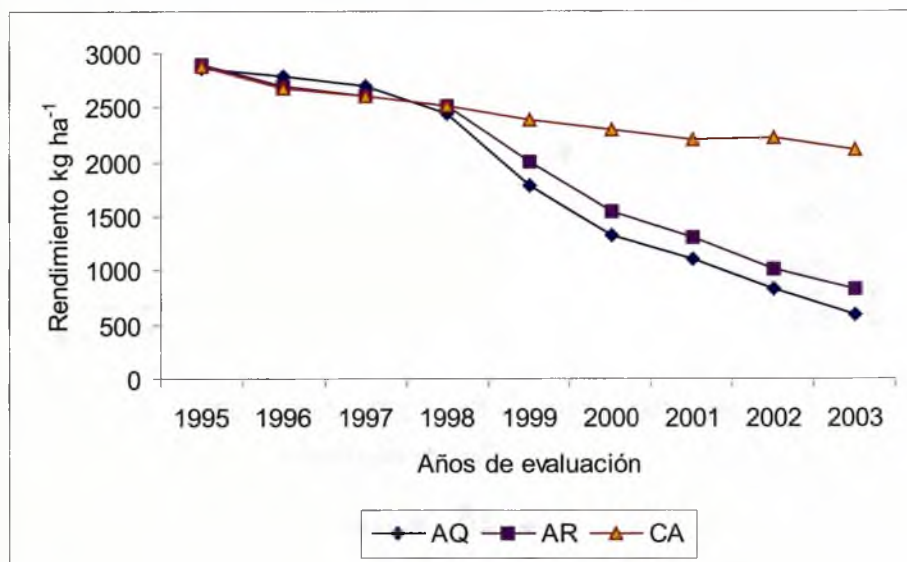


Figura 6.15 Representación gráfica del rendimiento promedio de arveja en vaina verde durante nueve años consecutivos, a 8 m en el centro, equidistante de las barreras forestales.

Tabla 6.13 Rendimiento promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de arveja en vaina verde durante nueve años consecutivos, a 8 m equidistante de las barreras forestales, (sd = Desviación estándar).

Años	Acacia-quishuar		Aliso-retama		Campo-abierto	
	Promedio	Sd	Promedio	Sd	Promedio	Sd
1995	2846,67	234,44	2893,67	176,89	2864,44	345,00
1996	2778,33	135,11	2691,67	190,92	2644,44	213,41
1997	2686,16	215,43	2602,24	145,43	2590,00	311,98
1998	2437,24	135,66	2498,18	117,32	2514,19	288,60
1999	1781,77	122,37	1997,40	81,89	2375,99	240,85
2000	1316,67	73,17	1533,33	73,24	2290,17	111,02
2001	1095,83	85,88	1294,17	263,16	2198,71	222,12
2002	831,88	74,72	1003,93	189,95	2207,86	250,24
2003	583,17	150,49	824,35	179,61	2104,08	283,12

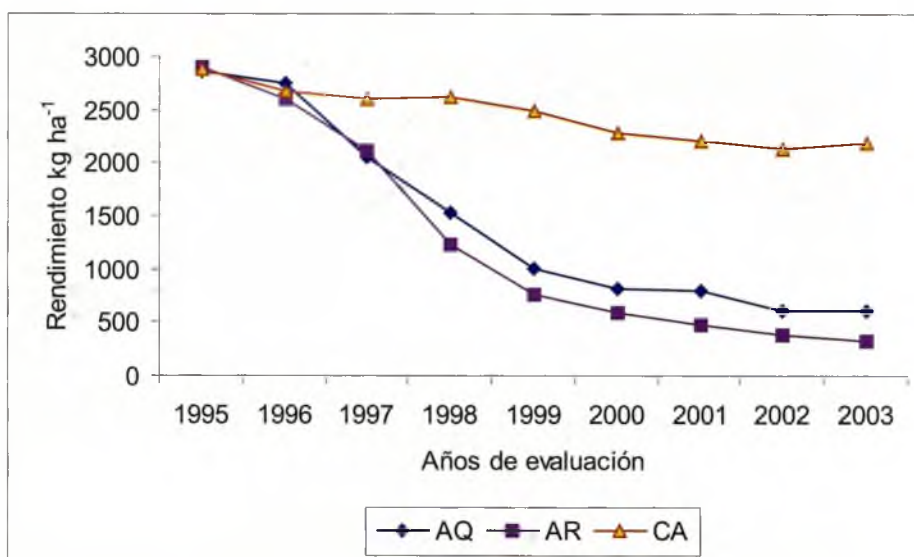


Figura 6.16 Representación gráfica del rendimiento promedio de arveja en vaina verde durante nueve años consecutivos, a 3 m de las barreras forestales influenciados de sombra matutina.

Tabla 6.14 Rendimiento promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de arveja en vaina verde durante nueve años consecutivos, a 3 m de las barreras forestales influenciados de sombra matutina, (sd = Desviación estándar).

Años	Acacia-quishuar		Aliso-retama		Campo-abierto	
	Promedio	Sd	Promedio	Sd	Promedio	Sd
1995	2846,67	234,1	2893,67	234,56	2864,44	231,34
1996	2746,67	190,92	2593,67	321,45	2664,44	190,92
1997	2046,67	156,56	2093,67	278,95	2590,00	187,34
1998	1509,53	138,49	1215,18	146,78	2614,19	165,08
1999	1002,19	91,13	750,26	125,40	2475,99	78,68
2000	803,33	177,80	576,67	165,36	2269,17	146,76
2001	784,17	87,58	476,83	115,78	2202,71	126,64
2002	603,93	198,20	377,85	74,73	2127,86	80,18
2003	592,22	101,01	327,17	48,55	2174,08	128,61



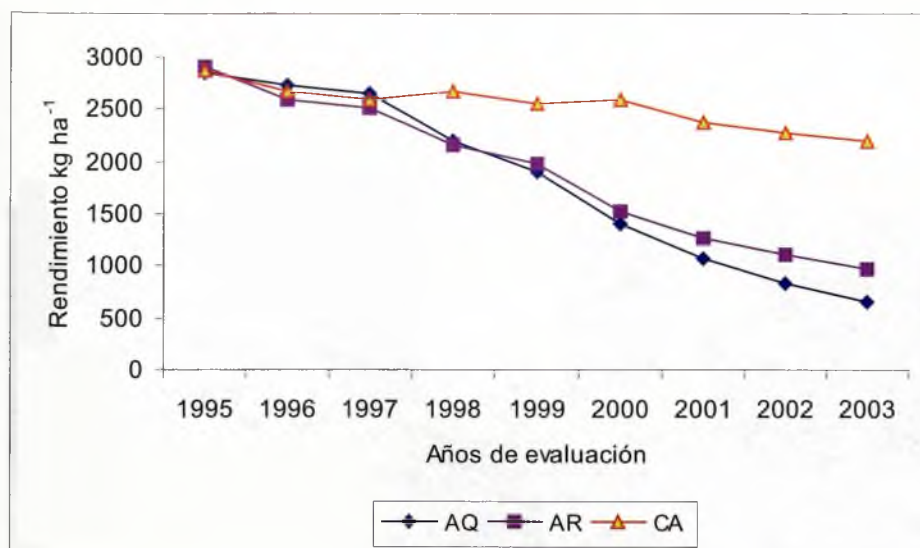


Figura 6.17 Representación gráfica del rendimiento promedio de arveja en vaina verde durante nueve años consecutivos, a 3 m de las barreras forestales influenciados de sombra vespertina.

Tabla 6.15 Rendimiento promedio (kg ha<sup>-1</sup>) de arveja en vaina verde durante nueve años consecutivos, a 3 m de las barreras forestales influenciados de sombra vespertina, (sd = Desviación estándar).

Años	Acacia-quishuar		Aliso-retama		Campo-abierto	
	Promedio	Sd	Promedio	Sd	Promedio	Sd
1995	2846,67	321,45	2893,67	234,87	2864,44	287,98
1996	2725,32	190,92	2593,67	354,21	2664,44	213,11
1997	2646,67	122,4	2511,67	235,76	2590,00	157,49
1998	2200,26	120,11	2159,90	153,06	2655,73	137,71
1999	1903,23	100,16	1982,71	82,94	2551,04	296,73
2000	1395,83	228,36	1525,83	158,68	2583,33	220,62
2001	1066,04	88,75	1266,04	183,82	2374,53	124,54
2002	827,46	147,01	1097,46	181,93	2274,53	105,65
2003	644,15	163,63	966,97	233,09	2181,39	269,63



**Foto 9. Crecimiento y rendimiento del cultivo de chocho bajo el efecto sombra de barreras agroforestales.**

### 6.3.5 Análisis del efecto de dos sistemas agroforestales en el crecimiento y producción del componente forestal durante 10 años consecutivos

En este caso se presenta los resultados de la cuantificación del crecimiento y rendimiento de los componentes maderables que forman el sistema agroforestal. Como ya se explicó, los arreglos agroforestales en estudio estuvieron conformados por dos combinaciones de árbol arbusto (Acacia-quishuar y Aliso-retama, respectivamente). La valoración del crecimiento de las dos especies se realizó anualmente, expresada en altura de planta y diámetro a la altura del pecho (DAP); sin embargo, para completar la evaluación, se determinó, los rendimientos de madera y leña, ambos considerados indicadores del rendimiento del componente forestal del experimento. La evaluación de las especies arbóreas y arbustivas se realizó en la totalidad de ejemplares disponibles, en cada sistema agroforestal (10 árboles y 10 arbustos por parcela, por seis repeticiones). La valoración del rendimiento de madera y del rendimiento de leña, en forma anual, se realizó para cuantificar los ingresos por cada sistema agroforestal en un año determinado. Los resultados del crecimiento y rendimiento maderero de las dos especies arbóreas, durante los diez años que duró el experimento, se presentan en la Tabla 6.16 mientras que en la Figura 6.18 se presenta el crecimiento en altura de las mismas.

Se observó que acacia superó en forma muy significativa a aliso, para todos los indicadores evaluados y en forma sistemática durante los 10 años. Al final del experimento, es decir en el décimo año (2004), el rendimiento de acacia superó al rendimiento de aliso, en aproximadamente tres veces, con un volumen de madera de  $22,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ; frente a solamente  $6,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , para aliso. Tratando de dar una explicación sobre estas diferencias de crecimiento y rendimiento, se puede ensayar las siguientes interpretaciones:

- a) Aliso presentó poca adaptación a las condiciones de sitio, a pesar de que éste se encuentra dentro del rango de altitud para esta especie. Este va de 1800 a 3200 msnm y el sitio del experimento se encuentra a 3050 msnm. (NAS-CATIE, 1984; Añazco, 1996)
- b) Aliso sufrió un retraso considerable en el crecimiento inicial, debido a que todas sus parcelas fueron objeto de ataque de larvas de cutzo (*Baroteus castaneus*), las que afectaron un porcentaje considerable de biomasa radicular inicial; cosa que no sucedió con acacia ni con las especies arbustivas, a pesar de que se encontraban sembradas en el mismo sitio y en la misma fecha. Se podría decir entonces que aliso presenta indicios de susceptibilidad al ataque de este insecto. Esto obviamente es una información muy oportuna para trabajos futuros de investigación y manejo silvicultural de la especie.

De todas maneras, el crecimiento y rendimiento de madera, de las dos especies arbóreas es satisfactorio para las condiciones de sitio y para el periodo de evaluación. Aliso, considerado una especie excelente para madera y leña, tienen un potencial de rendimiento de hasta  $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , a los 20 años de su plantación, en plantaciones forestales exclusivas (NAS-CATIE, 1984) y teniendo un rendimiento de hasta  $6,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , en madera más un rendimiento de hasta  $4,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de leña, pero en un sistema agroforestal, que tienen una densidad de apenas 211 árboles por hectárea, se podría decir que es un rendimiento promisorio. En el caso de acacia, los rendimientos son todavía más prometedores (Tabla 6.16). Otras especies maderables plantadas en sistemas agroforestales proporcionan rendimientos similares, así: Hernández *et al.*, 1997, encontró que el crecimiento y rendimiento de madera de laurel, plantada en SAF's con café, en Turrialba, Costa Rica llegó a 31,5 cm de DAP, y 18,5 m de altura de planta, con un rendimiento de  $0,56 \text{ m}^3$  de madera por árbol. Esto fue calculado para una densidad de 100 árboles por hectárea. Además, estos autores encontraron que los rendimientos de café disminuyen hasta en un 28 % con el incremento de la densidad de árboles desde 100 hasta  $300 \text{ ha}^{-1}$ . También el exceso de sombra que produce laurel después de los 10 años de edad afectó el rendimiento de café, aunque la densidad siga siendo la misma. Por lo tanto, estos autores recomiendan que la asociación laurel café es funcional hasta los 10 años de edad de los árboles y con la densidad de 100 árboles por hectárea.

Por otro lado, la madera de las dos especies estudiadas (acacia y aliso) tienen usos potenciales distintos a los de leña solamente. Las dos especies sirven para pulpa, para fabricar muebles y para preparar "palets" para estivas (NAS-CATIE, 1984). Aliso es considerado como una especie multipropósito, ya que es capaz de fijar nitrógeno de la atmósfera, es una especie de rápido crecimiento, produce madera de alta calidad y eventualmente es una forrajera. Además es una de las especies maderables que mejor se adapta en sistemas agroforestales con cultivos comerciales (Okorio *et al.*, 1994).

Además del rendimiento de madera, también se determinó el de leña para cada especie, como otro ingreso de los sistemas agroforestales. El rendimiento de leña se pudo obtener desde dos fuentes: i) Las podas sistemáticas realizadas anualmente, de cuyo producto una parte es material leñoso, que solamente sirve para usar como combustible y otra parte es material herbáceo, que sirve de forraje (el follaje de todas las especies evaluadas, sirve como forraje, pero principalmente el de las arbustivas)<sup>1</sup>, o también se puede usar como fuente de abono orgánico. En la Tabla 6.16, se presentan los resultados del rendimiento de poda de follaje de árboles, para algunos años, durante el experimento, y ii)

---

<sup>1</sup> Observaciones personales de los autores en varias comunidades de la Sierra.

