



Evaluación parcial de tres sistemas
agroforestales para la zona Andina

Ocurrencia de micotoxinas en
alimentos para consumo humano

El INIAP en marcha
40 años de investigación



SISTEMAS AGROFORESTALES

Carlos Nieto C; Ph.D²
 Juan Córdova J; Ing. Agr. M.Sc.²
 Raúl Ramos V; Ing. Agr.²

Evaluación

parcial de tres sistemas agroforestales como alternativa de producción sostenible para la zona Andina de Ecuador¹

RESUMEN

El experimento se inició en 1995 y será conducido por al menos diez años consecutivos. El objetivo principal es encontrar alternativas de producción sostenible para el agricultor minifundista de la zona altoandina de Ecuador, a través del uso de sistemas agroforestales. El experimento está localizado en la Estación Experimental Santa Catalina, a 3050 m de Altitud, 0° 22' de Latitud Sur y 78° 23' de Longitud Oeste, 12°C de temperatura promedio y 1200 mm anuales de precipitación. El primer factor en estudio consiste de tres sistemas agroforestales: las combinaciones acacia-quishuar, aliso-retama y el sistema control (sin árboles); cada sistema consta de dos hileras de la combinación árbol-arbusto, de 30 m de largo, separadas a 2 m, con dos repeticiones cada uno. Las barreras agroforestales están orientadas de Norte a Sur, para estudiar el efecto de sombra, como un segundo factor en estudio. El manejo de árboles y arbustos se hace con podas anuales, para cosechar la biomasa y permitir la formación de fuste comercial en los árboles. En el interior de las filas de árbol-arbusto están sembrados tres sistemas forrajeros: alfalfa, raigrás y raigrás con trébol, en parcelas de 20 m²;

éste es el tercer factor en estudio. A los costados de las barreras agroforestales se siembran anualmente tres especies de raíces andinas: arracacha, jícama, y miso, también en parcelas de 20m². Este es el cuarto factor en estudio. Después de las raíces andinas, a tres metros de la línea de árboles se siembran los cultivos principales del experimento, en parcelas de 120 m² (cebada, quinua, papa melloco, haba), en rotación con arveja para cosecha en tierno en el mismo año y en rotación con otro cultivo entre años; para estudiar la competencia con las barreras agroforestales y éste es el quinto factor en estudio. No se aplicaron insumos químicos en ningún componente de los sistemas, con excepción del primer año, durante el establecimiento del experimento y del cultivo de papa, en el cual se aplican fertilizantes y pesticidas. La evaluación del experimento se hace en términos económicos y ambientales. Se mide el efecto de los sistemas agroforestales en el crecimiento y producción de árboles, arbustos, pastos, raíces andinas y cultivos comerciales. Además se hace un seguimiento de la fertilidad y humedad del suelo. De los resultados obtenidos al cuarto año del experimento se destaca que el crecimiento de árboles y arbustos

¹Trabajo presentado en el III Seminario internacional de desarrollo de Montañas, en Quito, del 9 al 14 de Diciembre de 1998.

²Investigadores del INIAP.



fue satisfactorio. Acacia llegó a un promedio de 6 m de altura con un promedio de 9.1 cm de diámetro de fuste a 0.5m sobre el suelo, mientras que aliso midió 5.4 m y 6.7 cm de alto y diámetro respectivamente. Alfalfa parece no tolerar la competencia con árboles, mientras que raigrás y la mezcla de raigrás con trébol toleraron y prosperaron debajo de árboles en mejores condiciones que en las parcelas a campo abierto. Las especies de raíces andinas (arracacha, miso y jícama), toleraron la sombra de las barreras agroforestales y posiblemente la competencia por nutrientes y agua del suelo, por lo que estas se convierten en una alternativa viable de producción para las áreas de interface árbol-cultivo. La presencia de sombra matutina o vespertina no afectó en forma consistente al rendimiento de cultivos adyacentes a los árboles. En general, los ingresos totales de las parcelas sembradas con sistemas agroforestales fueron superiores entre 8 y 20% al ingreso de las parcelas testigo (a campo abierto), al cuarto año del experimento. El sistema agroforestal propuesto: árboles, arbustos, pastos, raíces tuberosas y cultivo comercial, en una misma parcela fue ecológicamente funcional, y económicamente productivo y puede ser trasladado y validado en parcelas de minifundio de los Andes de Ecuador.

INTRODUCCION

La agroforestería es el arte de combinar especies arbóreas con cultivos, pastos o animales en la misma parcela, para optimizar la producción y maximizar la conservación de los recursos naturales involucrados (Montagnini, 1992; Nieto, 1998 a). La agroforestería es una alternativa económicamente viable y ecológicamente funcional para áreas de minifundio, en donde la falta de tierra es la principal dificultad para impulsar programas de reforestación (Nieto, 1998 a). Un sistema agroforestal es un conjunto o arreglo de componentes unidos e interrelacionados entre sí, que funcionan como una unidad, y que manejado con racionalidad minimiza la competencia y maximiza la producción, de tal forma que la agroforestería, no solamente permite lograr una producción agrícola estable, sino que los árboles por si solos proporcionan otros beneficios como: son fuente de alimento, desarrollan la vida silvestre, son fuente de forraje, son fuente de combustible, y proporcionan madera para la construcción y artesanía (Panayotou y Ashton, 1992; Hoskins, 1990).

