

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**  
**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**

**VALORACIÓN ECONÓMICA DE BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES EN  
SISTEMAS AGRÍCOLAS DE SAN MIGUEL, PETÉN, GUATEMALA**

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico Académico del Programa de estudios de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de

*Magister Scientae*

por

**KLOEBER ROBSON OLIVEIRA BARBOSA**

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
Turrialba, Costa Rica  
1996

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Área de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, y aprobada por el Comité Asesor del Estudiante como requisito parcial para optar al grado de

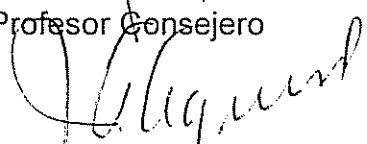
*MAGISTER SCIENTAE*

FIRMANTES:




---

Tania Ammour, Dr.  
Profesor Consejero




---

Juan Antonio Aguirre, Ph.D.  
Miembro del Comité Asesor



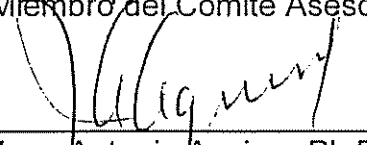
---

Alejandro Imbach, M.Sc.  
Miembro del Comité Asesor



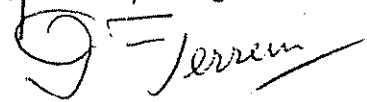
---

Jorge Jiménez, M.Sc.  
Miembro del Comité Asesor



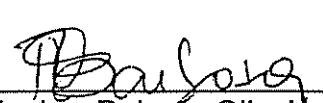
---

Juan Antonio Aguirre, Ph.D.  
Jefe, Área de Postgrado



---

Pedro Ferreira Rossi, Ph.D.  
Director, Programa de Enseñanza



---

Kloeber Robson Oliveira Barbosa  
Candidato

A Rocio, Carlos y Juan Manuel.

*"Great spirits have always encountered violent opposition from mediocre minds".*  
*Albert Einstein™*

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) por otorgarme la oportunidad de realizar mis estudios de postgrado. Al mismo tiempo extendiendo mi gratitud al Dr. Rubén Guevara Moncada, Director General de CATIE, al Dr. Pedro Ferreira, Director del Programa EDECO y al Dr. Juan Antonio Aguirre, Decano de la Escuela de Postgrado, quienes brindaron confianza y respaldo en el cumplimiento de mis metas.

También agradezco a la Dra. Tania Ammour, mi Profesora Consejera, por guiarme en el camino de la formación profesional; al Proyecto Conservación para el Desarrollo sostenible (OLAFO), por el soporte logístico y económico; y a Guillermo Detlefsen y Reginaldo Reyes, del Proyecto OLAFO/Guatemala. Debo mencionar y agradecer el valioso aporte de Alejandro Imbach, Jorge Jiménez y Juan Antonio Aguirre, quienes mucho contribuyeron a la realización de este estudio. Tomás Schlichter hizo importantes sugerencias al primer borrador de este documento.

Mi estadía y la de mi familia en CATIE no habría sido posible sin el enorme e incondicional apoyo de la familia Vargas Subirós. A Don Arturo y Doña Sandra, mi infinita retribución.

Por último, pero no menos importante, quiero exteriorizar mi reconocimiento a mis compatriotas Irió y Dayse Molinari, Víctor Manuel Aleixo y Gilmar Batista Maróstega, quienes estuvieron presentes en los momentos más difíciles de estos dos años.

## BIOGRAFÍA

El autor nació en Dourados, Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, el 2 de junio de 1974. Realizó sus estudios primarios en el Colegio Nossa Senhora Menina, en Curitiba, Estado de Paraná, Brasil, entre 1979 y 1987. En 1988 ingresó a la Escola Agrotécnica Federal de Cáceres, Estado de Mato Grosso, Brasil, donde obtuvo, en 1990, el título de Técnico en Agropecuaria.

En 1991 comenzó sus estudios universitarios en la Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (EARTH), en Guácimo, Costa Rica, donde obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo, con el grado de Licenciado, en 1994.

En 1993 realizó un proyecto de investigación sobre de las alteraciones ambientales sufridas por la Amazonía brasileña, en el Johnson Space Center, National Aeronautics and Space Administration (NASA-JSC), en Houston, Texas, EE.UU.

En enero de 1995 ingresó a la Escuela de Postgrado del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), donde obtuvo el título de Magister Scientae en Manejo Integrado de Recursos Naturales con énfasis en Manejo y Conservación de la Biodiversidad, en setiembre de 1996.

Durante su estadía en CATIE recibió su primer premio internacional, de la Mexican American Society of Engineers and Scientists, con sede en Houston, Texas, EE.UU. Además, realizó su primera exposición científica a nivel internacional, durante una conferencia en Alemania.

Actualmente se encuentra felizmente casado con Rocío Valverde, con quién tiene dos hijos, Carlos Rafael y Juan Manuel.

## ÍNDICE GENERAL

|   | Página |
|---|--------|
| RESUMEN   | ix     |
| SUMMARY   | x      |
| ÍNDICE DE CUADROS                                   | xi     |
| ÍNDICE DE FIGURAS                                   | xiii   |
| <br>  |        |
| I. INTRODUCCIÓN                                     | 1      |
| <br>  |        |
| II. OBJETIVOS                                       | 4      |
| <br>  |        |
| III. HIPÓTESIS                                      | 5      |
| <br>  |        |
| IV. REVISIÓN DE LITERATURA                          | 6      |
| 1. EL SISTEMA AGRÍCOLA DE MAÍZ EN FORMA TRADICIONAL | 6      |
| 1.1. GENERALIDADES                                  | 6      |
| 1.2. FASES DE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ                 | 8      |
| 1.3. CICLOS DE PRODUCCIÓN                           | 9      |
| 1.4. CONSECUENCIAS DE LA AGRICULTURA MIGRATORIA     | 11     |
| 2. EL SISTEMA PROPUESTO DE MAÍZ-FRIJOL ABONO        | 12     |
| 2.1. GENERALIDADES                                  | 12     |
| 2.2. BENEFICIOS DEL FRIJOL ABONO                    | 12     |
| 2.3. SOSTENIBILIDAD DEL SISTEMA                     | 17     |
| 3. FUNCIONES ECOLÓGICAS                             | 20     |
| 3.1. GENERALIDADES                                  | 20     |
| 3.2. FUNCIONES ECOLÓGICAS DEL MAÍZ TRADICIONAL      | 22     |
| 3.2.1. FUNCIONES DE REGULACIÓN                      | 22     |
| 3.2.2. FUNCIONES DE SOPORTE                         | 27     |
| 3.2.3. FUNCIONES DE PRODUCCIÓN                      | 27     |

|  |    |
|--|----|
| 3.2.4. FUNCIONES DE INFORMACIÓN                    | 28 |
| 3.3. FUNCIONES ECOLÓGICAS DEL MAÍZ-FRIJOL ABONO    | 29 |
| 3.3.1. FUNCIONES DE REGULACIÓN                     | 29 |
| 3.3.2. FUNCIONES DE SOPORTE                        | 34 |
| 3.3.3. FUNCIONES DE PRODUCCIÓN                     | 35 |
| 3.3.4. FUNCIONES DE INFORMACIÓN                    | 36 |
| 4. VALORACIÓN ECONÓMICA DE BIENES Y SERVICIOS      |    |
| AMBIENTALES  | 37 |
| 4.1. GENERALIDADES                                 | 37 |
| 4.2. VALORACIÓN DE BENEFICIOS Y COSTOS             | 38 |
| 4.3. VALORACIÓN DIRECTA                            | 39 |
| 4.4. VALORACIÓN INDIRECTA                          | 39 |
| 4.5. BIENES Y SERVICIOS VALORADOS ECONÓMICAMENTE   | 40 |
| V. MATERIALES Y MÉTODOS                            | 45 |
| 1. ÁREA DE ESTUDIO                                 | 45 |
| 2. METODOLOGÍA DE VALORACIÓN ECONÓMICA             | 47 |
| 2.1. IDENTIFICACIÓN DE BIENES Y SERVICIOS          | 49 |
| 2.2. JERARQUIZACIÓN DE BIENES Y SERVICIOS          | 49 |
| 2.3. SELECCIÓN DE LOS BIENES Y SERVICIOS A VALORAR | 50 |
| / 2.4. VALORACIÓN ECONÓMICA                        | 52 |
| 2.4.1. PRODUCCIÓN DE MAÍZ                          | 53 |
| 2.4.2. CONTROL DE EROSIÓN                          | 55 |
| / 2.4.3. SECUESTRO DE CARBONO                      | 57 |
| / 2.4.4. FIJACIÓN DE NITRÓGENO                     | 57 |
| 2.4.5. CONTROL DE MALEZAS                          | 58 |
| 2.5. PROYECCIÓN ECONÓMICA                          | 62 |
| VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES                       | 63 |
| 1. DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN                   | 63 |

|   |     |
|---|-----|
| 1.1. GENERALIDADES                            | 63  |
| 1.2. SISTEMAS AGRÍCOLAS                       | 63  |
| 1.3. CORROBORACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS     | 69  |
| 2. PRODUCCIÓN DE MAÍZ                         | 71  |
| 2.1. SISTEMA TRADICIONAL                      | 71  |
| 2.2. SISTEMA DE BARBECHO MEJORADO             | 71  |
| 2.3. ESTIMACIONES DE PRODUCCIÓN               | 72  |
| 2.4. VALORACIÓN ECONÓMICA                     | 75  |
| 3. CONTROL DE EROSIÓN                         | 79  |
| 3.1. DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN              | 79  |
| 3.2. VALORACIÓN FÍSICA DE LOS NUTRIENTES      | 90  |
| 3.3. VALORACIÓN ECONÓMICA                     | 97  |
| 4. SECUESTRO DE CARBONO                       | 100 |
| 4.1. VALORACIÓN FÍSICA                        | 101 |
| 4.2. VALORACIÓN ECONÓMICA                     | 103 |
| 5. FIJACIÓN DE NITRÓGENO                      | 105 |
| 5.1. VALORACIÓN FÍSICA                        | 105 |
| 5.2. VALORACIÓN ECONÓMICA                     | 106 |
| 6. CONTROL DE MALEZAS                         | 107 |
| 6.1. VALORACIÓN ECONÓMICA                     | 107 |
| 7. VALORACIÓN ECONÓMICA DE BIENES Y SERVICIOS | 110 |
| 8. PROYECCIÓN ECONÓMICA                       | 114 |
| <br>  |     |
| VII. CONCLUSIONES                             | 123 |
| <br>  |     |
| VIII. RECOMENDACIONES                         | 126 |
| <br>  |     |
| IX. BIBLIOGRAFÍA                              | 128 |



OLIVEIRA BARBOSA, K. R. 1996. Valoración económica de bienes y servicios ambientales en sistemas agrícolas de San Miguel, Petén, Guatemala. Tesis Mag.Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. xiii+138.

*Palabras claves:* agricultura migratoria, barbecho mejorado, frijol abono, función ecológica, producción de maíz, control de erosión, secuestro de carbono, fijación de nitrógeno, control de malezas, valoración económica, Petén.

## RESUMEN

La agricultura migratoria es un sistema de uso de la tierra caracterizado por 1 a 3 años de cultivo, seguidos por 4 a 20 años de barbecho. Este sistema agrícola ha sido una de las principales causas de la deforestación en América Tropical. Una de las alternativas a la agricultura migratoria es el barbecho mejorado con frijol abono, una leguminosa que fija nitrógeno simbióticamente, controla malezas y nemátodos y permite prolongar el uso del suelo. Este estudio valoró económicamente los bienes y servicios ambientales generados por los sistemas agrícolas de maíz en forma tradicional (agricultura migratoria) y en barbecho mejorado en San Miguel, Petén, Guatemala, con el objetivo de determinar cual genera mayores beneficios económicos, en términos de bienes y servicios ambientales.

El proceso de valoración económica estuvo constituido de cuatro fases, que fueron (1) identificación de los bienes y servicios ambientales generados por cada sistema agrícola, (2) jerarquización de los bienes y servicios identificados con base en su importancia económica y ecológica, (3) selección final de los bienes y servicios a ser valorados según la disponibilidad y calidad de la información y (4) valoración económica de los bienes y servicios seleccionados y del conjunto en cada sistema agrícola. Los bienes y servicios valorados en ambos sistemas agrícolas y sus respectivos métodos de valoración fueron (1) producción de maíz, con base en el precio del grano en el mercado local, (2) control de erosión, con base en el valor de reemplazo de los nutrientes perdidos, (3) secuestro de carbono, según el precio de los derechos de fijación en el mercado internacional, y (4) control de malezas, con base en los costos evitados. También se valoró la fijación de nitrógeno en el barbecho mejorado, con base en el valor de sustitución del nutriente.

El sistema agrícola de maíz en forma tradicional genera US\$65,15 ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en bienes y servicios ambientales, mientras que el maíz en barbecho mejorado genera US\$214,87 ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> por el mismo concepto. Estos resultados indican que cada hectárea de maíz en barbecho mejorado genera anualmente US\$149,72 de beneficios adicionales, de los cuales el 57% proviene de la mayor producción de maíz, el 19,9% del mayor control de erosión, el 11,7% del mayor control de malezas, el 6% de la fijación de nitrógeno y el 5,4% del mayor secuestro de carbono. En general, el barbecho mejorado genera mayores beneficios adicionales en términos de servicios (control de erosión, control de malezas, fijación de nitrógeno y secuestro de carbono) que de bienes (producción de maíz).

Este estudio ha demostrado que el maíz en barbecho mejorado genera, en el largo plazo, mayores beneficios económicos derivados de bienes y servicios ambientales, que el maíz en forma tradicional. Esto comprueba que los sistemas agrícolas cumplen con ciertas funciones ecológicas que pueden ser valoradas económicamente y que los resultados obtenidos proveen elementos esenciales para la implementación de alternativas productivas.

OLIVEIRA BARBOSA, K. R. 1996. Economic valuation of environmental goods and services in agricultural systems of San Miguel, Petén, Guatemala. Thesis Mag Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. xiii+138.

*Key words: shifting cultivation, improved fallow, velvet bean, ecological function, corn production, erosion control, carbon storage, nitrogen fixation, weed control, economic valuation, Petén.*

## SUMMARY

Shifting cultivation is a land use system in which one to three years of cropping are followed by four to twenty years of abandonment. It has been considered a major cause of tropical deforestation in America. Improved fallow with velvet bean has been promoted recently as an alternative to shifting cultivation. Some benefits of the velvet bean are nitrogen fixation, weed and nematode control, which may allow for a longer utilization of the soil. This study valued economically the environmental goods and services generated by corn under shifting cultivation and corn under improved fallow with velvet bean in San Miguel, Petén, Guatemala, in order to determine which agricultural system generates, in the long term, more economic benefits derived from environmental goods and services.

The economic valuation process was composed of four phases: (1) identification of the environmental goods and services generated by each agricultural system, (2) ranking of those environmental goods and services previously identified according to their economic and ecological importance, (3) selection of the goods and services to be valued, based on the availability and quality of the information and (4) economic valuation of each good and service and each agricultural system as a whole. The goods and services valued economically in both agricultural systems and their valuation methods were (1) corn production, based on the local market price, (2) erosion control, based on the nutrients replacement value, (3) carbon storage, according to the international prices of carbon fixing rights and (4) weed control, based on the avoided costs. Nitrogen fixing by corn under improved fallow was also valued, according to the nutrient substitution value.

Corn under shifting cultivation generates US\$65,15 ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> in environmental goods and services, while corn under improved fallow generates US\$214,87 ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. These results point out that each hectare of corn under improved fallow generates yearly US\$149,72 in additional benefits, of which 57% is derived from higher corn production, 19,9% from higher erosion control, 11,7% from higher weed control, 6% from nitrogen fixation and 5,4% from higher carbon storage. Overall, corn under improved fallow produces higher additional benefits in terms of services (erosion control, weed control, nitrogen fixing and carbon storage) than goods (corn production).

This study has demonstrated that corn under improved fallow generates in the long term higher economic benefits from environmental goods and services than corn under shifting cultivation. It assures that agricultural systems carry out certain ecological functions that may be valued economically, and that valuation outputs may provide important elements to the implementation of agricultural systems.

## ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro |  | Página |
|--------|--|--------|
| 1      | Períodos de cultivo y barbecho de la agricultura migratoria en diferentes partes del mundo   | 7      |
| 2      | Rendimiento, costo total e ingreso neto del maíz en forma tradicional en San Miguel, Petén, Guatemala (ciclos 1993-1994)                             | 10     |
| 3      | Bienes y servicios a ser valorados económicamente en los sistemas agrícolas de San Miguel y sus respectivos métodos de valoración                    | 61     |
| 4      | Implementación del barbecho mejorado en San Miguel hasta enero de 1996   | 65     |
| 5      | Implementación actual del barbecho mejorado en San Miguel  | 65     |
| 6      | Rendimientos de maíz en barbecho mejorado en áreas aledañas a San Miguel ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )                                    | 70     |
| 7      | Rendimientos de maíz en agricultura tradicional y en barbecho mejorado en San Miguel ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )                        | 74     |
| 8      | Ingreso bruto de la producción de maíz en los sistemas agrícolas de San Miguel ( $\text{US\$ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )                            | 76     |
| 9      | Ingreso neto de la producción de maíz en San Miguel ( $\text{US\$ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )   | 76     |
| 10     | Valor económico de la producción de maíz en el año 1 en la Concesión Comunitaria de San Miguel ( $\text{US\$ año}^{-1}$ )                            | 77     |
| 11     | Valor económico de la producción de maíz entre los años 2 y 15 en la Concesión Comunitaria de San Miguel ( $\text{US\$ año}^{-1}$ )                  | 78     |
| 12     | Pendientes de las parcelas de maíz en forma tradicional en San Miguel  | 82     |
| 13     | Pendientes de las parcelas de maíz en barbecho mejorado en San Miguel  | 83     |
| 14     | Cobertura del suelo en las diferentes etapas de crecimiento de los sistemas agrícolas de San Miguel  | 88     |
| 15     | Pérdida de nutrientes por erosión de suelos en los sistemas agrícolas de San Miguel, Petén, Guatemala ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )       | 96     |
| 16     | Precios económicos del N, P, K, Ca y Mg ( $\text{US\$ kg}^{-1}$ )  | 97     |
| 17     | Valor económico de la erosión de suelo en términos de nutrientes, en los sistemas agrícolas de San Miguel ( $\text{US\$ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) | 98     |
| 18     | Valor económico de la erosión de suelo en términos de  |        |

|    |   |     |
|----|---|-----|
|    | nutrientes en la Concesión Comunitaria de San Miguel (US\$ 87 ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )  | 99  |
| 19 | Secuestro de carbono en los sistemas agrícolas de San Miguel (kg ha <sup>-1</sup> )   | 103 |
| 20 | Valor económico del secuestro de carbono en los sistemas agrícolas de maíz en forma tradicional y en barbecho mejorado en San Miguel (US\$ ha <sup>-1</sup> )                               | 103 |
| 21 | Valor económico del secuestro de carbono en los sistemas agrícolas de maíz en forma tradicional y en barbecho mejorado en el área cultivada total de San Miguel (US\$ 87 ha <sup>-1</sup> ) | 104 |
| 22 | Valor económico de la fijación de nitrógeno en los sistemas agrícolas de San Miguel (US\$ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )  | 106 |
| 23 | Valor económico de la fijación de nitrógeno en la Concesión Comunitaria de San Miguel (US\$ 87 ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )   | 106 |
| 24 | Valor económico del control de malezas en los sistemas agrícolas de San Miguel (US\$ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )   | 108 |
| 25 | Valor económico del control de malezas en los sistemas agrícolas de San Miguel (US\$ 87ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )   | 109 |
| 26 | Valor económico del conjunto de los bienes y servicios de los sistemas agrícolas de San Miguel (US\$ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )   | 110 |
| 27 | Valor económico del conjunto de los bienes y servicios de los sistemas agrícolas en el área cultivada total de San Miguel (US\$ 87 ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )                     | 111 |
| 28 | Proyección económica de la valoración de bienes y servicios ambientales, a 15 años plazo, con tasas de descuento de 6%, 9% y 12%  | 117 |
| 29 | Proyección económica de la valoración de bienes y servicios ambientales en toda el área cultivada de la Concesión, a 15 años plazo, con tasas de descuento de 6%, 9% y 12%                  | 118 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura |  | Página |
|--------|--|--------|
| 1      | Distribución de la agricultura migratoria en los trópicos  | 6      |
| 2      | Cronograma del cultivo del maíz en forma tradicional, en uno, dos y tres ciclos  | 10     |
| 3      | Cronograma del barbecho mejorado maíz-frijol abono, en Chontal, Tabasco, México  | 17     |
| 4      | Localización de la Concesión Comunitaria de San Miguel   | 46     |
| 5      | Metodología para la valoración económica de bienes y servicios ambientales generados por sistemas agrícolas  | 48     |
| 6      | Funciones ecológicas de los sistemas agrícolas en San Miguel   | 51     |
| 7      | Bienes y servicios jerarquizados para ser valorados económicamente   | 52     |
| 8      | Bienes y servicios seleccionados para ser valorados económicamente   | 52     |
| 9      | Procesos de valoración de bienes y servicios ambientales en los sistemas agrícolas de San Miguel   | 60     |
| 10     | Composición del valor económico de los sistemas agrícolas de San Miguel  | 113    |
| 11     | Valor actual neto de los bienes y servicios ambientales generados por los sistemas agrícolas de San Miguel, a 15 años plazo, con una tasa de descuento anual de 9% | 120    |

## I. INTRODUCCIÓN

La agricultura migratoria se define en forma amplia como cualquier sistema bajo el cual se produce alimentos en un área por un corto de tiempo, después del cual se abandona la parcela por un periodo relativamente largo y se cultiva en otra área (FAO, 1995). Sánchez (1972) define la agricultura migratoria como un sistema de uso de la tierra caracterizado por la rotación de parcelas en vez de cultivos, con desmonte manual y quema, siembra durante 1 a 3 años y periodos de descanso de 4 a 20 años. Según Sánchez (1977), la agricultura migratoria es el sistema agrícola más abundante en el mundo; se practica en más del 44% de las tierras cultivadas. En América tropical, la agricultura migratoria es practicada en más del 46% del área agrícola total (Sánchez, 1981a).

Las áreas abandonadas son cultivadas nuevamente cuando recuperan su fertilidad o cuando no se dispone de más tierra. El desarrollo de la agricultura migratoria es una respuesta a la necesidad de alimentos, con el beneficio continuo de restablecer la fertilidad del suelo y poder mantener una capacidad productiva permanente (FAO, 1986; Ruthenberg, 1971).

Este sistema agrícola ha dado buenos resultados en control de plagas y recuperación de la fertilidad del suelo, por su periodo de descanso o rotación (FAO, 1991; 1993a). Sin embargo, con el aumento de la densidad poblacional y de la demanda de alimentos, el periodo de descanso ha disminuido cada vez más, hasta el punto que en regiones de África, Asia y Latinoamérica el suelo no logra recuperarse y la producción colapsa (FAO, 1986; Ruthenberg, 1971).

En el Área de Usos Múltiples de San Miguel, Petén, Guatemala, el cultivo predominante es el maíz (*Zea mays*), el cual se cultiva en rotación de parcelas (Arévalo, 1996). Por la creciente necesidad de tierras, el periodo de descanso ha disminuido substancialmente. Como consecuencia, la producción del maíz ha

sido cada vez menos factible. El área cultivada promedio por familia se redujo en alrededor de 12% entre 1993 y 1995 (Reyes, 1996).

Para recuperar la producción de alimentos en forma generalizada, se han propuesto varias alternativas. La mayoría incluye el uso de insumos y equipo de alto costo, como fertilizantes y maquinaria agrícola, intensificando el sistema de producción. Sin embargo, existen otras alternativas prácticas, de bajo o ningún costo adicional, que permiten la recuperación, estabilidad e incluso el incremento de la producción (FAO, 1986).

Para el área de San Miguel, el Proyecto OLAFO/CATIE ha propuesto algunas alternativas, luego de una concesión comunitaria otorgada por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), con la cual la comunidad local pretende manejar el bosque sosteniblemente, siguiendo los lineamientos propuestos por un plan de manejo (CATIE, 1994b). Según Jiménez (1995), una de las mejores alternativas para viabilizar la producción agrícola es la incorporación del barbecho mejorado con frijol abono (*Mucuna pruriens*).

El frijol abono es una leguminosa de rápido crecimiento y cobertura del suelo, que fija nitrógeno simbióticamente y controla malezas y nemátodos (Herrera, 1995). Además, se ha demostrado que al introducir el frijol abono como barbecho mejorado en la producción de maíz, la productividad incrementa y se permite el uso sostenido del suelo (Flores, 1993).

Estos beneficios adicionales son generados porque el frijol abono cumple con ciertas funciones ecológicas y produce bienes y servicios ambientales. Una función ecológica es la capacidad de un proceso ecológico para contribuir directa o indirectamente, con bienes o servicios, al bienestar del hombre o al normal funcionamiento de un ecosistema (de Groot, 1992).

Sin embargo, hasta el presente no se ha dado suficiente importancia a la valoración económica de bienes y servicios ambientales y los estudios sistematizados de las funciones ecológicas que cumplen los diversos sistemas agrícolas son todavía escasos (de Groot, 1992). Este es el caso de los sistemas agrícolas de maíz en agricultura migratoria y en barbecho mejorado con frijol abono, de los cuales solamente se conoce en forma detallada la producción de bienes, pero no la de servicios ambientales.

Solo por medio de una valoración económica de los bienes y servicios generados en cada sistema agrícola, se puede tener una idea clara de su contribución a la sociedad.

Este estudio pretende valorar económicamente algunos de los bienes y servicios ambientales generados por los sistemas agrícolas de maíz en agricultura migratoria y en barbecho mejorado con frijol abono, para poder compararlos en términos de beneficios producidos.



## II. OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Valorar económicamente los bienes y servicios generados por los sistemas agrícolas de maíz en forma tradicional y en barbecho mejorado con frijol abono, en el área de San Miguel, Petén, Guatemala.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar los bienes y servicios ambientales generados por los sistemas agrícolas de maíz en agricultura migratoria y en barbecho mejorado en el área de San Miguel, Petén, Guatemala.

Jerarquizar los bienes y servicios ambientales potencialmente valorables en términos económicos, en cada sistema agrícola.

Seleccionar los bienes y servicios ambientales a ser valorados.

Determinar el beneficio económico generado por cada bien o servicio ambiental de los sistemas agrícolas de maíz en agricultura migratoria y en barbecho mejorado y del conjunto de cada sistema, en el área de San Miguel, Petén, Guatemala.

### III. HIPÓTESIS

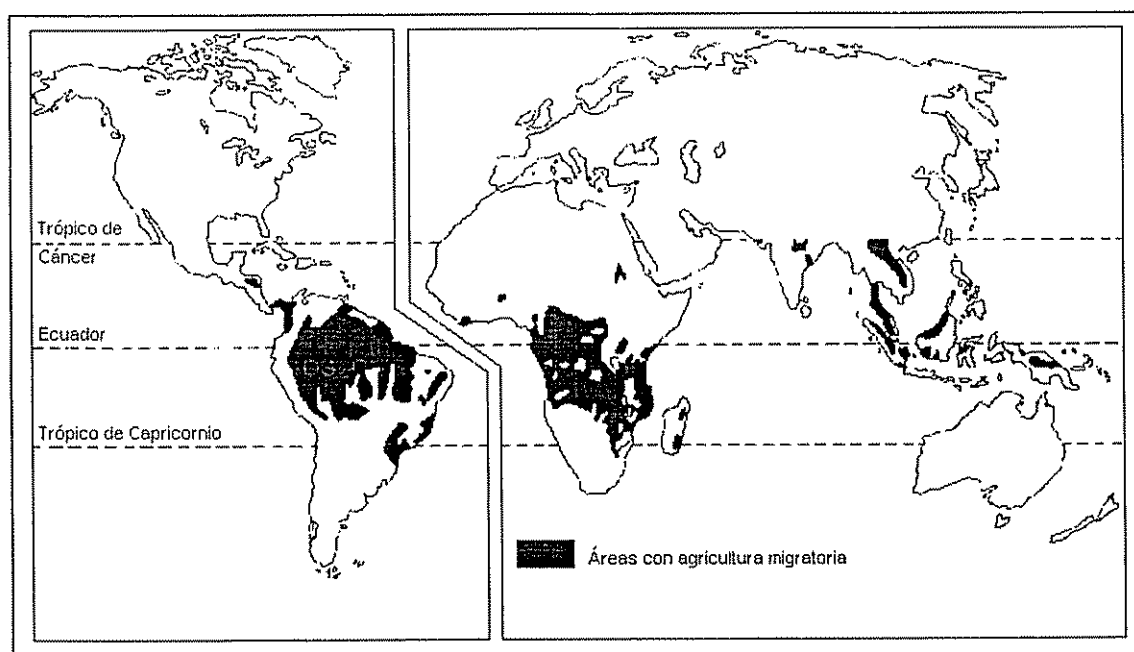
En San Miguel, el sistema agrícola de maíz en barbecho mejorado con frijol abono genera, en el largo plazo, mayores beneficios económicos derivados de bienes y servicios ambientales, que el sistema de maíz en forma tradicional.