Del cálculo final de producción de leña, proveniente de la porción no maderable de la cosecha final del componente forestal. En este caso, se consideró que el 60 % del fuste es madera comercial y el 40 % restante corresponde a leña; sin considerar el rendimiento de follaje que tendría los usos ya descritos.

Tabla 6.16 Crecimiento y rendimiento de dos especies arbóreas bajo sistemas agroforestales durante diez años consecutivos.

Años	Altura total (m)		DAP (m)		Volumen de madera m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>		Volumen de leña m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>		Material producto de las podas t ha <sup>-1</sup>	
	Acacia	Aliso	Acacia	Aliso	Acacia	Aliso	Acacia	Aliso	Acacia	Aliso
1995	1,139	0,660	0,027	0,021	0,035	0,014	0,024	0,009		
1996	3,149	2,794	0,027	0,021	0,104	0,066	0,069	0,044		
1997	4,835	4,178	0,056	0,043	0,724	0,454	0,482	0,303	0,591	0,422
1998	6,052	5,382	0,091	0,066	2,255	1,045	1,503	0,697	2,216	1,097
1999	7,727	6,117	0,122	0,095	4,975	2,433	3,317	1,656		
2000	8,660	6,580	0,144	0,110	7,513	3,526	5,009	2,350		
2001	11,305	8,411	0,160	0,117	12,014	4,922	8,009	3,281	3,060	1,060
2002	11,919	8,660	0,171	0,119	14,591	5,400	9,727	3,600	1,340	2,137
2003	12,533	8,910	0,183	0,123	17,519	5,910	11,679	3,940		
2004	13,165	9,322	0,203	0,129	22,550	6,729	15,033	4,486		

Volumen de madera = se estimó utilizando las dos variables anteriores y haciendo uso de la siguiente fórmula  $V = DAP^2 * \pi/4 * h * 0,45$ ; donde: h = altura comercial (60 % de la altura total), 0,45 = Factor de corrección recomendado en la literatura.

Tabla 6.17 Rendimiento de biomasa fresca y de leña, para dos especies arbustivas, bajo sistemas agroforestales, durante algunas evaluaciones puntuales y al final del experimento, a los 10 años.

Años	Rendimiento por planta*				Rendimiento por ha*			
	Quishuar		Retama		Quishuar		Retama	
	Biomasa	leña	Biomasa	leña	Biomasa	leña	Biomasa	leña
1995		0,001		0,000	0,000	0,160	0,000	0,086
1996	1,600	0,002		0,001	0,338	0,320	0,000	0,171
1997	9,200	0,003	17,400	0,002	1,941	0,640	3,671	0,343
1998	4,800	0,006	12,000	0,003	1,013	1,281	2,532	0,686
1999		0,018		0,010		3,842		2,057
2000		0,030		0,016		6,404		3,429
2001	5,590	0,042	4,340	0,023	1,179	8,965	0,916	4,800
2002		0,049		0,026		10,246		5,486
2003		0,055		0,029		11,527		6,172
2004	0,061	0,061	0,033	0,033	12,808	12,808	6,858	6,858

\* Datos expresados en m<sup>3</sup> para leña y en kg para biomasa.

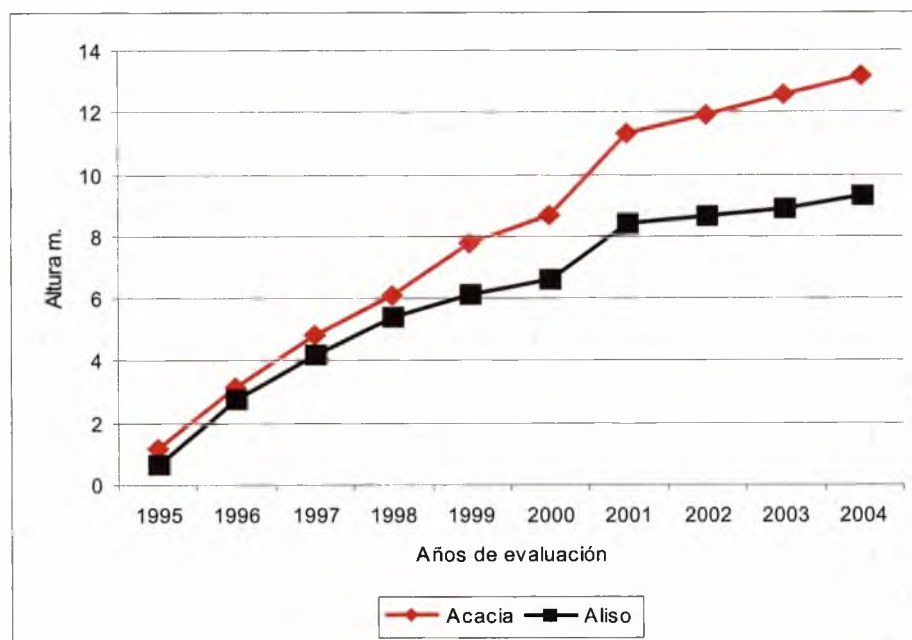


Figura 6.18 Representación gráfica del crecimiento de dos especies arbóreas en arreglos agroforestales con plantas arbustivas y cultivos durante diez años consecutivos, en Santa Catalina INIAP.

En el caso de las especies arbustivas, su rendimiento se evaluó todo en términos de leña y material vegetal para forraje. En la Tabla 6.17, se presentan los resultados de los rendimientos de biomasa de podas para algunos años y los rendimientos de leña, calculados para todo el período del experimento. Se observa claramente que los rendimientos de leña de quishuar superaron a los de retama, en forma consistente durante todo el período experimental; mientras que los rendimientos de biomasa fueron inconsistentes para las dos especies a través de los años. Sin embargo, la calidad de la biomasa de retama como fuente de forraje es muy superior, incluyendo la palatabilidad para los animales.

De esta forma, las opciones de sistemas agroforestales como los plantados en este experimento, que son opciones para un uso intensivo del suelo en parcelas de minifundio, tienen una importancia sustancial en la producción de bienes maderables y no maderables, provenientes precisamente de los componentes forestales, para sustentar los ingresos de los agricultores. Desde la óptica del agricultor, especialmente del de la Sierra (donde la deforestación es muy severa), el recurso leña es de extrema importancia. De igual manera, el

material vegetal en forma de biomasa foliar que se obtiene de las podas de especies arbóreas y arbustivas es muy apreciado como forraje o como leña.

El ganado en épocas de escasez de pasto en muchas partes de los Andes depende del forraje proveniente de árboles y arbustos. Aunque no se conoce el valor nutritivo de su follaje, la retama se utiliza tradicionalmente como alimento para la cría de animales menores, como cuyes y conejos (Carlson y Añazco, 1990), Especies del género *Acacia* y el aliso se ven usualmente ramoneadas al costado de caminos, por animales que buscan fuente de forraje (Carlson, 1993), también el follaje de quishuar, es utilizada en la alimentación animal en algunas comunidades de la sierra (CESA, 1992). En Perú, Reynel y León (1990), citados por Añazco, 1996 y Lojan, 1992, demostraron que las hojas tiernas de aliso sirven para forraje y además presentaron un análisis bromatológico, de las mismas dentro del que sobresale la proteína con 16,7 % y la fibra con 40 %, además de otros componentes como minerales con hasta 14,4 %, en base seca. Por su parte, Añazco (1996), indica que el aporte de aliso en épocas secas podría ser muy necesario para suplir escasez de pasto, aunque por el ramoneo las futuras plantas no tendrán la estructura de un árbol para producir madera, sino de un arbusto que proveerá biomasa foliar. Además, la hojarasca y materia orgánica que se encuentra en los bosquetes de aliso se utiliza como sustrato en viveros o como abono de los cultivos agrícolas (Lojan, 1992). De un análisis de hojarasca de aliso encontraron 89,7 % de materia orgánica; 2,31 % de nitrógeno, aunque con una relación C/N de 22,6 (Reynel y Morales, 1990).



**La arquitectura de copa de las especies arbóreas y arbustivas influye en las interacciones con cultivos (a la izquierda copa de aliso, a la derecha, copa de acacia).**



### **6.3.6 Análisis comparativo de rendimientos e ingresos de productos tangibles por sistema agroforestal**

Una de las mayores preocupaciones expresada por los agricultores a la hora de decidir la plantación de árboles en sus fincas y más todavía en sus parcelas de cultivos agrícolas o praderas, es el ingreso esperado por dicha actividad. De hecho, muchos agricultores son renuentes a sembrar árboles, debido a que los réditos esperados de la actividad son a mediano o largo plazo. En más de una ocasión, se han encontrado agricultores que calculan su expectativa de vida y comparan ésta con el tiempo esperado para que los árboles que se supone van a plantar lleguen a la madurez comercial y como el resultado no les es favorable, la decisión es no plantar árboles.

En el caso de los sistemas agroforestales, la situación es un tanto más complicada debido a que no solamente hay que superar el temor a la espera hasta la madurez de la especie arbórea, sino que se tendrá que decidir sobre un cambio en el uso del suelo. La incertidumbre sobre el cambio del uso de la parcela agrícola o de una parte de ella, está en función a la competencia que inevitablemente se produce entre la especie arbórea y los cultivos que se siembran en su entorno inmediato. La competencia entre las especies arbóreas o arbustiva (plantadas en cualquier sistema agroforestal) con los cultivos o pasturas de su entorno se produce por: Luz solar, agua en el suelo, nutrientes, y espacio (ver acápite 6.3.3). Las relaciones de competencia o las interacciones entre árbol y cultivo han sido muy estudiadas, en términos biológicos o ecológicos (Bagley, 1988; Schaefer and Ball, 1995; Gold, 1995; Burel, 1996); pero la cuantificación de las relaciones de competencia, en términos económicos o financieros es menos frecuente y precisamente es una de las limitaciones existentes para avanzar en la promoción de los sistemas agroforestales (Nair, 1993; Khan y Ehrenreich, 1993).

Habiendo realizado el seguimiento del crecimiento y rendimiento en campo de dos sistemas agroforestales, en comparación con la parcela testigo (sin árboles), por un período de 10 años consecutivos, se pretendió realizar un análisis financiero durante el período. Lamentablemente, no fue posible el análisis y transformación de datos de los registros sistemáticos anuales de costos de producción. Los datos de costos de producción requerían obligatoriamente un análisis minucioso y ciertas transformaciones debido a las circunstancias económicas inflacionarias y de recesión, que se vivieron en Ecuador, durante la década de los noventa, las que desencadenaron la dolarización, en 1999. Sin embargo, el registro de los rendimientos fue constante durante todos los ciclos del período experimental. Anualmente, se midieron y registraron las cosechas de todos los productos tangibles para cada sistema agroforestal y para la parcela testigo.

En tales circunstancias, se decidió hacer un análisis comparativo basado en los ingresos anuales de los sistemas agroforestales, con los ingresos de la parcela testigo, durante todo el período experimental. Para esto, se decidió trabajar con los ingresos reales con base en las cantidades cosechadas en la parcela de 2840 m<sup>2</sup>, que fue la unidad de análisis del experimento; es decir, no se transformaron los datos a rendimientos por hectárea como es usual en estos casos.

En la Tabla 6.18, se presenta a manera de ejemplo las determinaciones y valoraciones realizadas para los productos tangibles de los dos sistemas agroforestales y de la parcela testigo en el año 2000. Este modelo de registro de rendimientos y cálculo de ingresos se aplicó a todos los años del experimento. Los precios unitarios de venta de los diferentes productos cosechados, son para el año 2004 y se consideraron aquellos que se obtendrían a nivel de finca, es decir son precios para productos sin ningún valor agregado. Sin embargo, hay que aceptar que estos precios no pueden corresponder a la realidad de otras circunstancias de lugar y de mercados, por lo que eventualmente, los cálculos de ingresos pueden variar, en función de los precios de venta de los productos en cada lugar.

Un resumen de los ingresos por año, para todo el período del experimento, se presenta en la Tabla 6.19. Como indicador de comparación se presenta el porcentaje de ingreso de cada sistema agroforestal en comparación con el ingreso de la parcela testigo. En la Figura 6.19, se representan las tendencias de los ingresos para los dos sistemas en comparación con los de la parcela testigo, en términos de porcentajes. La decisión de presentar los resultados en esta forma, se fundamentó en la búsqueda de respuesta a las siguientes preguntas: Si el agricultor decide remover los sistemas agroforestales en un año determinado, ¿Qué productos y qué cantidad cosecharía? y ¿Cuál sería su ingreso por los productos cosechados?. Con base en los resultados se pudo ensayar algunas interpretaciones y conclusiones así:

- a) Fue muy claro que los ingresos obtenidos del sistema agroforestal acacia-quishuar superaron en forma consistente a los ingresos obtenidos del sistema aliso-retama, durante todo el período experimental. Esto fue más evidente durante los últimos años del período experimental, debido al crecimiento y rendimiento de madera sustancialmente superiores de acacia sobre los de aliso.
- b) Durante los primeros años del período experimental, los ingresos obtenidos en los dos sistemas agroforestales, pero especialmente en el sistema acacia-quishuar no fueron sustancialmente inferiores a los obtenidos en la parcela testigo. Esto evidentemente se debió a que en

las etapas juveniles las especies arbóreas no generaron competencia con los cultivos. Al observar los rendimientos de los cultivos sembrados en las parcelas contiguas a las barreras agroforestales (acápites 6.3.3 y 6.3.4), se encuentra que no hubo evidencias de competencia durante los primeros cuatro a cinco años del experimento.

Tabla 6.18 Comparativo de ingresos de productos tangibles por sistema agroforestal cosechados en una parcela de 2840 m<sup>2</sup> (Ejemplo de cálculo para el año 2000).