Los beneficios directos de los sistemas agroforestales como aporte a la sostenibilidad de la

producción agropecuaria pueden verse a nivel global: las especies arbóreas absorben carbono y ayudan a la descontaminación ambiental; a nivel regional: mejoran el paisaje, mejoran la vida silvestre, promueven el ciclo hidrológico; a nivel de finca: mejoran la conservación de suelos, mejoran el microclima, incrementan la biodiversidad, promueven el ciclo de nutrientes, facilitan la división territorial y los límites de las fincas, diversifican la oferta de productos y servicios de la finca (Padilla, 1993; Tybrik, 1993; Carlson y Añazco, 1990). Diversas formas o arreglos temporales y espaciales como: barreras rompevientos, cercos vivos, barreras de delimitación de lotes, barreras de protección de ruido y polvo, o de protección de lotes de ganado, de fuentes de agua, de construcciones y áreas de recreo son consideradas verdaderos sistemas agroforestales (Burel, 1996).

Sin embargo, existe resistencia por parte de los agricultores a sembrar árboles en sus parcelas, debido a que éstos compiten con los cultivos, por espacio, agua, luz o nutrientes, y son hospederos de pájaros e insectos que atacan a los cultivos. (Carlson y Añazco, 1990; Vela, 1990; Dove, 1992). En otros casos, los agricultores no están dispuestos a sembrar árboles porque su expectativa es la cosecha a corto plazo, porque el tamaño pequeño de parcela hace que el agricultor no pueda asumir riesgos, o porque muchos agricultores no son dueños de las parcelas y, al plantar árboles, las pérdidas van al agricultor pero los beneficios van al dueño de la parcela (Dove, 1992; Khan y Ehrenreich, 1993). Varios agricultores inclusive en países desarrollados, no están dispuestos a sembrar especies arbóreas en sus fincas, por la interferencia con las labores agrícolas convencionales: manejo de maquinaria pesada, riego intensivo, aplicación aérea de pesticidas y otras, (Brandle y Marsh, 1995; Nieto, 1998 b).

Otra de las limitaciones en la promoción de sistemas agroforestales en el

área altoandina 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 evaluar 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). Maíz asociado con aliso en callejones fue reportado en Cañar, o aliso asociado con plátano, guineo y café, en el Chaco, provincia de Napo, con buen éxito en el establecimiento y crecimiento de los árboles. Sin embargo, en los dos casos, no se indicaron resultados del comportamiento agronómico de las asociaciones ni de la competencia árbol-cultivo (Añazco, 1996).

Hall, en 1998, sostiene que la producción e incremento de biomasa a través de plantaciones de árboles, arbustos, pastos leñosos y otros, es un medio efectivo no solo para mejorar la fertilidad del suelo sino para sustituir la energía fósil, y para atrapar carbono de la atmósfera. Añazco, en 1996 indicó que un bosque de aliso de dos años de edad pudo fijar hasta 279 kg/ha/año de N. En una plantación de 12 años de edad, en la Sierra central de Colombia se reportó un incremento del contenido de N de hasta 400 kg/ha/año. Por otra parte, pocos cultivos presentan cierta tolerancia a la competencia con árboles. El grupo de raíces andinas como: arracacha, jícama y miso parecen acoplarse a sistemas agroforestales, puesto que toleran la sombra (Nieto, et al., 1999). Dadwal et al., (1989), manifiestan que en Tailandia, encontraron que tuberosas como batata, taro y jengibre, son ideales para sistemas agroforestales de altura, debido a que compiten exitosamente con la presencia de árboles, por lo menos durante los tres primeros años de su establecimiento.

Muchos autores se han preguntado cuál es el valor económico de un sistema agroforestal o cual el valor de un árbol o grupo de árboles después de



años de plantados en una finca o suelo agrícola (Añazco, 1996). La investigación en éste y otros temas permitirá mostrar al agricultor que el verdadero valor del árbol es la suma del valor ecológico o estético (valor intrínseco) y del valor económico. De tal forma que el diseño de este experimento pretende dar respuesta a la interrogante si la siembra de árboles en las áreas de minifundio se justifica para el agricultor.

MATERIALES Y METODOS

El experimento está localizado en la Estación Experimental Santa Catalina, a 3050 m de altitud, 0° 22' de Latitud Sur y 78° 23' de Longitud Oeste, 12°C de temperatura promedio y 1200 mm anuales de precipitación. Los suelos corresponden al orden Andisoles, compuestos de cenizas volcánicas, de textura franca y de topografía relativamente plana.

Los sistemas agroforestales en estudio son:

1) acacia-quishuar, *Acacia melanoxylum-Buddleja incana* (AQ); 2) aliso-retama, *Alnus acuminata-Sparteum junceum* (AR); y 3) Campo abierto, sin árboles (CA). Estos están en parcelas

de 2840 m², incluyendo caminos, con dos repeticiones. Cada sistema tiene dos hileras de 30 m de largo, conteniendo 30 árboles y 30 arbustos, separados en forma alternada a 1 m dentro de hileras y a 2 m entre hileras. Las hileras están orientadas de Norte a Sur, para permitir estudiar el efecto de la sombra: matutina proyectada hacia el Oeste y vespertina proyectada hacia el Este. El efecto de sombras fue evaluado en términos de tres distancias (3, 8 y 12 m desde la línea de árboles), a cada lado de las barreras agroforestales. Las parcelas localizadas en el interior de las dos barreras agroforestales, reciben sombra tanto en la mañana como en la tarde y se han identificado como sombras totales. De tal manera que el efecto de sombras fue evaluado siguiendo un transecto transversal a las barreras, empezando por la sombra 1 más alejada al Este, hasta la sombra 9 más alejada al Oeste, pasando por las sombras 4, 5 y 6 que son sombras totales en el interior de las dos barreras agroforestales (Cuadro 1).