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 1. EL SISTEMA AGRÍCOLA DE MAÍZ EN FORMA TRADICIONAL

#### 1.1. GENERALIDADES

La agricultura migratoria es el sistema agrícola más abundante en los trópicos y se extiende sobre aproximadamente 360 millones de hectáreas (ver Figura 1). En este sistema, el bosque (cobertura natural) es removido y el suelo es cultivado por pocos años. Luego las parcelas son abandonadas y entran en un proceso de regeneración natural. Después de 5 a 20 años los suelos están aptos para ser usados otra vez, se establecen nuevamente las parcelas y el ciclo se mantiene de acuerdo a la disponibilidad de tierras y presión por alimentos (Sánchez, 1981b). Este sistema agrícola es una de las principales causas de la deforestación tropical, que actualmente alcanza tasas anuales de 0,6% (Kahn y McDonald, 1994; Capistrano y Kiker, 1995). El Cuadro 1 presenta la duración de los períodos de cultivo y barbecho en diferentes partes del mundo



**Figura 1. Distribución de la agricultura migratoria en los trópicos.**  
Fuente: FAO (1986).

**Cuadro 1. Períodos de cultivo y barbecho de la agricultura migratoria en diferentes partes del mundo.**

| Lugar   | Precipitación anual (mm) | Cultivo     | Barbecho  | Período (años)<br>cultivo barbecho |       |
|---|--------------------------|-------------|-----------|------------------------------------|-------|
| <i>Zona forestal húmeda siempreverde</i>                              |                          |             |           |                                    |       |
| Sarawak   | 3800                     | arroz       | forestal  | 1                                  | >12   |
| Guatemala   | 3400                     | maíz        | forestal  | 1                                  | >4    |
| Liberia   | 2000-4500                | arroz, yuca | forestal  | 1-2                                | 8-15  |
| Sierra Leona  | 2300-3300                | arroz, yuca | forestal  | 1-5                                | 8     |
| Assam   | 2500                     | arroz, maíz | forestal  | 2                                  | 10-12 |
| Sumatra   | 2300                     | arroz       | forestal  | 2                                  | 10-16 |
| Filipinas   | 2500                     | Arroz       | forestal  | 2-4                                | 8-10  |
| Zaire   | 1800                     | arroz, maíz | forestal  | 2-3                                | 10-15 |
| <i>Zona forestal húmeda semi-caducifolia y seca (sabana derivada)</i> |                          |             |           |                                    |       |
| África occidental   | 1500-2000                | maíz, yuca  | forestal  | 2                                  | 6     |
| Uganda  | 1400                     | sorgo, maíz | gramíneas | 2-3                                | 8-15  |
| Nigeria   | 1300                     | varios      | forestal  | 2                                  | 6-7   |
| Sudán   | 1000-1300                | varios      | gramíneas | 3                                  | 12-15 |

Fuente: FAO (1986).

En San Miguel, la agricultura migratoria es la principal actividad económica de la población. Esta zona está ubicada en el Área de Usos Múltiples de la Reserva de la Biosfera Maya y forma parte, desde 1989, del sistema nacional de áreas protegidas, como Reserva de la Biosfera Maya, según el Decreto No. 5-90 del Congreso de la República de Guatemala (Arévalo, 1996).

La población de esta zona está compuesta principalmente por inmigrantes (83%), con un promedio de 6 miembros por familia, de los cuales 58% son menores de 14 años. Se cultiva predominantemente maíz (*Zea mays*) en ciclos de uno o dos años, seguidos por barbecho (Arévalo, 1996). Sin embargo es importante resaltar que se ha observado una disminución en el área cultivada por familia. En 1993, el promedio de área sembrada con maíz era de 2,9 ha por familia, con un mínimo de 0,7 ha y un máximo de 6,3 ha (Reyes, 1996). Ya en 1995, este promedio se redujo a 2,6 ha por familia, variando de 0,7 a 5,6 ha (Arévalo, 1996).

## 1.2. FASES DE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ

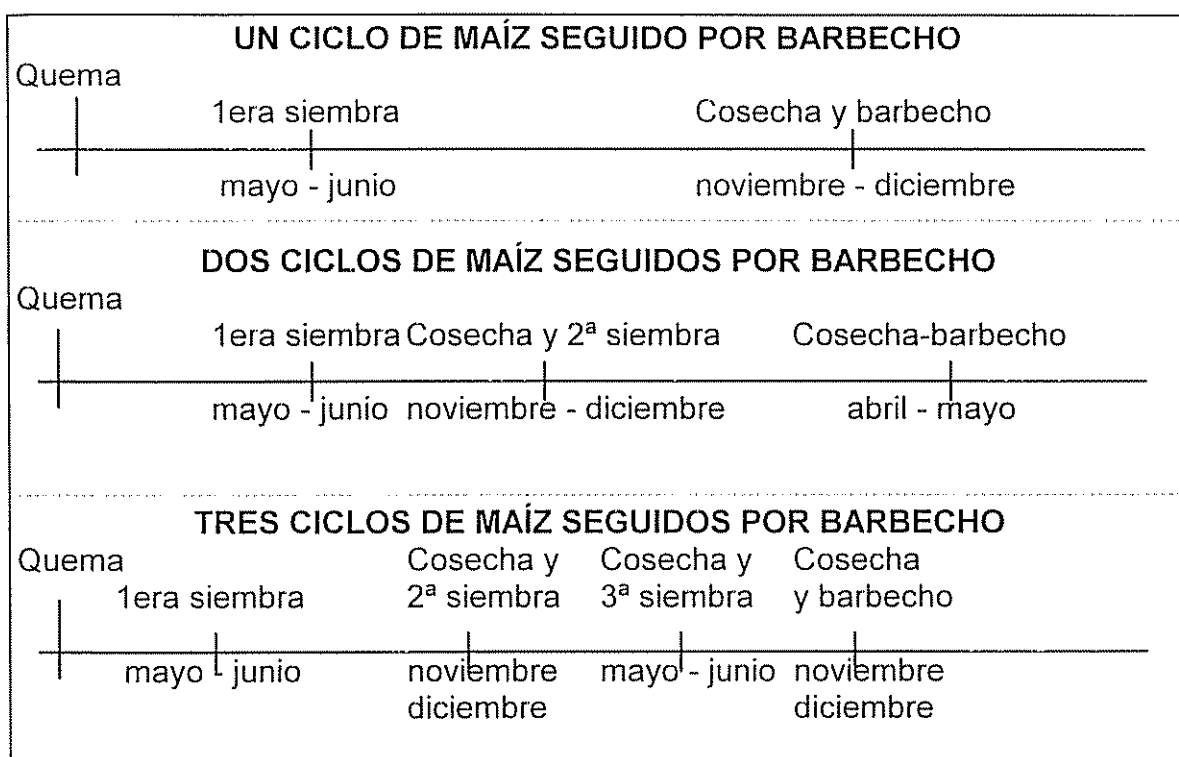
Según Arévalo (1996), las fases que componen el sistema agrícola de maíz en agricultura migratoria en San Miguel, son las siguientes:

- a. **Socola:** consiste en la eliminación con machete de brinzales y latizales del bosque, incluyendo bejucos y árboles delgados, dejando únicamente los árboles gruesos. Esta fase comienza en la segunda semana de febrero.
- b. **Tumba:** consiste en cortar la vegetación dejada en la fase de socola, entre la última semana de marzo y la segunda semana de abril. Se realiza principalmente con hacha.
- c. **Quema:** consiste en eliminar la biomasa cortada, usando fuego, entre la última semana de abril y la primera semana de mayo.
- d. **Siembra:** el maíz es sembrado en forma manual, con un chuzo con punta de metal, llamado macana. La densidad de siembra varía de 35000 a 70000 plantas ha<sup>-1</sup>. La siembra es realizada luego después de la quema.
- e. **Limpia:** consiste en eliminar malezas y rebrotes manualmente, a los 30-45 días después de la siembra.
- f. **Dobla:** consiste en quebrar la caña del maíz abajo de la primera mazorca. Aunque poco más del 20% de los agricultores realizan la dobla, su contribución en evitar la pudrición de la mazorca es significativa.
- g. **Cosecha:** se remueve manualmente las mazorcas de la planta. La mayoría de los agricultores cosechan y destuzan simultáneamente.

- h. Almacenamiento: las mazorcas son almacenadas en trojas en el campo y en la casa, aplicando *volaton (foxin)* para proteger el grano del ataque de plagas.
- i. Desgrane: consiste en separar el grano de la mazorca. Se efectúa al momento de comercializar o consumir el producto, si así se requiere.

### 1.3. CICLOS DE PRODUCCIÓN

La producción de maíz se da principalmente en uno y dos ciclos consecutivos, seguidos por barbecho. Con la producción de únicamente un ciclo, seguido por barbecho, la siembra se realiza entre mayo y junio y la cosecha entre noviembre y diciembre, siguiendo el abandono del área. En este caso el suelo es usado por un período de seis meses y luego entra en regeneración natural. Este sistema es el más practicado. Cuando se cultivan dos ciclos, el segundo es sembrado luego después de la cosecha del primero. Bajo este esquema, el suelo es usado por 12 meses. En algunos casos, se prolonga el cultivo del maíz por el tercer ciclo consecutivo. En este caso, la siembra de tercer ciclo viene luego después de la cosecha del segundo (Arévalo, 1996). El cronograma de los ciclos de producción de maíz se presentan en la Figura 2.



**Figura 2.** Cronograma del cultivo del maíz en forma tradicional, en uno, dos y tres ciclos.

Fuente: Adaptado de Arévalo (1996).

La razón por la cual el maíz es cultivado durante un solo ciclo, seguido por barbecho, es porque su rendimiento disminuye sustancialmente en el segundo y tercer ciclo consecutivo, tal y como se detalla en el Cuadro 2, que presenta el comportamiento del rendimiento, de los costos totales y de los ingresos netos.

**Cuadro 2.** Rendimiento, costo total e ingreso neto del maíz en forma tradicional en San Miguel, Petén, Guatemala (ciclos 1993-1994).

| Ciclo   | Rendimiento<br>— kg ha <sup>-1</sup> — | Ingreso bruto | Costo total<br>— US\$ ha <sup>-1</sup> — | Ingreso neto |
|---------|--|---------------|--|--------------|
| Primer  | 1889,11                                | 211,32        | 128,43                                   | 82,89        |
| Segundo | 1305,54                                | 146,05        | 118,25                                   | 27,80        |
| Tercer  | 1153,92                                | 127,90        | 115,03                                   | 12,87        |

Fuente: Arévalo (1996).

#### 1.4. CONSECUENCIAS DE LA AGRICULTURA MIGRATORIA

Según Arévalo (1996), al talar el bosque y quemar para establecer parcelas de maíz en la zona de San Miguel, la mayor parte de las especies arbóreas y de palmas no logra rebrotar y desaparecen al siguiente ciclo. En este proceso ocurre una invasión de malezas agresivas, principalmente gramíneas, que logran establecerse y competir con el cultivo. La incidencia de malezas en la parcela es el indicador que los productores usan para decidir el momento en el cual deben abandonar el área. Con la reducción del período de barbecho, gran parte de las semillas de malezas logran sobrevivir en el suelo y al regresar al área cultivada anteriormente, la invasión de malezas es más rápida.

De acuerdo a FAO (1978), la fertilidad del suelo disminuye sustancialmente después del primer ciclo de cultivo. El fósforo y el nitrógeno son los elementos más afectados. Al igual que en el caso de las malezas, al reducir el período de barbecho el suelo no logra recuperar su fertilidad y al volver a cultivar una parcela abandonada anteriormente, la infertilidad del suelo será todavía más acentuada.

Para recuperar la fertilidad del suelo, tanto en parcelas de relieve plano como en laderas, se requiere de más de 10 años. Con períodos de barbecho de 2 a 6 años, la fertilidad del suelo es un factor muy limitante en el siguiente ciclo del cultivo (Arévalo, 1996).



## **2. EL SISTEMA PROPUESTO DE MAÍZ-FRIJOL ABONO**

### **2.1. GENERALIDADES**

La adopción de prácticas agrícolas que aumenten los rendimientos de los cultivos y protejan el suelo, ha sido ampliamente promovida (UICN/PNUMA/WWF, 1991; FAO, 1986; Plucknett, 1990), principalmente por los beneficios económicos que éstas puedan generar (WWF, 1995).

El asocio o relevo de los cultivos de cobertura con los cultivos de subsistencia es una de estas prácticas (FAO, 1986), adoptada en Centroamérica hace muchas décadas. Los principales beneficios de esta práctica han sido la reducción de riesgos al productor, el incremento y la estabilidad de la producción (López y Bunch, 1993). Se sabe que el frijol abono (*Mucuna pruriens*) fue introducido en Centroamérica por las compañías bananeras en los años 20 (Jiménez, 1995). El uso de esta leguminosa ha traído muchos beneficios a los agricultores, principalmente en el asocio o relevo con maíz.

Durante cuatro décadas los agricultores de Mesoamérica han usado y transferido la tecnología del frijol abono, principalmente en Veracruz, Tabasco y Chiapas en México, Departamento de Isabal en Guatemala y en la costa norte de Honduras (Buckles, 1993).

### **2.2. BENEFICIOS DEL FRIJOL ABONO**

Flores (1993) ha demostrado varios beneficios proporcionados por la introducción del frijol abono (*Mucuna pruriens*) como cultivo de cobertura en asocio o relevo con maíz en la zona atlántica de Honduras, en donde se practica básicamente agricultura migratoria de subsistencia. Entre ellos se pueden mencionar los siguientes:

- a. Los costos de producción por unidad de área en el sistema maíz-frijol abono representan apenas el 56% de los mismos costos en el sistema tecnificado de maíz. Esta diferencia se debe principalmente al ahorro de fertilizantes y herbicidas y mano de obra en el control manual de malezas y en la preparación del suelo.
- b. Los mayores gastos en el sistema maíz-frijol abono son en mano de obra (52%), mientras que en el sistema tecnificado son insumos y servicios (39% y 32%, respectivamente). Esto se ajusta a las características de las unidades familiares campesinas, en donde la mano de obra familiar es el recurso más disponible.
- c. Aunque el sistema tecnificado produce mayores rendimientos, sus altos costos de producción hacen que la rentabilidad al productor sea un 40% menor que en el sistema maíz-frijol abono.

Holt-Giménez y Cruz (1993) encontraron que en suelos franco arenosos, las parcelas de maíz asociado con frijol abono han tenido niveles de producción iguales o superiores a parcelas de maíz con fertilizantes minerales (12-30-10). Además, el costo de fertilización del maíz asociado con frijol abono es más bajo que en la fertilización química. También se encontró que a los 50 días el frijol abono controló en un 50% las malezas, a los 90 días en un 80% y a los 108 días en un 100%. Los agricultores de Omotepe, Nicaragua, que han tenido experiencia con frijol abono, la han considerado exitosa y pretenden transferir el conocimiento adquirido a otros agricultores. Lal (1994), Wade y Sánchez (1983) y Mannering y Fenster (1983) han encontrado que al asociar el frijol abono con maíz, existe un incremento sustancial en el rendimiento de granos del cultivo y que los rendimientos obtenidos son superiores a cualquier sistema de cultivo en callejones. Este mismo incremento en el rendimiento también fue observado en el sorgo (*Sorghum* sp.), el cual aumentó en más de 15% su producción de materia seca luego del asocio con frijol abono (Sood y Sharma, 1992).

Según Sitompul (1992), la yuca en asocio con frijol abono es mucho más sostenible que la yuca en monocultivo. Este beneficio se debe a que el frijol abono es una de las leguminosas que incorporan más nitrógeno al suelo y consecuentemente logran mantener un rendimiento sostenido durante en el largo plazo (Hairiah, 1992). Además, de acuerdo con Tian (1992) el frijol abono es la leguminosa de más rápida liberación del N fijado.

El frijol abono ha sido usado en México como técnica de mejoramiento de la fertilidad del suelo y control de malezas (Buckles, 1993). Según Fujii *et al.* (1992), el control de malezas ejercido por el frijol abono se debe a la segregación de una sustancia alelopática llamada L-3,4-dihidroxifenilalanina (L-DOPA). Además, encontraron que el frijol abono es la especie alelopática de mayor prominencia entre 70 especies estudiadas a nivel de campo y laboratorio.

Soule (1993) reporta que el uso del frijol abono es una tecnología prometedora para el mejoramiento de la fertilidad del suelo y el incremento de los ingresos de los agricultores. El asocio o relevo con el frijol abono permite obtener mayores rendimientos, menor incidencia de plagas y enfermedades y una estructura biológica más estable del sistema agrícola. (Francis y Clegg, 1990; Stinner y Blair, 1990; Luna y House, 1990; Regnier y Janke, 1990).

De acuerdo a Chávez (1993), el barbecho mejorado de maíz con frijol abono es una opción que permite la sostenibilidad de la productividad del cultivo del maíz y la conservación de la fertilidad del suelo, por lo menos a mediano plazo. Los costos de producción son inferiores al 50% de los costos de producción de maíz solo y los beneficios netos son por lo menos el doble.

En las últimas décadas, los campesinos latinoamericanos han comenzado o incrementado el uso del frijol abono. Esta adopción ha sido todavía más evidente en México y Centroamérica. Los principios usados en la agricultura con frijol abono son ejemplos valiosos de prácticas agrícolas sostenibles que causan muy poco o ningún daño al ambiente (Thurston, 1994), ya que pueden

mantenerse indefinidamente, generando mayores utilidades al hombre, mayor eficiencia en el uso de los recursos y un balance con el medio ambiente que es favorable tanto al hombre como a las demás especies (Harwood, 1990).

En Centroamérica, el frijol abono ha sido usado para recuperar tierras abandonadas, además de servir como barbecho mejorado para el maíz, frijol (*Phaseolus vulgaris*), café (*Coffea arabica*), banano (*Musa* sp.) y palma africana (*Elaeis guineensis*). De acuerdo a Bunch (1994), algunos de los beneficios del frijol abono en asocio o relevo con maíz son:

- a. Produce hasta 50 toneladas  $\text{ha}^{-1}$   $\text{año}^{-1}$  de biomasa. Con esta cantidad se puede mantener altos niveles de materia orgánica en el suelo en el largo plazo, aun en el trópico húmedo.
- b. Fija hasta 150 kg N  $\text{ha}^{-1}$   $\text{año}^{-1}$ . Con esta incorporación de N, la productividad del maíz alcanza fácilmente niveles de 3 toneladas  $\text{ha}^{-1}$   $\text{año}^{-1}$ .
- c. Representa un gran ahorro de capital por la incorporación de nutrientes a bajo costo y aumenta la productividad de la tierra.
- d. Controla malezas, reduciendo el costo de producción en mano de obra y herbicidas. En algunas áreas de Centroamérica, se ha reportado que el frijol abono controla y elimina las peores malezas, como *Cyperus rotundus* e *Imperata cylindrica*.
- e. Sirve como forraje para la alimentación animal, con alto valor proteico. También puede ser usado en el consumo humano, para preparar café, chocolate, pan y tortillas. En muchos casos, el consumo del frijol abono ha resultado en una mejoría del estado nutricional de los niños.

- f. Tiene poder nematicida.
- g. Protege el suelo contra la erosión, sequía y desertificación, aun en condiciones de 35% de pendiente y precipitación de 2000 mm año<sup>-1</sup>.
- h. Elimina la necesidad de rotar las parcelas agrícolas (agricultura migratoria) en zonas desde trópico húmedo hasta semiárido.
- i. Mantiene la producción intensiva de ganado por el forraje de alto valor nutritivo.
- j. Elimina la necesidad de quemar para controlar plagas y malezas, bajando los costos y disminuyendo los riesgos de incendios.

Según los resultados de una investigación realizada por de la Cruz *et al.* (1994), comparando trece leguminosas en el control de malezas, el frijol abono fue el de más rápido crecimiento y cobertura del suelo, resultando así en la más baja densidad poblacional de *Rotboellia cochinchinensis*, con menos de 4 plantas m<sup>-2</sup>, comparadas con 90 plantas m<sup>-2</sup> en el testigo y consecuentemente el más alto rendimiento de maíz.

En el barbecho mejorado de maíz con frijol abono, la productividad del maíz aumenta a niveles comparables con los de la primera cosecha después de la tala y quema del bosque (Espinosa *et al.*, 1994). Este beneficio se ve reflejado en el incremento del área de barbecho mejorado en Chontal, Tabasco, México, que fue de 1000 hectáreas en 1985 a 4654 hectáreas en 1986. El cronograma del barbecho mejorado maíz-frijol abono en esta zona se presenta en la Figura 3.

| Cultivo                  | Barbecho mejorado                   |
|--------------------------|-------------------------------------|
| siembra de maíz (300 mm) | rotación con frijol abono (1000 mm) |
| diciembre - marzo        | mayo - noviembre                    |

**Figura 3. Cronograma del barbecho mejorado maíz-frijol abono, en Chontal, Tabasco, México.**

Fuente: Adaptado de Espinosa *et al.* (1994).

### 2.3. SOSTENIBILIDAD DEL SISTEMA

Aunque es prácticamente imposible predecir la sostenibilidad de un sistema agrícola, Costanza y Patten (1995), después de varios años de experiencia con el frijol abono, establecieron varios indicadores ecológicos y económicos que permiten determinar la sostenibilidad de este sistema. Según Pérez *et al.* (1991) el frijol abono tarda alrededor de 120 días para cubrir el 100% del suelo, cuando se siembra a 5m x 5m en asocio con cultivos perennes, siendo la leguminosa de más rápido crecimiento y cobertura. Ya a los 90 días logra cubrir el 90% del suelo. Además que el frijol abono es la leguminosa que contiene el nivel más alto de N.

Según Herrera (1995), el frijol abono reduce significativamente la población de nemátodos en el suelo. McSorley *et al.* (1994) y Rodríguez (1994) han encontrado que el frijol abono disminuye la población de *Meloidogyne arenaria* en el suelo y Weaver (1994) han determinado que los exudados del frijol abono reducen el número de individuos de *Heterodera glycines* en campos de soya. Al incubar individuos de *Meloidogyne incognita* con exudados de la raíz del frijol abono durante 24 horas, se observó una inmovilización de 30%. Además, se afectó a los géneros *Helicotylenchus*, *Pratylenchus*, *Rotylenchus* y *Tylenchorchynchus* (Espinosa *et al.*, 1994).

El frijol abono reduce substancialmente la incidencia de malezas en el cultivo del maíz, tanto en forma de cobertura como mulch (Doromedis, 1984).

Según Espinosa *et al.* (1994), un grave problema del cultivo del maíz en condiciones tradicionales es la infestación de enfermedades en el suelo, que causan síntomas de deficiencias en las plantas y generan la necesidad de aplicar fertilizantes. En las condiciones débiles y de deterioro del sistema radical del maíz, la fertilización es aprovechada por las malezas, lo cual tiene como consecuencia bajos rendimientos del cultivo. En algunos casos, los patógenos del suelo, a los que se dan relativamente poca importancia, causan los mayores problemas a la planta y hacen que sea necesario abandonar las parcelas. Uno de estos patógenos es el *Pythium* spp. El asocio o relevo del frijol abono con el maíz ha demostrado controlar efectivamente el *Pythium*. La mortalidad de plantas de maíz causada por *Pythium* ha sido calculada en hasta 75% a 95%. A lo largo de 14 años de rotación maíz-frijol abono, la mortalidad de plantas disminuyó efectivamente. Sin asocio, la mortalidad fue de 82,4%, mientras que en asocio con frijol abono la mortalidad fue únicamente de 14,8%.

De acuerdo con los resultados obtenidos por Espinosa *et al.* (1994), es evidente que la productividad del maíz en barbecho mejorado es sostenible. Durante los 14 años de experiencia en Tabasco, México, se ha observado una estable productividad del maíz de 3500 kg ha<sup>-1</sup>. En un análisis de costos y beneficios se observó que el costo de inversión por hectárea es casi 40% menor que en sistemas tecnificados en la misma zona y el costo de producción por tonelada de grano es 122% más alto en los sistemas agrícolas tecnificados. También se ha observado un efecto positivo en el control de la erosión de suelos por escorrentía (Clark, 1985; Wendt y Burwell, 1985). La estructura del suelo mejora con el frijol abono, que incorpora materia orgánica (4 a 5 T ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de materia orgánica seca) y consecuentemente de N (equivalente a 149 kg N ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), lo que confiere al suelo una mayor capacidad productiva (Espinosa *et al.*, 1994; Lal, 1991).

El frijol abono ha sido utilizado y transferido de productor a productor en Centroamérica durante casi 40 años. En la zona Atlántica de Honduras se

estima que existen unos 10000 productores que cultivan maíz en barbecho mejorado con frijol abono, aun sin ningún programa oficial de extensión y promoción de este sistema. El frijol abono puede producir anualmente alrededor de 30 toneladas  $ha^{-1}$  de biomasa, 90 a 100 kg N  $ha^{-1}$  y 1/2 pulgada de humus (Holt-Giménez y Pasos, 1994).



### 3. FUNCIONES ECOLÓGICAS

#### 3.1. GENERALIDADES

Las condiciones ambientales son reguladas gracias al funcionamiento de los componentes biótico y abiótico del medio, en términos de servicios básicos e indispensables (Villem, 1988).

La existencia y disponibilidad de estos bienes y servicios se debe a procesos ecológicos que se llevan a cabo en los ecosistemas. Estos procesos generan los bienes y servicios necesarios al mantenimiento de la vida. Con relación al tipo, tamaño y composición de los ecosistemas que llevan a cabo los procesos ecológicos, existe una gran variabilidad. Sin embargo, lo importante es recalcar que los procesos ecológicos llevados a cabo durante el funcionamiento de un ecosistema son responsables por generar los bienes y servicios de los cuales dependemos (de Groot, 1992) y que pueden tener un gran valor económico (Bingham *et al.*, 1995).

Un proceso ecológico es una acción o serie de acciones en forma continua que es determinada o fuertemente influenciada por uno o más ecosistemas (Kimball, 1971; UICN/PNUMA/WWF, 1991). La capacidad de cada proceso ecológico de generar bienes y servicios que directa o indirectamente contribuyen al bienestar humano, es conocida como función ecológica (de Groot, 1992).

Según de Groot (1992), las funciones ecológicas que generan los bienes y servicios ambientales que contribuyen a la sociedad, pueden ser agrupadas en cuatro grandes categorías. Aunque para algunas de estas funciones puede ser difícil determinar la contribución de un ecosistema en específico, dada su gran difusión, la gran mayoría depende de procesos ecológicos únicos, en ecosistemas determinados. Los cuatro grupos en que se distribuyen las funciones ecológicas son:

a. Funciones de regulación:

1. Protección contra influencias cósmicas.
2. Regulación del balance de energía local y global.
3. Regulación de la composición química de la atmósfera.
4. Regulación de la composición química de los océanos.
5. Regulación del clima local y global.
6. Regulación de la escorrentía y prevención de inundaciones.
7. Captación y almacenamiento de aguas subterráneas.
8. Prevención de erosión de suelos y control de sedimentos.
9. Formación del suelo superficial y mantenimiento de la fertilidad del suelo.
10. Fijación de energía solar y producción de biomasa.
11. Almacenamiento y reciclaje de materia orgánica y nutrientes.
12. Regulación de mecanismos de control biológico.
13. Mantenimiento de hábitats de reproducción y migración.
14. Protección de la biodiversidad.

b. Funciones de soporte:

1. Hábitat humano
2. Producción de cultivos (tierra arable).
3. Conversión de energía.
4. Recreación y turismo.
5. Protección ambiental.

c. Funciones de producción:

1. Agua.
2. Alimento humano.
3. Recursos medicinales.
4. Materia prima para ropas y uso casero.
5. Materia prima para la construcción y uso industrial.
6. Bioquímicos (que no sean medicinales ni combustibles).