Producto y unidad de medida	Precio unitario USD	Acacia-quishuar		Aliso-retama		Campo abierto	
		Cosecha	Ingreso USD	Cosecha	Ingreso USD	Cosecha	Ingreso USD
Maíz choclo (kg)	0,45	965,30	434,38	901,96	405,88	983,33	442,50
Zanahoria (kg)	0,40	42,11	16,84	42,73	17,09	73,67	29,47
Jicama (kg)	0,16	62,28	9,96	51,43	8,23	113,51	18,16
Miso (kg)	0,08	58,87	4,71	64,56	5,17	136,89	10,95
Alfalfa fresca (kg)	0,13	22,83	2,97	21,03	2,73	121,29	15,77
Rye grasss (kg)	0,13	24,61	3,20	100,28	13,04	7,83	1,02
Mezcla (kg)	0,13	47,44	6,17	67,00	8,71	37,11	4,82
Arveja en vaina (kg)	0,25	361,83	90,46	371,82	92,95	550,01	137,50
Madera (m <sup>3</sup> )	18,00	2,14	38,46	1,00	18,05	0,00	0,00
Leña de árboles (m <sup>3</sup> )	8,00	1,42	11,39	0,67	5,35	0,00	0,00
Leña de arbustos (m <sup>3</sup> )	5,00	1,80	9,00	0,96	4,80	0,00	0,00
Biomasa de podas (kg)	0,10	918,00	91,80	1032,00	103,20	0,00	0,00
<b>Total ingreso USD por año</b>			<b>719,34</b>		<b>685,20</b>		<b>660,19</b>
<b>Porcentaje*</b>			<b>108,96</b>		<b>103,79</b>		

\* con relación al ingreso en la parcela a campo abierto

Tabla 6.19 Resumen de ingresos por Sistema Agroforestal y porcentajes con relación al ingreso en la parcela testigo, para diez años consecutivos (Los ingresos se han calculado por parcela de 2840 m<sup>2</sup>).

Año	Acacia-quishuar		Aliso-retama		Campo-abierto
	Ingreso USD	Porcentaje*	Ingreso USD	Porcentaje*	Ingreso USD
1995	637,95	98,61	640,90	99,07	696,41
1996	385,56	98,43	366,66	93,60	391,73
1997	837,91	104,93	874,89	109,56	798,56
1998	966,41	106,65	961,10	106,06	906,16
1999	545,59	108,94	536,43	107,11	500,82
2000	719,34	108,96	685,20	103,79	660,19
2001	486,45	135,29	369,88	102,87	359,57
2002	1148,45	92,43	1166,89	93,91	1242,50
2003	300,90	154,19	239,03	122,48	195,15
2004	349,74	197,33	278,91	157,37	177,24

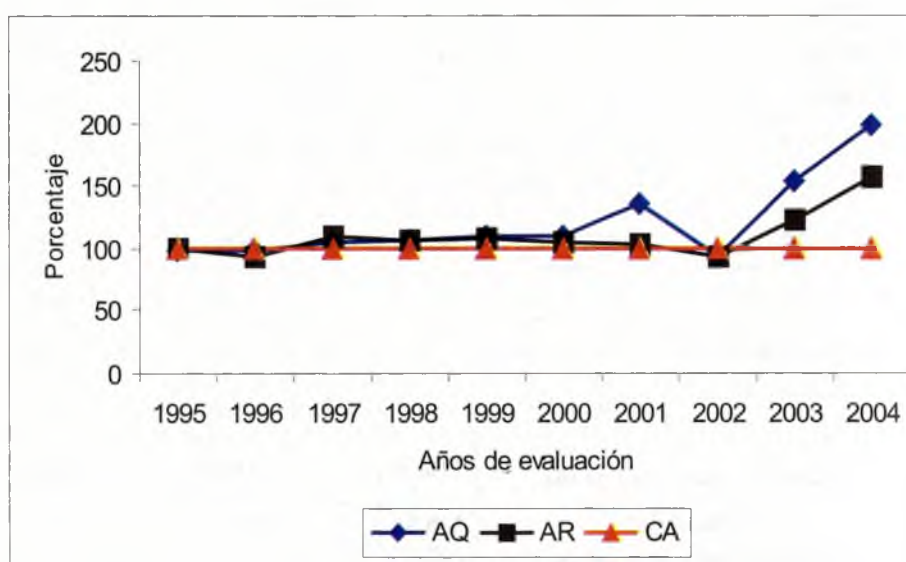


Figura 6.19 Representación gráfica del porcentaje de ingresos por sistema agroforestal con relación a los ingresos de la parcela testigo, durante 10 años consecutivos.

- c) Los ingresos en los dos sistemas agroforestales se mantuvieron constantes y aproximadamente similares a los de la parcela testigo, hasta el año 2001, en el cuál, se presentó un incremento sustancial del ingreso en el sistema acacia-quishuar, con respecto a los ingresos obtenidos en el sistema aliso-retama y en el testigo, lo que posiblemente se debió a las diferencias de rendimiento de madera, leña y biomasa. Sin embargo, en el año 2002, los ingresos para los dos sistemas fueron ligeramente inferiores a los obtenidos en la parcela testigo. Esto se interpretó como el resultado de no haber sembrado un cultivo alimenticio como en todos los otros nueve años del experimento. En éste año se tomó la decisión de sembrar la combinación forrajera avena-vicia, en las parcelas destinadas a cultivos. El indicador de rendimiento en este caso fue toneladas de forraje fresco, el que si fue sustancialmente superior en la parcela testigo. Esta diferencia de rendimiento, transformada a ingreso fue suficiente para contrarrestar los ingresos obtenidos por madera y leña en las parcelas agroforestales de los dos sistemas.
- d) En el año 2003, en el cual el cultivo fue cebada y en el 2004, que fue chocho, los ingresos de las parcelas agroforestales superaron significativamente a los de la parcela testigo. Así, en el 2003, se registraron porcentajes de ingreso superiores en 54,19 y 22,48 % a los ingresos de la parcela testigo, para los sistemas acacia-quishuar y aliso-retama, respectivamente; mientras que en el año 2004, los ingresos fueron 97,33 y 57,37 % superiores (Tabla 6.19).
- e) Se espera que a partir del 2004, la tendencia de ingreso superior para los sistemas agroforestales se mantenga. Esto es posible, debido a que sí se observa la curva de crecimiento de las especies maderables (Figura 6.18), se encuentra que a partir del año 2001 se presenta un incremento consistente del crecimiento de las dos especies. Ninguna de las dos presenta signos de estancamiento o declinación del crecimiento al año diez de su plantación; naturalmente la tendencia de crecimiento de acacia es superior. Esto significa que posiblemente los rendimientos de madera y de leña van a ser muy superiores en los próximos tres a cinco años.

Queda por determinar los rendimientos de madera, leña y ramas de árboles y arbustos, y calcular los ingresos en los próximos tres a cinco años; posiblemente una determinación directa (por el método destructivo), al momento de la remoción de las barreras agroforestales sería de mayor utilidad. Naturalmente, en este momento también será necesario determinar los costos de remoción de las barreras, para restar de los ingresos y determinar las utilidades reales de los sistemas.

### **6.3.7 Análisis comparativo de rendimientos e ingresos de productos y servicios no tangibles por sistema agroforestal**

En el acápite 6.3.6, se presenta y analiza los rendimientos tangibles (bienes comerciales o aprovechables) y la valoración de estos para obtener los ingresos con base en precios unitarios a nivel de finca. Los resultados muestran que los dos sistemas son sustancialmente superiores en ingresos a partir del año nueve desde su instalación (Tabla 6.19 y Figura 6.19). Además, los resultados muestran que la tendencia es a incrementar estas diferencias de ingresos en los próximos tres o cinco años, que podría ser el período que un agricultor estaría interesado en mantener los árboles antes de su corta (normalmente en Ecuador se está cosechando plantaciones forestales de alrededor de 15 años de edad).

Sin embargo, en esta clase de sistemas productivos existe otro tipo de ingresos de bienes o servicios intangibles (productos o servicios no comerciales o no aprovechables en forma directa), pero que no por ser intangibles dejan de tener valor. Muchas comunidades y granjeros valoran los recursos forestales no solo como combustible sino como fuentes de alimento, medicina protección y como parte de los ritos religiosos o actividades culturales (Rule y Szimansky, 1995), a este tipo de servicios cuando vienen de sistemas agroforestales, se conoce como "Agroforestería social". Otros autores, reconocen valores económicos de la agroforestería mediante la cuantificación de servicios intangibles como: la conservación de la biodiversidad, especialmente de la vida silvestre (Jeffery *et al.*, 1986, Allen, 1995), la mejora de oportunidades de caza y pesca (Cable y Cook, 1990), la mejora del microclima para cultivos (Schaefer y Ball, 1995; Brandle y Marsh, 1995; Khan y Ehrenreich, 1993) o la protección que proporcionan las barreras agroforestales a casas de vivienda, huertos caseros o establos (Rule y Szimansky, 1995). De esta forma, a la hora de evaluar los bienes y servicios no tangibles proporcionados por los sistemas agroforestales, es propicio el uso de metodologías innovadoras que permitan cuantificar todos estos servicios no monetarios, en términos económicos o financieros.

En la Tabla 3.5, se presenta un resumen de los principales bienes o servicios no tangibles que proporcionan los sistemas agroforestales. En esta ocasión no ha sido posible la determinación cuantitativa ni la valoración económica de todos los bienes y servicios mencionados, pero fue muy evidente que los dos sistemas agroforestales probados proporcionaron muchos de los servicios intangibles mencionados. Especialmente hay que resaltar los contenidos de materia orgánica acumulada en las parcelas debajo de las barreras agroforestales, que se reportan mas adelante.

Otro aspecto a resaltar es la proliferación muy notoria de plantas extrañas a las del sitio del experimento, lo cual es un signo de incremento o mejora de la

biodiversidad del sitio. En los últimos años del período experimental, se observaron en el entorno inmediato a las barreras agroforestales o debajo de los árboles, varios ejemplares de: capulí, *Prunus serótina*; mora silvestre, *Rubus spp*; mortiño *Solanum spp* y varias gramíneas herbáceas. Estas plantas aparecieron debajo o en el entorno de las barreras, y fueron traídas por aves silvestres que encontraron su mejor refugio (especialmente nocturno) en las barreras agroforestales y dispersaron las semillas de las especies mencionadas en sus deyecciones. Este aspecto es poco valorado por algunos productores, ya que la presencia de aves es considerada más bien como un aspecto negativo. Ellos arguyen y con razón, que las aves silvestres constituyen una plaga para sus cosechas.

Durante el desarrollo del experimento no se cuantificó la abundancia ni frecuencia de aves presentes en las barreras, como tampoco se determinó el porcentaje de daño que causaron a las cosechas de los diferentes cultivos que se probaron; sin embargo, es evidente que desde el punto de vista ecológico, la presencia de aves y otras especies de la vida silvestre constituyen un aporte a la conservación de la biodiversidad y una contribución a restauración del equilibrio ecológico en micro ambientes como los de una estación experimental, que por el uso continuado y a veces exagerado de insumos químicos, se ha producido un desbalance ecológico muy evidente.

La presencia de especies de animales de la vida silvestre conjuntamente con las especies vegetales dispersadas por ellas, ayudan a regenerar el micro entorno de los sistemas agroforestales. Esto es de mucha mayor importancia en sitios degradados o en proceso de recuperación. El valor paisajístico de los entornos de sistemas agroforestales con toda seguridad se incrementa, en comparación con el valor del paisaje de entornos de sistemas de producción agrícolas típicos.

A continuación se presenta los resultados de la evaluación de dos de los indicadores no tangibles de los sistemas agroforestales: la presencia y dispersión de poblaciones de malezas como efecto de los sistemas agroforestales y el contenido de materia orgánica, muestreado al décimo año del experimento.

#### **6.3.7.1 Efecto de dos sistemas agroforestales en la distribución de malezas en cultivos asociados<sup>1</sup>**

Las ciencias ecológicas definen a las malezas como plantas de buena capacidad de colonización que aprovechan las condiciones creadas por el ser

---

Contribuyeron con la información de campo y la redacción de esta sección: Neidy Clavijo, especialista en Agricultura Ecológica y Alexander Navas, especialista en Agroforestería Tropical.

humano en el ecosistema; cuando el hombre destruye la vegetación natural del ecosistema las malezas son las primeras especies por medio de las cuales la naturaleza trata de recuperar su espacio (Benzing, 2001). Otros describen a las malezas como perjudiciales porque reducen la producción de cultivos ya que compiten con ellos por los recursos, principalmente por luz solar, agua y nutrimentos (Guharay *et al.*, 2000).

Para el combate de malezas en los agroecosistemas, se han recomendado algunas alternativas, entre ellas, la aplicación de herbicidas, las deshierbas manuales o mecanizadas. Estas son *prácticas de acción directa* que reducen la biomasa de las malezas mas no cambian las condiciones que permiten su crecimiento, como por ejemplo la cantidad de luz que llega hasta el suelo del agroecosistema, la temperatura del entorno, o la disponibilidad de agua en el suelo. En sistemas de producción bajo sombra, la cantidad de luz puede ser regulada como producto de la presencia de árboles, como es el caso de los sistemas agroforestales (Guharay *et al.*, 2000). En estos sistemas, los árboles reducen la luz solar por dos vías: captan la luz directamente reduciendo la llegada al suelo y botan sus hojas que se convierten en hojarasca que cubre el suelo, lo cual reduce la germinación de malezas en el campo, disminuyendo de ésta manera las poblaciones de malezas en los campos de cultivo. Esta es una forma indirecta y económica de controlar malezas.

Es importante considerar que en agroecosistemas la presencia de malezas trae beneficios, por ejemplo el hecho de contribuir a incrementar la biodiversidad, cada especie adicional que se encuentra en un agroecosistema puede albergar un número determinado de otros organismos, entre ellos insectos benéficos, insectos plaga, predadores, parásitos, parasitoides y microorganismos varios, lo cual permite crear un agroecosistema más complejo y diverso (Altieri, 1999) y recuperar las relaciones ecobiológicas que eventualmente están interrumpidas como resultado de algunas prácticas agrícolas. También las malezas pueden proteger la superficie del suelo de la erosión con sus raíces o su cubierta foliar, retener nutrimentos que podrían ser arrastrados de la superficie, adicionar materia orgánica al suelo e inhibir selectivamente el desarrollo de otras especies por alelopatía (Gliessman, 2002).

El tipo de beneficio o daño que puedan causar las malezas guarda relación con sus hábitos de crecimiento y tipo de propagación. Estas características están directamente ligadas con la forma de adaptación (abundante sistema radicular que hace que la planta sea competitiva para la absorción de agua y nutrimentos, producción abundante y temprana de semilla, asimilación de nutrimentos desde capas profundas, almacenamiento de reservas en raíces pivotantes, reproducción vegetativa por medio de estolones y rizomas) que permiten a las malezas sobrevivir aún en condiciones adversas del agroecosistema.