En el interior de las hileras de árboles y arbustos están sembrados los pastos, en parcelas de 20 m². Las especies de pastos son: alfalfa, *Medicago sativa*, raigrás *Lolium perenne* y la mezcla de

Cuadro 1. Efecto de tres sistemas agroforestales sobre el rendimiento de papa (t/ha) en 1998 (error estándar para la interacción sistemas x distancias = 1.55)

Sombras / Sistemas	Acacia Quishuar	Aliso Retama	Pleno Sol	Promedio Sombras
1. Vespertina - 12m	27.7	22.4	24.4	24.55
2. Vespertina - 8m	25.8	19.1	24.6	23.17
3. Vespertina - 3m	20.1	16.5	22.2	19.62
4. Total matutina - 3m	27.7	20.3	30.4	25.72
5. Total - 8m	21.7	15.6	20.1	20.23
6. Total vespert. - 3m	17.8	20.1	22.7	19.65
7. Matutina - 3m	21.9	18.9	21.9	21.41
8. Matutina - 8m	24.9	19.7	19.0	21.21
9. Matutina - 12m	23.4	19.1	19.1	20.00
Promedio Sistemas	23.44	19.07	22.63	

raigrás con trébol blanco *Trifolium repens*. A un metro de la línea de árboles, a los dos lados, están sembradas las raíces andinas, arracacha *Arracacia xanthorrhiza*, jícama *Polymnia sonchifolia* y miso *Mirabilis expansa*, también en parcelas de 20 m². Luego de las raíces andinas están sembrados los cultivos principales (al cuarto año del experimento se han evaluado: quinua, *Chenopodium quinoa*; cebada *Hordeum vulgare*; papa *Solanum tuberosum* y melloco *Ullucus tuberosus*) en parcelas de 120 m², en rotación con arveja *Pisum sativum* para cosecha en tierno en el mismo año y en rotación con otro cultivo entre años. En estos cultivos principales se está estudiando el efecto de sombra matutina (SM) y vespertina (SV), ambas expresadas en términos de distancia desde la línea de árboles. Además se está siguiendo el efecto de competencia por humedad y nutrientes del suelo. El manejo de los tres sistemas se hace sin el uso de agroquímicos (fertilizantes ni pesticidas), con excepción de papa, en la cual fue necesario aplicar fertilizante y hacer hasta tres controles fitosanitarios durante el ciclo de cultivo. Las especies arbóreas y arbustivas se manejan con podas anuales, para conseguir la formación de fuste comercial en árboles y obtener biomasa fresca (forraje) de los arbustos. La poda de los arbustos se hace a una altura aproximada de 1.5 m sobre la superficie del suelo. La evaluación de la respuesta de las especies forrajeras al efecto de los sistemas agroforestales se realiza periódicamente. Se hacen cuatro cortes por año y se mide el

rendimiento de biomasa fresca y seca por hectárea. De esta forma, el experimento está diseñado para estudiar el efecto de los sistemas agroforestales en varios factores en forma simultánea. Dada la condición de experimento a largo plazo (10 años), se pretende al final poder llegar a un análisis económico de los sistemas agroforestales, incluyendo los costos de instalación, mantenimiento y cosecha de las especies arbóreas, el valor de la madera y las condiciones de calidad del suelo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Como ya se mencionó, el análisis de los resultados del experimento se puede hacer desde la respuesta de varios de sus componentes o factores en estudio así: 1). La respuesta de las especies forrajeras, 2). De las raíces andinas, 3). De los cultivos principales, 4). El crecimiento y rendimiento de árboles y arbustos, 5). La competencia por radiación solar, 6). La competencia por nutrientes y agua en el suelo, 7). La presencia y distribución de patógenos y malezas. Todos estos factores evaluados por su respuesta a los sistemas agroforestales en estudio. En este artículo, se presenta una versión general resumida de los principales resultados durante los primeros cuatro años, con énfasis en los resultados del cultivo principal al cuarto año (papa).

Del análisis estadístico de los resultados para algunas variables medidas al cuarto año del experimento en torno al crecimiento y producción del cultivo principal



(papa), se observó un efecto significativo de la interacción Sistemas agroforestales x Sombras (distancias) para las variables materia orgánica y humedad del suelo medida en enero y julio. El factor sombra en este caso expresado en términos de distancias, fue significativo para todas las variables evaluadas. El efecto de sistemas agroforestales fue significativo para humedad del suelo, contenido de nitrógeno y rendimiento de papa; sin embargo, el rendimiento de papa no fue diferente para el sistema CA comparado con AQ y AR, pero el rendimiento de papa fue superior para el efecto de AQ, comparado con el rendimiento en AR. De esta forma, se encontró que los sistemas agroforestales al cuarto año del experimento mostraron su influencia en los rendimientos del cultivo de papa, así como en humedad y fertilidad del suelo. Aparentemente la mayor influencia fue ejercida por la sombra de las barreras, medida en este caso por distancias desde las barreras agroforestales. El efecto de sombras (distancias) también fue significativo para la abundancia de malezas. El número de malezas por unidad de superficie fue superior en las parcelas con sombra vespertina, en comparación con aquellas que reciben sombra matutina (datos no reportados).