7. Combustibles y energía.
8. Forraje para animales.
9. Recursos ornamentales

d. Funciones de información:

1. Información estética, espiritual y religiosa.
2. Inspiración cultural y artística.
3. Información educacional y científica.

### **3.2. FUNCIONES ECOLÓGICAS DEL MAÍZ TRADICIONAL**

#### **3.2.1. FUNCIONES DE REGULACIÓN**

##### **A. REGULACIÓN DEL BALANCE DE ENERGÍA LOCAL Y GLOBAL**

La energía solar, en forma de calor, es la única fuente de energía que ingresa a nuestro planeta (Viljee, 1988). Sin embargo, si esta energía no es absorbida y transformada, se acumula y puede causar serios problemas, como el calentamiento global. Para mantener el balance de energía, local y global, es necesario tener algún mecanismo de absorción y transformación. Aunque la fotosíntesis utiliza solamente una pequeña porción de la energía que ingresa a la Tierra (Kimball, 1971), contribuye a regular este balance.

##### **B. REGULACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ATMÓSFERA**

El desarrollo de las especies de vida depende de condiciones ambientales muy específicas. Cualquier variación substancial es suficiente para causar daños irreparables. Una de estas condiciones es la composición química de la atmósfera. Una variación en la concentración de gases atmosféricos puede

causar cambios drásticos en muchas especies. La fotosíntesis es un mecanismo que contribuye a la regulación de la composición química de la atmósfera por medio de la absorción de  $\text{CO}_2$  y liberación de  $\text{O}_2$  (de Groot, 1992).

#### **a. REGULACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ATMOSFÉRICA DE OXIGENO**

La importancia del  $\text{O}_2$  atmosférico es crucial para todos los organismos aeróbicos, pues es el gas usado en la combustión y generación interna de energía para el metabolismo. La concentración ideal del  $\text{O}_2$  atmosférico es de 21%. Si este nivel disminuye, muchas especies (principalmente animales de gran tamaño) pueden desaparecer (de Groot, 1992). Con el alto consumo de este gas por todos los organismos aeróbicos, es necesario un mecanismo que pueda regular su composición atmosférica, manteniéndola a niveles adecuados. El único proceso biológico de producción de oxígeno en cantidades considerables es la fotosíntesis (Villem, 1988).

#### **b. REGULACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ATMOSFÉRICA DE DIÓXIDO DE CARBONO**

Uno de los efectos dañinos más importantes del  $\text{CO}_2$  es la retención de la energía solar que ingresa a la atmósfera. Esta retención de calor causa un incremento en la temperatura global. En los últimos 150 años, la concentración atmosférica del dióxido de carbono ha incrementado en 12,5% (315 ppm a 355 ppm) y consecuentemente la temperatura global ha incrementado en 0,5 °C (de Groot, 1992). Con base en esto, es fácil notar la importancia de los mecanismos de regulación de la concentración atmosférica de dióxido de carbono. Aunque el maíz en forma tradicional no tiene un secuestro neto de carbono en forma de madera (fijación biológica de carbono), contribuye a la regulación de su concentración atmosférica por medio de la absorción durante el crecimiento vegetal del cultivo y del barbecho.

## **C. REGULACIÓN DEL CLIMA LOCAL Y GLOBAL**

### **a. REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA**

El balance térmico que existe en el planeta se debe al equilibrio entre la entrada y la salida de la radiación solar (calor). Algunos gases contribuyen fuertemente al rompimiento de este equilibrio. El CO<sub>2</sub> es el gas que más influye en el efecto de invernadero por su retención del calor que ingresa a la atmósfera. Por consiguiente, cualquier absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico contribuye al mantenimiento del equilibrio térmico, regulando así la temperatura local y global. Además, la cobertura vegetal evita que la radiación incida directamente sobre el suelo, disminuyendo el calentamiento de la tierra (IGBP, 1988)

### **b. REGULACIÓN DE PRECIPITACIÓN Y HUMEDAD**

La evapotranspiración es el proceso más importante en el ciclo hidrológico (de Groot, 1992), pues es como la mayor parte del agua que ingresa a un ecosistema regresa a la atmósfera. Si este proceso se interrumpe, la mayor parte del agua precipitada infiltra al suelo y no regresa a la atmósfera, disminuyendo la precipitación potencial futura.

## **D. REGULACIÓN DE LA ESCORRENTÍA Y PREVENCIÓN DE INUNDACIÓN**

De acuerdo al balance entre precipitación y evapotranspiración, una gran parte del agua que precipita sobre el continente puede irse a los océanos por escorrentía superficial o por infiltración y flujos subterráneos. Cuando la escorrentía superficial es excesiva, ocurren problemas de erosión de suelos y sedimentación. La cobertura vegetal, en términos de altura, estructura y densidad, es un parámetro que determina la capacidad de prevenir la escorrentía y reducir las inundaciones (de Groot, 1992).

## **E. CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

La vegetación cumple con el importante papel de captar y almacenar agua subterránea por medio de la cobertura vegetal, que evita la escorrentía, facilitando la infiltración y evitando la incidencia directa de la luz solar sobre el suelo, disminuyendo la evaporación del agua. Por este mecanismo, el agua se hace disponible en el subsuelo y sirve en períodos de sequía, fluyendo hacia los ríos o moviéndose verticalmente por los capilares del suelo, manteniendo la humedad y permitiendo el crecimiento vegetal. Además, se almacena y puede ser aprovechada por medio de pozos (artesianos y semiartesianos).

## **F. PREVENCIÓN DE LA EROSIÓN Y CONTROL DE SEDIMENTOS**

Como fue mencionado anteriormente, la escorrentía del agua causa erosión de suelos. La erosión es problemática principalmente por la remoción de la capa fértil (superficial) del suelo, en términos de nutrientes y materia orgánica, volviéndolo menos productivo. Además, es un medio para la diseminación de malezas y enfermedades de cultivos. Pero uno de los mayores problemas de la erosión es la sedimentación que ocurre luego de que el suelo erosionado se decanta en los ríos. Esta sedimentación es la responsable por grandes catástrofes, como las inundaciones en Bangladesh (IGBP, 1988).

## **G. FIJACIÓN DE ENERGÍA SOLAR Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA**

Solamente las plantas y algunas bacterias son capaces de transformar energía abiótica en materia orgánica y otros elementos vitales. Por esta razón, a estos organismos se les llama autótrofos o productores primarios y son la base esencial para casi todas las formas de vida. La biomasa producida por las plantas es consumida por otros organismos (llamados heterótrofos). De esta forma, todos los organismos heterótrofos dependen de la energía fijada en la

biomasa producida por los autótrofos. Este proceso de transferencia de energía es la base estructural para la formación de ecosistemas (Villemé, 1988).

La fotosíntesis es el principal proceso de fijación de energía solar y producción de biomasa. De esta forma, el CO<sub>2</sub> atmosférico y el agua (H<sub>2</sub>O) del suelo se combinan en la formación de carbohidratos, bajo influencia de la luz solar (Kimball, 1971).

De la energía solar que llega a las plantas, alrededor de 50% es usado para la evapotranspiración y el 50% restante es dedicado a la producción primaria bruta (PPB). Por las actividades del metabolismo y por pérdida de calor, la PPB se reduce a la mitad o menos, resultando en la productividad primaria neta (PPN). La PPN es destinada al consumo por parte de los herbívoros, que a su vez son consumidos por otros animales. Por medio de este mecanismo, existe una dependencia completa de los organismos heterótrofos con relación a las plantas (de Groot, 1992).

## **H. MANTENIMIENTO DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y GENÉTICA**

El desarrollo de las especies depende de las condiciones que existan en el ecosistema. Una de las condiciones de mayor importancia es la provisión de hábitat y alimento. En su ecosistema natural, las especies viven en equilibrio por la disponibilidad de estas condiciones. Además, las interrelaciones que se dan hacen con que las especies ahí existentes puedan mantenerse. Es importante notar que al aumentar el grado de intervención en un ecosistema, las condiciones vitales para el mantenimiento de las especies tienden a desaparecer. De esta forma, para cumplir con esta función es necesario que un ecosistema intervenido se encuentre en las condiciones más cercanas posibles al ecosistema natural.

### **3.2.2. FUNCIONES DE SOPORTE**

#### **A. PRODUCCIÓN DE CULTIVOS**

En esta función se observa la capacidad del ambiente natural por proveer suelo cultivable para la producción de plantas y animales. La mayor parte del suelo cultivable en el planeta actualmente esta en uso, totalizando alrededor de 1,4 billones de hectáreas para cultivos y 3 billones de hectáreas para la producción animal (de Groot, 1992). La producción de cultivos es un factor crucial en la oferta de alimentos y otros bienes, como plantas ornamentales, madera, etc.

#### **B. CONVERSIÓN DE ENERGÍA**

La conversión de energía ya fue discutida brevemente en la función de fijación de energía solar y producción de biomasa. Por medio de la fotosíntesis, las plantas transforman la energía solar, que no puede ser aprovechada directamente por los organismos heterótrofos, en energía química, que son de gran utilidad por estos organismos. Además de la energía química (alimento directo), la fotosíntesis produce energía que puede ser aprovechada en forma de calor, como la leña para combustión.

### **3.2.3. FUNCIONES DE PRODUCCIÓN**

Antes de describir las funciones de producción que son llevadas a cabo por el sistema agrícola de maíz en agricultura migratoria, es necesario hacer una distinción entre el tipo de producción considerada en este capítulo. La producción de un ecosistema puede ser en forma extracción directa (silvestre) o cultivada (domesticada). Para efectos de las funciones de producción se tomarán únicamente la forma directa o sea, la producción en su estado natural,



sin intervención humana. Una vez que existe intervención humana, la función del ecosistema es proveer medios para la producción y no la producción en sí.

Además, es importante resaltar que la producción directa puede darse en recursos bióticos (productos de plantas y animales) y abióticos (minerales). La principal diferencia es su renovabilidad. Así que las funciones de producción de recursos abióticos pueden ser perpetuas si se explotan en forma sostenible. Los recursos abióticos solo pueden ser reciclados.

## **A. PRODUCCIÓN DE OXIGENO**

La gran importancia del oxígeno fue discutida en la función de regulación de la composición química de la atmósfera. Como se ha observado, la producción de oxígeno es de vital importancia para la respiración (combustión) de los seres aeróbicos. En el sistema agrícola de maíz en agricultura migratoria existe el componente cultivo, que produce oxígeno por medio de su fotosíntesis, además del componente barbecho, que tiene un crecimiento vegetativo todavía mayor y por ende su contribución en producción de oxígeno.

### **3.2.4. FUNCIONES DE INFORMACIÓN**

#### **A. INFORMACIÓN EDUCATIVA Y CIENTÍFICA**

Una de las principales razones a las cuales se atribuye el gran deterioro ambiental que existe actualmente es la falta de conocimiento sobre el funcionamiento de nuestro entorno. Es necesario conocerlo en forma detallada para poder planear nuestras actividades de forma que causen poco o ningún impacto negativo (de Groot, 1992). El sistema agrícola de maíz en agricultura

migratoria cumple con la importante función de información, al servir como laboratorio vivo para fines educativos y científicos.

### **3.3. FUNCIONES ECOLÓGICAS DEL MAÍZ-FRIJOL ABONO**

Por sus propias características, el barbecho mejorado de maíz con frijol abono lleva a cabo varios procesos ecológicos que generan bienes y servicios (funciones ecológicas) importantes. Las funciones ecológicas del barbecho mejorado de maíz con frijol abono se describen a continuación.

#### **3.3.1. FUNCIONES DE REGULACIÓN**

##### **A. REGULACIÓN DEL BALANCE DE ENERGÍA LOCAL Y GLOBAL**

Aunque la proporción de la energía solar que ingresa a la tierra, absorbida y transformada en energía química por la fotosíntesis, sea muy baja (Villem, 1988), el crecimiento vegetal del maíz y del frijol abono representa una forma de captura de la energía que entra a la atmósfera, contribuyendo al mantenimiento del balance local y global de energía.

##### **B. REGULACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ATMÓSFERA**

El crecimiento vegetal, por medio de la fotosíntesis, contribuye a la captura de gases atmosféricos, principalmente carbono y oxígeno y consecuentemente a la regulación de la composición química de la atmósfera (Kimball, 1971). Aunque la mayor parte de la biomasa formada por la fotosíntesis se descompone y los gases capturados en la fotosíntesis son liberados, una pequeña proporción es retirada del sistema en forma de bienes, como el caso del grano del maíz.

## **a. REGULACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL OXIGENO ATMOSFÉRICO**

La concentración normal del oxígeno atmosférico es de 21%. Cualquier nivel inferior a este causaría problemas para los animales mayores. Por otro lado, un incremento en la concentración del oxígeno atmosférico en apenas 4% causaría la combustión incluso de la vegetación verde (de Groot, 1992). El único mecanismo productor de oxígeno a la atmósfera es la fotosíntesis (Kimball, 1971; Villee, 1988) En este caso, cualquier contribución en la producción de oxígeno debe ser considerada.

## **b. REGULACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DEL DIÓXIDO DE CARBONO ATMOSFÉRICO**

El CO<sub>2</sub> es el gas de mayor importancia en el efecto de invernadero. Incrementos en la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico causarían un calentamiento global, además de efectos menores (IGBP, 1988). La fotosíntesis es un importante proceso en la captura del CO<sub>2</sub> atmosférico y por lo tanto el crecimiento vegetal del maíz y del frijol abono contribuyen a la regulación de la concentración del dióxido de carbono atmosférico.

## **C. REGULACIÓN DEL CLIMA LOCAL Y GLOBAL**

### **a. REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA**

El mecanismo de regulación de la temperatura ya fue discutido anteriormente. En este proceso, es de vital importancia la absorción de CO<sub>2</sub> y la cobertura del suelo. El barbecho mejorado de maíz con frijol abono mantiene el suelo cubierto durante todo el año y consecuentemente contribuye a la regulación de la temperatura local y global, evitando el calentamiento del suelo. Además, absorbe el CO<sub>2</sub> atmosférico en la fotosíntesis.

## **b. REGULACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y HUMEDAD**

Solamente una pequeña porción del agua existente en el planeta forma parte del ciclo hidrológico continental, controlado por la energía solar, por medio de la evapotranspiración, formación de nubes, condensación, nieve y sublimación. Sin embargo, esta porción es la responsable por mantener todas las formas de vida existentes. Alrededor del 60% del agua que se precipita en los continentes regresa a la atmósfera por evapotranspiración. Esto indica la importancia de la cobertura vegetal en la formación de nubes y consecuentemente precipitación. Un ejemplo ha sido la eliminación de la cobertura vegetal en partes de la Cuenca del Amazonas y la exposición directa del suelo a la radiación solar, que resultó en una reducción de la precipitación en 20% (de Groot, 1992).

## **D. REGULACIÓN DE LA ESCORRENTÍA Y PREVENCIÓN DE INUNDACIONES**

La vegetación, en términos de estructura, altura y densidad, es el mecanismo que logra controlar la escorrentía, evitando la erosión de suelos. Además, los sedimentos llevados por el agua causan inundaciones en las partes más bajas de la cuenca. El barbecho mejorado, al mantener el suelo cubierto durante todo el año, evitando así la exposición del suelo al agua de lluvia, cumple la función de prevención de la escorrentía y prevención de inundaciones.

## **E. CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

El agua que no es evaporada o transportada por la escorrentía, infiltra en el suelo. Esta infiltración es importante porque sirve como depósito de agua para el flujo hacia los ríos en períodos de sequía. Además, mantiene la tabla de agua, que garantiza el crecimiento vegetal en períodos de sequía. La vegetación es uno de los parámetros más importantes en el proceso de captación y almacenamiento de aguas subterráneas. Este proceso ocurre al evitar la

escorrentía excesiva, facilitar la infiltración y evitar la evaporación de agua del suelo. Por la densidad de la vegetación, el barbecho mejorado contribuye grandemente a la captación de agua de lluvias y a su almacenamiento en el subsuelo, cumpliendo con la función de captación y almacenamiento de aguas subterráneas.

## **F. PREVENCIÓN DE LA EROSIÓN DE SUELOS Y CONTROL DE SEDIMENTOS**

El suelo es uno de los recursos de mayor fragilidad e importancia. La producción de alimentos y otros cultivos depende principalmente de la capacidad productiva del suelo. Se conoce que la mayor concentración de nutrientes disponibles a la producción de cultivos está en el suelo superficial, que al mismo tiempo es afectado directamente por la erosión, tanto por escorrentía como por vientos (de Groot, 1992). Los esfuerzos por conservar el suelo evitando la erosión son todavía escasos. En estas condiciones, la vegetación cumple el papel más importante en evitar la erosión del suelo, así como captar sedimentos erosionados de áreas aledañas.

## **G. FORMACIÓN DE SUELO SUPERFICIAL Y MANTENIMIENTO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO**

La formación primaria del suelo se da por el proceso de meteorización (génesis) de la roca madre. Sin embargo, la acumulación de la materia orgánica es de crucial importancia en la formación de características vitales del suelo, como la estructura y la fertilidad. De esta forma, la vegetación, por su producción de materia orgánica, juega un importante papel en la formación del suelo. Además, contribuye en la intemperización de las rocas por el crecimiento radical y por el mantenimiento de la humedad en el suelo (Buol *et al.*, 1991). Se ha demostrado que el frijol abono, en asocio o relevo con el maíz, incrementa el contenido de materia orgánica en el suelo, contribuyendo así a la formación del suelo

superficial. También se ha demostrado que el frijol abono incorpora nitrógeno (y probablemente fósforo) al suelo, manteniendo e incluso mejorando su fertilidad.

## **H. FIJACIÓN DE ENERGÍA SOLAR Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA**

Como se ha discutido anteriormente, la fijación de energía solar por medio de la fotosíntesis es el único mecanismo viable a niveles considerables para producir biomasa, la base de la vida de los organismos heterótrofos. La biomasa producida por el barbecho mejorado de maíz con frijol abono, como resultado de la fijación de la energía solar, es de gran importancia en el mantenimiento de estos organismos (heterótrofos).

## **I. ALMACENAMIENTO Y RECICLAJE DE MATERIA ORGÁNICA**

De acuerdo a de Groot (1992), el normal funcionamiento del planeta depende del reciclaje continuo de 30 a 40 de los 90 elementos químicos existentes en la naturaleza. De estos elementos, los más importantes a la vida son llamados nutrientes, de los cuales el carbono (C), el hidrógeno (H), el oxígeno (O), el nitrógeno (N), el fósforo (P), el potasio (K), el calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el azufre (S) son los que se requieren en mayor cantidad. También están el cloro (Cl) y el sodio (Na), en conjunto con micronutrientes como hierro (Fe) y Zinc (Zn). La disponibilidad de estos elementos es un factor limitante a muchas formas de vida.

Por otro lado, el flujo de estos nutrientes se da principalmente en la materia orgánica, en la cual son capturados y reciclados, haciéndose disponibles. Por consiguiente, la materia orgánica es de suma importancia en el ciclo de estos nutrientes, principalmente del C, O y H.

## **J. REGULACIÓN DE MECANISMOS DE CONTROL BIOLÓGICO**

La capacidad de un sistema agrícola en mantener un balance entre procesos biológicos es de suma importancia. Basta conocer los efectos catastróficos de los desequilibrios ecológicos, tanto en la cadena alimenticia como en las poblaciones. Se ha demostrado que el frijol abono, cuando es asociado con maíz, ejerce un fuerte control de malezas y nemátodos. En el caso de un sistema agrícola, en donde la tendencia a romper los equilibrios biológicos es fuerte, la capacidad de controlar poblaciones y procesos bióticos tiene gran relevancia.

## **K. MANTENIMIENTO DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y GENÉTICA**

El mantenimiento de la biodiversidad depende de muchas interrelaciones entre las especies, además de la influencia externa sobre sus ecosistemas. Al proveer espacio y alimento (entre otras condiciones vitales para el desarrollo) a las especies, un ecosistema cumple la función de mantener la biodiversidad. En el caso del barbecho mejorado, aunque sea un ecosistema cultivado, se proveen las condiciones para el desarrollo de muchas especies, al mismo tiempo en que se evita la interferencia externa que resultaría en depredación de estas especies, como el caso del uso de pesticidas (herbicidas, insecticidas, etc.).

### **3.3.2. FUNCIONES DE SOPORTE**

#### **A. PRODUCCIÓN DE CULTIVOS**

Al igual que en el caso del sistema agrícola de maíz en agricultura migratoria, el ecosistema provee las condiciones para el desarrollo de los componentes (maíz y frijol abono) en el caso del maíz en asocio o relevo. Además, no solo se cumple esta función, sino que las condiciones en que esta ocurre tienden a

mejorar durante el tiempo, por medio de varios beneficios al suelo, como el incremento en la fertilidad, el control de la erosión, la incorporación de materia orgánica, etc.

## **B. CONVERSIÓN DE ENERGÍA**

La importancia de la capacidad de convertir energía en forma difusa (no aprovechable por el hombre, como elementos minerales y radiación solar) en energía aprovechable por el hombre ya fue discutida anteriormente. Esta función también debe ser considerada como de soporte, ya que solamente es factible en grandes plantaciones, en que se dan condiciones ambientales adecuadas para esta conversión de energía. Los ejemplos más importantes son la producción de leña (madera) y energía bioquímica. Esta última se da en forma de combustibles, como los hidrocarburos obtenidos de varias especies de *Euphorbia*, *Hevea brasiliensis*, *Zea mays*, *Sorghum bicolor*, *Saccharum officinarum* y *Manihot esculenta*. En la actualidad, Brasil produce de 200 a 250 millones de litros de alcohol de caña de azúcar anualmente, que sirve como carburante para vehículos automotores (de Groot, 1992).

### **3.3.3. FUNCIONES DE PRODUCCIÓN**

#### **A. PRODUCCIÓN DE OXIGENO**

La importancia vital del oxígeno fue discutida anteriormente. Vale resaltar que el rango entre los límites superior e inferior de la concentración de oxígeno atmosférico que permite el desarrollo de la vida es muy pequeño y fácil de ser sobrepasado. La fotosíntesis es el único proceso natural de producción de oxígeno (Villem, 1988). La capacidad de un ecosistema de contribuir con oxígeno a la atmósfera depende de la producción neta de oxígeno, que a su vez depende del balance entre la producción y la descomposición de materia



orgánica. Para conocer la contribución del ecosistema es necesario medir su producción neta de oxígeno, reflejada en la producción neta de materia orgánica. Sin embargo, cualquier exceso de materia orgánica indica una producción neta positiva de oxígeno.

## **B. COMBUSTIBLE Y ENERGÍA**

### **a. MATERIA ORGÁNICA**

Además de la biomasa leñosa, la hojarasca y los residuos de cosecha pueden ser usados en la combustión y generar energía. Los residuos de cultivos, principalmente los más fibrosos, pueden ser usados como fuente de energía, tanto en quema como en producción de biogás (fermentación anaeróbica). De esta forma, por su alta producción de materia orgánica, el barbecho mejorado de maíz con frijol abono cumple con la función de producción de combustible y energía por medio de la materia orgánica.

## **3.3.4. FUNCIONES DE INFORMACIÓN**

### **A. PROVISIÓN DE INFORMACIÓN EDUCATIVA Y CIENTÍFICA**

El entendimiento del funcionamiento de los procesos naturales y de los componentes de nuestro ambiente contribuye a la formación de una actitud más responsable de la gente hacia la forma de tratar el ambiente para sus fines. Incluso se conoce que este entendimiento es de vital importancia para la sostenibilidad de nuestras actividades. Además de la investigación básica, los estudios en ecosistemas naturales y semi-naturales proveen información esencial para este entendimiento (de Groot, 1992).

## 4. VALORACIÓN ECONÓMICA DE BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES

### 4.1. GENERALIDADES

De acuerdo a Windevoxhel (1992), la valoración económica de bienes y servicios ambientales fue desarrollada inicialmente con base en los índices financieros o económicos más básicos. Pero en la actualidad este enfoque ha sido desplazado por otros que buscan estimar en forma más precisa la contribución de los bienes o servicios a la sociedad, para poder establecer comparaciones entre escenarios y servir de base en la toma de decisiones, ya que una deficiente valoración de los beneficios ambientales puede generar un uso inadecuado de los mismos, resultando en consecuencias catastróficas al medio ambiente (Pimentel *et al.*, 1994).

Según Gregersen *et al.* (1986), los bienes y servicios ambientales pueden ser valorados de forma directa o indirecta, de acuerdo a sus características propias y dependiendo básicamente de su oferta y demanda en el mercado abierto. Este enfoque de valoración se refiere al beneficio directo o indirecto de los bienes o servicios ambientales.

Este mismo enfoque es propuesto por Aylward y Barbier (1991) y Barbier *et al.* (1994), quienes definen beneficios directos como bienes y beneficios indirectos como servicios. Además, incluyen a los atributos (beneficios indirectos de no uso), como beneficios intangibles relacionados a valores intrínsecos.

Según Barbier *et al.* (1994), los servicios representan usos indirectos de un ecosistema. Este uso puede contribuir con la producción económica directamente o protegiendo la actividad y propiedad. Para valorar económicamente la contribución a la producción económica, se debe usar el valor del cambio en la productividad que se obtuvo como resultado. Para valorar la protección a la actividad y propiedad se deben usar enfoques de gastos

preventivos, costos evitados o costos de reemplazo. Con relación a la valoración de bienes, es importante observar que los precios al productor o consumidor o sea, el valor de mercado, cuando disponibles, son los más importantes. De todos modos, Hartwick (1992) menciona que los bienes y servicios ambientales deben ser analizados según sus beneficios y costos a la sociedad, ya que solo así se refleja su real contribución.

## 4.2. VALORACIÓN DE BENEFICIOS Y COSTOS

Esta valoración trata de definir todos los costos, directos e indirectos, incurridos en una determinada actividad y los beneficios generados, para poder estimar su contribución neta a la sociedad (Bronfenbrenner *et al.*, 1990). Sin embargo, antes de valorar económicamente los beneficios y costos, es necesario una evaluación física de cada parámetro que los genera (Windevoxhel, 1992).

Los beneficios y costos incurridos en la generación de bienes y servicios ambientales se detallan a continuación.

- a. Beneficios directos: son aquellos percibidos con el proceso de generación del bien o servicio ambiental, con carácter de uso directo (Hartwick, 1992).
- b. Beneficios indirectos: son aquellos que no se observan en forma objetiva en la generación de los bienes y servicios ambientales y son agrupados como atributos (Aylward y Barbier, 1991).
- c. Costos directos: son los relacionados a la generación de los bienes o servicios en sí, observados en el sistema agrícola, que generalmente tienen características de costos financieros (Windevoxhel, 1992).
- d. Costos indirectos: son los que se originan como efecto ajeno a la producción y por lo general sus efectos son percibidos afuera de los límites del sistema que

los genera. Según Bronfenbrenner *et al.* (1990), los costos indirectos también son conocidos como externalidades.

Aunque el análisis de beneficio-costos puede tener ciertas dificultades al momento de realizar estimaciones físicas de la generación de bienes y servicios ambientales, el proceso en sí de valoración económica estima en forma confiable su contribución a la sociedad (Hanley, 1992). Sin embargo es necesario determinar todos los componentes y sus dimensiones físicas antes de valorar los costos y beneficios, ya que muy comúnmente se omiten o subvaloran varios beneficios o costos debido a su gran complejidad (Schulze, 1994).