**Consideraciones metodológicas de la evaluación de malezas.**- La toma de datos en campo, se realizó durante el décimo ciclo de producción del experimento, con la presencia en campo del cultivo de chocho. Se utilizaron los mismos dos sistemas agroforestales: acacia-quishuar (AQ) y aliso-retama (AR), en comparación con la parcela testigo, a campo abierto (CA). Para el muestreo de malezas se utilizó la metodología de la cuadrícula (Merino, 1991; Clavijo, 2003), que consiste en usar un cuadrado de 50 x 50 cm el que se arroja al azar dentro del área de muestreo, para determinar las malezas dentro de la cuadrícula. En cada sistema se realizaron muestreos a tres distancias (3, 8 y 12 m) desde la base de las barreras forestales. Además, a la distancia de 3 m se analizó la influencia de la sombra matutina y vespertina. En cada distancia se tomaron seis puntos de muestreo.

Las variables analizadas fueron las siguientes: conteo o abundancia de malezas, índice de diversidad, biomasa fresca y biomasa seca, esta última determinada luego de su secamiento en horno a una temperatura de 65 °C, hasta alcanzar un peso constante. Para determinar la diversidad de malezas, se utilizó el índice de "Shannon y Winner":

$$H = -\sum (p_i) (\log p_i)$$

Donde: H = Índice de diversidad; el valor de  $p_i$  se calculó dividiendo  $n_i/N$ . Es decir la abundancia particular de una especie ( $n_i$ ) entre el total de individuos de todas las especies (N), se trata de la proporción de individuos de esa especie, dentro del total de especies. Un ejemplo de cálculo del índice de diversidad es el siguiente:

ESPECIES	n	pi	Log (pi)	pi (log pi)
<i>Bromus catharticus Vahl</i>	20	0,408	-0,389	-0,16
<i>Raphanus raphanistrum L.</i>	19	0,388	-0,411	-0,16
<i>Poligonum nepalense</i>	8	0,163	-0,787	-0,13
<i>Silene gallica L.</i>	2	0,041	-1,389	-0,06
<b>Abundancia</b>	49			
<b>Índice de diversidad</b>				<b>-0,50</b>

**Del análisis de los resultados**, se encontró que el sistema (AR), presentó el mayor índice de diversidad de especies (-0,61) en comparación con los sistemas AQ (-0,39) y CA (-0,42); mientras que la abundancia fue mayor en los sistemas (AQ y CA), debido a la evidente dominancia de las especies *Bromus catharticus Vahl* y *Raphanus raphanistrum L.*, las cuales presentaron una proliferación agresiva (Tabla 6.20).

Tabla 6.20 Abundancia y diversidad de especies de malezas, en dos sistemas agroforestales y un testigo, a campo abierto, para el ciclo agrícola 2003-2004.

Especies de malezas	Sistemas agroforestales		
	Acacia-quishuar	Aliso-retama	Campo abierto
<i>Bromus catharticus</i> Vahl	98*	44*	41*
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	46*	34*	95*
<i>Poligonum aviculare</i> L.	1	1	0
<i>Rumex crispus</i>	4	6	5
<i>Galinsoga ciliate</i>	0	1	0
<i>Poligonum nepalense</i>	0	17	8
<i>Avena fatua</i>	3	3	0
<i>Trifolium repens</i>	2	1	0
<i>Silene gallica</i>	0	0	2
<b>Abundancia</b>	<b>154</b>	<b>107</b>	<b>151</b>
<b>Índice de Shannon y Winner</b>	<b>-0,39</b>	<b>-0,61</b>	<b>-0,42</b>

\* Especies dominantes.

Los índices de diversidad obtenidos en cada una de las distancias evaluadas (desde la base de las barreras forestales), mostraron una tendencia similar al índice general por sistema agroforestal. El sistema agroforestal AR presentó mayor diversidad de malezas a las distancias 3 y 8 m mientras que en el sistema CA presentó un índice de diversidad superior a 12 m Sin embargo, la abundancia de malezas, fue significativamente mayor en las parcelas a campo abierto, en comparación con la abundancia en las parcelas agroforestales (Tabla 6.21), además, la abundancia fue notoriamente superior en las parcelas a 12 m de las barreras. Esta es una evidencia clara de la influencia de los sistemas agroforestales en el comportamiento de las malezas, por un lado favorecen la diversidad pero por otro lado afectan el crecimiento.

Tabla 6.21 Índice de diversidad para malezas, a tres distancias desde la base de las barreras forestales en dos sistemas agroforestales y un testigo a campo abierto para el ciclo agrícola 2003-2004.

Sistema agroforestal y especies de malezas	Distancia desde las barreras forestales		
	3 m	8 m	12 m
<b>Acacia-quishuar</b>			
<i>Bromus catharticus</i> Vahl	24*	29*	42*
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	5	13	6
<i>Trifolium repens</i>	2	0	0
<i>Poligonum aviculare</i>	1	0	0
<i>Rumex crispus</i> L.	0	3	1
<i>Avena fatua</i> L.	0	2	1
<b>Abundancia</b>	<b>8</b>	<b>47</b>	<b>50</b>
<b>Índice de diversidad</b>	<b>-0,34</b>	<b>-0,19</b>	<b>-0,24</b>
<b>Aliso-retama</b>			
<i>Bromus catharticus</i> Vahl	3	3	38*
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	14*	11	7
<i>Rumex crispus</i> L.	1	2	0
<i>Galinsoga ciliata</i>	1	0	0
<i>Poligonum nepalense</i>	3	14*	0
<i>Avena fatua</i>	0	3	0
<i>Poligonum aviculare</i>	0	1	0
<b>Abundancia</b>	<b>22</b>	<b>34</b>	<b>45</b>
<b>Índice de diversidad</b>	<b>-0,48</b>	<b>-0,62</b>	<b>-0,19</b>
<b>Campo abierto</b>			
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	50*	26*	19*
<i>Rumex crispus</i>	5	0	0
<i>Bromus catharticus</i> Vahl	0	21	20*
<i>Poligonum nepalense</i>	0	0	8
<i>Silene gallica</i> L.	0	0	2
<b>Abundancia</b>	<b>55</b>	<b>47</b>	<b>49</b>
<b>Índice de diversidad</b>	<b>-0,13</b>	<b>-0,30</b>	<b>-0,50</b>

\* Especies dominantes.

El efecto competitivo que las malezas puedan tener con el cultivo, se determinó mediante la estimación de la producción de materia seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en cada sistema y en cada distancia. Se encontraron diferencias significativas entre sistemas, siendo mayor la producción de biomasa en el sistema CA, con un promedio de  $2074,1 \text{ kg ha}^{-1}$ , a diferencia de la producción en los sistemas AQ y AR, donde el rendimiento fue de  $1024,5$  y  $1091,9 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente. Esto, evidentemente es una respuesta a la mayor exposición solar que permitió un mejor desarrollo de las malezas, es decir la presencia de plantas más altas y vigorosas que aquellas en las parcelas bajo sistemas agroforestales (Figura 6.20).

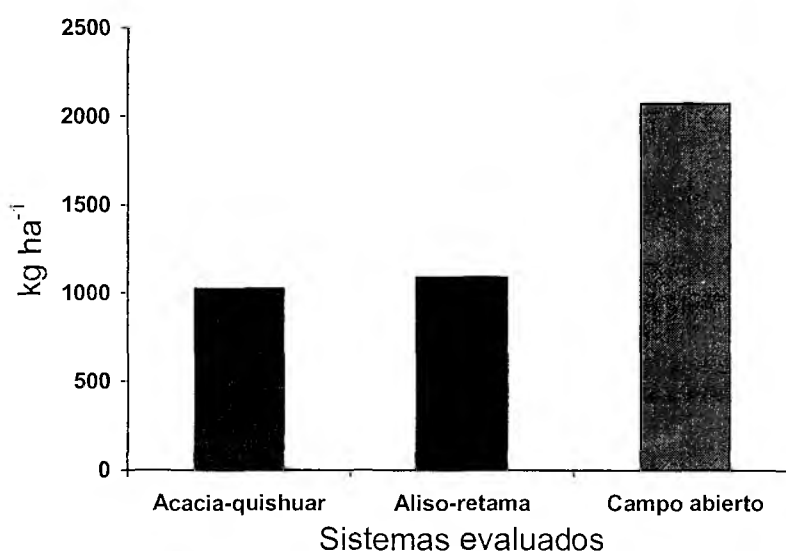


Figura 6.20. Rendimiento promedio de materia seca de malezas por influencia de dos sistemas agroforestales, en comparación con una parcela testigo a campo abierto para el ciclo agrícola 2003-2004.

Similares resultados se observaron al comparar la producción de materia seca de las malezas en cada distancia. El sistema CA presentó los mayores promedios, mientras que en los sistemas agroforestales se observó una tendencia a incrementar la producción de materia seca de las malezas a medida que los tratamientos se alejan de la línea de las barreras forestales (Tabla 6.22).

Tabla 6.22 Rendimiento de materia seca de malezas ( $\text{kg. ha}^{-1}$ ), bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y una parcela testigo a campo abierto, a tres distancias de las barreras forestales, para el ciclo agrícola 2003-2004.

Distancia en metros	Sistemas agroforestales		
	Acacia-quishuar	Aliso-retama	Campo abierto
3	818	872	2336
8	904	1326	1852
12	1352	1077	2034

La abundancia, diversidad y rendimiento de biomasa de malezas no explican por sí solos el efecto que éstas puedan tener en el agroecosistema ya que esto depende mucho de su papel ecológico en el campo. Por ejemplo, las especies *B. catharticus Vahl* y *R. raphanistrum L.* en los tres sistemas (AQ, AR y CA) fueron dominantes por ser especies de porte alto, pero su abundancia, más allá de propiciar un ambiente más diverso, está ocasionando efectos negativos por su agresividad y dificultad de mantener bajo los umbrales económicos de daño y por consiguiente no están aportando al cultivo beneficios tangibles, más bien compiten con él, al ser plantas altas y con sistemas radiculares profundos. Esto no ocurre con *Galinsoga ciliata* (dominante en el sistema CA) y *Trifolium repens* (dominante en los sistemas AQ y CA), cuya floración continua atrae la presencia de abejas y otros insectos benéficos, pero son plantas de estratos bajos, cuya altura y sistema radicular no permiten una competencia significativa con el cultivo.

Lo mencionado, dio la pauta para considerar a las malezas identificadas como "benéficas" ya que funcionan como pequeños corredores o islas biológicas, donde puedan refugiarse, movilizarse y alimentarse insectos benéficos que inciden en el incremento de la diversidad y equilibrio biológico del agroecosistema (Mexzón, 1997). De todas maneras, bajo una visión general de los resultados de la evaluación de la diversidad, abundancia y producción de biomasa de malezas bajo la influencia de los SAF's, se puede ensayar las siguientes interpretaciones, conclusiones y recomendaciones:

- a) La sombra que producen las especies forestales de los dos sistemas agroforestales influyó negativamente en la producción de materia seca de malezas, por retardo del desarrollo vegetativo de algunas de ellas. Esto posiblemente se debió a que las malezas dominantes en el sitio del experimento son especies que no toleran la sombra, y por lo tanto, la presencia de árboles es una forma indirecta para su control.

- b) Del mismo modo, la ausencia de la cobertura arbórea en el sistema de campo abierto, favoreció un mayor desarrollo vegetativo de las malezas y consecuentemente una mayor producción de materia seca de las mismas, lo que evidentemente es una característica que incrementa la competencia con los cultivos e incrementa los costos de erradicación bajo cualquier sistema de control de malezas.
- c) La interferencia de la radiación por las barreras agroforestales en combinación con la interferencia de radiación por nubosidad local, que incrementó el efecto sombra de las barreras forestales, influyeron favorablemente en el índice de diversidad de malezas, debido a que no todas las especies de malezas tienen los mismos requerimientos lumínicos para su desarrollo y para completar su ciclo. Esto es una ventaja desde el punto de vista ecológico ya que se convierte en un atractivo para insectos benéficos, por ejemplo polinizadores de cultivos.
- d) Para próximos estudios se recomienda realizar muestreos de malezas durante el crecimiento vegetativo y durante la etapa de floración de los cultivos. De esta manera se podría determinar con mayor precisión cual es la diversidad y abundancia de malezas a lo largo del ciclo de cultivo y el grado de competencia en las etapas críticas de desarrollo del mismo.
- e) También sería de mucha utilidad realizar estudios de los niveles de interferencia de la radiación por las copas de las especies arbóreas y arbustivas, para correlacionar esta información con la abundancia y diversidad de malezas.
- f) Se recomienda realizar un monitoreo de la presencia de insectos benéficos en los tres sistemas de producción, para contrastar éstos resultados con la diversidad y abundancia de malezas.
- g) Un estudio del banco de semillas de malezas almacenado en las parcelas con y sin influencia de las barreras agroforestales ayudaría a determinar el efecto de la interferencia de radiación en la diversidad de malezas. Esto sería de mucha utilidad al momento de la remoción de las barreras, para determinar la influencia global de la presencia de las barreras agroforestales en los campos de cultivo.



**a**



**b**

**Foto 11.** Presencia de malezas en los Sistemas agroforestales: a) Evaluación de malezas por el método de la cuadrícula. b) Panorámica del efecto sombra de las especies leñosas sobre la población de malezas.

### **6.3.7.2 Contenido y valoración de la materia orgánica en el suelo, como resultado de la influencia de las barreras agroforestales**

Una de las características de los sistemas agroforestales es el mejoramiento de la fertilidad del suelo. Varias especies arbóreas y arbustivas componentes de los SAF's aportan nitrógeno al suelo mediante el proceso de fijación desde la atmósfera, en simbiosis con bacterias en su sistema radicular; otras albergan en su sistema radicular a microorganismos como micorrizas, que intervienen en la movilización del fósforo y otros elementos fijados en los coloides del suelo; otras especies, con sistemas radiculares profundos son capaces de movilizar nutrimentos de las capas inferiores del suelo, contribuyendo de esta forma al reciclaje de los mismos y evitando la competencia con los cultivos anuales que están en la capa superficial. Todas estas opciones son atributos de los sistemas agroforestales que permiten mejorar la fertilidad del suelo.