En el Cuadro 1, se presenta el rendimiento de papa por influencia de la interacción Sistemas agroforestales x Sombras (distancias). Se observó que el rendimiento de papa fue inferior para las parcelas marcadas como sombra vespertina, a 3 m de la línea de árboles en los dos sistemas agroforestales. El rendimiento de papa por efec-

to de sombra vespertina a 3 m de la línea de árboles fue 10 a 22% para el sistema AQ y 11 a 36% para el sistema AR, menos que el rendimiento en el sistema control (CA); mientras que los efectos de sombra matutina a 3 m y de ambos tipos de sombra a distancias mayores de 3 m de la línea de árboles fueron inconsistentes. En este caso, la influencia de sombra matutina en el rendimiento de papa, a 3 m de la línea de árboles, fue aparentemente menor que la influencia de sombra vespertina. Sin embargo, en el mismo experimento, al evaluar el rendimiento de tres raíces andinas (arracacha, jícama y miso), sembradas a solo 1 m de distancia de la línea de árboles, se encontraron resultados opuestos. Las parcelas sombreadas durante las tardes rindieron más que las parcelas sombreadas durante las mañanas (Nieto, et al., 1999), lo cual fue interpretado como un probable efecto de dos factores en el sitio del experimento: la presencia de una mayor nubosidad durante las tardes (datos no reportados) y la presencia de una montaña (el Atacazo de aproximadamente 4000 m de altura), en el horizonte occidental del sitio del experimento, ambos produciendo un efecto adicional a la interferencia de radiación solar recibida por las parcelas afectadas por sombra matutina. De todas formas, se espera que los efectos de este factor (sombra), sean más consistentes a medida que el experimento avance y cuando las barreras agroforestales incrementen sustancialmente la sombra proyectada hacia las especies sembradas en el área de interface árbol-cultivo.

De acuerdo a estos resultados y aunque en este

Cuadro 2. Efecto de tres sistemas agroforestales en el rendimiento de tres especies forrajeras (materia fresca en t/ha), durante cuatro años consecutivos en Santa Catalina, INIAP.

Sistema y pasto	1995	1996	1997	1998
AQ - Alfalfa	19.3	9.9	7.3	6.4
AQ - Raigrás	14.2	7.6	6.6	4.8
AQ - Mezcla	19.8	12.8	14.5	8.3
AR - Alfalfa	15.2	11.7	6.9	4.5
AR - Raigrás	16.5	15.9	9.3	7.1
AR - Mezcla	17.1	11.9	11.8	9.9
CA - Alfalfa	21.6	20.9	24.0	19.5
CA - Raigrás	11.5	7.5	5.4	4.4
CA-Mezcla	13.0	8.9	17.8	10.1
Error Estándar	1.9	1.8	0.9	1.2

AQ = acacia-quishuar; AR = aliso-retama y CA = campo abierto

caso no se ha separado la competencia aérea (por radiación solar) de la competencia subterránea (por agua y nutrientes), las evidencias muestran que el efecto de sombra fue significativo. Varios autores corroboran el efecto negativo de la sombra proyectada por árboles en el crecimiento y rendimiento de cultivos (Okorio et al., 1994; Ong et al., 1996; Mushler y Boneman, 1997; Nieto, 1998 b), así como el efecto diferenciado de la interferencia de radiación solar en cuanto a orientación y densidad de las barreras, ángulo de proyección solar, época del día, y especies que componen las barreras (Rosenberg et al., 1983; Iqbal, 1983), o que la sombra no solamente afecta la fotosíntesis en los cultivos sino varias funciones y procesos vitales de la planta como: respiración, conductancia y resistencia estomática, transpiración y por ende el crecimiento y rendimiento final (Rosemberg et al., 1983; Okoli y Wilson, 1986; Tankou et al., 1990).

Por otro lado, el efecto principal de los sistemas agroforestales, en el rendimiento de papa, no fue acorde con lo esperado. El promedio de rendimiento de papa para el sistema AQ fue 19% superior a AR y 4% superior CA, mientras que el sistema CA fue 15% superior a AR (Cuadro 1). Esto es un indicativo de que el rendimiento de papa fue probablemente afectado por una interacción de sombra con otros factores como agua y nutrientes del suelo, o temperatura, humedad relativa o viento. Aunque los valores de humedad del suelo y nitrógeno fueron superiores para el sistema AR en comparación con los otros dos sistemas, se encontró que las parcelas

dentro del sistema AR presentaron valores significativamente inferiores en contenidos de fósforo, potasio y calcio, durante este ciclo de cultivo (datos no reportados), lo cual posiblemente haya sido la causa de los bajos rendimientos de papa obtenidos en este sistema agroforestal.

Respuesta de las especies forrajeras

Del análisis estadístico para los cuatro años evaluados, lo más sobresaliente fue el efecto de la interacción Sistemas agroforestales x Pastos, el mismo que fue significativo durante los cuatro ciclos evaluados. Sin embargo, la influencia de los tres factores en estudio, sus interacciones y sus componentes desdoblados fue mayor durante los dos últimos años de evaluación (1997 y 1998). Esto se podría explicar por dos razones: 1. Las especies forrajeras cambian su velocidad de crecimiento y rendimiento a medida que pasa el tiempo desde su siembra y 2. El efecto de competencia de las barreras agroforestales (especialmente por luz) obviamente se vuelve más intenso a medida que los árboles y arbustos crecen.