#### **4.3. VALORACIÓN DIRECTA**

De acuerdo a Johansson (1992) y Shechter (1991), la valoración directa de bienes y servicios ambientales produce estimados muy cercanos a la realidad, puesto que es un enfoque objetivo que estima costos y beneficios de bienes o servicios con precios de mercado.

Según Windevoixhel (1992), los diferentes enfoques para valorar directamente los bienes y servicios ambientales son (a) cambios en productividad, (b) costos evitados y (c) costos de reemplazo. Además, menciona que en casos de imperfecciones de mercado, en donde los precios no son determinados por la oferta y demanda, se deben hacer ajustes por medio de precios de sombra (Bronfenbrenner *et al.*, 1990). También es necesario adecuar los resultados según una tasa de descuento que refleje el comportamiento de la moneda en que se ha hecho la valoración.

#### **4.4. VALORACIÓN INDIRECTA**

Cuando se valoran bienes o servicios que no tienen oferta y demanda establecida o sea, sin precios de mercado, es necesario estimar el precio o valor

de bienes o servicios sustitutos relacionados. Según Windevoxhel (1992), algunos de los principales métodos de valoración indirecta son (a) costo de oportunidad, (b) cambio en el valor de la tierra (valoración hedónica) y (c) diferencial de salarios.

También se han propuesto evaluaciones contingentes, que buscan estimar valores por medio de encuestas. Sin embargo, este tipo de valoración tiene muchos inconvenientes, como respuestas no confiables por la naturaleza de la información proveída, colección de datos hipotéticos del ejercicio, comportamiento de cada encuestado frente a la situación, definición de la variable dependiente y el valor del tiempo (Hanley, 1989; Hanley y Ruffell, 1993; Hanley *et al.*, 1995; Hartwick, 1992; Johansson, 1992).

#### **4.5. BIENES Y SERVICIOS VALORADOS ECONÓMICAMENTE**

Se han hecho muchos intentos de valorar económicamente los bienes y servicios generados por diversos ecosistemas. Sin embargo, aparentemente no se ha otorgado la real importancia a la mayor parte de ellos (Barbier *et al.*, 1993). A los bienes, en forma independiente, se puede atribuir el valor económico con relativa facilidad, dependiendo de su transabilidad y precio en el mercado. Pero a muchos de los servicios es difícil determinar su contribución exacta y luego medir el valor económico de esta contribución. Algunos ejemplos de los servicios ambientales valorados económicamente con mayor frecuencia están descritos a continuación.

##### **A. CONTROL DE EROSIÓN**

La erosión es uno de los principales factores que limitan la producción mundial de alimentos (Kendall y Pimentel, 1994). La erosión puede causar una disminución de 19 a 29% en la producción agrícola mundial en los próximos 25

años (FAO, 1986). Se estima que 20 millones de hectáreas de tierra pierden la capacidad productiva a cada año. Entre 1985 y 2000, las pérdidas por erosión pueden imposibilitar un total de 540 millones de hectáreas de suelos agrícolas. Actualmente existen, en total,  $12 \times 10^6$  ha de suelos deteriorados por la erosión (Pimentel *et al.*, 1976; Pimentel *et al.*, 1995).

La tasa promedio de formación de suelos tropicales es de 2,5 a 3 toneladas por hectárea por año (Buol *et al.*, 1991). Sin embargo, es muy común observar tasas de erosión de 50 toneladas por hectárea por año en estos países (Myers, 1989). Para recuperar este problema es necesario adicionar fertilizantes, lo que reduce los beneficios netos. Además, se pierde efectividad. El nitrógeno, por ejemplo, cuando aplicado en suelos erosionados solo tiene un tercio de la eficiencia que se obtiene al aplicarlo en suelos no erosionados (Myers, 1989).

Algunos casos extremos con relación a erosión de suelos son los Andes y la cuenca del Río Amarillo, en China, con 100 toneladas de suelo erosionado por hectárea por año. Otros casos peores son algunas áreas en Nepal, con 200 a 500 toneladas por hectárea por año. A nivel global, la erosión promedio es de 53 toneladas por hectárea por año, con 6, 12 y 138 toneladas por hectárea por año en África, Latinoamérica y Asia, respectivamente. La degradación de los suelos en India afecta 1,75 millones de kilómetros cuadrados, más de la mitad de su área total. En este país, el 60% de la superficie de producción agrícola sufre de graves problemas de erosión. El efecto principal de estas pérdidas es la disminución de la productividad (Myers, 1989; Brady, 1990; Lal *et al.*, 1990; Pimentel y Hall, 1984).

En Etiopía, por ejemplo, la pérdida anual de mil millones de toneladas reduce la producción de granos en un millón de toneladas, lo que representa dos tercios de todo el alimento enviado a Etiopía en forma de ayuda en 1985. La erosión en India representa la pérdida de 8,4 millones de toneladas de nitrógeno, fósforo y potasio, además de otros nutrientes importantes. Para reponer estos nutrientes en forma de fertilizante químico, a precios de mercado, se requiere alrededor de

US\$6 mil millones. La productividad de maíz en los suelos pobres del trópico se reduce en promedio de 30% a 70% y hasta más en algunos casos. En algunas áreas de México, la productividad de maíz cayó de 3,8 toneladas a 0,6 toneladas por hectárea y en Nigeria de 6,5 toneladas a 1 tonelada por hectárea, como resultado de la erosión. Otro gran impacto de la erosión es la sedimentación de represas hidroeléctricas. La electricidad producida en estas represas representa el 45% de la electricidad total producida en los países en desarrollo. La tasa promedio de sedimentación es de 2% anual, lo que puede ser usado como un promedio constante. Esto representa que entre 1985 y 2000 se habrá reducido en un tercio la capacidad de estas represas. Con únicamente 1% de tasa de sedimentación, un valor muy conservador, se dejaría de producir 148 mil gigawatts hora de electricidad al año 2000. Para producir este equivalente en energía termoeléctrica, se requeriría 37 millones de toneladas de petróleo, que a un precio de US\$80 por tonelada o US\$12 por barril, constituiría un costo directo, solo en combustibles, de US\$3 billones, sin considerar los demás costos de producción de energía termoeléctrica (Myers, 1989).

Los costos de la erosión de suelos agrícolas en Java fueron estimados entre US\$350 millones y US\$415 millones, representando casi el 4% de la producción económica de este país (Serafy y Lutz, 1989).

Se ha estimado que en la cuenca del Río Agno, en Filipinas, la agricultura ha causado pérdidas por la erosión de suelos que exceden los US\$6,6 millones por año. Estos costos son suficientemente altos para contrarrestar los beneficios generados por las actividades productivas implementadas en la zona (Briones, 1986).

En Costa Rica, la erosión de suelos en áreas agrícolas es responsable por la pérdida de nutrientes que corresponden a 14% del valor de la cosecha obtenida en todo el país. Esto llega a ser alarmante al estimar que la rentabilidad de la agricultura en este país no sobrepasa el 30% (Pimentel *et al.*, 1995).

La pérdida de suelos agrícolas no resulta únicamente en la disminución de la producción agrícola, sino que también afecta la disponibilidad de empleo y eventualmente contribuye al éxodo rural (Singh y Singh, 1995). Es necesario mantener y recuperar la capacidad productiva de los suelos, evitando la erosión, para poder lograr una agricultura más sostenible (Benbrook, 1990; Kingil, 1990; Pimentel, 1993).

## **B. RECICLAJE DE NUTRIENTES**

El uso de los residuos de cosecha y estiércol de ganado como fuente de energía (quema) por la escasez de leña, causa una disminución en la producción de los cultivos. Se estima que en África por lo menos 400 millones de toneladas métricas de estiércol y residuos de cosechas son quemados a cada año. Cada tonelada representa 50 kg adicionales en la producción de granos, si fuera dejada en el suelo como fertilizante. Esta necesidad de energía representa la pérdida de 20 millones de toneladas métricas de granos por año. Esta cantidad alimentaría a 100 millones de personas durante el año. Para comprar estos granos en los mercados mundiales, se requiere de alrededor de US\$3 mil millones. Esto podría cubrir tres veces los costos de establecer plantaciones forestales para producir la madera equivalente al estiércol y a los residuos quemados (Myers, 1989).

Se requiere entre US\$900 millones y US\$1,3 mil millones para suplir esta madera anualmente, en un plazo de 10 años. De esta forma, se ahorraría US\$1,9 mil millones al usar los recursos en forma adecuada. En el plazo de 10 años, el ahorro representaría US\$19 mil millones, que podría ser dedicado a resolver otros problemas regionales. Esto comprueba la idea de que los recursos naturales deben ser vistos como un componente y no una restricción, en el proceso de desarrollo y que las funciones ecológicas, en términos de bienes y servicios, tienen una gran importancia en la contribución económica,



generando beneficios que pueden ser perdidos al evitar que estas funciones sean llevadas a cabo (Myers, 1989). De acuerdo a Pearce *et al.* (1988), el uso de un determinado recurso solo puede ser justificado si produce beneficios superiores a su costo económico. En este caso, el uso de los residuos de cosecha para la generación de energía no se justifica económicamente, pues produce mayores beneficios cuando dejados en el suelo.

### **C. PRODUCCIÓN DE BIOMASA**

En Indonesia se ha valorado los daños de la tala, deforestación y degradación de la regeneración natural boscosa entre 1979 y 1982, generando sumas superiores a los US\$3 billones por año, lo que representa más del 3% del PIB anual de este período (Myers, 1989). Estos daños son observados en forma de erosión de suelos, contaminación de ríos y sedimentación de cuencas, representando un costo ambiental de la actividad productiva llevada a cabo en el bosque deteriorado (Pearce, 1989).

La madera y la biomasa en general representa más del 90% de la oferta de energía primaria en Malawi, Nepal y Tanzania y entre 70% y 90% en Etiopía, Guinea-Bissau, Níger, Paraguay y Sudan (Pearce y Markandya, 1989). En la región de León y Chinandega, Nicaragua, el 50% de la población urbana y el 90% de la población rural usa la leña como fuente de energía para cocinar (Bianco, 1994).

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en el Área de Usos Múltiples de San Miguel, en la Reserva de la Biosfera Maya, municipio de San Andrés, departamento de Petén, entre las coordenadas 17°07'40' y 17°45'25' longitud norte y 89°53'30' y 90°03'27' longitud oeste. El área está 47 km al norte de ciudad Flores (CATIE, 1994b). Esta zona pertenece a la vertiente del Golfo de México, en la cuenca del Río Usumacinta, subcuenca del Río San Pedro (Arévalo, 1996). El área de estudio se presenta en la Figura 4.

Su extensión es de 7039 ha (CATIE, 1994a), con altitudes que varían de 80 a 300 m.s.n.m. El área tiene dos rutas de acceso, que son la carretera balastada de Santa Elena a San Andrés y la carretera asfaltada de Santa Elena a Tikal, seguida por una carretera balastada y un camino de terracería, solamente transitable en época seca (Arévalo, 1996).

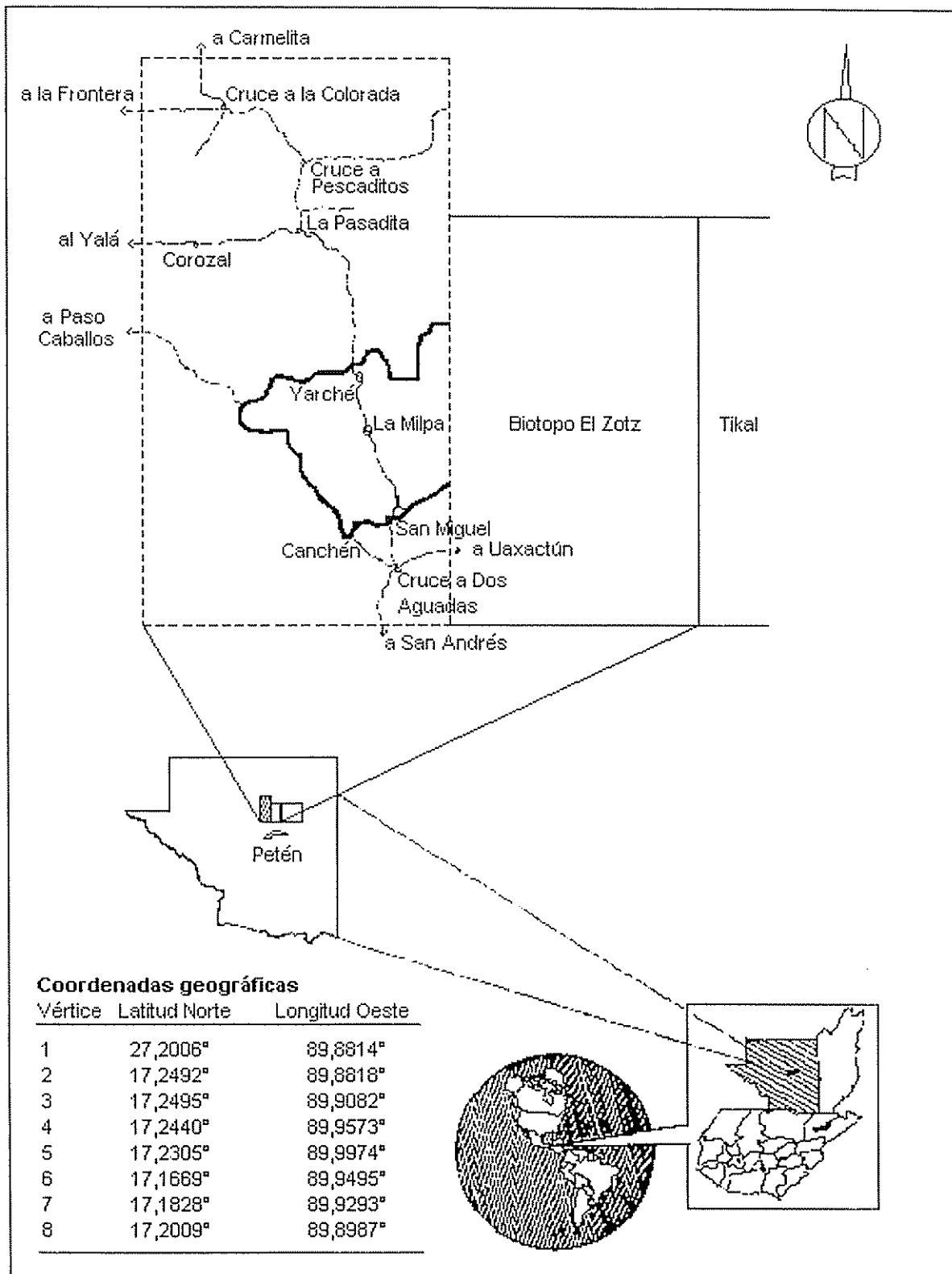


Figura 4. Localización de la Concesión Comunitaria de San Miguel.

## 2. METODOLOGÍA DE VALORACIÓN ECONÓMICA

En la Sección IV se han discutido ampliamente los conceptos involucrados en el análisis económico, así como los enfoques y métodos empleados en la valoración económica de bienes y servicios ambientales. Aquí se explicará la metodología a ser empleada en este caso, que fue desarrollada por el Proyecto OLAFO/CATIE y ha sido probada en diferentes casos, como la evaluación económica de manglares (Windevoxhel, 1992) y bosques (Sención, 1996).

La metodología para valorar las funciones ecológicas, en términos de bienes y servicios, en los sistemas agrícolas de maíz tradicional y en barbecho mejorado con frijol abono, consiste de cuatro fases, que se mencionan a continuación.

- FASE I      Identificación de bienes y servicios generados por los sistemas agrícolas.
  
- FASE II     Jerarquización de los bienes y servicios con potencial para ser valorados económicamente.
  
- FASE III    Selección de los bienes y servicios a valorar.
  
- FASE IV    Determinación del valor económico de los bienes y servicios seleccionados.

Un diagrama secuencial detallado de la metodología para valorar económicamente las funciones ecológicas, en términos de bienes y servicios, se presenta en la Figura 5.

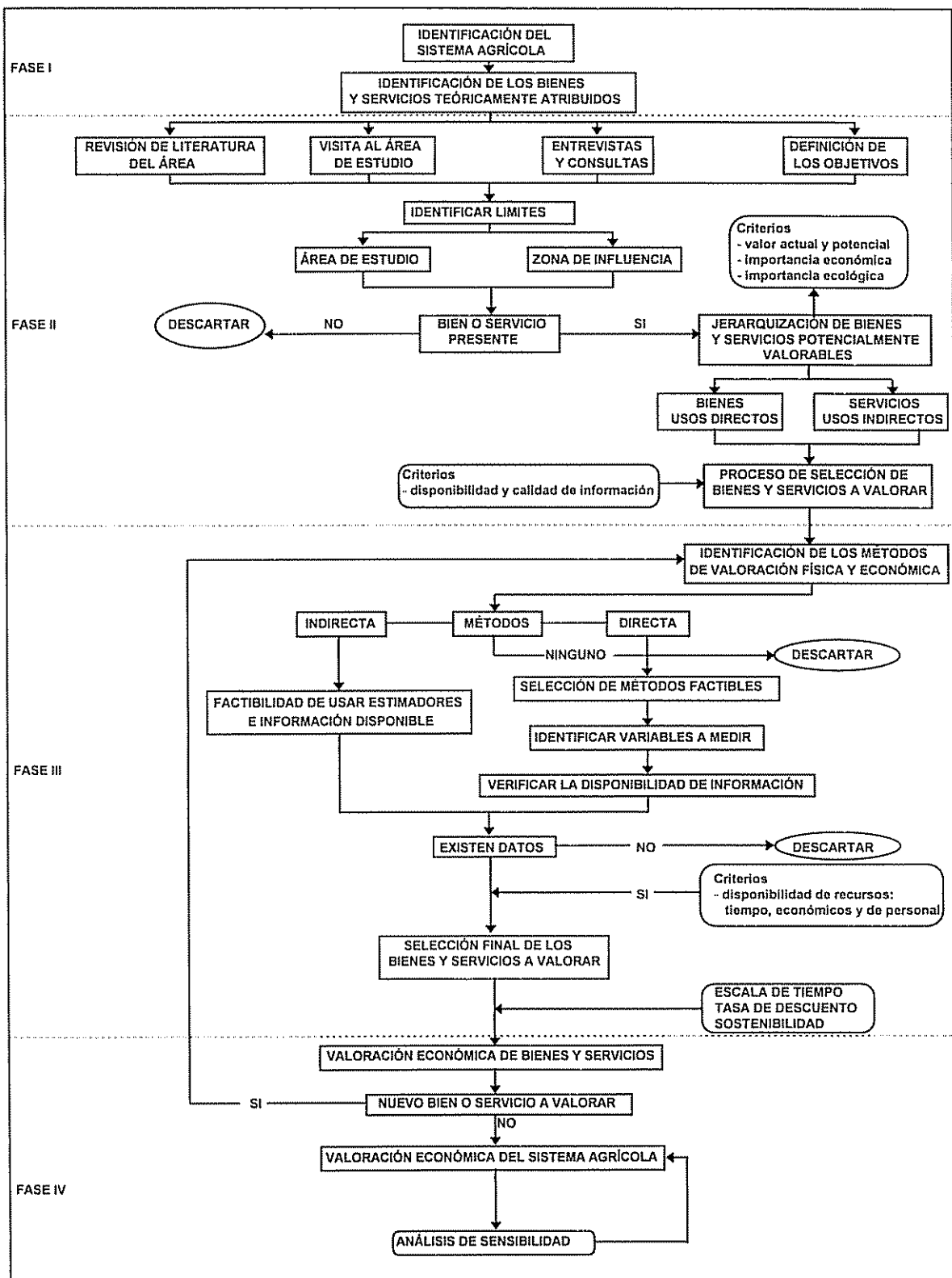


Figura 5. Metodología para la valoración económica de bienes y servicios ambientales generados por sistemas agrícolas.

Fuente: Windevowhel (1992).

## **2.1. IDENTIFICACIÓN DE BIENES Y SERVICIOS**

Una descripción detallada de las funciones ecológicas llevadas a cabo por los sistemas agrícolas de maíz tradicional y en barbecho mejorado con frijol abono, fue presentada en la sección IV.

En esta fase se planifica el estudio, determinando los bienes y servicios relacionados con las funciones ecológicas llevadas a cabo por cada sistema agrícola, analizando su comportamiento biológico y contribución a la sociedad.

Los bienes y servicios identificados provienen de las funciones ecológicas de cada sistema agrícola, que se presentan en la Figura 6.

## **2.2. JERARQUIZACIÓN DE LOS BIENES Y SERVICIOS**

Una gran parte de los bienes y servicios ambientales generados por los sistemas agrícolas no tienen potencial para ser valorados económicamente, dadas sus propias características de cuantificabilidad, relevancia e importancia en el estudio. Por esta razón es necesario jerarquizarlos y definir cuales son los bienes y servicios que potencialmente podrán ser valorados en términos económicos.

Para jerarquizar los bienes y servicios, se deben considerar los siguientes criterios:

- a. Valor actual y potencial en la zona;
- b. Importancia relativa en la economía;
- c. Importancia ecológica en el ecosistema.

Los bienes y servicios jerarquizados, con potencial para valoración económica, se presentan en la Figura 7.

### **2.3. SELECCIÓN DE LOS BIENES Y SERVICIOS A VALORAR**

Luego de jerarquizar los bienes y servicios con potencial para la valoración económica, es necesario analizarlos y definir la disponibilidad y calidad de la información relacionada. En esta fase se requiere de una extensa revisión de la información existente, en forma de bibliografía y experiencias en el área.

Posteriormente, cada bien o servicio potencialmente valorable debe ser evaluado de acuerdo a metodologías específicas, adecuadas a sus condiciones propias. Las metodologías a ser empleadas en la valoración de cada bien o servicio se discutirían más adelante.

Los bienes y servicios seleccionados previamente para ser valorados económicamente en cada sistema agrícola, se presentan en la Figura 8.

### **MAÍZ EN FORMA TRADICIONAL**

REGULACIÓN DEL BALANCE DE ENERGÍA LOCAL Y GLOBAL  
REGULACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ATMÓSFERA  
REGULACIÓN DEL CLIMA LOCAL Y GLOBAL  
REGULACIÓN DE LA ESCORRENTÍA Y PREVENCIÓN DE INUNDACIÓN  
CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS  
PREVENCIÓN DE LA EROSIÓN Y CONTROL DE SEDIMENTOS  
FIJACIÓN DE ENERGÍA SOLAR Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA  
MANTENIMIENTO DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y GENÉTICA  
PRODUCCIÓN DE CULTIVOS  
CONVERSIÓN DE ENERGÍA  
PRODUCCIÓN DE OXIGENO  
INFORMACIÓN EDUCATIVA Y CIENTÍFICA

### **MAÍZ EN BARBECHO MEJORADO**

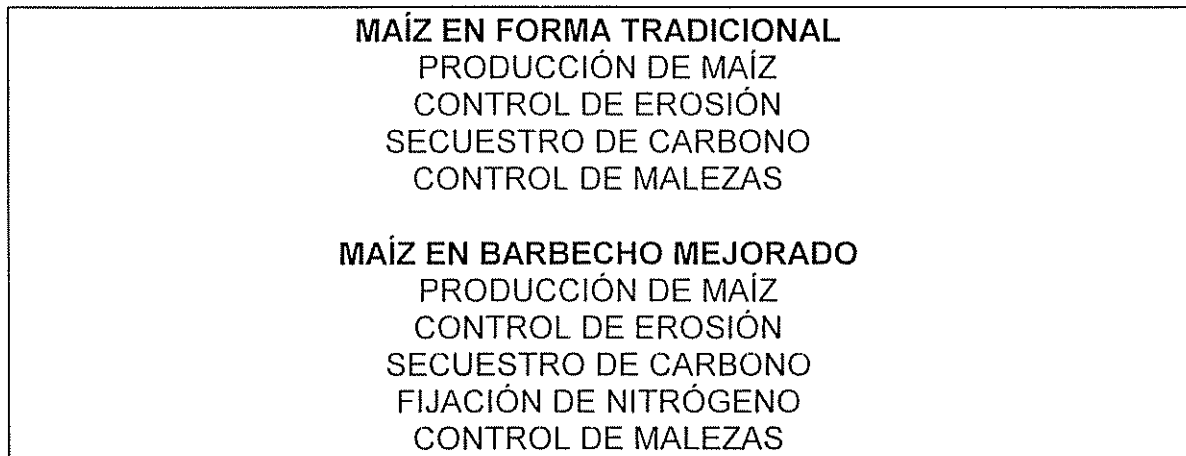
REGULACIÓN DEL BALANCE DE ENERGÍA LOCAL Y GLOBAL  
REGULACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ATMÓSFERA  
REGULACIÓN DEL CLIMA LOCAL Y GLOBAL  
REGULACIÓN DE LA ESCORRENTÍA Y PREVENCIÓN DE INUNDACIONES  
CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS  
PREVENCIÓN DE LA EROSIÓN DE SUELOS Y CONTROL DE SEDIMENTOS  
FORMACIÓN DE SUELO SUPERFICIAL Y MANTENIMIENTO DE LA  
FERTILIDAD DEL SUELO  
FIJACIÓN DE ENERGÍA SOLAR Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA  
ALMACENAMIENTO Y RECICLAJE DE MATERIA ORGÁNICA  
REGULACIÓN DE MECANISMOS CONTROL BIOLÓGICO  
MANTENIMIENTO DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y GENÉTICA  
PRODUCCIÓN DE CULTIVOS  
CONVERSIÓN DE ENERGÍA  
PRODUCCIÓN DE OXIGENO  
COMBUSTIBLE Y ENERGÍA  
PROVISIÓN DE INFORMACIÓN EDUCATIVA Y CIENTÍFICA

**Figura 6. Funciones ecológicas de los sistemas agrícolas en San Miguel.**





**Figura 7. Bienes y servicios jerarquizados para ser valorados económicamente.**



**Figura 8. Bienes y servicios seleccionados para ser valorados económicamente.**

## 2.4. VALORACIÓN ECONÓMICA

Los métodos de valoración para cada bien o servicio ambiental están relacionados con sus características intrínsecas (Barbier *et al.*, 1993). Sin embargo, para reflejar el comportamiento real de todo el proceso de generación de bienes y servicios, es necesario analizar los costos incurridos y beneficios

generados, así que independientemente del método de valoración, es importante mantener el enfoque de costos y beneficios (Hartwick, 1992).

A continuación se describen los métodos de valoración económica para los bienes y servicios seleccionados y mencionados anteriormente.

#### **2.4.1. PRODUCCIÓN DE MAÍZ**

La producción de maíz será valorada físicamente en términos de producción de granos y luego económicamente en términos de precios en el mercado internacional. De esta forma, se estima el valor de la producción obtenida en cada sistema agrícola y la diferencia entre el sistema tradicional y el de barbecho mejorado podrá entonces ser atribuida al frijol abono.

Sin embargo, la práctica de la agricultura en forma tradicional involucra un gran número de factores que deben ser tomados en cuenta. Uno de los principales es el historial del área, ya que las parcelas agrícolas provienen de bosque natural o de bosque en regeneración. El bosque en regeneración (guamil) también se divide de acuerdo a su edad (joven, intermedio y viejo). Los suelos de bosque natural y de guamil viejo son los más productivos, pues tienen mayor fertilidad y menor incidencia de malezas. Los suelos de guamil intermedio no generan rendimientos satisfactorios, pues todavía no han logrado recuperar su fertilidad y existe un banco de semillas de malezas en el suelo. Por último, los suelos de guamil nuevo (recién abandonados), son básicamente improductivos y pueden soportar únicamente la regeneración natural (Arévalo, 1996).

Así que es necesario considerar el historial del área en que se está cultivando, para no establecer comparaciones entre áreas de características distintas. Además, es necesario considerar la pendiente en que se está cultivando, puesto que los suelos en ladera tienen menor profundidad y contenido de materia

orgánica y por consiguiente menor fertilidad. Los suelos planos de bajura son los más profundos, de mayor productividad (Collinet, 1990).

Luego de estas observaciones, es importante mencionar que para proyectar los resultados en el largo plazo, es necesario una serie de datos relativamente prolongados.

Sin embargo, estas series prolongadas de datos no existen para San Miguel. Se conocen los datos de rendimiento desde 1993, lo que da un margen muy corto para hacer proyecciones. Será necesario estimar el comportamiento del rendimiento en las parcelas de acuerdo a experiencias ajenas, adaptándolas a las condiciones del área de estudio.