Sin embargo el aporte más importante de la agroforestería a la fertilidad del suelo es el incremento del contenido de materia orgánica. La materia orgánica en el entorno inmediato a los árboles y arbustos empieza a incrementarse desde edades muy tempranas del sistema agroforestal, como consecuencia del aporte sistemático de hojas, ramas, flores y frutos, que se acumulan en el suelo. En algunas localidades con presencia de viento, el aporte de materia orgánica de los árboles se extiende hacia las áreas contiguas, ya que mucho material foliar es transportado por el viento a distancias considerables desde la línea de los árboles. Además, los árboles y arbustos atraen a varias especies de la vida silvestre animal, que hacen su hábitat (especialmente nocturno) en las copas de los árboles y aportan en forma sustancial con sus deyecciones al contenido de materia orgánica en el suelo.

Por otro lado, la sombra que proyectan los árboles propicia un micro ambiente más fresco, en el entorno y esto retrasa la tasa de descomposición de la materia orgánica, permitiendo que ésta se acumule en los espacios debajo de los árboles o en el área de interface con los cultivos.

Bajo estas consideraciones, se procedió a registrar los incrementos de materia orgánica como aporte de los sistemas agroforestales estudiados (acacia-quishuar y aliso-retama), al mejoramiento de la fertilidad del suelo. La determinación y valoración del incremento de materia orgánica se realizó al décimo año del experimento, para lo cual se tomaron muestras de suelo en cada parcela experimental siguiendo trayectos verticales a la línea de las barreras agroforestales. Se tomaron un total de 15 muestras de suelo en cada parcela experimental, a una profundidad de 20 cm es decir, en la capa arable



del suelo agrícola. Las muestras se analizaron en el laboratorio de suelos de la Estación Experimental Santa Catalina, del INIAP.

Los resultados mostraron una influencia significativa de los sistemas agroforestales en el contenido de materia orgánica, en la capa arable del suelo, especialmente en las áreas circundantes a las barreras agroforestales. En la Figura 6.21, se muestran los contenidos promedios de materia orgánica para las parcelas ubicadas inmediatamente a los costados Este y Oeste de las barreras agroforestales, a 3 m de la hilera de árboles. Se encontraron incrementos de 2,1 y 3,29 %, por la influencia de los sistemas acacia-quishuar y aliso-retama, respectivamente, con relación a los contenidos de materia orgánica en la parcela testigo. De los muestreos realizados en las áreas debajo de las barreras agroforestales, es decir en las parcelas ubicadas en el centro de las dos hileras de árboles y arbustos, los incrementos fueron aun mayores. En este caso, se registraron incrementos de materia orgánica de 3,27 y 4,17 %, también por la influencia de los sistemas acacia-quishuar y aliso-retama, respectivamente, en comparación con los contenidos registrados en la parcela testigo, Figura 6.22.

Adicionalmente, se registraron los contenidos promedio de materia orgánica para la parcela experimental completa (2840 m<sup>2</sup>). En este caso, se encontraron incrementos de 0,88 y 1,58%, para los efectos de los sistemas agroforestales acacia-quishuar y aliso-retama respectivamente (Figura 6.23). En la Tabla 6.23, se presentan los resultados de la cuantificación de los incrementos de materia orgánica, con relación a la parcela testigo, a campo abierto y los resultados de la valoración de estos incrementos. Se encontró que el aporte incremental de materia orgánica por hectárea, calculado con base en los incrementos en la parcela experimental total fueron de 19360 y 34760 kg, por la influencia de los sistemas acacia-quishuar y aliso-retama respectivamente. De la valoración económica de estos aportes, a precios de mercado (USD 0,12 kg<sup>-1</sup>), se encontró que los sistemas acacia-quishuar y aliso-retama proporcionaron ingresos indirectos al sistema productivo de USD 2323 y 4171 ha<sup>-1</sup>, respectivamente, valorados al año 10 del experimento.

Con base en los resultados indicados, se pudo formular las siguientes conclusiones o recomendaciones:

- a) Los dos sistemas agroforestales evaluados, proporcionaron incrementos sustanciales de materia orgánica al sistema productivo, los que alcanzaron promedios de 19360 y 34760 kg ha<sup>-1</sup>, para acacia-quishuar y aliso-retama, respectivamente. Estos se explican por la caída sistemática de hojas, flores, frutos y otros residuos de los componentes arbóreos y arbustivos; además por el aporte de deyecciones de animales de la vida silvestre (especialmente aves), que

hicieron de los sistemas agroforestales su hábitat, especialmente nocturno.

- b) De la valoración económica de los incrementos, se encontró que el aporte promedio de materia orgánica al décimo año de evaluación fue de USD 2323 y 4171 ha<sup>-1</sup>, por la influencia de los sistemas acacia-quishuar y aliso-retama respectivamente.
- c) Cuando los incrementos de materia orgánica fueron evaluados en el entorno inmediato de influencia de los árboles y arbustos, los aportes fueron mucho mayores a los indicados para la parcela experimental total. Así, los aportes en las parcelas por debajo de las hileras de especies leñosas fluctuó entre 71,9 y 91,7 t ha<sup>-1</sup>; mientras que cuando la evaluación se realizó en las áreas de interface árbol-cultivo, a 3 m., a los costados de las hileras de árboles, el aporte incremental fue de 46,2 y 72, 4 t ha<sup>-1</sup>, por la influencia de los sistemas acacia-quishuar y aliso-retama, respectivamente.
- d) El sistema agroforestal aliso-retama, proporcionó mayor aporte de materia orgánica al suelo, debido a las características fisiológicas de aliso que renueva anualmente su follaje, en forma total o parcial, dependiendo de algún factor climático, aún no determinado.
- e) Estos aportes de materia orgánica fueron considerados muy útiles para la fertilidad del suelo en las condiciones de sitio del experimento, puesto que la relación carbono nitrógeno C/N se encontró entre 10 y 14 valores que se han mantenido estables desde el año 1996 (Ramos, 1997).
- f) Estos resultados son de extrema importancia, sobre todo para áreas agropecuarias con suelos degradados, erosionados o de baja fertilidad, como son la mayoría de suelos de la sierra de Ecuador. Lograr incrementos de materia orgánica en el suelo de la magnitud de los datos informados significa una oportunidad apreciable para agricultores, especialmente de minifundio, que no tienen la posibilidad de adquirir insumos extra finca para mejorar la capacidad productiva de sus suelos.

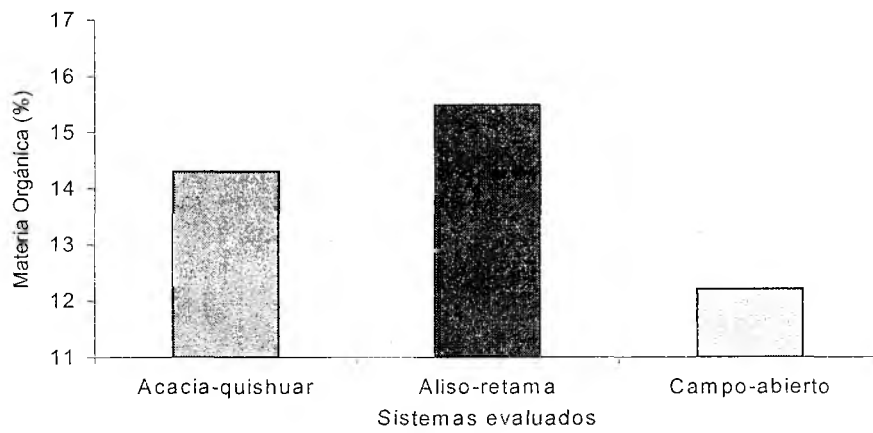


Figura 6.21. Influencia de dos sistemas agroforestales en el contenido de materia orgánica en el área de interfase árbol-cultivo, a 3 m. de la línea de árboles, en comparación con el contenido en la parcela testigo, a campo abierto.

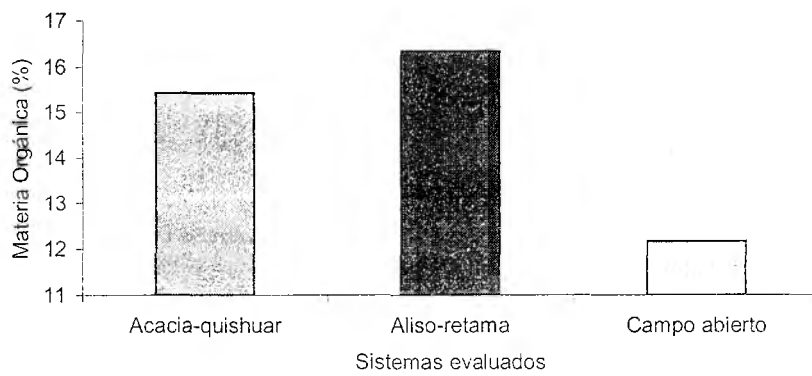


Figura 6.22. Influencia de dos sistemas agroforestales en el contenido de materia orgánica en el área debajo de los árboles, en comparación con el contenido en la parcela testigo, a campo abierto.

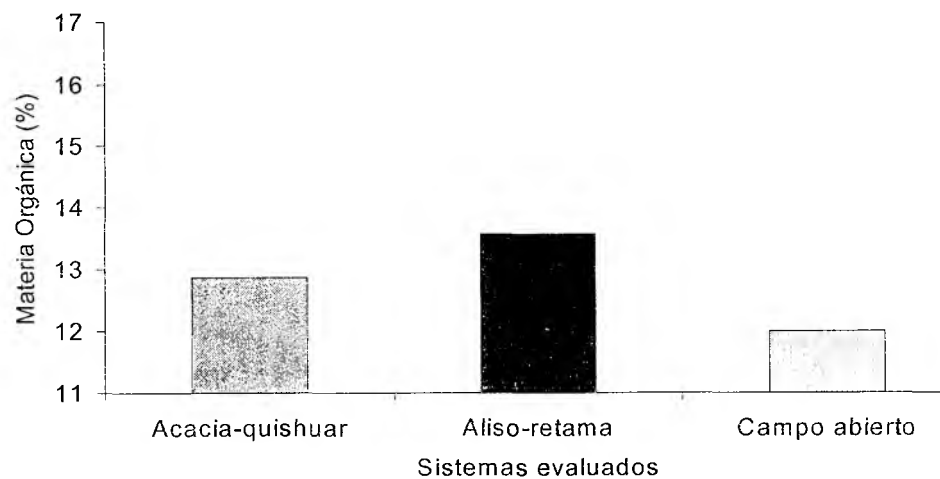


Figura 6.23. Influencia de dos sistemas agroforestales en el contenido de materia orgánica en promedio para la parcela experimental (2840 m<sup>2</sup>), en comparación con el contenido en la parcela testigo, a campo abierto.

Tabla 6.23 Incrementos y valoración de materia orgánica por la influencia de dos sistemas agroforestales.

Parcela de muestreo y sistema agroforestal	Contenido de MO. %	Incremento de MO. por SAF's %	Incremento de MO. por SAF's kg. ha <sup>-1</sup> *	Ingreso en USD ha <sup>-1</sup>
<b>Parcelas de pastos</b>				
Acacia-quishuar	15,44	3,27	71940	8633
Aliso-retama	16,34	4,17	91740	11009
Campo abierto	12,17			
<b>Parcelas de raíces andinas</b>				
Acacia-quishuar	14,30	2,10	46200	5544
Aliso-retama	15,49	3,29	72360	8686
Campo abierto	12,20			
<b>Promedio por parcela experimental</b>				
Acacia-quishuar	12,87	0,88	19360	2323
Aliso-retama	13,57	1,58	34760	4171
Campo abierto	11,99			

\*La densidad aparente del suelo fue 1,1gr cm<sup>3</sup> a una profundidad de 0-0,2 m  
MO = Materia orgánica

## Capítulo VII

### Bibliografía consultada

- ALTIERI, M. 1999. Agroecología: Bases Científicas para una Agricultura Sustentable. NORDAN. Montevideo. Uruguay. 338 p.
- ALLEN, A.W. 1995. Agroforestry and wildlife. Oportunities and alternatives. In: W. Ritveld (ed.). Agroforestry and sustainable systems: Symposium proceedings. USDA. Forestry Service. Forth Collings, CO. pp 67-73
- AÑAZCO, M. R. 1996. El aliso, *Alnus acuminata*. Proyecto de Desarrollo Forestal Campesino en los Andes de Ecuador. Quito, Ecuador. 166 p.
- ARAUJO, T. M., N. HIGUCHI y J. A. DE CARVALHO JUNNIOR, 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Parana, Brazil. Forest Ecology and Management. 117: 43-52.
- BAGLEY, W. 1988. Agroforestry and windbreaks. Agriculture Ecosystems and Environment. 22/23:583-591
- BALDWIN, C. S. 1988. The influence of field windbreaks on vegetable and specialty crops. In: J. R. Brandle, D. L. Hintz y J.W. Sturrock (ed). Windbreak technology. Elsevier. Amsterdam. pp. 191-203.
- BENZING, A. 2001. Agricultura Orgánica. Fundamentos para la región andina. Neckar Villingen-Schwenningen. Al. p. 8-300.
- BERTSCH, F., 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José. Centro de Investigaciones Agroquímicas. Facultad de Agronomía-Universidad de Costa Rica. pp. 12.
- BRANDLE, J. R., B. JOHNSON, and D. DEARMONT. 1984. Windbreak economics: the case of winter wheat production in eastern Nebraska. Journal of Soil and Water Conservation. 39:339-343.
- BRANDLE, J. R. and M. MARSH. 1995. Economic of agroforestry in North America. In: J. H. Ehrenreich, D. L. Ehrenreich and H. W. Lee (eds). Growing a sustainable future. Proceedings of the Fourth North American Agroforestry Conference. Boise Idaho. p. 70-72.
- BOREL, R. 1989. Interacciones en sistemas agroforestales hombre-árbol-cultivo-animal: In Avances en la Investigación Agroforestal. Actas del seminario realizado en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. Del 1º al 11 de

septiembre de 1985. CATIE-GTZ. Editado por Beer, J.; Fassbender, H. Heuvelink, J. CATIE, GTZ. Pp 119-153.