En el Cuadro 2, se presenta un resumen del rendimiento de las tres especies forrajeras evaluadas durante los primeros cuatro años del experimento. Como se indicó, los rendimientos de forraje decrecieron a medida que pasó el tiempo. Sin embargo el rendimiento de biomasa de las tres especies fue significativamente diferente para cada sistema agroforestal. Alfalfa fue claramente afectado por los dos sistemas agroforestales AQ y AR, mientras que el sistema control (CA)

Cuadro 3. Efecto de tres sistemas agroforestales en el crecimiento de acacia (Ac) y aliso (Al) en Santa Carolina, durante cuatro años consecutivos (datos promedios de 60 plantas).

Característica	1995		1996		1997		1998	
	Ac	Al	Ac	Al	Ac	Al	Ac	Al
Altura del árbol (m)	1.13	0.66	3.15	2.80	4.83	4.26	6.05	5.41
	a**	b	a	b	a	b	a	b
Diámetro de fuste (cm)*	2.1	1.5	2.7	2.1	5.6	4.9	9.1	6.7
	a	b	a	b	a	b	a	b
Mat. fresca (Kg/planta)					2.8	2.0	10.5	5.2
					a	a	a	b
Mat. seca (kg/planta)					1.5	0.9	6.0	2.3
					a	b	a	b

* A 0.5 m del nivel del suelo

** Letras iguales significan diferencias no significativas entre especies (Prueba de Duncan, 5% de probabilidad)

mantuvo su rendimiento promedio durante los cuatro años. Contrariamente, raigrás y la mezcla (raigrás con trébol), presentaron un comportamiento más estable en presencia de los sistemas agroforestales y con pocas excepciones los rendimientos fueron superiores a los obtenidos en las parcelas control, durante los cuatro años evaluados. En 1998 (cuarto año del experimento), los rendimientos de alfalfa en las parcelas agroforestales AQ y AR fueron solo 33 y 23% de los rendimientos en las parcelas testigo; mientras que los rendimientos de la mezcla forrajera fueron 82 y 98 % y los rendimientos de raigrás fueron 109 y 161 % para AQ y AR respectivamente, comparados con los rendimientos en las parcelas control, en el mismo año (Cuadro 2). En general se encontró que así como los rendimientos de alfalfa fueron inferiores, los rendimientos de raigrás fueron superiores en las parcelas agroforestales comparados con los rendimientos en las parcelas control, durante los cuatro años de evaluación. Esta es una evidencia clara de que alfalfa no es una especie que tolera la competencia con especies arbustivas, mientras que raigrás parecería tolerar y convivir en forma productiva en presencia de sistemas agroforestales. De esta forma, la siembra de raigrás y de la mezcla forrajera se presenta como una alternativa económica para utilizar áreas debajo o intermedias entre hileras de árboles.

Crecimiento de las especies arbóreas

En el Cuadro 3, se presenta un resumen del cre-

cimiento y producción de biomasa de las especies arbóreas involucradas en el experimento. El crecimiento de acacia, expresado en altura de planta, diámetro de fuste y rendimiento de biomasa fue superior al de aliso durante todos los ciclos evaluados. Al cuarto año del experimento, acacia superó a aliso en aproximadamente 11% en altura de planta, 26% en diámetro de fuste y 62% en rendimiento de biomasa seca (material producto de la poda). A pesar de que el crecimiento de aliso no fue despreciable, definitivamente acacia creció más, probablemente debido a una mejor adaptación al sitio del experimento. Sin embargo, parecería que Santa Catalina, localizada a 3050 m de altitud, está dentro del rango altitudinal de adaptación de aliso (Añazco, 1996; Brandbyge y Holm Nielsen, 1992), por lo que es probable que el retraso en el crecimiento de aliso se debió a un ataque selectivo de larvas de Coleóptero (*Barotheus castaneus*), que apareció inmediatamente después de la plantación de los árboles y que a pesar de que los árboles lucen recuperados, afectó significativamente el desarrollo radicular inicial de las plantas de aliso. Al no encontrarse daño en su sistema radicular, es probable que acacia, sea resistente al ataque de este insecto. En todo caso, el crecimiento en general de las dos especies arbóreas fue satisfactorio, las dos presentan un fuste comercial al cuarto año del experimento.

Del mismo modo, la producción de biomasa fue registrada para las especies de arbustos involucradas en el experimento (Cuadro 4). Anualmen-

Cuadro 4. Efecto de tres sistemas agroforestales en el rendimiento de biomasa de quishuar (Q) y retama (R) en Santa Catalina, durante tres años consecutivos.

	1996		1997		1998	
Arbusto	Q	R*	Q	R	Q	R
Biom. fresca (Kg/pl)	1.6	0	9.2	17.4	4.8	12.0
			b	a	b	a
Biom. seca (Kg/pl)	0.6	0	4.0	6.9	2.5	5.3
			b	a	b	a

* No fue podada en este ciclo

Cuadro 5. Rendimiento económico comparativo del de tres sistemas agroforestales en una parcela típica de minifundio, basado en datos de Santa Carolina, durante 1998 (2840 m² por sistema).