Los datos de rendimiento para el maíz en forma tradicional serán tomados de Reyes (1996). Lo necesario es involucrar los factores mencionados anteriormente en los rendimientos finales, de forma que se pueda dar una idea del comportamiento de las parcelas en el tiempo. Para esto, será necesario analizar los datos de rendimiento tomados por Reyes (1996) y correlacionarlos con las variables de cada parcela (origen de la parcela: bosque primario, guamil viejo, guamil intermedio o guamil nuevo; tipo de suelo, pendiente, manejo, etc.) Como resultado se espera un rendimiento del maíz en forma tradicional que pueda ser comparado con el mismo rendimiento del maíz en barbecho mejorado.

El objetivo de toda esta valoración física es determinar el diferencial (positivo o negativo) de rendimiento obtenido al introducir el frijol abono como barbecho mejorado en el sistema agrícola de producción de maíz y finalmente valorarlo en términos económicos.

Se espera que el diferencial entre los dos sistemas agrícolas, en términos económicos, se deba a la introducción del frijol abono, ya que los demás

componentes y características de los sistemas agrícolas permanecen los mismos

De todos modos, no solo es importante lograr un valor de rendimiento físico de la producción de maíz en cada sistema, sino que también poder determinar un rango de rendimientos, dentro del cual oscila la producción en cada una de las condiciones mencionadas inicialmente (suelo, origen, manejo, etc.).

#### 2.4.2. CONTROL DE EROSIÓN

La determinación de la erosión en una parcela puede ser realizada de dos formas. La primera es con mediciones físicas, al establecer recolectores de suelo y simular la precipitación pluviométrica. Esto implica el establecimiento de parcelas experimentales en el área, lo que se hace impráctico. La segunda forma es por medio de estimaciones usando ecuaciones elaboradas específicamente para tal propósito. En este caso, se requieren de varios datos sobre el suelo, el clima, los cultivos y las prácticas de conservación de suelo.

Las principales ecuaciones para medir la erosión de suelos son USLE (Universal Soil Loss Equation) y WEPP (Water Erosion Prediction Project). La primera requiere de cinco variables, cada una compuesta de varios parámetros. La segunda es todavía más compleja (Elliot *et al.*, 1991; Pierce, 1991).

Para estimar la erosión aplicando la USLE, es necesario conocer:

- El régimen pluviométrico, en términos de cantidad e intensidad de lluvias;
- La erosibilidad del suelo, determinada por la textura y el contenido de materia orgánica;
- La pendiente del suelo, en términos de porcentaje y longitud.
- El manejo de los cultivos, incluyendo cultivos de cobertura;

- Las prácticas de conservación del suelo.

Al analizar los dos sistemas agrícolas, la diferencia que se espera obtener dependerá principalmente del contenido de materia orgánica del suelo y del manejo del cultivo, con cultivo de cobertura. Los demás parámetros deberán ser constantes para ambos casos.

Paralelamente se analizarán datos de pérdida de suelos por erosión en parcelas de maíz en forma tradicional y en asocio/relevo con frijol abono en otras áreas de estudio, para generar una idea del comportamiento que se puede esperar en San Miguel.

Una vez determinado la pérdida física de suelo, el método de valoración de control de erosión más indicado en este caso es el de costos evitados (valor de reemplazo), que refleja el valor económico de los nutrientes perdidos con la erosión o sea, el costo que se incurriría al reemplazarlos con fertilizantes minerales. Para esto será necesario verificar el precio económico (precio internacional) de los fertilizantes que correspondan a los nutrientes perdidos.

Sin embargo, es necesario mencionar que el valor económico del suelo no se limita únicamente al valor de reemplazo en términos de nutrientes. Al perder suelo por erosión se pierde también la capacidad productiva y la forma más adecuada de valorarla es determinar el tiempo necesario para que el suelo pierda por completo la capacidad productiva y el costo de adquisición de otra área que genere los rendimientos obtenidos anteriormente. Luego, se atribuye el costo de la nueva parcela a la erosión, durante el tiempo que ha tomado para bajar los rendimientos a cero. Así se obtiene el costo anual de la erosión en términos de la capacidad productiva. Pero en el caso de San Miguel, la tierra es propiedad del gobierno y no tiene un precio que representa su valor real. Por esta razón, se valorará la erosión en términos de nutrientes perdidos.

### 2.4.3. SECUESTRO DE CARBONO

El secuestro de carbono atmosférico en madera y materia orgánica es uno de los principales beneficios ambientales de los ecosistemas tropicales (de Groot, 1992), incluyendo a los sistemas agrícolas. Ello contribuye a la regulación de la concentración del carbono atmosférico (Villem, 1988) y por ende contrarresta los efectos negativos de la liberación de CO<sub>2</sub>, principalmente por quema de combustibles fósiles (IGBP, 1988).

Para valorar físicamente el secuestro de carbono en los sistemas agrícolas, es necesario determinar el contenido de materia orgánica inmovilizada en el suelo, ya que gran parte de la materia orgánica producida se oxida y no llega a consistir en un secuestro neto de carbono (Vincent, 1982). Una vez determinado el contenido de materia orgánica inmovilizada en el suelo, es necesario estimar la cantidad de carbono en la materia orgánica. Se conoce que el contenido de carbono en la materia orgánica es de 50% (Fassbender y Bornemisza, 1987). Luego de determinar el contenido de materia orgánica en el suelo, se puede estimar el contenido de carbono secuestrado y por consiguiente valorarlo económicamente con base en los precios actuales de los derechos de fijación de carbono en el mercado internacional.

### 2.4.4. FIJACIÓN DE NITRÓGENO

El aporte de nitrógeno al suelo por parte del frijol abono ocurre por la incorporación de biomasa. Una parte del N de la biomasa proviene de la fijación simbiótica.

El proceso de fijación ocurre por una simbiosis del frijol abono con bacterias del género *Rhizobium*, que asimilan nitrógeno atmosférico, dejando nódulos con alto contenido de nitrógeno en el suelo. Al descomponerse, estos nódulos liberan el nitrógeno en forma asimilable para la planta. Sin embargo, es importante

resaltar que este proceso simbiótico ocurre únicamente entre las plantas hospederas y las cepas específicas de la bacteria. Cuando la planta hospedera es introducida, difícilmente existirá la cepa específica para realizar la simbiosis. En este caso, es necesario inocularla al suelo, de forma que se haga disponible para la planta.

La fijación de nitrógeno puede ser valorada físicamente por métodos químicos que son relativamente costosos y elaborados o al determinar la cantidad total de nitrógeno en la biomasa y la proporción del nitrógeno fijado simbióticamente en el nitrógeno total. Luego de determinar la fijación neta de nitrógeno, es necesario valorarla económicamente con base en el costo de sustitución en términos de fertilizantes. Para esto será necesario tomar el precio económico del nitrógeno.

#### **2.4.5. CONTROL DE MALEZAS**

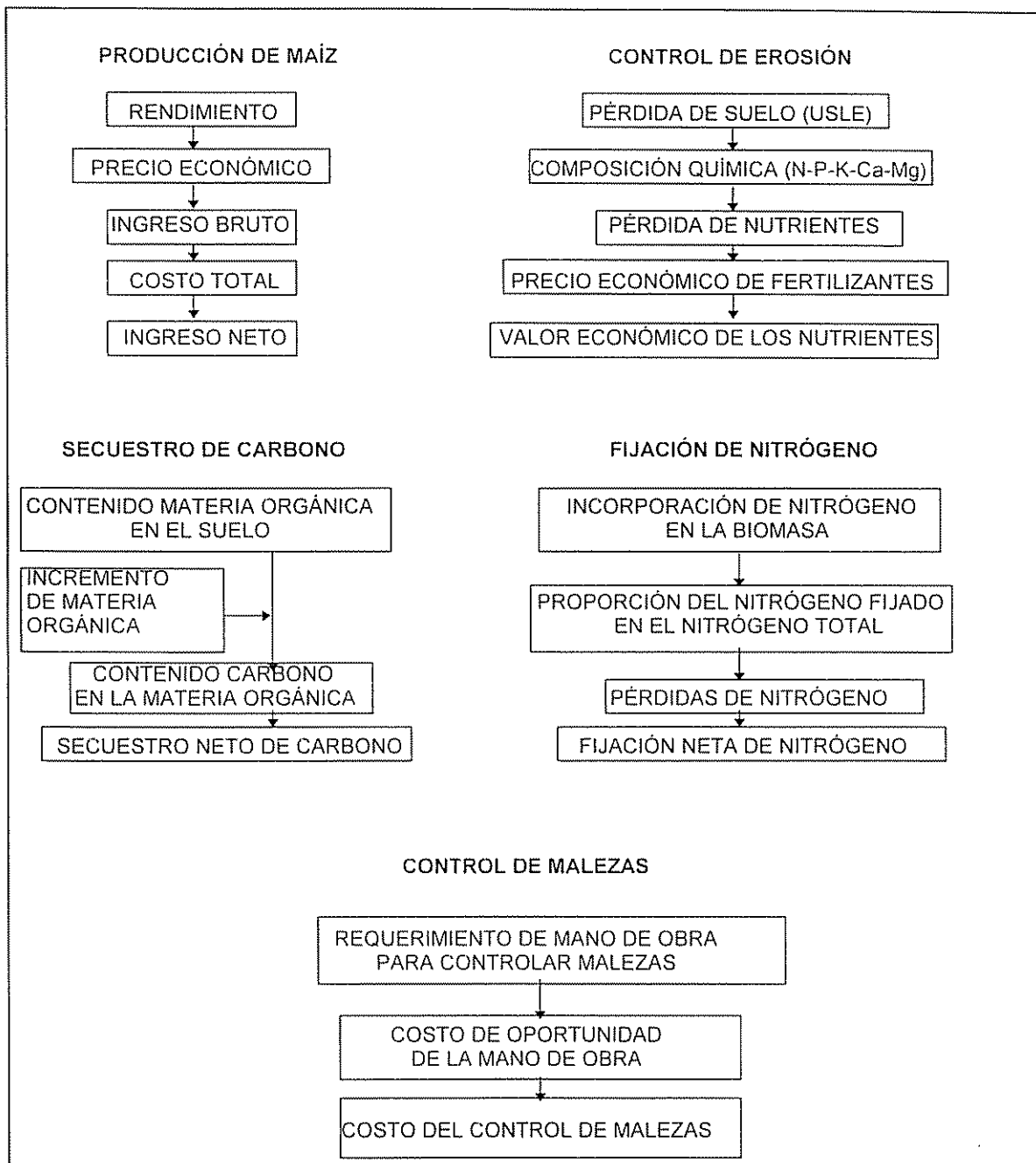
El control de malezas representa uno de los rubros de mayor costo en la producción de maíz (Flores, 1993). Cualquier función ecológica que contribuya a disminuir estos costos tiene, consecuentemente, una gran importancia económica en el sistema agrícola. El control de malezas, como servicio, puede ser valorado en términos de costos evitados o sea, su valor económico es igual al ahorro que este servicio representa en el sistema agrícola.

Se ha reportado que los gastos relacionados con la mano de obra llegan a ser más del 50% de los costos totales de producción (Flores, 1993), de los cuales el control de malezas representa una gran parte. Para determinar el valor económico del control de malezas generado por los sistemas agrícolas como servicio ambiental, será necesario determinar los costos económicos incurridos en mano de obra en el sistema tradicional y su ahorro con el servicio ambiental generado. Este ahorro representa un costo evitado y se define como el valor económico del servicio ambiental.

Existe un estudio detallado de los costos de producción del sistema de maíz en forma tradicional, realizado por Reyes (1996). En este estudio, se determinaron los rubros de todas las actividades realizadas durante la producción de maíz, incluyendo el control de malezas. Será necesario determinar estos mismos rubros para el sistema de producción de maíz en barbecho mejorado con frijol abono. La diferencia existente entre los dos rubros será atribuida al control de malezas efectuado por el frijol abono.

La Figura 9 presenta un esquema de los procesos de valoración de los bienes y servicios ambientales generados por los sistemas agrícolas de San Miguel.





**Figura 9. Procesos de valoración de bienes y servicios ambientales en los sistemas agrícolas de San Miguel.**

El Cuadro 3 presenta una síntesis de los bienes y servicios a ser valorados económicamente en los sistemas agrícolas de San Miguel y sus respectivos métodos de valoración.

**Cuadro 3. Bienes y servicios a ser valorados económicamente en los sistemas agrícolas de San Miguel y sus respectivos métodos de valoración.**

| Bien o servicio       | Sistema agrícola        | Método de valoración                 | Variables a medir   |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------------------|---|
| Producción de maíz    | Tradicional/B.Mejorado  | Precio de mercado                    | Rendimientos, costos totales y precio internacional del grano   |
| Control de erosión    | Tradicional/B. Mejorado | Costo de reemplazo                   | Pérdida de suelo, pérdida de nutrientes y precio internacional de los fertilizantes                                   |
| Secuestro de carbono  | Tradicional/B. Mejorado | Precio de mercado (voluntad de pago) | Contenido de materia orgánica, contenido de carbono y precios de los derechos de fijación en el mercado internacional |
| Fijación de nitrógeno | B. Mejorado             | Costo de sustitución                 | Fijación simbiótica y precio internacional de los fertilizantes   |
| Control de malezas    | Tradicional/B. Mejorado | Costo evitado                        | Requerimiento de mano de obra y costo económico del jornal  |

## 2.5. PROYECCIÓN ECONÓMICA

Para dar una idea del comportamiento de los bienes y servicios ambientales valorados económicamente, en el mediano y largo plazo, es necesario hacer proyecciones de los beneficios generados en el tiempo. Con este propósito, se hará una proyección de los beneficios generados por cada bien o servicio ambiental durante 15 años. De esta forma, la comparación entre los dos sistemas agrícolas tendrá una base económica más sólida. Además, es necesario usar una tasa de descuento, que refleje la pérdida de valor del dinero en el tiempo. Las tasas de descuento generalmente aceptadas por los bancos que financian proyectos de conservación, varían de 6 a 12%. Para estos efectos, la tasa de descuento que será usada servirá como parámetro para aplicarlo en los análisis de sensibilidad.

## **VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### **1. DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN**

#### **1.1. GENERALIDADES**

El área total de la Concesión Comunitaria de San Miguel es de 7039 ha, de las cuales 567 ha son de uso agrícola y 6472 ha de bosques. En total, la comunidad tiene una población de 30 familias, totalizando 147 personas (Reyes, 1996). Cabe mencionar que la comunidad de San Miguel tiene el derecho de uso del área de la concesión durante un período de 25 años, prorrogable por 15 años más (CONAP, 1994). Con el área total y la población actual de la comunidad, cada familia tiene el derecho de explotación de un promedio de 234,6 ha, de las cuales 18,9 ha son de uso agrícola y 215,7 ha son de bosques.

El área agrícola de cada familia consta de parcelas cultivadas y áreas en descanso o barbecho. De las 18,9 ha que cada familia tiene en promedio para cultivar, el área sembrada anualmente es de 2,9 ha (Reyes, 1996), lo que genera un área total cultivada anualmente de 87 ha a nivel de toda la concesión. Esto posibilita una rotación de la parcela cultivada en ciclos de seis años. Durante este período, las parcelas en descanso tienen suficiente tiempo para recuperar su fertilidad y generar una productividad sostenida, principalmente del maíz, el cultivo más importante en la zona.

#### **1.2. SISTEMAS AGRÍCOLAS**

De las 30 unidades familiares que actualmente conforman la población de San Miguel, solamente 16 se dedican a la agricultura en forma permanente. Las demás familias se dedican principalmente al extractivismo (recolección de xate, bayal, chicle y pimienta) y al trabajo remunerado o jornalero (Reyes, 1996).

Las 16 familias que se dedican a la agricultura en forma permanente han practicado el sistema agrícola de maíz en forma tradicional. La alternativa propuesta del sistema agrícola de maíz en barbecho mejorado con frijol abono ha sido aceptada inicialmente, pero no ha sido adoptada por completo en el campo. El Proyecto OLAFO realizó un censo en enero de 1996 para determinar el número de unidades familiares que habían implementado el barbecho mejorado, y su condición. La condición del barbecho mejorado fue determinada en términos de densidad poblacional del frijol abono, estado de desarrollo y vigor de la planta, cobertura del suelo e incidencia de malezas. Se identificaron 13 casos que manejaban el barbecho mejorado en San Miguel. Los resultados de este censo se encuentran en el Cuadro 4.

En la actualidad, este número ha descendido a únicamente cuatro, de los cuales solamente dos han cosechado maíz en parcelas de barbecho mejorado. Un tercer productor recién ha sembrado el maíz luego de establecer el frijol abono, pero todavía no ha obtenido ninguna cosecha. El cuarto productor tenía la parcela de frijol abono ya establecida en 1995 y luego de sembrar maíz, abandonó la parcela, resultando en una invasión de malezas y del frijol abono al mismo tiempo, imposibilitando la cosecha. Este productor optó por quemar la parcela de barbecho mejorado, rompiendo el ciclo de formación e incorporación de materia orgánica y generación de los varios servicios ya mencionados anteriormente y ahora pretende dejar que la regeneración del frijol abono vuelva a establecerse en la misma parcela. El Cuadro 5 presenta una descripción de los productores que actualmente manejan el componente barbecho mejorado en San Miguel y su condición, evaluada con base en los mismos parámetros empleados el Cuadro 4.

El bajo nivel de adopción del barbecho mejorado ha dificultado la obtención de datos relacionados con la producción del maíz en este sistema, ya que de los cuatro agricultores mencionados anteriormente, solamente dos cuentan con datos de rendimiento y durante una sola cosecha. Los demás deberán realizar su primera cosecha al final de este año.

**Cuadro 4. Implementación del barbecho mejorado en San Miguel hasta enero de 1996.**

| Agricultor | Caserío    | Condición |
|------------|------------|-----------|
| 1          | San Miguel | Buena     |
| 2          | San Miguel | Buena     |
| 3          | San Miguel | Buena     |
| 4          | El Guanal  | Buena     |
| 5          | El Guanal  | Buena     |
| 6          | El Guanal  | Regular   |
| 7          | La Milpa   | Buena     |
| 8          | La Milpa   | Buena     |
| 9          | La Milpa   | Buena     |
| 10         | La Milpa   | Buena     |
| 11         | La Milpa   | Regular   |
| 12         | Chinhá     | Regular   |
| 13         | Chinhá     | Buena     |

**Cuadro 5. Implementación actual del barbecho mejorado en San Miguel.**

| Agricultor     | Caserío    | Área   | Años de manejo | Condición | Rendimiento                              |
|----------------|------------|--------|----------------|-----------|--|
|                |            | — ha — |                |           | -kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> - |
| 7 <sup>†</sup> | La Milpa   | 0,5    | 2              | Muy Buena | 2040                                     |
| 8 <sup>†</sup> | La Milpa   | 0,7    | 2              | Muy Buena | 2080                                     |
| 9              | La Milpa   | 0,8    | 1              | Buena     |  |
| 4              | San Miguel | 1,0    | 1              | Buena     |  |

<sup>†</sup> Agricultores que han cosechado maíz en barbecho mejorado

Luego de una encuesta a los productores de San Miguel, se ha llegado a la formulación de algunas hipótesis que puedan explicar la escasa implementación

del barbecho mejorado. Entre estas posibles explicaciones, las principales son las siguientes:

### **A. Cultura agrícola**

La población de San Miguel está conformada por una mezcla de inmigrantes de diversas áreas de Guatemala, principalmente del sur-occidente (52%) y del sur de Petén (24%) (Reyes, 1996). En su mayoría, han venido de zonas marginadas del país, en donde la agricultura no era la principal actividad productiva. Esta idiosincrasia genera una barrera cultural que impide la introducción de alternativas agrícolas mejoradas.

### **B. Disponibilidad de tierra**

La disponibilidad actual de la tierra y la legalización del derecho de uso de casi 19 ha de área agrícola para cada familia es un factor importante al momento de adoptar una alternativa mejorada como el barbecho mejorado, ya que al mismo tiempo requieren de costos adicionales, principalmente en términos de mano de obra, para su establecimiento.

Los agricultores de San Miguel perciben el sistema de rotación de parcelas en 6 años como el de menor exigencia, principalmente en términos de mano de obra. Esto ocurre porque al dejar de sembrar un ciclo de maíz, el frijol abono produce semilla y entra en fase de senescencia, sin crecimiento vegetativo por más de tres meses. En este período, el crecimiento de las malezas y la misma regeneración natural llega a cubrir la parcela, dificultando la germinación y el crecimiento inicial del frijol abono. Luego de algunos meses más, las plántulas de frijol abono recién germinadas y en condiciones de alta competencia, no logran desarrollarse y se mueren. Con este proceso desaparece el frijol abono y la regeneración natural vuelve a establecerse.

Por ello, prácticamente todos los agricultores que han recibido semilla de frijol abono han perdido el componente barbecho mejorado de sus parcelas. Para poder manejar el barbecho mejorado, es necesario controlar el crecimiento de las malezas y de la regeneración durante el período de senescencia del frijol abono, lo que representa un requerimiento adicional de mano de obra. Con la rotación sin barbecho mejorado, los agricultores necesitan emplear mano de obra únicamente al momento de la siembra, para eliminar la regeneración natural o guamil y sembrar el maíz. Como existe una gran disponibilidad de tierras, el promedio de 2,9 ha sembradas por familias logra producir lo suficiente para el consumo familiar (42%) y excedentes (58%) para la comercialización (Reyes, 1996).

En una visita a la comunidad de Los Tulipanes, al sureste de San Miguel, el agricultor Felipe Santamaría, quién maneja 2,5 ha de frijol abono hace tres años, definió la problemática de la implementación del frijol abono de la siguiente forma.

*"Todavía queda mucho monte para que esta gente venga a botar y sembrar. Solo hay que cosechar y dejar todo ahí. No hay que hacer nada más. Con la abonera sí, hay que cuidarla. Pero el día que no tengan más monte, tendrán que volver a componer sus tierras".*

En síntesis, como la tierra no es un recurso escaso en San Miguel y existe una garantía legal sobre la tierra dada por el Contrato de la Concesión entre la comunidad y el Gobierno, a 25 años plazo, no se ha generado interés por implementar alternativas mejoradas que incrementen sus rendimientos, ya que requieren de esfuerzos adicionales.

### **C. Disponibilidad de productos forestales no maderables**

En el área de San Miguel existe una cierta disponibilidad de recursos forestales no maderables, principalmente bayal (*Desmoncus* sp.), chicle (*Manilkara achras*) y pimienta (*Pimienta dioica*). Todos estos recursos representan una fuente de



ingreso inmediato, que suple las necesidades a corto plazo y que no requieren de mayor esfuerzo para su aprovechamiento. Existe una opinión generalizada de que es preferible explotar estos recursos, que llegan a generar un margen bruto de hasta US\$5 (cinco dólares americanos) por día (Reyes, 1996), en lugar de establecer parcelas de maíz, que no generan un ingreso en efectivo inmediato, sino que hasta varios meses después y con un cierto riesgo de sequía, plagas y enfermedades.

#### **D. Seguridad sobre la tenencia del área agrícola**

Algunos agricultores han expresado un fuerte temor por la pérdida de áreas agrícolas, ya que al implementar el barbecho mejorado se dejaría que avance el proceso de regeneración natural y en un determinado momento las parcelas que eran de barbecho podrían pasar a ser de bosque secundario, generando la incertidumbre de que pasen a formar parte del componente forestal de la concesión, lo que disminuiría la disponibilidad de tierra para el uso agrícola.

Según Jiménez (1996), luego de preguntar a un agricultor de La Pasadita, comunidad vecina a San Miguel, la razón por la cual había baja implementación del frijol abono en la región, este respondió lo siguiente:

*"Aquí las aboneras no funcionan porque aquí no hay campesinos verdaderos, como allá en el sur, donde quitábamos las piedras para sembrar la milpa. Aquí hay muchas comodidades para ganarse el pisto fácil, como el xate, el chicle, el bayal y la madera y no tener que trabajar duro y esperar seis meses para que llegue algo de pisto con la venta del maíz".*

### 1.3. CORROBORACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS

Dado el bajo nivel de implementación del barbecho mejorado en San Miguel, la información relacionada con la producción de biomasa de frijol abono y con la producción de maíz en este sistema es relativamente escasa. Aunque los datos obtenidos en San Miguel tienen una variación extremadamente baja entre parcelas, fue necesario tomar los mismos datos en áreas aledañas a San Miguel, con condiciones similares, para determinar si la información generada en el área podía ser empleada en este estudio con suficiente confiabilidad.

Para realizar esta corroboración, se realizaron visitas a tres regiones en las cuales CARE International/Guatemala presta asistencia técnica. Estas localidades son Centro Campesino, Los Tulipanes y Socotzal, que se localizan 35 km al oeste, 56 km al suroeste y 27 km al este de San Miguel, respectivamente. Durante estas visitas se realizaron encuestas a 10 productores de maíz en barbecho mejorado con frijol abono, los cuales tienen parcelas en condiciones edafoclimáticas (pendiente, fertilidad del suelo y pluviosidad, entre otros) muy similares a las de San Miguel. Los resultados obtenidos durante esta fase de corroboración, indican que los datos recolectados en San Miguel, aunque escasos, son comparables a otras áreas de maíz en barbecho mejorado en la región. Los datos obtenidos durante estas visitas se presentan en el Cuadro 6.

**Cuadro 6. Rendimientos de maíz en barbecho mejorado en áreas aledañas a San Miguel ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ).**

| Agricultor | Localidad     | Área | Años de manejo | Rendimiento                              |
|------------|---------------|------|----------------|--|
|            |               | —ha— |                | — $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ — |
| 1          | C. Campesino  | 5,6  | 3              | 1970                                     |
| 2          | C. Campesino  | 5,0  | 6              | 2100                                     |
| 3          | C. Campesino  | 1,7  | 3              | 2300                                     |
| 4          | C. Campesino  | 2,0  | 2              | 2100                                     |
| 5          | Socotzal      | 7,0  | 3              | 1950                                     |
| 6          | Socotzal      | 4,2  | 2              | 2000                                     |
| 7          | Socotzal      | 1,0  | 3              | 2100                                     |
| 8          | Socotzal      | 1,5  | 2              | 2200                                     |
| 9          | Los Tulipanes | 3,5  | 3              | 2250                                     |
| 10         | Los Tulipanes | 2,5  | 3              | 2000                                     |
| Promedio   |               | 3,4  | 3              | 2097                                     |

El rendimiento promedio de maíz en barbecho mejorado en las parcelas visitadas es de  $2097 \pm 121 \text{ kg ha}^{-1}$ . Estos rendimientos son similares a los  $2060 \pm 20 \text{ kg ha}^{-1}$  obtenidos en San Miguel. Consecuentemente, los datos obtenidos en San Miguel reflejan el comportamiento del maíz en barbecho mejorado no solo en el área de estudio, sino que también en áreas aledañas

## **2. PRODUCCIÓN DE MAÍZ**

### **2.1. SISTEMA TRADICIONAL**

Los agricultores que practican este sistema agrícola no emplean ningún insumo, de forma que la fertilidad natural del suelo es la única fuente de nutrientes para las plantas. Esta condición, sumada al pobre manejo del cultivo, genera rendimientos relativamente bajos. Pero la agricultura en San Miguel es prácticamente de subsistencia y se comercializa únicamente los excedentes. Los rendimientos obtenidos son suficientes para mantener el consumo familiar y generar un ingreso adicional en el caso de las ventas esporádicas.

### **2.2. SISTEMA DE BARBECHO MEJORADO**

Las prácticas de manejo del barbecho mejorado en San Miguel son relativamente homogéneas. Esto ocurre porque la fase inicial de promoción del barbecho mejorado constituyó en una capacitación a los agricultores sobre los aspectos relacionados con la introducción del componente, de forma que actualmente existe un amplio conocimiento del relevo maíz-frijol abono y cómo se practica.

La implementación del barbecho mejorado en San Miguel consiste en la siembra del frijol abono en las áreas recién sembradas con maíz. El frijol abono es sembrado aproximadamente un mes después del maíz, de forma que el maíz logre germinar y desarrollarse con una determinada ventaja inicial sobre el frijol abono, evitando la competencia interespecífica. El ciclo del cultivo se comporta exactamente igual que en el sistema tradicional, con la diferencia que el frijol abono ejerce un fuerte control de malezas como resultado de la competencia que se establece.