- BOREL, R. 1999. Diseño y manejo de los sistemas silvopastoriles. Agroforestería para el Ecodesarrollo. VIII Curso Internacional de entrenamiento. 5 al 25 de septiembre de 1999. Vol. II. UACH. PNUMA. SEMARNAP. Pp. 442-463.
- BROWN, S., A. GILLESPIE y A. LUGO. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35: 881-902.
- BROWN, S. y A. E. LUGO. 1984. Biomass of tropical forests: A new estimate based on forest volumes. *Science*. 223: 1290-1293.
- BROWN, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests. FAO, Montes 134. Roma. 55 p.
- BUCHELI, V., *et al.* 2003. III Censo Nacional Agropecuario. El productor agropecuario y su entorno. SICA, MAG. Quito, Ecuador. 107 p.
- BUREL, F. 1996. Hedgerows and their role in agricultural landscapes. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 15: 169-190.
- CABLE, T.T. y P. S. COOK. 1990. The use of windbreaks by hunters in Kansas. *Journal of Soil and Water Conservation*. 45: 557-577
- CAESAR K. 1980. Growth and development of *Xanthosoma* and *Colocasia* under different light and water supply conditions. *Field Crops Research* 3: 235-244.
- CALVO, G. y M. GOMEZ. 2000. Economía de los Sistemas Agroforestales: Aplicaciones prácticas del análisis económico financiero en sistemas agroforestales. Colección módulos de enseñanza agroforestal No 6. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 41 p.
- CAMERO, L. 1994. Poró (*Erythrina poeppigiana*) y madero negro (*Gliricidia sepium*) como suplementos proteicos en la producción de leche. *Agroforestería en la Américas*. (C.R.) 1(1): 6-8.
- CARLSON, P. y M. AÑAZCO. 1990. Establecimiento y manejo de prácticas agroforestales en la Sierra Ecuatoriana. *Red Agroforestal Ecuatoriana*. Quito. pp 19-20.

- CARLSON, P. 1993. Prácticas agroforestales de mayor difusión en la región altoandina y su impacto sobre la producción agropecuaria. En: Centro de Investigación Educación y Desarrollo (CIED). Quito. 38 p (Boletín Agroecológico).
- CARTER, J. 1997. Cultivos en callejones: ¿se han beneficiado los agricultores de escasos recursos?. *Agroforestería en la Américas*. (C.R.) 4(14): 18-20.
- CASTILLO, R., C. TAPIA y N. MAZON. 1996. Algunas recomendaciones generales para el cultivo de dos raíces y dos tubérculos andinos en un sistema tradicional agrícola. *Revista INIAP*, (Ecuador). (8): 11-13.
- CHANDORAH, M. O., F. A. AL-SAAD, M. M. EL-ROUBY and A. A. AL-DEFASI. 1988. Effects of Shading densities on root chemical composition of sugarbeet. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 161(4): 217-220.
- CESA. 1992. Usos tradicionales de las especies forestales nativas en el Ecuador. FEPP. Quito. 39 p. (Tomo 2, Catalogo de especies).
- CLAVIJO, N. 2003. Calendarización, Uso Racional, Sustitución o Rediseño: Una comparación entre horticultores orgánicos y convencionales de la zona norte de Cartago en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 119 p.
- DADWAL, K., P. NARIAN y S. DHYANI. 1989. Effects of highland agroforestry on soil conservation and productivity in Northern of Thailand. *Agroforestry Systems (The Netherlands)*. 7 (3): 213-225.
- DIXON, R.K. 1995. Agroforestry systems: Sources or sinks of greenhouse gases?. *Agroforestry systems* 31: 99 -116.
- DOVE, M. R. 1992. Forester's beliefs about farmers: a priority for social science research.. *Agroforestry Systems* v.17 p 13-41.
- DROMS, W. 1990. Finance and accounting for Nonfinancial Managers. Third Edition. Addison-Wesley Publishing Company. N.Y. pp 81-221.
- EPA, 2000. *Global Warming and Our Changing Climate: Answers to Frequently Asked Questions*. Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation. Washington, USA .430-F-00-011: 6 p.



- ESPINOSA, P., R. VACA, J. ABAD, y C. CRISSMAN. 1996. Raíces y tubérculos andinos, cultivos marginados en Ecuador. Situación actual y limitaciones para la producción. Ediciones Abya-Yala. CIP, Quito. pp 163-176
- FRANCIS, F., J. KING, and J. BRANDLE. 1995. Learning from the future. Sustaining our food, natural resources and environment. In: J. W. Rietveld (ed). Agroforestry and sustainable systems. Symposium proceedings. USDA Forest Service. Fort Collins. CO. pp 217-225.
- FEWIN R., y L. HELWING. 1988. Windbreak renovation in the American Great Plains. In: Brandle, J. R., D. L. Hintz y J. W. Sturrock (Ed.). Windbreak Technology. Elsevier. Amsterdam. pp 571-582
- GAIBOR, A. 1998. Globalización de la economía y el desarrollo sustentable. En: I. Simposio para el desarrollo agrícola sustentable. Memorias. INIAP- ESPOCH. Quito, Ecuador. pp 78-82.
- GLIESSMAN, S. R. 1998. Agroecology. Ecological processes in sustainable agriculture. Ann Arbor Press. MI. pp 1- 40, 227-247.
- GLIESSMAN, S. R. 2002. Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, CR. 360 p.
- GOLD, M.A. 1995. Agroforestry: A question of vision. In: J.H. Ehrenreich, D.L. Ehrenreich and H. W. Lee (ed.). Growing a sustainable future. Proceedings of the fourth North American Agroforestry Conference. Boiso. Idazo. pp 5-6
- GÓMEZ, M. E., RODRÍGUEZ, L., MURGUEITIO, E., RÍOS, C., MOLINA, C. H., MOLINA, C. H., MOLINA, H., MOLINA, J. P. 1995. Árboles y arbustos forrajeros utilizados en Alimentación Animal como fuente proteica. CIPAV, Cali, Colombia. pp. 1-11.
- GOSH, S. P., G. M. NAIR, N. G., PILLAI, T. RAMANUJAM, B. MAHANKUMAR and K. R. LAKSHMI. 1987. Growth productivity and nutrient uptake by cassava in association with four perennial species. Tropical Agriculture. 64 (3): 233-236.
- GRAIGER, J. 1981. What are the factor causing different patterns of crop production. World Crops 33(1): 5-8

- GRAU, A. and J. REA. 1997. Yacon. *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. and Endl.) H. Robinson. In: M. Hermann and J Heller (Ed). Andean roots and tubers: ahipa, arracacha, maca and yacon. IPGRI, Rome Italy. pp. 199-242.
- GUHARAY, F; J. MONTERREY; D. MONTERROSO y C. STAVAR. 2000. Manejo integrado de plagas en el cultivo del Café. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Managua, NI. P. 164-220.
- HALPIN, A. 1994. Vegetables in the shade, how to succeed without full sun. Horticulture 72 (4): 24-26.
- HALL, D. 1998. Biomass as an energy source. Tiempo. Global warming and the third world. Published by IIED, London, UK. Issue No 29:17-18.
- HATCH, M. D. and C. R. Slack. 1966. Photosynthesis by sugarcane leaves. A new carboxylation reaction and the pathway of sugar formation. Biochemistry. Journal. 101-103
- HEISLER, G.M. y D. DeWalle. 1988. Effects of windbreak structure on wind flow. In: Brandle, J. R., D. L. Hintz y J. W. Sturrock (Ed.). Windbreak Technology. Elsevier. Amsterdam. pp 41-69
- HERMANN, M. 1997. Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft), In: M. Hermann and J. Heller (Ed). Andean roots and tubers: ahipa, arracacha, maca and yacon. IPGRI, Rome Italy. pp. 114-117.
- HERNANDEZ, T. 2000. La revolución verde indoamericana. Desde el Surco. Quito, Ecuador. 57 p.
- HERNANDEZ, O., J. BEER y H. von PLATEN. 1997. Rendimiento de café (*Coffea arabica* var. Caturra), producción de madera (*Cordia alliodora*) y análisis financiero de plantaciones con diferentes densidades de sombra en Costa Rica. Agroforestería de las Américas 4(13):8-13.
- HERRERA, Z.; LANUZA, B.; CHAVARRÍA, R.; SANDOVAL, G. 1993. Cultivos en callejones. IRENA, COOPERACIÓN SUECA AL SECTOR FORESTAL. SFN. Nota Técnica No 18.
- HLATKY, A. y F. ROMERO. 1988. Descripción agronómica del cultivo de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft). In. VI Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos. INIAP. Quito, Ecuador. pp. 243-246.

- HIDALGO, F. 1998. Los antiguos paisajes forestales de Ecuador. Una construcción de sus primeros ecosistemas. Serie Hombre y ambiente, No 46. Editorial Abya-Yala. Quito Ecuador.
- HOSKINS, M. 1990. Actividades forestales y la alimentación. *Unasylva*. 41 (160):3-13.
- INIAP, 1989. Programa de Cultivos Andinos. Informe anual 1989. Estación Experimental Santa Catalina. Quito, Ecuador. 92 p.
- INIAP, 1999. Departamento de Suelo y Agua. Informe anual 1998. Estación Experimental Santa Catalina. Quito, Ecuador. 35 p.
- INIAP-GTZ. 2000. Primer Seminario Nacional de investigación en Agroforestería. Memorias. Santo Domingo. Ecuador. 67 p.
- JAUCH, C., 1985. Patología vegetal. Tercera edición. Editorial El Ateneo. Argentina pp.163.
- JEFFERY, E.H.W., M.A. ASHMOLE y M. MACRAE. 1986. The economics of the wildlife in private forestry. In: D. Jenkins (ed.). Trees and wildlife in the Scottish uplands. Institute of Terrestrial Ecology. Laevenhan Press. Suffilk. pp.188-191
- JIMÉNEZ, F. 2001. Agroforestería en el manejo de cuencas. In Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales / Francisco Jiménez, Reinhold Muschler; Edgar Kopsell, eds. Turrialba, C.R.: CATIE. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, 2001. 187 p.; (serie materiales de enseñanza / CATIE; no. 6).
- JIMÉNEZ, F. y R. MUSCHLER, R. 2001. Introducción a la agroforestería.. In Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales / Francisco Jiménez, Reinhold Muschler; Edgar Kopsell, eds. Turrialba, C.R.: CATIE. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, 2001. 187 p.; (serie materiales de enseñanza / CATIE; no. 6).
- KHAN, G. S. and J. H. EHRENREICH, 1993. Economics and agroforestry in cultivated fields of Punjab, Pakistan. In: R. C. Schultz and J. E. Colletti (ed.). Proceedings of the third North American Agroforestry Conference. Ames, Iowa. pp. 361-365.

- KHAN, G. S. and J. H. EHRENREICH, 1994. Effect of increasing distance from *Acacia miltica* (Kikar) trees on wheat yield. *Agroforestry Systems*. 15:23-29
- KASS, D., J. JIMÉNEZ, A. SCHLONVOIGT, 1997. Cómo hacer el cultivo en callejones más productivo, sostenible y aceptable a pequeños productores. *Agroforestería en la Américas*. (C.R.) 4(14): 21-23
- KENNY-JORDAN, C., C. HERZ, M. AÑAZCO Y M. ANDRADE. 1999. Construyendo cambios: Una propuesta de manejo participativo de los recursos naturales renovables para el nuevo milenio. *Desarrollo forestal comunitario de los andes*. Quito, Ecuador. 446 p.
- KRAMER, P.J. y J. S. BOYER. 1995. *Water relations of plants and soils*. Academic Press, Toronto. pp 377-404
- KURZ, W.A.Y S.J. BEUKEMA, 1996. Estimation of root biomass and dynamics for the carbon budget model of the canadian forest sector. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 1973 -1979.
- KORT, J. 1988. Benefits of windbreaks to field and forage crops. In: J. R. Brandle, D. L. Hintz y J.W. Sturrock (ed). *Windbreak thecnolgy*. Elsevier. Amsterdam. pp. 165-190.
- LEDENT, J. F. 2002. Manual "Déficit hídrico y crecimiento de plantas: Respuestas al déficit hídrico, comportamiento morfofisiológico". Modelado del crecimiento de las plantas". PROINPA, CIP, PAPA ANDINA. Proyecto auspiciado pro CGRI. Bélgica. 79 p.
- LOJAN, L. 1992. El verdor de los Andes. Proyecto desarrollo forestal participativo en los Andes. Quito. pp. 79-80
- MacDiken, K. 1997. *A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects*. Winrock International, 1611 N. Kent St., Suite 600, Arlington, VA 22209, USA. 87 p.
- MAG. 1998. Política ambiental para el sector agropecuario. Resumen ejecutivo. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Programa Sectorial Agropecuario. Unidad de Gestión Ambiental. Quito, Ecuador. 21 p.
- MAG. 1999. Política ambiental para el desarrollo sustentable del sector agropecuario del Ecuador. Programa Sectorial Agropecuario. Unidad

- de Gestión Ambiental. Quito, Ecuador. 73 p (Volumen II.Documento técnico 14).
- MARTIN, F. W. 1985. Differences among sweet potatoes in response to shading. *Tropical Agriculture*, 62 (2): 161-165.
- MERINO, C. 1991. Comportamiento Ecológico del Banco de Semillas de Malezas en el Trópico Húmedo. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 72 p.
- MEXZON, R. 1997. Pautas de Manejo de las Malezas para Incrementar las Poblaciones de Insectos Benéficos en el Cultivo de la Palma Aceitera (*Elaeis guineensis* Jacquin). *Agronomía Mesoamericana* 8(2): 21-32.
- MONTAGNINI, F. 1992. Sistemas Agroforestales, principios y aplicación en los trópicos. San José, ET/US/USAID. p 17.
- MONTAGNINI, F. *et al.* 1992. Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos. San José, Costa Rica. Organización para Estudios Tropicales (OTS). pp. 75-76.
- MONTALVO, P. 1982. Agroecología del Trópico Americano. IICA, San José, Costa Rica. pp. 35, 86-92.
- MUSCHLER, R. G. and A. BONNEMANN. 1997. Potentials and limitations of agroforestry for changing land-use in the tropics: experiences from Central America. *Forest Ecology and Management*. 91:61-73
- NAS- CATIE, 1984. Especies para leña: Arbustos y árboles para la producción de energía. Turrialba, Costa Rica. pp 126-127.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989. Alternative agriculture. National Academic Press. Washignton, pp 25-84, 135-246.
- NAIR, P.K.R. 1993. An introduction to Agroforestry. Kluwer Academic Publishers. ICRAF. Netherlands. Pp 385-404
- NIETO, C., J. REA, R. CASTILLO y E. PERALTA. 1984. Guía para el manejo y preservación de los Recursos Fitogenéticos. INIAP. Quito, Ecuador. 50 p. (Publicación Miscelánea No.47).