RUBRO	Valor Unit.	AQ Cant.	Valor sucsres	AR Cant.	Valor sucsres	CA Cant.	Valor sucsres
Papa (kg)	740	3987	2950.3	3348	2477.5	4176	3090.2
Papa %			65.27		60.80		81.59
Arracacha (kg)	2500	33.5	83.8	18.5	46.3	52.4	131.0
lícama (kg)	1000	42.4	42.4	21.3	21.3	50.1	50.1
Miso (kg)	500	33.2	16.6	59.8	29.9	31.6	15.8
Raíces andinas %			3.16		2.40		5.20
Arveja en vaina (kg)	500	777.9	389.0	590.0	295.0	746.6	373.3
Arveja %			8.61		7.24		9.86
Alfalfa (kg)	1200	25.5	30.6	18.0	21.6	78.0	93.6
Raigrás (kg)	800	19.2	15.4	28.5	22.8	1.8	1.4
Mezcla forrajera (kg)	800	33.0	26.4	39.5	31.6	40.6	32.5
Pastos %			1.61		1.87		3.37
Madera árboles (m)*	2000	217.8	435.6	194.7	389.4	0	0
Leña de árboles (m)*	500	145.2	72.6	129.8	64.9	0	0
Poda de árboles	400	545.4	218.2	403.8	161.5	0	0
Poda de arbustos	500	287.4	143.7	719.4	359.4	0	0
Resto de arbustos	500	191.6	95.8	308.3	154.2	0	0
Forestales %			21.37		27.72		0.00
Total (Sucsres x 1000)			4520.4		4075.4		3787.9
Total (\$ USA)			706.3		636.8		591.8
Incremento %			19.3		7.6		

* 60% del árbol = madera, 40% del árbol = leña

te se hizo una poda de formación de ambas especies, dejando una altura de la barrera de aproximadamente 1.5 m sobre el suelo y evitando que el crecimiento lateral de las ramas interfiera con el paso de luz para las parcelas de pastos en el interior de las hileras y para las parcelas de raíces andinas en el exterior de las hileras. Aunque la poda de retama comenzó al segundo año del experimento, los rendimientos de esta fueron muy superiores a los de quishuar, durante los dos últimos ciclos evaluados (1997 y

1998). El rendimiento de biomasa seca de retama fue superior al de quishuar en aproximadamente 53 y 43% en 1997 y 1998 respectivamente. Estos rendimientos de biomasa son muy importantes y al igual que los rendimientos de pastos, complementan el ingreso de la finca, considerando que retama es una planta forrajera, muy utilizada en la Sierra de Ecuador para alimentar especies menores, como cuyes y ovejas, para leña e incluso para la fabricación de escobas caseras (Nieto y Vimos, 1995).

Valor económico y valor intrínseco de los sistemas agroforestales

En el Cuadro 5, se presenta un resumen del rendimiento económico de los tres sistemas agroforestales, durante 1998 (cuarto año del experimento). El ejercicio que se presenta en este cuadro es bajo el supuesto de que el agricultor decide cosechar todos los productos cosechables de las parcelas. Se encontró que los productos cosechables fueron: cultivo principal (papa en este caso), arveja tierna, raíces andinas, forraje, madera, leña y biomasa de árboles y arbustos. Naturalmente los productos cosechables en el sistema control (CA) fueron solo papa, arveja, raíces andinas y forraje. El rubro arveja no se pudo sembrar en 1998, por tanto para este análisis se utilizaron los datos de la cosecha de 1997. Los valores unitarios de cada producto se tomaron del precio de mercado a nivel de finca para 1998 y las cantidades que se reportan son las cosechadas en la parcela de 2840 m², con excepción de los rubros leña en árboles y resto de arbustos, que son cantidades estimadas puesto que las barreras siguen plantadas.

Debido al efecto de la competencia con las barreras agroforestales, se esperaba que los rendimientos económicos de papa, de raíces andinas y de pastos fueran superiores en las parcelas control, sin embargo se pudo observar que los sistemas agroforestales presentaron rendimientos superiores al del control en miso y raigrás. Además el sistema AQ superó al control en rendimiento de arveja tierna. De esta forma, al observar los rendimientos totales de los productos cosechados por parcela se encontró que los rendimientos de los dos sistemas agroforestales superaron significativamente al rendimiento del control. El ingreso bruto de los sistemas AR y AQ fue superior a CA en 8 y 19% respectivamente, lo que indica una ventaja económica, aunque pequeña de la siembra de árboles en las fincas. Esta ventaja fue todavía positiva en términos de ingresos netos, al considerar los costos de instalación y mantenimiento anual de las barreras agroforestales, que no superaron el 5% de incremento, en comparación con los costos de mantenimiento de las parcelas CA (datos no reportados).

Se espera que esta ventaja encontrada al cuarto

año del experimento se mantenga o se incremente en el futuro, debido a que la producción de las especies arbóreas se incrementará con el tiempo, no obstante, la competencia con cultivos también se incrementará, por lo que los resultados en el futuro son impredecibles. Sin embargo, la producción de raigrás, en el sistema CA en el último corte del cuarto año del experimento fue casi nula, lo que indica que en el futuro esta parcela no presentará rendimiento de este rubro y, esta será otra desventaja del sistema control. La diferencia entre sistemas agroforestales fue también significativa y en este caso el sistema AQ probablemente es menos competitivo que el sistema AR. El sistema AR parece ejercer una mayor interferencia de luz solar, debido a la mayor densidad del follaje especialmente del componente retama, en comparación con quishuar. Sin embargo, este es un componente que puede ser modificado con el manejo de la intensidad y frecuencia de las podas.