Al cosechar el maíz, el frijol abono se desarrolla y forma una cobertura verde sobre toda la parcela, llegando a producir semilla. Al momento de la siguiente siembra de maíz, se chapea el frijol abono y algunas malezas que han logrado sobrevivir, para incorporar la biomasa al suelo y permitir la germinación del cultivo. La biomasa cortada se incorpora al suelo, liberando nutrientes que estarán disponibles para el maíz. Esta cobertura de frijol abono sirve además para controlar las malezas que puedan existir en la fase inicial del crecimiento del frijol abono.

En este caso, los rendimientos obtenidos son más altos, por efecto de la incorporación de nutrientes, del control de malezas y de otra serie de beneficios generados por el frijol abono. Una vez cosechado el segundo ciclo, el componente barbecho mejorado ya está establecido y logra mantenerse indefinidamente, permitiendo una producción sostenida del maíz en la parcela.

Consecuentemente, las áreas en descanso que en el sistema tradicional se dedicaban a la rotación, ya no son cultivadas y permanecen en proceso de regeneración. Sin embargo vale resaltar que para mantener el componente barbecho mejorado es necesario seguir sembrando el frijol abono, ya que es una planta de ciclo anual, que entra en fase de senescencia luego de la producción de semillas. Si se dejan producir semillas en la propia parcela, estas servirán para mantener la población de plantas de frijol abono. Si se chapea la cobertura antes de la producción de semillas, es necesario volver a sembrarla como al establecimiento inicial, con la diferencia de que ya existe la biomasa del frijol abono cumpliendo con sus funciones ecológicas.

### **2.3. ESTIMACIONES DE PRODUCCIÓN**

Los datos de rendimiento de maíz de 1993 y 1994 en el sistema agrícola tradicional fueron tomados de Arévalo (1996). Estos fueron corroborados por Reyes (1996) en 1995 y durante la fase de campo en 1996. Cabe resaltar que

como se mantiene una rotación anual de parcelas en ciclos de seis años, los rendimientos han podido mantenerse estables. Hasta el momento ningún agricultor ha dejado de seguir el esquema anteriormente expuesto, ya que están todos conscientes de la disminución del rendimiento y el riesgo que esto conlleva para su propia subsistencia.

Por otro lado, los datos de rendimientos de maíz en el sistema agrícola de barbecho mejorado son relativamente escasos. Los resultados obtenidos en las dos parcelas que han producido maíz luego del establecimiento del frijol abono, son muy similares. Para poder estar seguro de que los rendimientos obtenidos en San Miguel se ajustaban a los rendimientos obtenidos en áreas aledañas, se realizaron visitas a otras tres comunidades, en las cuales se visitaron 10 productores que han mantenido la producción de maíz en barbecho mejorado por períodos de 2 a 6 años. Es importante mencionar que los rendimientos obtenidos en San Miguel se asemejan a los obtenidos en otras áreas de Petén. Además, el promedio de los rendimientos obtenidos en San Miguel es el mismo obtenido por el Centro Maya (1996), en una investigación sobre la producción de maíz en barbecho mejorado en Petén. Esta corroboración sirvió para respaldar los resultados obtenidos en San Miguel y para identificar el período de rendimiento creciente y de estabilización luego del establecimiento del barbecho mejorado. Aparentemente, luego de la segunda cosecha el rendimiento se estabiliza por un período indefinido (Centro Maya, 1996).

Los rendimientos obtenidos en los sistemas agrícolas de maíz en forma tradicional y en barbecho mejorado en San Miguel se presentan en el Cuadro 7.

**Cuadro 7. Rendimientos de maíz en agricultura tradicional y en barbecho mejorado en San Miguel ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ).**

| Sistema Agrícola               | Número de Fincas | Rendimiento                              |
|--------------------------------|------------------|--|
|                                |                  | — $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ — |
| Tradicional <sup>†</sup>       | 16               | 1097 ( $\pm 597$ )                       |
| Barbecho Mejorado <sup>‡</sup> | 2                | 2060 ( $\pm 20$ )                        |
| Diferencia                     |                  | 963                                      |

<sup>†</sup> Según Reyes (1996).

<sup>‡</sup> Estos datos fueron corroborados en fincas de zonas aledañas a San Miguel, donde se determinó un rendimiento de  $2097 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Los rendimientos presentados en el Cuadro 7 ilustran el resultado obtenido por el agricultor al implementar uno u otro sistema agrícola. Según los agricultores que han establecido el barbecho mejorado, el rendimiento adicional obtenido por la implementación de este componente se debe principalmente a dos factores, los que se describen a continuación.

A. Incorporación de nutrientes: aunque los agricultores no manejan el concepto de incorporación de nutrientes, reconocen que la biomasa del frijol abono al incorporarse al suelo, le provee "abono", la terminología local para fertilidad. Según los agricultores, este "abono" resulta en mayores rendimientos.

B. Control de malezas: este beneficio es observado por los agricultores en forma directa, ya que la cobertura formada por la biomasa del frijol abono impide el desarrollo de las malezas, lo que disminuye la competencia con el cultivo y permite obtener mayores rendimientos. Para el agricultor, este beneficio representa una reducción en los requerimientos de mano de obra para controlar malezas.

El incremento obtenido con el frijol abono en San Miguel es similar al reportado por Gleissmann (1990) para la localidad de Cárdenas, Tabasco México, en donde

el aumento en el rendimiento fue de  $990 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  a  $1720 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  con la incorporación del barbecho mejorado.

## 2.4. VALORACIÓN ECONÓMICA

El precio del maíz en el mercado internacional varió entre US\$102 y US\$107 por tonelada métrica durante el período de 1991 a 1994 (FAO, 1995). Para efectos de esta valoración, se tomará US\$108 por tonelada métrica, que fue el precio internacional de 1994 (World Bank, 1995). Este precio refleja el valor económico de la producción de maíz en San Miguel.

Luego, se puede determinar el ingreso bruto (IB) de cada sistema agrícola con el precio del maíz en San Miguel y los rendimientos obtenidos, de forma que:

$$IB = P * Q$$

donde

IB: ingreso bruto

P: precio del maíz, en US\$  $\text{kg}^{-1}$

Q: rendimiento, en  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$

De acuerdo con estas estimaciones, el ingreso bruto adicional que se obtiene al implementar el barbecho mejorado es de  $\text{US\$}104,01 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , como se observa en el Cuadro 8.



**Cuadro 8. Ingreso bruto de la producción de maíz en los sistemas agrícolas de San Miguel (US\$ ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).**

| Sistema agrícola | Rendimiento                               | Precio                    | Ingreso bruto                               |
|------------------|---|---------------------------|---|
|                  | — kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> — | — US\$ kg <sup>-1</sup> — | — US\$ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> — |
| Tradicional      | 1097                                      | 0,108                     | 118,47                                      |
| B. Mejorado      | 2060                                      | 0,108                     | 222,48                                      |
| Diferencia       | 963                                       |                           | 104,01                                      |

Los costos económicos de producción del maíz en forma tradicional y en barbecho mejorado en San Miguel fueron estimados con base en el costo de oportunidad de la mano de obra determinado por Reyes (1996), y los precios económicos de los insumos, determinados con base en los precios financieros y los factores de corrección para Guatemala. Al restar los costos totales de los ingresos brutos en cada sistema agrícola, se obtiene el ingreso neto al productor. Los ingresos netos de los sistemas agrícolas en San Miguel se presentan en el Cuadro 9.

**Cuadro 9. Ingreso neto de la producción de maíz en San Miguel (US\$ ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).**

| Sistema agrícola | Ingreso bruto                               | Costos totales <sup>†</sup> | Ingreso neto |
|------------------|---|-----------------------------|--------------|
|                  | — US\$ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> — |                             |              |
| Tradicional      | 118,47                                      | 89,01                       | 29,46        |
| B. Mejorado      | 222,48                                      | 107,59                      | 114,89       |
| Diferencia       | 104,01                                      | 18,58                       | 85,43        |

<sup>†</sup> Fuente: Adaptado de Reyes (1996).

Los costos totales presentados en el Cuadro 9 corresponden en un 95% a los costos de mano de obra utilizada en la preparación del terreno, siembra y cosecha. Esto explica el ingreso neto negativo obtenido en el sistema agrícola de

maíz en forma tradicional, ya casi la mitad de la producción (42%) es dedicada al consumo familiar, retribuyendo así el empleo de mano de obra (Reyes, 1996).

Los costos de control de malezas no fueron incluidos en esta valoración porque serán evaluados separadamente como un servicio.

El maíz en barbecho mejorado tiene un costo total (sin incluir mano de obra) más alto que el maíz en forma tradicional debido al requerimiento de mano de obra para el establecimiento del frijol abono. Sin embargo, este costo adicional existe únicamente en el primer año. En los años siguientes los costos totales son iguales en ambos sistemas agrícolas y por consiguiente el ingreso neto del maíz en barbecho mejorado es todavía más alto.

Con base en los resultados presentados en el Cuadro 9, se puede valorar económicamente la producción de maíz en el área cultivada total de la concesión. El Cuadro 10 presenta el ingreso bruto, el costo total y el ingreso neto de la producción de maíz en agricultura migratoria y en barbecho mejorado en el año 1 en la Concesión de San Miguel, mientras que el Cuadro 11 presenta los mismos resultados para los años 2 a 15.

**Cuadro 10. Valor económico de la producción de maíz en el año 1 en la Concesión Comunitaria de San Miguel (US\$ año<sup>-1</sup>).**

| Sistema agrícola | Ingreso bruto                      | Costos totales <sup>†</sup> | Ingreso neto |
|------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------|
|                  | ————— US\$ año <sup>-1</sup> ————— |                             |              |
| Tradicional      | 10307                              | 7744                        | 2563         |
| B. Mejorado      | 19356                              | 9360                        | 9996         |
| Diferencia       | 9049                               | 1616                        | 7433         |

<sup>†</sup> Fuente: Adaptado de Reyes (1996).

**Cuadro 11. Valor económico de la producción de maíz entre los años 2 y 15 en la Concesión Comunitaria de San Miguel (US\$ año<sup>-1</sup>).**

| Sistema agrícola | Ingreso bruto                      | Costos totales <sup>†</sup> | Ingreso neto |
|------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------|
|                  | ————— US\$ año <sup>-1</sup> ————— |                             |              |
| Tradicional      | 10307                              | 7744                        | 2563         |
| B. Mejorado      | 19356                              | 7744                        | 11612        |
| Diferencia       | 9049                               | 0,00                        | 9049         |

<sup>†</sup> Fuente: Adaptado de Reyes (1996).

La implementación del barbecho mejorado en toda el área cultivada de la concesión generaría un beneficio adicional de US\$7433 en el primer año y US\$9049 por año en los años siguientes. Aun asumiendo que el barbecho mejorado sea implementado únicamente por las familias que practican agricultura en forma permanente en San Miguel, lo que representa alrededor del 50% del área cultivada total de la Concesión, el beneficio adicional generado sería de US\$3716 en el primer año y US\$4524 por año en los años siguientes. Esto no solo representaría una mayor generación de ingresos por la comercialización de los excedentes, sino que también garantizaría el suplemento de maíz para el consumo interno.

La producción de maíz en barbecho mejorado con frijol abono también tendría como consecuencia una disminución del 85% del área agrícola y un incremento de 480 ha en el área boscosa de la Concesión, ya que evitaría la rotación de parcelas y permitiría la regeneración del bosque.

Los resultados presentados en esta valoración en realidad sobrestiman el valor económico del sistema agrícola tradicional, ya que los rendimientos obtenidos son derivados de un área seis veces mayor que el área cultivada. Por lo tanto, los rendimientos reales en términos del área utilizada por el sistema agrícola tradicional, deberían ser de 183 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (1097 kg / 6 ha).

### 3. CONTROL DE EROSIÓN

#### 3.1. DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN

La erosión de suelos en los sistemas agrícolas de maíz en forma tradicional y en barbecho mejorado fue estimada empleando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Universal Soil Loss Equation - USLE), expresada como

$$A = 2,24 * R * K * LS * C * P$$

donde

A: Pérdida de suelo en toneladas métricas por hectárea por año

R: Factor de lluvia y escurrimiento

K: Factor de erosibilidad del suelo

LS: Factor de longitud y gradiente de pendiente

C: Factor de cobertura y manejo de cultivos

P: Factor de prácticas de conservación de suelos.

#### Factor R

No existe el factor de lluvia y escurrimiento para San Miguel. Sin embargo, es posible determinarlo, al conocer el factor R y la precipitación media anual de otra área, así como la precipitación media anual de San Miguel. Según Solís (1993), el factor de lluvia y escurrimiento para la Cuenca de Petexbatún es de 710, la precipitación media anual para este lugar es de 2100 mm y la precipitación media anual de San Miguel es de 1552 mm. Así que el factor R para San Miguel es igual a:

$$R_{SM} = (R_P * P_{SM}) / P_P$$

$$R_{SM} = (710 * 1552) / 2100$$

$$R_{SM} = 525$$

donde

$R_{SM}$ : Factor R para San Miguel

$R_P$ : Factor R para la Cuenca de Petexbatún

$P_{SM}$ : Precipitación media anual de San Miguel

$P_P$ : Precipitación media anual de la Cuenca de Petexbatún.

En este caso, tanto para el sistema agrícola de maíz en forma tradicional como en barbecho mejorado con frijol abono, el factor R será de 525, puesto que ambas áreas se encuentran bajo el mismo régimen pluviométrico.

## Factor K

Según Collinet (1990), los suelos del área de San Miguel son de formación calcárea, de sedimentación terciaria, con evolución geomorfológica kárstica típica y se dividen en

- suelos bien drenados de las colinas: con suelos de horizontes sueltos, textura franco arcillosa, profundidades de 0,5 a 0,8 metros, estructura fragmentaria muy desarrollada, grumosa fina y poliédrica fina y media, fuerte porosidad y que se clasifican como typic rendolls según el USDA, rendzinas o eutric cambisols según la FAO y rensosols según la clasificación francesa.

- suelos con drenaje lento de los valles: con suelos de horizontes sueltos, profundos, estructura poliédrica subangular mediana y poliédrica fuerte y que se

clasifican como chromuderts según el USDA, pellic vertisols según la FAO y topovertisols típicos según la clasificación francesa.

El contenido de materia orgánica en ambos suelos es alto, variando de 7 a 10% en los primeros 10 cm de profundidad y de 3 a 5% entre 10 y 50 cm de profundidad (Solís, 1993; Collinet, 1990).

Bajo estas condiciones, la erosibilidad en condiciones naturales es baja. Según Solís (1993), el valor de K para estos suelos es de 0,21, lo que se asemeja a los valores de 0,11 a 0,25 para K en la zona, según estimaciones de la OEA.

Como los suelos de San Miguel son homogéneos (Collinet, 1990), no habrá variación en el factor K entre el sistema agrícola de maíz en forma tradicional y en barbecho mejorado. El valor a ser empleado en la ecuación es de 0,21.

## **Factor LS**

La pendiente media ponderada de las parcelas fue obtenida al tomar el porcentaje y la longitud de cada pendiente en todas las parcelas, tanto de maíz en forma tradicional como en barbecho mejorado. Luego, para determinar la pendiente media ponderada para cada sistema agrícola es necesario ponderar las pendientes obtenidas con sus respectivas longitudes. Los resultados de las pendientes de las parcelas de maíz en forma tradicional obtenidos en el campo se presentan en el Cuadro 12 y los resultados de las pendientes de las parcelas de maíz en barbecho mejorado se presentan en el Cuadro 13.

**Cuadro 12. Pendientes de las parcelas de maíz en forma tradicional en San Miguel.**

| Parcela | Pendiente | Longitud |
|---------|-----------|----------|
|         | —%—       | —m—      |
| 1       | 21        | 63,5     |
| 2       | 34        | 76,0     |
| 3       | 32        | 23,0     |
| 4       | 12        | 93,7     |
| 5       | 17        | 189,6    |
| 6       | 23        | 216,3    |
| 7       | 14        | 47,4     |
| 8       | 12        | 97,0     |
| 9       | 10        | 116,0    |
| 10      | 11        | 30,0     |
| 11      | 37        | 20,0     |
| 12      | 34        | 27,0     |
| 13      | 21        | 20,3     |
| 14      | 23        | 93,7     |
| 15      | 17        | 198,7    |
| 16      | 30        | 137,4    |

La pendiente media ponderada se calcula en función de la longitud.

$$P = \frac{\sum P_i * L_i}{\sum L_i}$$

$$\sum P_i * L_i = 29023,3$$

$$\sum L_i = 1449,6$$

$$P = 20\%$$

donde

P : pendiente de la parcela

L : longitud de la pendiente

**Cuadro 13. Pendientes de las parcelas de maíz en barbecho mejorado en San Miguel.**

| Parcela | Pendiente | Longitud |
|---------|-----------|----------|
|         | — % —     | — m —    |
| 1       | 2         | 72,0     |
| 2       | 16        | 86,4     |
| 3       | 34        | 24,0     |
| 4       | 27        | 30,0     |
| 5       | 32        | 50,5     |

Donde

$$S = \sum Si * Li / \sum Li$$

$$\sum Si * Li = 4768,4$$

$$\sum Li = 263,9$$

$$S = 18\%$$

donde



P : pendiente de la parcela

L : longitud de la pendiente

También es necesario conocer la longitud media de las pendientes en cada parcela. Según los datos tomados en el campo, la longitud media de las pendientes en las parcelas de maíz en forma tradicional es igual a

$$L = \sum Li / N$$

$$\sum Li = 1449,6$$

$$N = 16$$

$$L = 90,6 \text{ m}$$

donde

L : longitud media de las pendientes

N : número de longitudes

Al mismo tiempo, la longitud media de las pendientes en las parcelas de maíz en barbecho mejorado es igual a

$$L = \sum Li / N$$

$$\sum Li = 263,9$$

$$N = 5$$

$$L = 52,8 \text{ m}$$

donde

L : longitud media de las pendientes

N : número de longitudes

La longitud de la pendiente es importante porque la erosión del suelo depende no solamente de la pendiente, sino que también de su longitud, ya que influye en la velocidad de la escorrentía.

Con la pendiente media ponderada y la longitud media de las pendientes, el factor LS puede ser obtenido en forma aproximada con la ayuda de un gráfico cuyas entradas son la longitud media de las pendientes en el eje X y el porcentaje de pendiente en una recta logarítmica interna, de forma que se obtiene el factor LS en el eje Y (Solís, 1993) o puede ser determinado con precisión calculando la pendiente de la recta logarítmica al conocer dos de sus puntos (Solís, 1993).

Según Solís (1993), para el caso del maíz en forma tradicional, se conocen los puntos 1,25;10 y 16;2000 de la pendiente topográfica de 20% y luego el factor LS se calcula como

$$i = (\text{Log}16 - \text{Log}1,25) / (\text{Log}2000 - \text{Log}10) = 0,48$$

donde

i: pendiente de la recta logarítmica de la pendiente topográfica de 20%.

Mientras que en el caso del maíz en barbecho mejorado, se conocen los puntos 1,05;10 y 15;2000, lo que genera

$$i = (\text{Log}15 - \text{Log}1,05) / (\text{Log}2000 - \text{Log}10) = 0,50$$

Luego se obtiene el factor LS para cada sistema agrícola, a partir del valor desconocido y cualquier punto conocido.

El factor LS para el maíz en forma tradicional se estima como

$$\text{LogLS} = \text{Log} (0,48 (\text{Log}90,6 - \text{Log}2000) + \text{Log}16)$$

$$\text{LogLS} = -0,25255$$

$$\text{LS} = 10^{-0,25255}$$

$$\text{LS} = 0,56$$

El valor de 0,56 como factor LS será empleado en la ecuación USLE únicamente para el sistema agrícola de maíz en forma tradicional, ya que para el sistema agrícola de maíz en barbecho mejorado el factor LS es igual a

$$\text{LogLS} = \text{Log} (0,5 (\text{Log}52,8 - \text{Log}2000) + \text{Log}15)$$

$$\text{LogLS} = \text{Log}(0,386932)$$

$$\text{LogLS} = -0,4124$$

$$\text{LS} = 10^{-0,4124}$$

$$\text{LS} = 0,39$$

## Factor C

Dentro del área de San Miguel, 567 ha se destinan a la agricultura. Debido a que no se implementan prácticas de mecanización de las parcelas agrícolas, sino que estas son cultivadas manualmente, el valor de C tiende a disminuir, ya que es más baja la posibilidad de erosión (Lal, 1989; Sánchez *et al.*, 1982; Pierce, 1984; Kidd y Pimentel, 1992). En este caso habrá diferencia entre el factor C para el sistema agrícola de maíz en forma tradicional y en barbecho mejorado, ya que este factor depende del porcentaje de cobertura del suelo, el cual varía entre los dos sistemas.

La cobertura del suelo fue estimada luego de muestrear áreas sembradas en ambos sistemas agrícolas, a diferentes etapas de crecimiento. La cobertura del suelo se determinó visualmente en marcos de 1 m<sup>2</sup> y fue ponderada de acuerdo a la edad del cultivo, de forma que se estimó la cobertura promedio ponderada del suelo durante todo el año. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 14. Solís (1993) propone que el factor C sea determinado al consultar un cuadro de la ecuación USLE, en el cual se presentan los valores de C para porcentajes de cobertura múltiples de 20. Para el sistema agrícola de maíz en forma tradicional, este cuadro presenta el valor exacto de C, que es 0,075. Sin embargo, para el sistema agrícola de maíz en barbecho mejorado, es necesario calcularlo, luego de calcular la pendiente de la curva del factor y aplicar el porcentaje de cobertura estimado anteriormente.

La curva del factor C es logarítmica inversa y los resultados de su regresión son los siguientes.

|                                 |          |
|---------------------------------|----------|
| Constante:                      | -0,64483 |
| R <sup>2</sup> :                | 0,960055 |
| Coefficiente X:                 | -0,01704 |
| Error Estándar del coeficiente: | 0,001738 |

**Cuadro 14. Cobertura del suelo en las diferentes etapas de crecimiento de los sistemas agrícolas de San Miguel.**

| Días después de la Siembra | %           |                   |
|----------------------------|-------------|-------------------|
|                            | Tradicional | Barbecho mejorado |
| 0 (siembra)                | 0           | 0                 |
| 30                         | 10          | 10                |
| 60 (floración)             | 30          | 50                |
| 90                         | 75          | 90                |
| 120 (dobla)                | 95          | 100               |
| 150 (cosecha)              | 100         | 100               |
| 180                        | 100         | 100               |
| 210 (siembra)              | 0           | 100               |
| 240                        | 10          | 100               |
| 270 (floración)            | 30          | 100               |
| 300                        | 75          | 100               |
| 330 (dobla)                | 95          | 100               |
| 360 (cosecha)              | 100         | 100               |
| Promedio ponderado         | 60          | 87,5              |

De forma que el factor C para el barbecho mejorado es igual a:

$$C = \text{antilog} (-0,64483 + (-0,01704 * \% \text{ cobertura}) )$$

$$C = \text{antilog} (-0,64483 + (-0,01704 * 87,5) )$$

$$C = 0,007$$

Luego, el valor del factor C para el sistema de maíz en forma tradicional es de 0,075. En cambio que para el sistema de maíz en barbecho mejorado es de

0,007. Esta diferencia se debe a la mayor cobertura del suelo obtenida con la implementación del frijol abono.

## **Factor P**

El factor de prácticas de conservación de suelos se refiere a las prácticas implementadas por los agricultores que ayudan a la retención física de la erosión, como las curvas de nivel, las terrazas, las barreras vivas, etc. Debido a que en ninguna de las parcelas de maíz en forma tradicional ni de maíz en barbecho mejorado con frijol abono existen prácticas de conservación de suelo, es necesario considerar este factor como neutro, ya que no ejerce ninguna influencia en el resultado final. En este caso, Solís (1993) propone un valor de 1, que será adoptado para ambos sistemas agrícolas.

## **Estimación de la erosión en los sistemas agrícolas**

Regresando a la ecuación inicial, se tiene que

$$A = 2,24 * R * K * LS * C * P$$

donde

A: Pérdida de suelo en toneladas métricas por hectárea por año

R: Factor de lluvia y escurrimiento

K: Factor de erosibilidad del suelo

LS: Factor de longitud y gradiente de pendiente

C: Factor de cobertura y manejo de cultivos

P: Factor de prácticas de conservación de suelos.

Así que para el sistema agrícola de maíz en forma tradicional

$$A = 2,24 * 525 * 0,21 * 0,56 * 0,075 * 1$$

$$A = 10,37 \text{ T de suelo erosionado ha}^{-1} \text{ año}^{-1}.$$

y para el sistema agrícola de maíz en barbecho mejorado

$$A = 2,24 * 525 * 0,21 * 0,39 * 0,007 * 1$$

$$A = 0,67 \text{ T de suelo erosionado ha}^{-1} \text{ año}^{-1}.$$

### 3.2. VALORACIÓN FÍSICA DE LOS NUTRIENTES

Los nutrientes a ser valorados en cada sistema agrícola son N, P, K, Ca y Mg. Es importante resaltar que la pérdida de nutrientes no se limita únicamente a estos cinco elementos, sino que implica también la pérdida de muchos micronutrientes, como Zn, Cu, Bo, Mo, Fe, Mn y otros, de igual importancia, pero que no serán incluidos en la valoración por su baja concentración en los suelos y por el bajo requerimiento de las plantas.

#### **Nitrógeno (N)**

Según Collinet (1990), los suelos de San Miguel tienen un alto contenido de materia orgánica y consecuentemente altos niveles de N. Los análisis químicos efectuados han determinado en promedio 0,55% de N total en el suelo. Este valor es congruente con aquellos indicados por Fassbender y Bornemisza (1987), que varían de 0,11 a 0,99% de N total en los diversos tipos de suelos de Centroamérica.

En términos de suelo erosionado, este contenido de N representa en el sistema de maíz en forma tradicional la pérdida de

$$N = 0,55 * 10370 / 100$$

$$N = 57$$

donde

N: total de N perdido, en  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

Por otro lado, en el sistema de maíz en barbecho mejorado la pérdida de N está dada por

$$N = 0,55 * 670 / 100$$

$$N = 3,68$$

donde

N: total de N perdido, en  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

### **Fósforo (P)**

Los suelos de San Miguel tienen en promedio 11,06 ppm de P, lo que está muy por debajo del umbral agrícola de 25 ppm (Collinet, 1990). Esto implica una carencia inicial de P, lo que es todavía más acentuado al erosionar las primeras capas del suelo, en donde se encuentra la mayor concentración de P.

Al estimar la pérdida de P por la erosión del suelo en el sistema de maíz en forma tradicional, se obtiene



$$P = 11,06 * 10370 / 1000000$$

$$P = 0,11$$

donde

P: total de P perdido, en  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

Mientras que en el sistema de maíz en barbecho mejorado, la pérdida de P es

$$P = 11,06 * 670 / 1000000$$

$$P = 0,0074$$

donde

P: total de P perdido, en  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

## Potasio (K)

El contenido promedio de K en los suelos del área de San Miguel, según determinaciones de Collinet (1990), es de  $0,62 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$  de suelo. Estos valores son similares a los encontrados por Fassbender y Bornemisza (1987) para América Latina, que varían de  $0,20 \text{ meq}$  a  $1,5 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ .

De acuerdo a este contenido, la pérdida de K por erosión de suelos en el sistema de maíz en forma tradicional está dada por

$$K = 0,62 * 39,1 / 1000 / 100 * 10370$$

$$K = 2,51$$

donde

K: total de K perdido, en  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

Al mismo tiempo, la pérdida de K por erosión de suelos en el sistema de maíz en barbecho mejorado está dada por

$$K = 0,62 * 39,1 / 1000 / 100 * 670$$

$$K = 0,16$$

donde

K: total de K perdido, en  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

### Calcio (Ca)

Por la formación calcárea, los suelos de la región de San Miguel tienen un alto contenido de Ca. Esto se ve reflejado en los altos valores de pH, que varían entre 7,7 y 8,42. Los análisis químicos efectuados por Collinet (1990) revelaron que el contenido promedio de Ca en estos suelos es de  $56,78 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$ , lo que representa una concentración muy alta, comparada con las obtenidas por Fassbender y Bornemisza (1987) para Centroamérica, que variaron de 7,9 meq a  $31,9 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ .

Con el contenido de Ca en el suelo, se puede estimar la pérdida total de Ca por la erosión de suelo en el sistema de maíz en forma tradicional de la siguiente forma:

$$\text{Ca} = 56,78 * 20 / 1000 / 100 * 10370$$

$$\text{Ca} = 117,7$$

donde

Ca: total de Ca perdido, en  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

De la misma forma se puede determinar la pérdida total de Ca por la erosión de suelo en el sistema de maíz en barbecho mejorado, como

$$\text{Ca} = 56,78 * 20 / 1000 / 100 * 670$$

$$\text{Ca} = 7,6$$

donde

Ca: total de Ca perdido, en  $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$

## **Magnesio (Mg)**

El contenido de Mg en los suelos de San Miguel no es tan alto como el contenido de Ca. Esto se debe a que las rocas calcáreas que dan origen a estos suelos contienen básicamente  $\text{CaCO}_3$  y no tanto  $\text{MgCO}_3$ , como las rocas dolomitas. En promedio, el contenido de Mg es de  $4,36 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ , lo que no llega a ser superior al rango de los valores indicados por Fassbender y Bornemisza (1987) para Centroamérica, que varían de  $0,7 \text{ meq}$  a  $7,5 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ .

La determinación del total de Mg perdido con la erosión de suelo en el sistema de maíz en forma tradicional se ajusta a

$$\text{Mg} = 4,36 * 12,15 / 1000 / 100 * 10370$$

$$\text{Mg} = 5,5$$

donde

Mg: total de Mg perdido, en  $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$

Lo mismo puede ser determinado para el sistema de maíz en barbecho mejorado, que se comporta como

$$\text{Mg} = 4,36 * 12,15 / 1000 / 100 * 670$$

$$\text{Mg} = 0,35$$

donde

Mg: total de Mg perdido, en  $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$

### **Conjunto de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg)**

La diferencia entre la pérdida de nutrientes por erosión de suelos entre los dos sistemas agrícolas se debe únicamente a la diferencia en la cantidad de suelo erosionado, ya que sus composiciones químicas no varían.

El Cuadro 15 presenta un resumen de la pérdida de nutrientes por erosión de suelo en los dos sistemas agrícolas, así como la diferencia entre ellos.

**Cuadro 15. Pérdida de nutrientes por erosión de suelos en los sistemas agrícolas de San Miguel, Petén, Guatemala ( $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ ).**

| Nutriente | Maíz en forma tradicional           | Maíz en barbecho mejorado | Diferencia |
|-----------|-------------------------------------|---------------------------|------------|
|           | $\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ |                           |            |
| N         | 57                                  | 3,68                      | 53,32      |
| P         | 0,11                                | 0,007                     | 0,103      |
| K         | 2,51                                | 0,16                      | 2,35       |
| Ca        | 117,7                               | 7,6                       | 110,1      |
| Mg        | 5,5                                 | 0,35                      | 5,15       |

Es importante resaltar que la existencia de determinadas cantidades de nutrientes en el suelo no implica la absorción de estas cantidades por las plantas. Algunos nutrientes como el N, están presentes en el suelo en diversas formas, de las cuales varias no son asimilables por las plantas. Además, los nutrientes pueden formar complejos con minerales del suelo, quedando temporalmente indisponible. Otro ejemplo es el P, que puede ser fácilmente adsorbido por las arcillas alófanas, disminuyendo su disponibilidad a las plantas. No obstante, es necesario determinar la pérdida total de los nutrientes por la erosión de suelo porque forman parte del capital natural del sistema agrícola y que al erosionarse no estarán disponibles en el futuro (Fassbender y Bornemisza, 1987; Johnston, 1989; IDRC, 1992; Lal y Pierce, 1991).

La erosión del suelo no parece implicar en una gran pérdida de P, K y Mg debido al bajo contenido de estos elementos en los suelos de San Miguel. Sin embargo, la pérdida de 57 kg de N por hectárea por año en el sistema agrícola de maíz en forma tradicional puede resultar en una gran diferencia en la productividad del sistema. Lo mismo ocurre con el Ca, aunque en cantidades exageradas que no son aprovechadas por completo por las plantas.

### 3.3. VALORACIÓN ECONÓMICA

Para valorar los nutrientes perdidos en cada sistema agrícola, es necesario tomar en cuenta los precios económicos de los fertilizantes equivalentes a sus cantidades, disponibles en las parcelas. Los precios económicos de los fertilizantes han sido publicados por la FAO (1993b) y por el World Bank (1995).

Sin embargo, los precios internacionales se refieren únicamente a las fuentes de N, P y K. No se han reportado precios internacionales de fuentes de Ca y Mg. Por esta razón, los precios económicos del Ca y del Mg serán estimados con base en los precios financieros del Ca y el Mg en Guatemala y un factor de corrección, derivado de la relación entre el precio financiero y el precio económico de los demás nutrientes.

Los precios económicos de los nutrientes valorados en el control de erosión se presentan en el Cuadro 16.

**Cuadro 16. Precios económicos del N, P, K, Ca y Mg (US\$ kg<sup>-1</sup>).**

| Nutriente | Precio en el mercado internacional <sup>†</sup> |
|-----------|---|
|           | ——— US\$ kg <sup>-1</sup> ———                   |
| N         | 0,32  |
| P         | 0,29  |
| K         | 0,17  |
| Ca        | 0,09 <sup>‡</sup>                               |
| Mg        | 0,46 <sup>‡</sup>                               |

<sup>†</sup> Fuente: World Bank (1995).

<sup>‡</sup> Precio estimado

De acuerdo a estos valores, se puede determinar la pérdida de los nutrientes en términos económicos. Para esto es necesario multiplicar la cantidad de cada nutriente erosionado por su respectivo precio. Así se puede obtener el valor de la

pérdida en términos económicos, como consecuencia de la erosión de suelos. El Cuadro 17 presenta el valor económico de la erosión de suelos, medido con el método de costo de reemplazo en términos de nutrientes en San Miguel.

**Cuadro 17. Valor económico de la erosión de suelo en términos de nutrientes, en los sistemas agrícolas de San Miguel (US\$ ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).**

| Nutriente | Forma tradicional                            | Barbecho mejorado | Diferencia |
|-----------|--|-------------------|------------|
|           | <i>US\$ ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup></i> |                   |            |
| N         | 18,24  | 1,18              | 17,06      |
| P         | 0,02   | 0,002             | 0,018      |
| K         | 0,42   | 0,02              | 0,40       |
| Ca        | 10,60  | 0,68              | 9,92       |
| Mg        | 2,53   | 0,16              | 2,37       |
| Total     | 31,81  | 2,04              | 29,77      |

Estos resultados indican que la pérdida de nutrientes en el maíz en barbecho mejorado representa únicamente el 6,5% de la pérdida de nutrientes en el maíz en forma tradicional. Esta reducción es considerable al valorar económicamente la erosión de suelos a nivel de toda la Concesión. El Cuadro 18 presenta el valor económico de la erosión de suelos, en términos de nutrientes, a nivel del área cultivada total de la Concesión.

**Cuadro 18. Valor económico de la erosión de suelo en términos de nutrientes en la Concesión Comunitaria de San Miguel (US\$ 87 ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).**

| Nutriente    | Forma tradicional            | Barbecho mejorado | Diferencia     |
|--------------|------------------------------|-------------------|----------------|
|              | <i>US\$ año<sup>-1</sup></i> |                   |                |
| N            | 1586,88                      | 102,66            | 1484,22        |
| P            | 1,74                         | 0,174             | 1,57           |
| K            | 36,54                        | 1,74              | 34,80          |
| Ca           | 922,20                       | 59,16             | 863,04         |
| Mg           | 220,11                       | 13,92             | 206,19         |
| <b>Total</b> | <b>2767,47</b>               | <b>177,65</b>     | <b>2589,82</b> |

La implementación del maíz en barbecho mejorado con frijol abono en el área cultivada total de la Concesión implicaría una reducción en la pérdida de nutrientes por erosión de suelo de US\$2589 por año. Tomando en cuenta que las familias que practican agricultura en forma permanente en San Miguel (lo que representa aproximadamente el 50% del área cultivada total) implementen el barbecho mejorado, el control de erosión representaría un ahorro de US\$1295 por año en términos de nutrientes.

Sin embargo, el beneficio del control de erosión no se limita únicamente al valor económico de los nutrientes. El control de erosión efectuado por el barbecho mejorado implica también una mayor posibilidad de mantener la capacidad productiva del suelo por períodos más largos, lo que generaría mayores rendimientos.



#### 4. SECUESTRO DE CARBONO

La valoración física del secuestro de carbono fue realizada con base en la incorporación de materia orgánica y su contenido de carbono en los sistemas agrícolas de maíz en forma tradicional y en barbecho mejorado en San Miguel. Gran parte de la materia orgánica incorporada al suelo se oxida rápidamente, por lo que no representa un secuestro neto. Por consiguiente, fue necesario determinar la proporción de la materia orgánica incorporada que se inmoviliza en el suelo para estimar la fijación neta de carbono y así poder valorarla económicamente.

Según Collinet (1990) y el Centro Maya (1996), el contenido de materia orgánica en los suelos bajo cultivo de maíz en agricultura migratoria en San Miguel es de 2,1%. Este valor es similar a los resultados obtenidos por Fassbender y Bornemisza (1987), quienes determinaron que el contenido de materia orgánica en suelos bajo cultivo de maíz en agricultura migratoria varían de 2,0% a 2,5%.

El contenido de materia orgánica en el suelo bajo cultivo de maíz en barbecho mejorado puede ser estimado con base en los resultados mencionados anteriormente, ajustándolos de acuerdo con la incorporación adicional de materia orgánica por parte del frijol abono y del maíz. El Centro Maya (1996) ha estimado que el frijol abono incorpora 4750 kg de materia seca  $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ , y el maíz incorpora otros 3296 kg de materia orgánica  $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ . Esto genera un total adicional de 8046 kg materia orgánica  $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  con el barbecho mejorado.

Sin embargo, según Giller y Wilson (1991), solamente el 20% de la materia orgánica incorporada al suelo se inmoviliza. El 80% restante se oxida. Así que el aporte adicional de materia orgánica al suelo con el barbecho mejorado es de 1609 kg de materia orgánica inmovilizada  $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ . Esto genera un contenido de materia orgánica en el suelo superficial (10 cm) de 2,26%, que representa un incremento de 0,16% con relación al sistema agrícola tradicional. Este incremento

se asemeja al valor de 10% propuesto por Giller y Wilson (1991), Vincent (1982) y Elliot y Stevenson (1977).

#### 4.1. VALORACIÓN FÍSICA

El contenido de carbono en la materia orgánica fue estimado en 50% por Fassbender y Bornemisza (1987) y Elliot y Stevenson (1977). Con base en este valor, el contenido de carbono en el suelo, proveniente de la materia orgánica, se determina de la siguiente forma:

$$C = MO \times 0,5$$

donde

C: contenido de carbono, en %

MO: contenido de materia orgánica, en %

Así que en el sistema agrícola de maíz en forma tradicional, el contenido de carbono es igual a

$$C = 2,1 \times 0,5$$

C = 1,05% de carbono.

Mientras que en el sistema agrícola de maíz en barbecho mejorado el contenido de carbono es igual a

$$C = 2,26 \times 0,5$$

C = 1,13% de carbono.

Estos resultados están dentro del rango de 1% a 1,5%, obtenido por Fassbender y Bornemisza (1987).

Asumiendo que una hectárea de suelo de San Miguel a 10 cm de profundidad contiene 1000 TM (Collinet, 1990), podemos determinar el contenido de carbono secuestrado en forma de materia orgánica de la siguiente forma:

$$C_c = C_p \times 1000000$$

donde

$C_c$ : contenido de carbono en el suelo, en  $\text{kg ha}^{-1}$ .

$C_p$ : proporción de carbono en el suelo, en %.

En el sistema agrícola tradicional, el contenido de carbono es igual a

$$C_c = 0,0105 \times 1000000$$

$$C_c = 10500 \text{ kg C ha}^{-1}$$

Mientras que en el barbecho mejorado el contenido de carbono es igual a

$$C_c = 0,0113 \times 1000000$$

$$C_c = 11300 \text{ kg C ha}^{-1}$$

El Cuadro 19 presenta los resultados obtenidos en la valoración física del secuestro de carbono en los sistemas agrícolas de San Miguel.

**Cuadro 19. Secuestro de carbono en los sistemas agrícolas de San Miguel (kg ha<sup>-1</sup>).**

| Sistema agrícola  | Contenido de materia orgánica | Carbono secuestrado     |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------|
|                   | — % —                         | — kg ha <sup>-1</sup> — |
| Tradicional       | 2,1                           | 10500                   |
| Barbecho mejorado | 2,26                          | 11300                   |
| Diferencia        | 0,16                          | 800                     |

## 4.2. VALORACIÓN ECONÓMICA

Actualmente los derechos de secuestro de carbono se comercializan en el mercado internacional a un precio de US\$0,01 kg C<sup>-1</sup>, o bien US\$10 T C<sup>-1</sup> (OCIC, 1995). Este precio representa la voluntad de pago por un beneficio ambiental y por lo tanto puede ser aplicado a la cantidad de carbono secuestrado en los sistemas agrícolas. El valor económico del secuestro de carbono en los sistemas agrícolas de San Miguel se presentan en el Cuadro 20.

**Cuadro 20. Valor económico del secuestro de carbono en los sistemas agrícolas de maíz en forma tradicional y en barbecho mejorado en San Miguel (US\$ ha<sup>-1</sup>).**

| Sistema agrícola | Secuestro de carbono    | Precio del carbono        | Total                     |
|------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                  | — kg ha <sup>-1</sup> — | — US\$ kg <sup>-1</sup> — | — US\$ ha <sup>-1</sup> — |
| Tradicional      | 10500                   | 0,01                      | 105,00                    |
| B. mejorado      | 11300                   | 0,01                      | 113,00                    |
| Diferencia       | 800                     |                           | 8,00                      |

El secuestro de carbono en el sistema agrícola tradicional ocurre únicamente en el primer año, mientras que en el sistema agrícola de maíz en barbecho mejorado este servicio sigue generándose en los años siguientes. Por esta razón, el beneficio adicional de US\$8 ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> generado por el barbecho mejorado debe ser contabilizado anualmente, ya que representa un incremento constante de

0,16% año<sup>-1</sup> en el contenido de materia orgánica en el suelo, que ocurre hasta el año 15, cuando este se estabiliza (Fassbender y Bornemisza, 1987; Vincent, 1982). El valor económico del secuestro de carbono en el área cultivada total de la Concesión se presenta en el Cuadro 21.

**Cuadro 21. Valor económico del secuestro de carbono en los sistemas agrícolas de maíz en forma tradicional y en barbecho mejorado en el área cultivada total de San Miguel (US\$ 87 ha<sup>-1</sup>).**

| Sistema agrícola | Secuestro de carbono | Precio del carbono       | Total   |
|------------------|----------------------|--------------------------|---------|
|                  | —kg—                 | —US\$ kg <sup>-1</sup> — | —US\$—  |
| Tradicional      | 913500               | 0,01                     | 9135,00 |
| B. mejorado      | 983100               | 0,01                     | 9831,00 |
| Diferencia       | 69600                |                          | 696,00  |

La implementación del barbecho mejorado en toda el área agrícola de la concesión generaría un ingreso adicional de US\$696 año<sup>-1</sup> y convertiría el secuestro de carbono en un servicio que generaría beneficios a lo largo de 15 años, mientras que al mantener el sistema agrícola tradicional este beneficio sería percibido únicamente en el primer año y en menor intensidad.

Sin embargo, el secuestro de carbono no genera beneficios únicamente en términos de la venta de los derechos de fijación en el mercado internacional. Al incrementar el contenido de materia orgánica, el suelo incrementa su capacidad de retener nutrientes y liberarlos a la planta. Esto se refleja en mayor fertilidad y mejor estructura (Fassbender y Bornemisza, 1987; Sánchez, 1981b), lo que confiere una mayor capacidad productiva al suelo.

## 5. FIJACIÓN DE NITRÓGENO

La fijación simbiótica de nitrógeno depende en gran parte de algunas condiciones del suelo, tales como el pH, el contenido de P y la existencia de cepas específicas de *Rhizobium*. El pH influye en el desarrollo y el P es fundamental en el suplemento de energía para las bacterias nitrificantes.

Sin embargo, este beneficio es generado únicamente por el maíz en barbecho mejorado, ya que la fijación es el resultado de una simbiosis entre la bacteria nitrificante y el frijol abono.

### 5.1. VALORACIÓN FÍSICA

El Centro Maya (1996) ha determinado que la cantidad de nitrógeno total incorporado en la biomasa del frijol abono en las condiciones de San Miguel es de  $192 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Según Fassbender y Bornemisza (1987), Graham (1972) y Henzell y Norris (1962), la cantidad de nitrógeno fijada simbióticamente representa 45% del nitrógeno total de la biomasa del frijol abono. De acuerdo con estos resultados, la cantidad total de N fijado simbióticamente por el frijol abono en San Miguel es de  $86,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

Sin embargo, con los bajos niveles de P en el suelo, esta cantidad se reduce en 50% (Fassbender y Bornemisza, 1987), resultando únicamente  $43,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . De esta cantidad es necesario reducir las pérdidas por desnitrificación, que en este caso son de  $15 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Hauck y Tanji, 1982). Finalmente obtenemos un aporte neto de  $28,2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , que será valorado económicamente en términos del fertilizante necesario para sustituirlo.

## 5.2. VALORACIÓN ECONÓMICA

El precio del nitrógeno ya fue presentado en la valoración económica del control de erosión (ver Cuadro 15). Para valorar económicamente la fijación de nitrógeno es necesario únicamente multiplicar el precio del nutriente por la cantidad fijada. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 22.

**Cuadro 22. Valor económico de la fijación de nitrógeno en los sistemas agrícolas de San Miguel (US\$ ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).**

| Sistema agrícola  | Fijación N<br>—kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> — | Precio del N<br>—US\$ kg <sup>-1</sup> — | Valor total<br>—US\$ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> — |
|-------------------|--|--|---|
| Tradicional       | ---  | ---                                      | ---   |
| Barbecho Mejorado | 28,2   | 0,32                                     | 9,02  |
| Diferencia        | 28,2   | 0,32                                     | 9,02  |

La cantidad de nitrógeno fijado simbióticamente con el uso del barbecho mejorado en San Miguel es relativamente baja por la baja disponibilidad de fósforo en el suelo y por la posible carencia de cepas de *Rhizobium* específicas para el frijol abono (Graham, 1972). Aun así, se obtendrían importantes beneficios adicionales si este sistema agrícola suplantara por completo el sistema agrícola tradicional en el área de la concesión. El valor económico de la fijación de nitrógeno en el área cultivada total de la Concesión se presenta en el Cuadro 23.

**Cuadro 23. Valor económico de la fijación de nitrógeno en la Concesión Comunitaria de San Miguel (US\$ 87 ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).**

| Sistema agrícola  | Fijación N<br>—kg año <sup>-1</sup> — | Precio del N<br>—US\$ kg <sup>-1</sup> — | Valor total<br>—US\$ año <sup>-1</sup> — |
|-------------------|---------------------------------------|--|--|
| Tradicional       | ---                                   | ---                                      | ---                                      |
| Barbecho Mejorado | 2453,40                               | 0,32                                     | 784,74                                   |
| Diferencia        | 2453,40                               | 0,32                                     | 784,74                                   |

Este servicio ambiental es generado únicamente por el maíz en barbecho mejorado. Por lo tanto, el valor económico del nitrógeno fijado simbióticamente por el barbecho mejorado representa un beneficio adicional neto. La implementación del barbecho mejorado en el área cultivada total de la Concesión Comunitaria de San Miguel representaría un beneficio de US\$784,74 por año. Aun con una implementación del barbecho mejorado en únicamente el 50% del área cultivada total, el beneficio adicional neto por fijación de nitrógeno sería de US\$392 por año. Además, la fijación de nitrógeno contribuiría a mejorar la relación carbono:nitrógeno, responsable de la actividad microbiana del suelo.

## **6. CONTROL DE MALEZAS**

El control de malezas en los sistemas agrícolas de San Miguel se realiza en forma manual. Los agricultores emplean su mano de obra para eliminar las malezas y preparar el terreno antes de la siembra y luego entre los 30 y 60 días después de la siembra, cuando el maíz está en fase de crecimiento y la competencia con malezas puede significar reducciones en el rendimiento.

La valoración del control de malezas como beneficio del frijol abono se realizó al determinar el costo evitado en mano de obra, en término de total de jornales por hectárea por año para la "limpia" en cada sistema agrícola.

### **6.1. VALORACIÓN ECONÓMICA**

La cuantificación de la mano de obra utilizada para controlar malezas en el sistema agrícola tradicional fue determinado por Reyes (1996) en 15 jornales ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, incluyendo los dos ciclos de maíz. Por otro lado, el requerimiento de mano de obra para el control de malezas en barbecho mejorado fue determinado luego de una encuesta a los productores que han adoptado sistema agrícola en San



Miguel. Según estos productores, se requieren de únicamente 8 jornales  $ha^{-1}$  año<sup>-1</sup> para efectuar el mismo control requerido por el maíz en forma tradicional, ya que el frijol abono ejerce una fuerte competencia con las malezas, inhibiendo su crecimiento.

Económicamente, se valora el costo de oportunidad de la mano de obra, según la disponibilidad de empleo, en US\$2,5 por jornal (Reyes, 1996). Con este resultado y los requerimientos de mano de obra para el control de malezas, se puede determinar los costos que implican el control de malezas en cada sistema agrícola. La valoración económica del control de malezas en los sistemas agrícolas de San Miguel se presenta en el Cuadro 24.

**Cuadro 24. Valor económico del control de malezas en los sistemas agrícolas de San Miguel (US\$  $ha^{-1}$  año<sup>-1</sup>).**

| Sistema Agrícola | Mano de obra requerida                  | Valor del jornal             | Costo del control de malezas        |
|------------------|---|------------------------------|-------------------------------------|
|                  | —jornales $ha^{-1}$ año <sup>-1</sup> — | —US\$ jornal <sup>-1</sup> — | —US\$ $ha^{-1}$ año <sup>-1</sup> — |
| Tradicional      | 15                                      | 2,50                         | 37,50                               |
| B. Mejorado      | 8                                       | 2,50                         | 20,00                               |
| Diferencia       | 7                                       |                              | 17,50                               |

La introducción del componente barbecho mejorado reduce en casi 50% el requerimiento de mano de obra para el control de malezas, lo que significa un ahorro de US\$17,50 por hectárea por año. Este ahorro es valorado como costo evitado al implementar el barbecho mejorado. Estos resultados son similares a los obtenidos por López y Bunch (1993) en Honduras, en donde se determinó que la implementación del barbecho mejorado reduce en un 50% el requerimiento de mano de obra para el control de malezas en maíz.

El Cuadro 25 presenta el valor económico del control de malezas en el área cultivada total de la Concesión.

**Cuadro 25. Valor económico del control de malezas en los sistemas agrícolas de San Miguel (US\$ 87ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).**

| Sistema Agrícola | Mano de obra requerida        | Valor del jornal            | Costo del control de malezas |
|------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
|                  | —jornales año <sup>-1</sup> — | —US\$ jornal <sup>1</sup> — | —US\$ año <sup>-1</sup> —    |
| Tradicional      | 1305                          | 2,50                        | 3262,50                      |
| B.Mejorado       | 696                           | 2,50                        | 1740,00                      |
| Diferencia       | 609                           |                             | 1522,50                      |

Si el área cultivada total de la concesión fuera manejada con barbecho mejorado, el valor del ahorro en mano de obra para controlar malezas sería de US\$1522,50 año<sup>-1</sup>. Aun con una implementación del barbecho mejorado en únicamente el 50% del área cultivada total, el ahorro de mano de obra por control de malezas representaría US\$761,25 año<sup>-1</sup>.

Estos valores podrían cambiar al modificarse el costo económico de la mano de obra. Por ejemplo, si hubiera una plena disponibilidad de empleo en la comunidad y el costo económico de la mano de obra alcanzara el valor de US\$4,17, que es el costo financiero actual, el ahorro en toda el área cultivada de la concesión pasaría a US\$2539,50 año<sup>-1</sup>. Esto indica que el valor económico del control de malezas en los sistemas agrícolas de San Miguel es sensible a los cambios en la disponibilidad de empleo. Al existir una mayor oferta de empleo en la comunidad, el costo de oportunidad de la mano de obra aumenta y consecuentemente se incrementa el costo del control de malezas.

## 7. VALORACIÓN ECONÓMICA DE BIENES Y SERVICIOS

Luego de valorar física y económicamente todos los bienes y servicios seleccionados en cada sistema agrícola, es necesario valorar económicamente el conjunto de bienes y servicios de cada sistema agrícola. Los resultados obtenidos se presentan en el Cuadro 26.

**Cuadro 26. Valor económico del conjunto de los bienes y servicios de los sistemas agrícolas de San Miguel (US\$ ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).**

| Bien o Servicio       | Maíz en forma tradicional                    | Maíz en barbecho mejorado | Beneficio adicional |
|-----------------------|--|---------------------------|---------------------|
|                       | <i>US\$ ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup></i> |                           |                     |
| Producción de maíz    | 29,46  | 114,89                    | 85,43               |
| Control de erosión    | -31,81                                       | -2,04                     | 29,77               |
| Secuestro de Carbono  | 105,00                                       | 113,00                    | 8,00                |
| Fijación de nitrógeno | 0,00   | 9,02                      | 9,02                |
| Control de malezas    | -37,50                                       | -20,00                    | 17,50               |
| <b>Total</b>          | <b>65,15</b>                                 | <b>214,87</b>             | <b>149,72</b>       |

El incremento en el rendimiento del maíz obtenido con el barbecho mejorado representa un beneficio directo al agricultor. La reducción en el costo de mano de obra para el control de malezas es un beneficio indirecto, que se percibe como un ahorro. El mayor control de erosión y la fijación de nitrógeno, representan beneficios ambientales que contribuyen a la conservación del capital natural, en términos de nutrientes. El mayor secuestro de carbono representa un beneficio que podría ser percibido en forma directa si fuera comercializado.

Con estos resultados podemos estimar los beneficios adicionales generados en el área cultivada total de la Concesión Comunitaria de San Miguel con diferentes

niveles de implementación del barbecho mejorado. El valor económico de los bienes y servicios ambientales generados por los sistemas agrícolas en el área cultivada total de la Concesión se presenta en el Cuadro 27.

**Cuadro 27. Valor económico del conjunto de los bienes y servicios de los sistemas agrícolas en el área cultivada total de San Miguel (US\$ 87 ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).**

| Bien o Servicio       | Maíz en forma tradicional | Maíz en barbecho mejorado | Beneficio adicional |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|
|                       |                           |                           |                     |
| Producción de maíz    | 2563,00                   | 9996,00                   | 7433,00             |
| Control de erosión    | -2767,47                  | -177,65                   | 2589,82             |
| Secuestro de Carbono  | 9135,00                   | 9831,00                   | 696,00              |
| Fijación de nitrógeno | 0,00                      | 784,74                    | 784,74              |
| Control de malezas    | -3262,50                  | -1740,00                  | 1522,50             |
| <b>Total</b>          | <b>5668,03</b>            | <b>18694,09</b>           | <b>13026,06</b>     |

Actualmente, el 12,5% del área agrícola total de la Concesión se maneja con barbecho mejorado. Los beneficios adicionales generados por el barbecho mejorado en esta área son de US\$1628,25 en el primer año y US\$1830,25 por año en los años siguientes. Si todas las familias que practican agricultura en forma permanente en San Miguel (lo que representa aproximadamente el 50% del área agrícola total) implementaran el barbecho mejorado, estos beneficios adicionales serían de US\$6513,03 en el primer año y US\$7321,03 por año en los años siguientes. Ya una implementación del barbecho mejorado en el área agrícola total representaría un beneficio adicional de US\$13026,06 en el primer año y US\$14642,06 por año en los años siguientes.