- NIETO, C. 1991. Estudios agronómicos y bromatológicos en jícama (*Polymnia sonchifolia* Poeppig y Endlicher). Archivos Latinoamericanos de Nutrición (Guatemala). 41 (2): 213-221.
- NIETO, C. 1993. The preservation of food indigenous to the Ecuadorian Andes. Mountain Research CA 13 (2): 152-154.
- NIETO, C. 1997. Los sistemas de producción agrícola campesina en los Andes del Ecuador. En: E. Mujica Y J. R. Rueda (Editores). La sostenibilidad de los sistemas de producción campesina en los Andes. CONDESAN, Lima Perú. pp 79-130.
- NIETO, C., C. FRANCIS, C. CAICEDO, P. GUTIERREZ and M. RIVERA. 1997. Response of four Andean crops to rotation and fertilization. Mountain Research, CA. 17(3): 273-282
- NIETO, C. 1998. a. La agroecología y el manejo de recursos naturales como alternativa para una agricultura sostenible. Documento presentado en el seminario de profesionalización agropecuaria. Universidad Cooperativa de Colombia - AMDE. Ambato, Ecuador. 32 p.
- NIETO, C. 1998. b. Above and below-ground competition for solar radiation and soil moisture in a windbreak-soybean system. Ph.D. Dissertation. University of Nebraska, Lincoln. 1998. pp 7-19 y 38 -158.
- NIETO, C. J. CORDOVA Y. R. RAMOS. 1998. Evaluación de tres sistemas agroforestales como alternativa de producción sostenible para la zona andina de Ecuador. Trabajo presentado en el III simposio internacional de desarrollo sustentable de Montañas. Quito, Ecuador. 19 p.
- NIETO, C., J. CORDOVA y R. RAMOS, 1999. Evaluación parcial de tres sistemas agroforestales como alternativa de producción sostenible para la Zona Andina de Ecuador. Revista INIAP, (Ecuador). No 12: 18-31
- ODUM, E., 1991. Fundamentos de Ecología. Traducido del Inglés por Ramón Elizondo Mata. Nueva Editorial Interamericana S.A. México, pp. 31, 264-286.
- OKOLI, P.S.O. y G.F. Wilson, 1986. Response of cassava (*Manihot esculenta* Grants), a la sombra bajo condiciones de campo. Field crops Research. 14:349-359.

- OKORIO, J., S. BIENKYA, N. WAJJA y D. PEDEN. 1994. Comparative performance of seventeen upperstorey tree species associated with crops in highlands of Uganda *Agroforestry Systems* 26:185-203.
- ONG, C. K., C. R. BLACK, F. M. MARSHALL, and J. E. CORLETT. 1996. Principles of resource capture and utilization of light and water. In: C. K. Ong and P. Huxley (ed.). *Tree-crop interactions; a physiological approach*. ICRAF, CAB. Cambridge, U. K. pp. 73-158.
- ORTIZ, M. E. 1993. Técnicas para la estimación del crecimiento y rendimiento de árboles individuales y bosques. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Departamento de Ingeniería Forestal. Serie de Apoyo Académico No. 16. Cartago, Costa Rica. 71 p.
- OVIEDO, F., M. VALLEJO y J. BENAVIDES, 1994. Módulos agroforestales para la producción de leche con cabras. *Agroforestería en las Américas* 1(2). 23.27.
- PADILLA, S. 1993. Realidad de la agroforestería en los Andes. *Bosques y Desarrollo*, (Perú) 4 (8): 44-46.
- PAGIOLA, S. 1995. Environmental and Natural Resource Degradation in Intensive Agriculture in Bangladesh. World Bank. 32 p.
- PANAYOTOU, T. and P. S. ASHTON, 1992. *No timber alone: Economics and ecology for sustaining tropical forests*. Island Press. Washington. 282 p.
- PEZO, D. y M. IBRAHIM, 1999. *Sistemas Silvopastoriles*. 2ª ed. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Materiales de enseñanza No. 44, Colección Módulos de Enseñanza Agroforestal. Módulo No. 2. 275 p.
- PEZO D., M. IBRAHIM, J. BEER y L. CAMERO 1999. Oportunidades para el desarrollo de Sistemas Silvopastoriles en América Central Turrialba, Costa Rica. Serie Técnica. Informe Técnico/CATIE. No. 311. 46 p.
- PEW CENTER, 2001. *Climate change: facts and figures*, Pew Center on Climate Change: 20 p.
- RAMOS, R. 1997. Respuesta de tres raíces andinas: Zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza* B.), Miso (*Mirabilis expansa* R&P), y Jícama (*Polimnia sonchifolia* P&E.); dos pastos y una mezcla forrajera, al

- efecto de tres sistemas agroforestales preestablecidos. Tesis Ing. Agr. Cuenca, EC, Universidad de Cuenca, 104p.
- RAMOS, R. 2003. 2003. Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas-Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 81 p.
- REA, J. 1982. El miso *Mirabilis expansa*, una contribución de la agricultura pre-Inca de Ecuador y Bolivia. Desde el Surco. Ecuador. V. n.: 23-26.
- REINHOLD, G. M., 1999. Agroforestería para el Ecodesarrollo: Interacciones de los componentes. VIII Curso Internacional de entrenamiento. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. UACH. PNUMA. SEMARNAP. México. pp. 305-327. (Vol. I).
- REYNEL, C. y C. MORALES. 1990. Agroforestería tradicional en los andes del Perú, un inventario de tecnologías y especies para la integración de la vegetación leñosa a la agricultura. Segunda edición. Talleres Gráficos Art. Lautrec S. R. Ltda. Lima. 80 p.
- ROSENBERG, N. J., B. BLAD y S. VERNA. 1983. Microclimate. The Biological Environment. Jhon Wiley and Sons. New York. pp 369-390
- ROMERO, J.C, J. RIVADENEIRA, J. de la TORRE, C. NIETO, et al. 2003. Producción Agroecológica. Módulo transversal. RAFE, CARE. CEA. Quito, Ecuador 213 p. (Publicación del Consorcio CAMAREN).
- RULE, L. C. y M. SZYMANSKI. 1995. Agroforestry as tool for development with the Winnebago tribe of Nebraska. In: proceedings Furth North Amercian Agrofrestry Conference. Boise, Idaho. Pp 73-79
- RUSSO, R.O. 1994. Los sistemas agrosilvopastoriles en el contexto de una agricultura sostenible. Agroforestería en las Américas 1(2): 10-13.
- SALAZAR, R. 1989. Guía para la investigación silvicultural de especies de uso múltiple. Turrialba, C.R. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido. 194 p.
- SARMIENTO, F. O. 2000. Diccionario de ecología, paisajes, conservación y desarrollo sustentable para Latinoamérica. Centro de Estudios para Latinoamérica y el Caribe, CLAGS-UGA, Universidad de Georgia. Athens. pp 51-52.



- SALISBURY, F y R. CLEON. 1992. Plant Physiology. California, EU, Wadsworth Publishing. p. 639-643.
- SCHAEFER, P. and J.J. BALL. 1995. Present status and future potential for Agroforestry in Northern Great Plains. In W. J. Rietveld (ed.), Agroforestry and Sustainable Systems: Symposium proceedings. USDA Forestry Service. Fort Collins, CO. pp 115-125.
- SCHLÖNVOIGT, A., P. CHESNEY, M. SCHALLER y R. KANTEN, 2000. Estudios ecológicos de raíces en sistemas agroforestales: Experiencias metodológicas en el CATIE. Version No. 2.0. 36 p.
- SEGURA, M. A. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costaricensis*, en un bosque de altura en la Cordillera de Talamanca, Costa Rica. Escuela de Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar. Universidad Nacional. Tesis Licenciatura. Heredia, Costa Rica. 147 p.
- SEMINARIO, J. 1988. EL Chago o mauka (*Mirabilis expansa* R. y P.) en Cajamarca. In. VI Congreso Internacional sobre cultivos andinos. INIAP. Quito, Ecuador. pp. 257-264.
- SEMINARIO, J., M VALDERRAMA e I. MANRIQUE. 2003. El Yacon: Fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. CIP, Universidad nacional de Cajamarca, Perú. 57 p.
- SNOWDON, P., J. RAISON, H. KEITH, K. MONTAGU, P. RITSON, P. GRIERSON, M. ADAMS, W. BURROWS y D. EAMUS. 2001. Protocol for sampling tree and stand biomass National carbon accounting system technical report No. 31. Draft-March 2001. Australian Greenhouse Officinal. 114 p.
- SOLÍS, 1998. Valoración económica del almacenamiento y fijación de carbono en un bosque subhúmedo estacional de Santa Cruz, Bolivia. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 113 p.
- SOLOMON, E., L. BERG y D. W. MARTÍN. 1999. Biología. Quinta edición. McGraw-Hill Interamericana. México. pp. 1146-1147.
- SOUTHGATE, D., M. WITAKER y F. ORTIZ. 1994. Desarrollo del medio ambiente: Crisis políticas en Ecuador. IDEA. Quito, Ecuador. 188 p.

- TANKOU, C.M., B. SCHAFFER y S. K. O'HAIR. 1990. Nitrogen, Shade duration, gas exchange and growth of cassava. *Hortscience*. 25: 1293-1296.
- TYBIRK, K. 1993. Inventario agroforestal de la Zona Andina. *Bosques y Desarrollo*, (Perú) 4 (8): 47-50.
- UICN OIKOS, 2001. El mecanismo de desarrollo limpio y los proyectos forestales; lineamientos para formular políticas sobre la temática forestal y el mecanismo de desarrollo limpio. Quito Ecuador. <http://www.sur.iucn.org/programa/bosques/recursos/productouno.pdf>.
- UNFCCC, 1997. Kyoto protocol to the United Nations. Framework convention on climate change: 23 p
- VALENZUELA, H. R., S. K. O'HAIR, and B. SCHAFFER. 1991. Shading growth, and dry matter partitioning at Cocoyam *Xanthosoma segithifolium* L. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 116 (6): 1117-1121.
- VALERIO, S. 1994. Contenido de taninos y digestibilidad in vitro de algunos forrajes tropicales. *Agroforestería en las Américas* 1(3): 10-13.
- VELA, R. 1990. Algunos factores que dificultan la implementación de sistemas agroforestales. En: I Congreso Agroforestal Ecuatoriano. Red Agroforestal Ecuatoriana, RAFE, Quito, Ecuador. pp 155-169.
- VIETMEYER, N. and M. DAFFORN. (Eds.). 1989. Lost crops of the Incas. Little known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation National Academy Press. Washington, D.C. pp. 47-55, 75-81 y 115-123.
- VINE, E, SATHAYE, J. MAKUNDI, W. 1999. guidelines for the monitoring, evaluation, reporting, verification, and certification of forestry projects for climate change mitigation. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. 125p.
- WALLACE, J. S. 1996. The water balance of Mixed Tree-crop Systems. In: C. K. Ong and P. Huxley. *Tree-crop Interactions. A physiological Approach*. ICRAF, CAB Internacional. Nairobi, Kenya. pp 189- 233.
- WANNAWONG, S. BELT, G.H. and McKETTA, C.W. 1991. Benefit/Cost analysis of selected agroforestry systems in North-eastern Thailand. *Agroforestry Systems*.16:83-94.

WIGLEY, T. M. L., 1999. The science of climate change: global and US perspectives. Washington, Pew Center on Global Climate Change: 48 p.

WITAKER, M.D., 1996. Evaluación de las reformas a las políticas agrícolas en el Ecuador: La base científica agrícola. IDEA. Quito, Ecuador. pp. 183.233.(Estudios detallados, Volumen II).

## Anexo 1

### Lista de figuras

- Figura 2.1 Representación esquemática de un ecosistema, con sus componentes e interacciones. (Tomado y adaptado de Gliessman, 1998).
- Figura 2.2 Representación esquemática de un agroecosistema, con sus componentes e interacciones. (Tomado y adaptado de Gliessman, 1998).
- Figura 3.1 Representación de los resultados de dos opciones productivas para una parcela, "con y sin" agroforestería, en el largo plazo. (Tomado y adaptado de Nair, 1993).
- Figura 6.1 Disposición en el campo de los componentes de los sistemas agroforestales evaluados y del sistema control.
- Figura 6.2 Representación gráfica del rendimiento promedio de zanahoria blanca, bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y un sistema control para nueve años consecutivos.
- Figura 6.3 Representación gráfica del rendimiento promedio de jícama, bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y un sistema control para nueve años consecutivos.
- Figura 6.4 Representación gráfica del rendimiento promedio de miso, bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y un sistema control para nueve años consecutivos.
- Figura 6.5 Representación gráfica del rendimiento de materia seca de alfalfa, bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y el sistema control para seis años consecutivos.
- Figura 6.6 Representación gráfica del rendimiento de biomasa seca de rye grass, bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y el sistema control para seis años consecutivos.
- Figura 6.7 Representación gráfica del rendimiento de biomasa seca de la mezcla forrajera (rye grass-Trébol blanco), bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y el sistema control para seis años consecutivos.