En el Cuadro 5, se reportan únicamente los ingresos de cada sistema agroforestal, sin considerar costos. Es evidente que el mantenimiento y manejo de las barreras agroforestales significa un costo adicional en mano de obra, comparado con el sistema a campo abierto. Sin embargo, hay otras consideraciones que deben tenerse en cuenta. En la mayoría de las comunidades rurales (especialmente de la Sierra de Ecuador), el recurso disponible y más barato a nivel de finca es precisamente la mano de obra. La migración de los campesinos a las ciudades es para buscar ocupación, entonces, la búsqueda de alternativas o la modificación de los sistemas tradicionales de producción para encontrar otros que signifiquen mas ocupación de la mano de obra, siempre será positivo; debido a los escasos costos de oportunidad de la mano de obra en la mayoría de las zonas altoandinas de la Sierra. Algunos métodos han sido sugeridos para evaluar la factibilidad económica de plantaciones forestales en las fincas: análisis de costos e ingresos marginales, presupuesto parcial, ingresos totales de la finca o de la parcela, análisis de tasas de retorno y análisis de costo beneficio (Willis y Benson, 1989; Scherr et al., 1992). En nuestro caso se ha preferido presentar este comparativo de ingresos por parcela, para dar una idea global del potencial económico de los sistemas agroforestales evaluados. El análisis

Cuadro 6. Algunos bienes y beneficios no tangibles atribuibles a los sistemas agroforestales, en comparación con el sistema control.

Atributo	Acacia quishuar	Aliso retama	Campo abierto
Valor paisajístico del entorno	+	+	-
Incremento de vida silvestre	+	+	-
Macrofauna del suelo	+	+	-
Microfauna del suelo	+	+	?
Microflora del suelo	+	+	?
Fijación de nitrógeno y otros elementos	+	+	-
Control de la erosión del suelo	+	+	-
Mejoramiento del microclima	+	+	-
Mitiga efecto de heladas o granizadas	+	+	-
Diversificación de la producción	+	+	-
Incremento de la biodiversidad	+	+	-
La sostenibilidad del sistema	+	+	?

sis económico completo de los resultados al cuarto año del experimento, está en preparación y será publicado próximamente.

Además de los bienes tangibles que el agricultor puede cosechar, en una parcela agroforestal existen valores no tangibles o al menos difícil de valorar en términos económicos (Cuadro 6). Estos valores intrínsecos de los sistemas agroforestales vendrían a complementar los ingresos económicos que el agricultor cosecha en su parcela. En nuestro caso se ha hecho una valoración subjetiva, en términos cualitativos (positivo, negativo o incertidumbre) de varios atributos que se pueden encontrar en un sistema agroforestal. Evidentemente la mayor parte de atributos evaluados presentan un efecto positivo en presencia de los sistemas agroforestales, mientras que el sistema control (CA), sin árboles presenta un efecto negativo o de incertidumbre para estos mismos atributos. El hecho de valorar los elementos intangibles como complemento a los atributos tangibles en sistemas agroforestales tiene un respaldo creciente. Por ejemplo, Panayotou y Ashton, (1992), identificaron por lo menos seis valores económicos directos o indirectos para sistemas agroforestales en fincas: 1. Producción de madera, 2. Productos no maderables (frutas, nueces, leña, medicina), 3. Servicios ambientales o biológicos (protección de suelo, protección de

fuentes y canales de agua, conservación y promoción de la biodiversidad), 4. Regulación del clima y captura de carbono 5. Beneficios recreacionales y estéticos, incluyendo turismo y 6. Conservación y protección de cultivos y ganado. Por su parte, Brandle et al., (1984) y Schaefer y Ball, (1994), mencionan el impacto de los sistemas agroforestales en la mejora del valor de la tierra como otro beneficio económico muy apreciable y que a menudo no se tiene en cuenta.

Conclusiones

El efecto de los sistemas agroforestales fue significativo a partir del segundo año de plantado el experimento para algunas variables como rendimiento de pastos en el interior de las hileras de árboles, pero el efecto competitivo de árboles y arbustos por radiación solar fue evidente a partir del cuarto año del experimento.

Se encontró que la influencia del sistema acacia-quishuar fue favorable para rendimiento de pastos y rendimiento de cultivos comparado con el efecto del sistema aliso-retama o el de campo abierto. Esto probablemente fue debido a que estas especies desprenden sus hojas constantemente, las que se incorporan al suelo, no así en el otro sistema en donde solo aliso pierde follaje mientras que retama se mantiene intacta has-

ta la época de poda. También pudo deberse a que aliso y retama desarrollan copas más densas y por ende proyectan mayor sombra que acacia y quishuar.

Aparentemente alfalfa no prospera debajo de árboles, pero raigrás y la mezcla de raigrás con trébol son alternativas recomendables, para optimizar el uso del suelo con sistemas agroforestales. Los rendimientos de raigrás debajo de las barreras agroforestales al cuarto año del experimento todavía fueron entre 9 y 61% superiores a los de las parcelas testigo, a campo abierto.

Asimismo, los rendimientos de las raíces andinas: arracacha, jícama y miso fueron similares a campo abierto y debajo de las barreras agroforestales, durante los primeros cuatro años del experimento, lo que indica tolerancia a la competencia por sombra, por lo que son otra alternativa viable para ocupar las áreas de interface entre árboles y cultivos.