- Figura 6.8 Representación gráfica del rendimiento promedio de melloco, bajo la influencia de tres tipos de sombras (distancias de las barreras), proyectadas por dos sistemas agroforestales, en 1997.
- Figura 6.9 Representación gráfica del rendimiento promedio de melloco, bajo la influencia de cinco tipos de sombras (distancias de las barreras), proyectadas por dos sistemas agroforestales, en el año 2001.
- Figura 6.10 Representación gráfica del rendimiento promedio de forraje de avena-vicia, bajo la influencia de cinco tipos de sombras (distancias de las barreras), proyectadas por dos sistemas agroforestales, en el año 2002.
- Figura 6.11 Representación gráfica del rendimiento promedio cebada, bajo la influencia de cinco tipos de sombras (distancias de las barreras), proyectadas por dos sistemas agroforestales, en el año 2003.
- Figura 6.12 Representación gráfica del rendimiento promedio de chocho, bajo la influencia de cinco tipos de sombras (distancias de las barreras), proyectadas por dos sistemas agroforestales, en el año 2004.
- Figura 6.13 Representación gráfica del rendimiento promedio de arveja en vaina verde durante nueve años consecutivos a 12 m de las barreras forestales.
- Figura 6.14 Representación gráfica del rendimiento promedio de arveja en vaina verde durante nueve años consecutivos a 8 m, a los costados de las barreras forestales.
- Figura 6.15 Representación gráfica del rendimiento promedio de arveja en vaina verde, durante nueve años consecutivos, a 8 m, en el centro, equidistante de las barreras forestales.
- Figura 6.16 Representación gráfica del rendimiento promedio de arveja en vaina verde, durante nueve años consecutivos, a 3 m de las barreras forestales influenciados de sombra matutina.
- Figura 6.17 Representación gráfica del rendimiento promedio de arveja en vaina verde, durante nueve años consecutivos, a 3 m de las barreras forestales influenciados de sombra vespertina.

- Figura 6.18 Representación gráfica del crecimiento de dos especies arbóreas en arreglos agroforestales con plantas arbustivas y cultivos durante diez años consecutivos, en Santa Catalina INIAP.
- Figura 6.19 Representación gráfica del porcentaje de ingresos por sistema agroforestal con relación a los ingresos de la parcela testigo, durante 10 años consecutivos.
- Figura 6.20 Rendimiento promedio de materia seca de malezas por influencia de dos sistemas agroforestales, en comparación con una parcela testigo a campo abierto para el ciclo agrícola 2003-2004.
- Figura 6.21. Influencia de dos sistemas agroforestales en el contenido de materia orgánica en el área de interfase árbol-cultivo, a 3 m de la línea de árboles, en comparación con el contenido en la parcela testigo, a campo abierto.
- Figura 6.22. Influencia de dos sistemas agroforestales en el contenido de materia orgánica en el área debajo de los árboles, en comparación con el contenido en la parcela testigo, a campo abierto.
- Figura 6.23. Influencia de dos sistemas agroforestales en el contenido de materia orgánica en promedio para la parcela experimental (2840 m<sup>2</sup>), en comparación con el contenido en la parcela testigo, a campo abierto.

## Anexo 2

Consumo per cápita de los principales alimentos de la Población Ecuatoriana

Análisis de contraste entre agroecosistemas agrícolas, forestales y agroforestales.

Principales especies usadas en los bancos forrajeros, (Tomado y adaptado de: Camero, 1994; Oviedo *et al.*, 1994; Valerio, 1994 y Pezo e Ibrahim, 1999).

Valor Presente Neto y Relación Beneficio/Costo, para cinco alternativas productivas, calculados con una tasa de descuento del 4% a un ciclo de vida del proyecto de 76 años, para la reservación indígena Winnebago, Nebraska, (Tomado de Rule y Szymansky, 1995).

Resultados del análisis de sensibilidad para dos alternativas de producción en fincas, en la cuenca de Phu Wiang, Tailandia. Se utilizó el VPN, calculado en moneda local, a tasas de descuento variables, para un periodo de tres años. (Tomado de Wannawang *et al.*, 1991).

Procedimiento de cálculo y resultados del IET, para una asociación de cultivos, en comparación con el rendimiento de sus monocultivos respectivos.

Modelo de formato para valorar y cuantificar los costos de producción de una actividad productiva en el largo plazo. (Se aplica a una superficie estándar de una hectárea).

Algunos beneficios no tangibles atribuibles a los sistemas agroforestales. (Tomado y adaptado de Nieto, *et al.*, 1999).

Modelos alométricos para estimar la biomasa sobre el suelo con datos de inventarios forestales, (Tomado de Brown *et al.*, 1989).

Modelos alométricos para la estimación de biomasa de raíces, (Tomado de Kurz *et al.*, 1996).

Tabla 4.1	Análisis comparativo de procesos contrastantes de generación de tecnología agropecuaria, con y sin Gestión de Recursos Naturales (GRN).
Tabla 4.2	Variables o indicadores de análisis sugeridos para procesos de investigación en Agroforestería.
Tabla 4.3	Algunos índices útiles en la interpretación de resultados de la investigación en SAF's.
Tabla 5.1	Temas priorizados de investigación en agroforestería a nivel nacional, (Tomado de INIAP-GTZ, 2000).
Tabla 6.1	Ubicación geográfica y características microclimáticas del sitio de la investigación, datos promedio de los últimos 30 años, (Fuente: Estación meteorológica Isobamba, del INAMHI).
Tabla 6.2	Secuencia de rotaciones de cultivos, sembrados a diferentes distancias, desde las barreras de especies leñosas.
Tabla 6.3	Descripción de la ubicación de las parcelas de secuencia de cultivos a diferentes distancias de las barreras forestales.
Tabla 6.4	Descripción de los indicadores utilizados y de los métodos de evaluación de campo.
Tabla 6.5.	Rendimiento promedio de la parte aprovechable ( $t\ ha^{-1}$ ), de tres raíces andinas, bajo la influencia de dos sistemas agroforestales, en combinación con dos efectos sombra y un testigo a campo abierto, durante nueve años consecutivos.
Tabla 6.6	Modelos de regresión lineal que representan las tendencias del rendimiento aprovechable, ( $y = t\ ha^{-1}$ ), de tres especies de raíces andinas, en función del tiempo ( $x = años$ ), bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y un testigo a campo abierto.
Tabla 6.7	Rendimiento promedio ( $t\ ha^{-1}$ ) de materia seca de tres especies forrajeras, bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y un testigo, a campo abierto durante seis años consecutivos.



Tabla 6.8	Modelos de regresión lineal que representan las tendencias del rendimiento de materia seca ( $y = t \text{ ha}^{-1}$ ), de tres especies de pastos, en función del tiempo ( $x = \text{años}$ ), bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y un testigo a campo abierto.
Tabla 6.9	Rendimiento promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de quinua, cebada y melloco, bajo la influencia de tres tipos de sombras (distancias de las barreras), proyectadas por dos sistemas agroforestales, durante los primeros tres años del experimento.
Tabla 6.10	Rendimiento promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de una secuencia de cultivos, bajo la influencia de cinco tipos de sombras (distancias de las barreras), proyectadas por dos sistemas agroforestales durante seis años consecutivos (sd = Desviación Estándar).
Tabla 6.11	Rendimiento promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de arveja en vaina verde durante nueve años consecutivos, a 12 m de las barreras forestales (sd = desviación estándar).
Tabla 6.12	Rendimiento promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de arveja en vaina verde durante nueve años consecutivos, a 8 m de las barreras forestales. (sd = desviación estándar).
Tabla 6.13	Rendimiento promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de arveja en vaina verde durante nueve años consecutivos, a 3 m de las barreras forestales influenciados de sombra matutina, (sd = desviación estándar).
Tabla 6.14	Rendimiento promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de arveja en vaina verde durante nueve años consecutivos, a 3 m de las barreras forestales influenciados de sombra vespertina, (sd = desviación estándar).
Tabla 6.15	Rendimiento promedio ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de arveja en vaina verde durante nueve años consecutivos, a 8 m equidistante de las barreras forestales, (sd = desviación estándar).
Tabla 6.16	Crecimiento y rendimiento de dos especies arbóreas bajo sistemas agroforestales, durante diez años consecutivos.
Tabla 6.17	Rendimiento de biomasa fresca, para dos especies arbustivas, bajo sistemas agroforestales, durante algunas evaluaciones puntuales y al final del experimento, a los 10 años.

- Tabla 6.18 Comparativo de ingresos de productos tangibles por sistema agroforestal cosechados en una parcela de 2840 m<sup>2</sup> para el año 2000.
- Tabla 6.19 Resumen de ingresos por Sistema Agroforestal y porcentajes con relación al ingreso en la parcela testigo, para diez años consecutivos (Los ingresos se han calculado por parcela de 2840 m<sup>2</sup>).
- Tabla 6.20 Abundancia y diversidad de especies de malezas, en dos sistemas agroforestales y un testigo, a campo abierto, para el ciclo agrícola 2003-2004.
- Tabla 6.21 Índice de diversidad para malezas, a tres distancias desde la base de las barreras forestales en dos sistemas agroforestales y un testigo a campo abierto para el ciclo agrícola 2003-2004.
- Tabla 6.22 Rendimiento de materia seca de malezas (Kg ha<sup>-1</sup>), bajo la influencia de dos sistemas agroforestales y una parcela testigo a campo abierto, a tres distancias de las barreras forestales, para el ciclo agrícola 2003-2004.
- Tabla 6.23 Incrementos y valoración de materia orgánica por la influencia de dos sistemas agroforestales.

## CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	3
<b>PRESENTACION</b> .....	4
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>LA AGRICULTURA EN EL ECUADOR Y SU EFECTO EN LA DEGRADACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES</b> .....	5
1.1 Análisis histórico de los procesos de producción agropecuaria en Ecuador.....	9
1.2 Análisis resumido del proceso de generación de tecnología agropecuaria en ecuador .....	14
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS, AGROECOSISTEMAS Y SISTEMAS AGROFORESTALES (SAF's)</b> .....	23
2.1 Ecosistemas versus Agroecosistemas.....	25
2.2 Sistemas Agrícolas, versus Sistemas Forestales, versus Sistemas Agroforestales .....	27
2.3 Clasificación de los Sistemas Agroforestales.....	30
2.4 Descripción de algunos Sistemas Agroforestales, aplicables en la sierra de Ecuador .....	33
2.4.1 <i>Sistemas agroforestales, propiamente dichos</i> .....	33
2.4.2 <i>Sistemas agroforestales protectores</i> .....	35
2.4.3 <i>Sistemas agroforestales como blancos forrajeros</i> .....	35
2.4.4 <i>Sistemas silvopastoriles</i> .....	36
2.5 Interacciones eco-biológicas como base del funcionamiento de los SAF's .....	37
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>LA ECONOMÍA DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES</b> .....	43
3.1 Métodos tradicionales de valoración económica y financiera, aplicables a la evaluación de SAF's .....	45
3.2 Métodos no tradicionales de análisis económico aplicables a la evaluación de SAF's .....	50
3.2.1 <i>Índice Equivalente Tierra</i> .....	50
3.2.2 <i>Valoración del método "Con y Sin"</i> .....	51
3.2.3 <i>Valoración del costo de oportunidad para la mano de obra</i> .....	53
3.2.4 <i>Matriz de valoración de costos e ingresos</i> .....	53
3.3 Valoración de beneficios intangibles de los sistemas agroforestales..	54

3.3.1	Valoración económica del aporte de materia orgánica.....	55
3.3.2	El proceso de fijación de carbono como un servicio ambiental de los Sistemas Agroforestales.....	57
3.3.2.1	Metodologías para cuantificar carbono sobre el suelo.....	58
3.3.2.2	Determinación de la biomasa aérea por el método directo (destructivo).....	59
3.3.2.3	Determinación de la biomasa aérea, por el método indirecto (no destructivo).....	61
3.3.2.4	Determinación de la biomasa aérea, de los componentes herbáceos.....	62
3.3.2.5	Metodologías para cuantificar carbono bajo el suelo.....	62

#### **CAPÍTULO IV**

#### **PROPUESTAS METODOLÓGICAS PARA UN PROCESO DE INVESTIGACIÓN APLICADA EN AGROFORESTERIA..... 65**

4.1	La investigación convencional versus la investigación agroforestal.....	65
4.2	La investigación en agroforestería exige gestión de recursos naturales.....	66
4.3	Principios orientadores de la investigación en agroforestería.....	67
4.4	Informe estadístico de la investigación en SAF's.....	68
4.5	Enfoques económicos y sociales de la investigación en SAF's.....	69
4.6	Variables e indicadores de análisis para investigaciones en SAF's.....	71

#### **CAPÍTULO V**

#### **NECESIDADES Y PRIORIDADES DE INVESTIGACIÓN APLICABLES A LA AGROFORESTERIA EN ECUADOR..... 75**

5.1	Temas y prioridades de investigación agroforestal.....	77
5.2	La propuesta de un Plan Nacional de Investigación en Agroforestería.....	79
5.3	Actividades básicas de investigación en agroforestería.....	80

#### **CAPÍTULO VI**

#### **EVALUACIÓN DEL DESARROLLO DE DOS SISTEMAS AGROFORESTALES TÍPICOS DE LA SIERRA ECUATORIANA POR DIEZ AÑOS CONSECUTIVOS..... 85**

6.1	Importancia agronómica de los sistemas agroforestales, algunos elementos introductorios.....	87
6.2	Proceso metodológico de la investigación.....	88
6.2.1	Descripción del sitio del experimento.....	88
6.2.2	Descripción del experimento.....	89
6.2.3	Indicadores de campo y métodos de evaluación.....	92
6.3	Seguimiento del experimento y resultados relevantes.....	92

6.3.1	<i>Efecto de dos sistemas agroforestales en el rendimiento de tres especies de raíces andinas</i> .....	95
6.3.2	<i>Efecto de dos sistemas agroforestales en el rendimiento de tres especies forrajeras</i> .....	109
6.3.3	<i>Efecto de dos sistemas agroforestales en el rendimiento de varios cultivos sembrados en secuencia anual</i> .....	119
6.3.4	<i>Efecto de dos sistemas agroforestales en el rendimiento de arveja tierna, como complemento, en rotación con los cultivos</i> ....	128
6.3.5	<i>Análisis del efecto de dos sistemas agroforestales en el crecimiento y producción del componente forestal durante diez años consecutivos</i> .....	139
6.3.6	<i>Análisis comparativo de rendimientos e ingresos de productos tangibles por sistema agroforestal</i> .....	147
6.3.7	<i>Análisis comparativo de rendimientos e ingresos de productos y servicios no tangibles por sistema agroforestal</i> .....	152
6.3.7.1	<i>Efecto de dos sistemas agroforestales en la distribución de maleza en cultivos asociados</i> .....	153
6.3.7.2	<i>Contenido y valoración de la materia orgánica en el suelo, como resultado de la influencia de las barreras agroforestales</i> .....	163
<b>CAPITULO VII</b>		
<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b> .....		169
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....		185
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....		189
<b>CONTENIDO</b> .....		193



ISBN 9978-43-989-7