A pesar del efecto competitivo, se pudo encontrar

que al cuarto año del experimento, el ingreso económico anual del sistema acacia-quishuar fue superior al ingreso del sistema control en aproximadamente 20%, mientras que el ingreso del sistema aliso-retama superó al del control en aproximadamente 8%.

De todo lo anterior, se pudo concluir que los sistemas agroforestales mixtos propuestos: árboles, arbustos, pastos, raíces tuberosas y cultivo comercial, todos en una misma parcela son ecológicamente funcionales, y económicamente productivos. Estos sistemas o algunos de sus componentes podrían ser trasladados y validados en parcelas de minifundio de los Andes de Ecuador.

Agradecimiento

Este trabajo fue realizado con el apoyo económico del proyecto RTA's CIP-COTESU, para cuyos ejecutivos, y en especial para el Dr. Miguel Holle, coordinador del proyecto, los autores dejan constancia de su reconocido agradecimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. AÑAZCO M. R. 1996. El aliso (*Ainus acuminata*). Proyecto de Desarrollo Forestal Campesino en los Andes de Ecuador. 166 p.
2. BUREL, F. 1996. Hedgerows and their role in agricultural landscapes. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 15: 169-190.
3. BRANBYGE, J. y L.B. HOLM NIELSEN. 1992. Reforestación de los Andes Ecuatorianos con Especies Nativas. CESA. Quito. Ecuador. 90 p.
4. BRANDLE, J. R., B. 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.
5. 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.
6. CARLSON, P. y AÑAZCO, M. 1990. Establecimiento y manejo de prácticas agroforestales en la sierra ecuatoriana. Quito: Red Agro-forestal Ecuatoriana.
7. DADWAL, K., P. NARIAN y S. DHYANI. 1989. Effects of highland agroforestry on soil conservation and productivity in northern Thailand. *Agroforestry Systems (Netherlands)* v. 7 (3): 213-225.
8. DOVE, M. R. 1992. Forester's beliefs about farmers: a priority for social science research. *Agroforestry Systems* v.17 p. 13-41.
9. 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.
10. HOSKINS, M. 1990. Las actividades forestales y la alimentación. *Unasyva* 41 (160): 3-13.
11. IQBAL, M. 1983. An introduction to solar radiation. Academic Press. New York. pp. 1-28.
12. 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.
13. MONTAGNINI, F. 1992. *Sistemas Agroforestales, principios y aplicación en los trópicos*. San José, ET/US/USAID. p. 17.
14. 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.
15. NIETO, C. 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.
16. NIETO, C. 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.
17. NIETO, C. C. y C. VIMOS. 1995. Agroindustrial ICU un modelo de microempresa rural indígena. INIAP/CIID, Quito, Ecuador. pp 21-43.
18. NIETO, C., J. CORDOVA y R. RAMOS. 1999. Respuesta de tres especies de raíces andinas al efecto de tres sistemas agroforestales. Durante cuatro años consecutivos. INIAP. Quito, Ecuador. 25 p. (artículo en preparación).
19. OKOLI, P. S. O and G. FWILSON. 1986. Response of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) to shade under field conditions. *Field Crops Res.* 14:349-359.
20. OKORIO, J., S. BYENKYA, N. WAJJA, and D. PEDEN. 1994. Comparative performance of seventeen upperstorey tree species associated with crops in the highlands of Uganda. *Agroforestry Systems*. 26:185-203.
21. 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.
22. PADILLA, S. 1993. Realidad de la agroforestería en los Andes. *Bosques y Desarrollo*, (Perú) 4 (8):44-46.
23. PANAYOTOU, T. and P. S. ASHTON. 1992. No timber alone: Economics and ecology for sustaining tropical forests. Island Press. Washington. 282 p.
24. ROSENBERG, N. J., B. L. BLAD, and S. B. VERMA. 1983. *Microclimate, the Biological Environment*. John Wiley and Sons. New York. 495 p.
25. SCHAEFFER, P. R. and J. J. BALL. 1995. Present status and future potential for agroforestry in the Northern Great Plains. In W. J. Rietveld (ed.). *Agroforestry and sustainable systems: Symposium proceedings*. USDA Forestry Service. Fort. Collins, CO. pp. 115-125.
26. SCHERR, S. J., D. JOSHUA, J. FOWNERS, S. KAMNERDRATANA, E. KARCH, K. LEKRHAJ, D. STREET and T. THOMAS. 1992. Methods and models for economic analysis. In: G. M. Sullivan, S. M. Huke and J. Fox (Ed). *Financial and economic analyses of agroforestry systems*. NFTA, USDA, USAID, East West Center. Honolulu, Hawaii. p. 52-63.
27. TANKOU, C. M., B. SCHAEFFER, and S. K. O'HAIR. 1990. Nitrogen, shading duration, gas exchange and growth of Cassava. *Hortscience*. 25:1293-1296.
28. TYBIRK, K. 1993. Inventario agroforestal de la Zona Andina. *Bosques y Desarrollo*. (Perú) 4 (8): 47-50.
29. VELA, R. 1990. Algunos factores que dificultan la implementación de sistemas agroforestales. En: I Congreso Agroforestal Ecuatoriano. Red Agroforestal Ecuatoriana. Quito, Ecuador. pp 155-169.
30. WILLIS, K. G. and J. F. BENSON. 1989. Recreational values of forests. *Forestry*, 62 (2):92-110.