La diferencia entre el primer año y los años siguientes se debe a la reducción en los costos de producción del maíz en barbecho mejorado, como fue discutido anteriormente.

En el sistema agrícola de maíz en forma tradicional, la generación de servicios aporta el 55% del valor económico total del agroecosistema, mientras que la producción de bienes (maíz) conforma el 45% restante. Esta composición no difiere mucho del maíz en barbecho mejorado, en donde el aporte de los servicios representa el 47% y la producción de bienes el 53% del valor económico total del sistema agrícola. Del beneficio adicional total generado por el barbecho mejorado, la producción de bienes aporta el 57% del valor económico total, mientras que la generación de servicios representa únicamente el 43%. La composición del valor económico de los sistemas agrícolas de maíz en forma tradicional y en barbecho mejorado, así como de los beneficios adicionales generados por el barbecho mejorado, se presenta en la Figura 10.

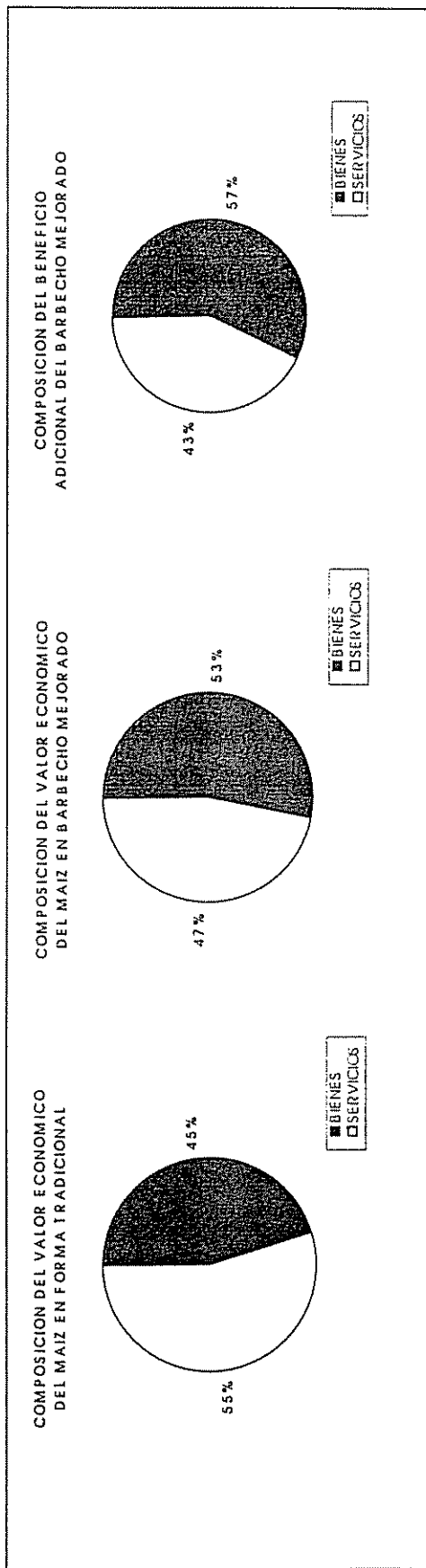


Figura 10. Composición del valor económico de los sistemas agrícolas de San Miguel.

## 8. PROYECCIÓN ECONÓMICA

En este estudio, se proyectarán los resultados obtenidos a 15 años plazo, con una tasa de descuento de 9% anual. Paralelamente, se harán las mismas proyecciones, pero con tasas de 6% y 12%, para poder realizar un análisis de sensibilidad de los bienes y servicios ambientales.

Las condiciones que determinarán el comportamiento futuro de los sistemas agrícolas de maíz en forma tradicional y en barbecho mejorado en San Miguel son las siguientes:

### A. Tenencia y uso de la tierra

La Concesión Comunitaria fue otorgada en 1990 a las familias de San Miguel por el Decreto 5-90 de la República de Guatemala (CONAP, 1990). El acuerdo entre el Gobierno y la comunidad establece que el área de la concesión es propiedad del Gobierno de la República, con derecho de uso por parte de las familias, durante el período de 25 años. Este acuerdo también establece que el área agrícola existente al momento de otorgar la Concesión, se mantendrá y no habrá deforestación para la siembra de cultivos. El área agrícola será únicamente las 567 ha existentes inicialmente, lo que da un promedio de 18,9 ha de tierra agrícola por familia. Esto garantiza, en términos legales, el derecho de uso del área agrícola y asegura que esta no se incrementará durante el período de la proyección económica.

### B. Migración y crecimiento poblacional

Como la Concesión es administrada por la comunidad, no existe la posibilidad, de que foráneos puedan establecerse en el área. Esto garantiza que no habrá inmigración hacia San Miguel. Sin embargo, lo que sí contribuirá al incremento del número de habitantes de San Miguel es el crecimiento poblacional local, que es de 3% anual (Reyes, 1996; Bronfenbrenner *et al.*, 1990). Esto indica que la

población actual de 147 habitantes se incrementaría a 229 habitantes en el plazo de 15 años.

### **C. Producción agrícola**

En San Miguel, la producción de maíz responde a la demanda para consumo familiar y una pequeña comercialización de excedentes. El maíz es el principal alimento en la dieta de la población, no solo en San Miguel, sino que en todo Petén (Arévalo, 1996). Por esta razón, se espera que el maíz siga siendo el cultivo más importante en la zona durante los próximos 15 años y las 30 familias de la comunidad lo cultiven permanentemente.

### **D. Costos e ingresos de la producción de maíz**

Según la FAO (1995), los precios internacionales del maíz durante los últimos años han variado muy poco. Asimismo, para esta proyección se supone que la inflación afectará de la misma forma los costos e ingresos económicos de la producción de maíz.

### **E. Demanda de maíz para consumo familiar y comercialización**

Según Reyes (1996), 42% del maíz producido en San Miguel se destina al consumo familiar y 58% es comercializado. Esto significa que en 1996, se consumieron aproximadamente 40 toneladas de maíz y otras 55 toneladas fueron comercializadas. Tomando en cuenta el crecimiento poblacional anteriormente definido, se asume que la demanda de maíz se incrementará en 2,8 toneladas anualmente, de las cuales 1,2 toneladas se destinarán al consumo familiar y 1,6 toneladas a la comercialización. Esto significa que, en términos de áreas cultivadas con granos básicos y considerando los rendimientos en los sistemas tradicional y mejorado, en el año 2011 (año hasta donde se realiza esta proyección) la demanda de maíz en San Miguel será de 62 toneladas para el consumo y 86 toneladas para la comercialización.



1. No habrá cambios en la tenencia de la tierra.
2. No habrá incremento en el área agrícola de la Concesión.
3. No habrá inmigración al área de la Concesión.
4. La población local se incrementará a una tasa de 3% anual.
5. El área cultivada por familia (2,9 ha) se mantendrá constante.
6. La inflación afectará de la misma forma los costos y los ingresos de la producción de maíz, tanto en forma tradicional como en barbecho mejorado.
7. La demanda de maíz para consumo familiar y comercialización se incrementará a una tasa de 3% anual.

#### 8.1. PROYECCIÓN A 15 AÑOS PLAZO

Las proyecciones de la valoración económica de los bienes y servicios ambientales, se presentan en los Cuadros 27 y 28.

Cuadro 28. Proyección económica de la valoración de bienes y servicios ambientales, a 15 años plazo, con tasas de descuento de 6%, 9% y 12%.

| SISTEMA AGRICOLA       | ANO    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | VAN    |        |        |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                        | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     |        | 6%     | 9%     |
| ----- US\$ mil -----   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| <b>TRADICIONAL</b>     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| - Bienes               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Producción de maíz     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Ingreso bruto          | 118,47 | 118,47 | 118,47 | 118,47 | 118,47 | 118,47 | 118,47 | 118,47 | 118,47 | 118,47 | 118,47 | 118,47 | 118,47 | 118,47 | 118,47 | 118,47 | 118,47 | 118,47 |
| Costo total            | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  |
| Ingreso neto           | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  |
| Total Bienes           | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  | 29,46  |
| - Servicios            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Control de erosión     | -31,81 | -31,81 | -31,81 | -31,81 | -31,81 | -31,81 | -31,81 | -31,81 | -31,81 | -31,81 | -31,81 | -31,81 | -31,81 | -31,81 | -31,81 | -31,81 | -31,81 | -31,81 |
| Secuestro de carbono   | 105,00 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Fijación de nitrógeno  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Control de malezas     | -37,50 | -37,50 | -37,50 | -37,50 | -37,50 | -37,50 | -37,50 | -37,50 | -37,50 | -37,50 | -37,50 | -37,50 | -37,50 | -37,50 | -37,50 | -37,50 | -37,50 | -37,50 |
| Total Servicios        | 35,69  | -69,31 | -69,31 | -69,31 | -69,31 | -69,31 | -69,31 | -69,31 | -69,31 | -69,31 | -69,31 | -69,31 | -69,31 | -69,31 | -69,31 | -69,31 | -69,31 | -69,31 |
| Total bienes+servicios | 65,15  | -39,85 | -39,85 | -39,85 | -39,85 | -39,85 | -39,85 | -39,85 | -39,85 | -39,85 | -39,85 | -39,85 | -39,85 | -39,85 | -39,85 | -39,85 | -39,85 | -39,85 |
| <b>B. MEJORADO</b>     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| - Bienes               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Producción de maíz     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Ingreso bruto          | 222,48 | 222,48 | 222,48 | 222,48 | 222,48 | 222,48 | 222,48 | 222,48 | 222,48 | 222,48 | 222,48 | 222,48 | 222,48 | 222,48 | 222,48 | 222,48 | 222,48 | 222,48 |
| Costo total            | 107,59 | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  | 89,01  |
| Ingreso neto           | 114,89 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 |
| Total Bienes           | 114,89 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 | 133,47 |
| - Servicios            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Control de erosión     | -2,04  | -2,04  | -2,04  | -2,04  | -2,04  | -2,04  | -2,04  | -2,04  | -2,04  | -2,04  | -2,04  | -2,04  | -2,04  | -2,04  | -2,04  | -2,04  | -2,04  | -2,04  |
| Secuestro de carbono   | 113,00 | 8,00   | 8,00   | 8,00   | 8,00   | 8,00   | 8,00   | 8,00   | 8,00   | 8,00   | 8,00   | 8,00   | 8,00   | 8,00   | 8,00   | 8,00   | 8,00   | 8,00   |
| Fijación de nitrógeno  | 9,02   | 9,02   | 9,02   | 9,02   | 9,02   | 9,02   | 9,02   | 9,02   | 9,02   | 9,02   | 9,02   | 9,02   | 9,02   | 9,02   | 9,02   | 9,02   | 9,02   | 9,02   |
| Control de malezas     | -20,00 | -20,00 | -20,00 | -20,00 | -20,00 | -20,00 | -20,00 | -20,00 | -20,00 | -20,00 | -20,00 | -20,00 | -20,00 | -20,00 | -20,00 | -20,00 | -20,00 | -20,00 |
| Total Servicios        | 99,98  | -5,02  | -5,02  | -5,02  | -5,02  | -5,02  | -5,02  | -5,02  | -5,02  | -5,02  | -5,02  | -5,02  | -5,02  | -5,02  | -5,02  | -5,02  | -5,02  | -5,02  |
| Total bienes+servicios | 214,87 | 128,45 | 128,45 | 128,45 | 128,45 | 128,45 | 128,45 | 128,45 | 128,45 | 128,45 | 128,45 | 128,45 | 128,45 | 128,45 | 128,45 | 128,45 | 128,45 | 128,45 |
| B.mejorado-tradicional | 149,72 | 168,30 | 168,30 | 168,30 | 168,30 | 168,30 | 168,30 | 168,30 | 168,30 | 168,30 | 168,30 | 168,30 | 168,30 | 168,30 | 168,30 | 168,30 | 168,30 | 168,30 |

Cuadro 29. Proyección económica de la valoración de bienes y servicios ambientales en toda el área cultivada de la Concesión, a 15 años plazo, con tasas de descuento de 6%, 9% y 12%.

| SISTEMA AGRÍCOLA       | AÑO      |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          | VAN       |           |           |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
|                        | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        | 10       | 11       | 12       | 13       | 14       | 15       | 6%        | 9%        | 12%       |
| US\$                   |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| <b>TRADICIONAL</b>     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| - Bienes               |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| Producción de maíz     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| Ingreso bruto          | 10307,00 | 10307,00 | 10307,00 | 10307,00 | 10307,00 | 10307,00 | 10307,00 | 10307,00 | 10307,00 | 10307,00 | 10307,00 | 10307,00 | 10307,00 | 10307,00 | 10307,00 | 100103,10 | 83079,78  | 70190,56  |
| Costo total            | 7744,00  | 7744,00  | 7744,00  | 7744,00  | 7744,00  | 7744,00  | 7744,00  | 7744,00  | 7744,00  | 7744,00  | 7744,00  | 7744,00  | 7744,00  | 7744,00  | 7744,00  | 75209,76  | 62420,76  | 52742,01  |
| Ingreso neto           | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 24892,44  | 20659,02  | 17455,68  |
| Total Bienes           | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 2563,00  | 24892,44  | 20659,02  | 17455,68  |
| - Servicios            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| Control de erosión     | -2767,47 | -2767,47 | -2767,47 | -2767,47 | -2767,47 | -2767,47 | -2767,47 | -2767,47 | -2767,47 | -2767,47 | -2767,47 | -2767,47 | -2767,47 | -2767,47 | -2767,47 | -26977,80 | -22307,70 | -18846,60 |
| Secuestro de carbono   | 9135,00  | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 8617,35   | 8360,71   | 8156,25   |
| Fijación de nitrógeno  | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| Control de malezas     | -3262,50 | -3262,50 | -3262,50 | -3262,50 | -3262,50 | -3262,50 | -3262,50 | -3262,50 | -3262,50 | -3262,50 | -3262,50 | -3262,50 | -3262,50 | -3262,50 | -3262,50 | -31685,40 | -26297,50 | -22219,80 |
| Total Servicios        | 3105,53  | -6029,47 | -6029,47 | -6029,47 | -6029,47 | -6029,47 | -6029,47 | -6029,47 | -6029,47 | -6029,47 | -6029,47 | -6029,47 | -6029,47 | -6029,47 | -6029,47 | -49945,00 | -40224,50 | -32913,00 |
| Total bienes+servicios | 5668,03  | -3466,97 | -3466,97 | -3466,97 | -3466,97 | -3466,97 | -3466,97 | -3466,97 | -3466,97 | -3466,97 | -3466,97 | -3466,97 | -3466,97 | -3466,97 | -3466,97 | -25053,40 | -19363,40 | -15437,30 |
| <b>B. MEJORADO</b>     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| - Bienes               |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| Producción de maíz     |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| Ingreso bruto          | 19350,00 | 19350,00 | 19350,00 | 19350,00 | 19350,00 | 19350,00 | 19350,00 | 19350,00 | 19350,00 | 19350,00 | 19350,00 | 19350,00 | 19350,00 | 19350,00 | 19350,00 | 187887,90 | 150020,08 | 131029,40 |
| Costo total            | 9300,00  | 7774,00  | 7774,00  | 7774,00  | 7774,00  | 7774,00  | 7774,00  | 7774,00  | 7774,00  | 7774,00  | 7774,00  | 7774,00  | 7774,00  | 7774,00  | 7774,00  | 78734,87  | 83903,24  | 57696,34  |
| Ingreso neto           | 9990,00  | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 111252,10 | 92116,47  | 77843,15  |
| Total Bienes           | 9990,00  | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 11812,00 | 111252,10 | 92116,47  | 77843,15  |
| - Servicios            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |
| Control de erosión     | -177,05  | -177,05  | -177,05  | -177,05  | -177,05  | -177,05  | -177,05  | -177,05  | -177,05  | -177,05  | -177,05  | -177,05  | -177,05  | -177,05  | -177,05  | -1723,47  | -1430,28  | -1209,43  |
| Secuestro de carbono   | 9031,00  | 690,00   | 690,00   | 690,00   | 690,00   | 690,00   | 690,00   | 690,00   | 690,00   | 690,00   | 690,00   | 690,00   | 690,00   | 690,00   | 690,00   | 15377,25  | 13990,47  | 12890,01  |
| Fijación de nitrógeno  | 784,74   | 784,74   | 784,74   | 784,74   | 784,74   | 784,74   | 784,74   | 784,74   | 784,74   | 784,74   | 784,74   | 784,74   | 784,74   | 784,74   | 784,74   | 7621,20   | 8324,90   | 5327,01   |
| Control de malezas     | -1740,00 | -1740,00 | -1740,00 | -1740,00 | -1740,00 | -1740,00 | -1740,00 | -1740,00 | -1740,00 | -1740,00 | -1740,00 | -1740,00 | -1740,00 | -1740,00 | -1740,00 | -16898,99 | -14075,30 | -11850,30 |
| Total Servicios        | 6998,00  | -430,91  | -430,91  | -430,91  | -430,91  | -430,91  | -430,91  | -430,91  | -430,91  | -430,91  | -430,91  | -430,91  | -430,91  | -430,91  | -430,91  | -4378,10  | -4859,82  | -5181,72  |
| Total bienes+servicios | 16084,00 | 11175,09 | 11175,09 | 11175,09 | 11175,09 | 11175,09 | 11175,09 | 11175,09 | 11175,09 | 11175,09 | 11175,09 | 11175,09 | 11175,09 | 11175,09 | 11175,09 | 115029,20 | 99970,29  | 82124,87  |
| B.mejorado-tradicional | 13028,08 | 14942,06 | 14942,06 | 14942,06 | 14942,06 | 14942,06 | 14942,06 | 14942,06 | 14942,06 | 14942,06 | 14942,06 | 14942,06 | 14942,06 | 14942,06 | 14942,06 | 140081,60 | 110541,70 | 99282,16  |

Durante el primer año, la producción de bienes representa el 57% de los beneficios adicionales generados por el sistema agrícola de maíz en barbecho mejorado con respecto al tradicional, mientras que la producción de servicios representa el 43%. Entre los beneficios generados por los servicios, el control de erosión contribuye en un 46%, el control de malezas en un 27%, la fijación de nitrógeno en un 14% y el secuestro de carbono en un 13%. Luego del primer año, la producción de bienes en el barbecho mejorado pasa a conformar el 62% por la mayor generación de ingresos adicionales. En cambio, la producción de servicios sigue generando los mismos beneficios y reduce su contribución a 38%. Esto indica que la reducción en los costos totales del maíz en barbecho mejorado a partir del segundo año es un factor importante, ya que determina la mayor contribución de los bienes a la generación de beneficios adicionales.

El valor actual neto (VAN) de los beneficios adicionales generados por cada hectárea de maíz en barbecho mejorado a lo largo de 15 años, con una tasa de descuento anual de 9%, es de US\$1339,56. Si el área cultivada actualmente bajo el sistema agrícola tradicional fuera suplantada por el barbecho mejorado en el área agrícola total de la Concesión Comunitaria, este beneficio adicional sería de US\$116541,72. Aun con una implementación del barbecho mejorado en únicamente el 50% del área agrícola total, se generaría un beneficio adicional de US\$58270,86. Estos beneficios adicionales provienen en un 60% de los bienes (producción de maíz) y en un 40% de los servicios. Del total de beneficios que provienen de los servicios, el control de erosión contribuye en un 46%, el control de malezas en un 27%, la fijación de nitrógeno en un 14% y el secuestro de carbono en un 13%. El VAN de los bienes y servicios ambientales generados por los sistemas agrícolas de San Miguel se presentan en la Figura 11.

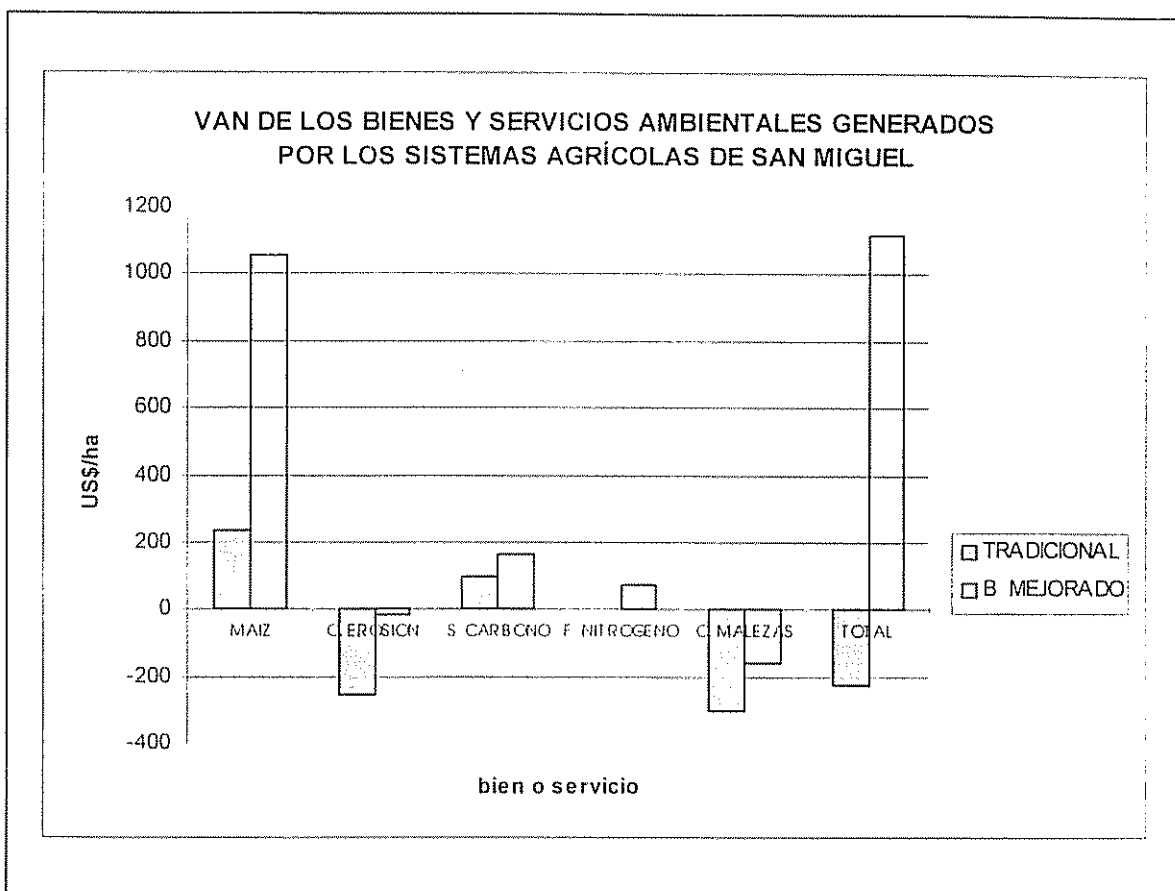


Figura 11. Valor actual neto de los bienes y servicios ambientales generados por los sistemas agrícolas de San Miguel, a 15 años plazo, con una tasa de descuento anual de 9%.

Los beneficios económicos generados por la introducción del barbecho mejorado en toda el área cultivada de la Concesión se reflejan en varios aspectos importantes para la producción agrícola de la región. En primer lugar, el maíz en barbecho mejorado incrementa los rendimientos obtenidos en 88%. Este beneficio es todavía más importante dadas las condiciones de San Miguel, que es una Concesión Comunitaria y hace parte de la Reserva de la Biosfera Maya, en la donde no se debe incrementar el área agrícola. Este aumento en los rendimientos representa una mayor posibilidad de suplir las necesidades de maíz para consumo familiar y generar excedentes, sin la necesidad de incrementar el área cultivada.

Con los rendimientos obtenidos en el maíz en forma tradicional, no se podrá mantener el nivel actual de consumo y de comercialización. Al finalizar el período de la proyección económica, este sistema agrícola todavía podría suplir los 62450 kg de maíz necesarios para el consumo familiar, pero los excedentes para la comercialización se reducirían a únicamente 32988 kg, de los 86240 kg que se necesitarían para mantener el nivel actual de comercialización. Esto reduciría en un 62% la generación del ingreso monetario familiar por la venta de maíz. Este problema sería todavía más grave en el futuro, ya que luego de 29 años el área cultivada con maíz en forma tradicional no lograría siquiera producir lo necesario para el consumo familiar, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de la Concesión. Esta misma área cultivada con maíz en barbecho mejorado generaría rendimientos suficientes para mantener los niveles actuales de consumo familiar y de comercialización durante 21 años y podría garantizar el maíz necesario para el consumo familiar únicamente durante 50 años. La introducción del maíz en barbecho mejorado en San Miguel representa a la comunidad la posibilidad de suplir el maíz necesario para el consumo familiar durante 29 años más de lo que el maíz en forma tradicional podría suplir, sin la necesidad de incrementar el área cultivada. El maíz en barbecho mejorado también representaría una mayor seguridad al productor, ya que tiene menos riesgos de pérdidas de cosecha causadas por plagas y enfermedades.

Además, la introducción del barbecho mejorado eliminaría las quemadas para la preparación de las parcelas y contribuiría a una mayor conservación de los recursos suelo y agua, ya que al aumentar la cobertura del suelo, el maíz en barbecho mejorado reduciría la erosión, la escorrentía y la infiltración acelerada. Esto disminuiría la pérdida de suelo superficial y la lixiviación de nutrientes. Del mismo modo, reduciría la sedimentación de las fuentes de agua como resultado de la erosión.

Todos estos beneficios representan una excelente alternativa a los sistemas de producción tradicionales, principalmente en zonas de frontera agrícola y en áreas

protegidas. Se permite incrementar los rendimientos, disminuyendo el área cultivada y conservando algunos de los recursos más importantes, que son bosque, suelo y agua.

## VII. CONCLUSIONES

A la luz de los resultados obtenidos y presentados en este estudio, se pueden llegar a varias conclusiones de fundamental importancia para la valoración económica de bienes y servicios ambientales de sistemas agrícolas.

Los sistemas agrícolas de maíz en forma tradicional y en barbecho mejorado con frijol abono generan una serie de bienes y servicios ambientales, que en mayor o menor escala son esenciales al hombre. Estos bienes y servicios ambientales pueden ser valorados física y económicamente.

Se identificaron en total 28 bienes y servicios ambientales generados por ambos sistemas agrícolas. La mitad de ellos tiene gran importancia ecológica y económica y por lo tanto fueron jerarquizados. De los bienes y servicios jerarquizados, más de la mitad pudo ser valorada económicamente, debido a la alta disponibilidad de información y métodos de valoración.

Entre los dos sistemas agrícolas estudiados, el maíz en barbecho mejorado es el que tiene un mayor valor económico en términos de bienes y servicios ambientales.

Luego de valorar los bienes y servicios identificados, jerarquizados y seleccionados en cada sistema agrícola, se pudo determinar que el maíz en barbecho mejorado con frijol abono, genera en el largo plazo, mayores beneficios económicos que el maíz en forma tradicional y por consiguiente se acepta la hipótesis planteada para esta investigación.

El valor económico de los sistemas agrícolas de San Miguel tiene una gran sensibilidad a los cambios en el costo de la mano de obra y en el precio de los insumos agrícolas (principalmente los fertilizantes), ya que los parámetros



utilizados en esta valoración hacen con que el valor de estos agroecosistemas dependa en gran parte de estos rubros.

La implementación del sistema agrícola de maíz en barbecho mejorado en sustitución del maíz tradicional en San Miguel, contribuiría a una mayor generación de beneficios económicos en términos de bienes y servicios ambientales, principalmente por los mayores ingresos netos obtenidos en la producción de maíz (bienes) y por el control de erosión.

Asimismo, lograría satisfacer la demanda de maíz para el consumo familiar y para la comercialización debido a mayores rendimientos. El maíz en barbecho mejorado produciría excedentes para la comercialización durante 21 años y garantizaría el maíz necesario para el consumo familiar durante 50 años. En el caso del maíz tradicional, al final de 15 años ya se generarían excedentes para la comercialización y a los 29 años siquiera generaría lo suficiente para el consumo familiar.

Adicionalmente, la implementación del barbecho mejorado reduciría el área agrícola, incorporando área boscosa. También eliminaría la necesidad de quemas y permitiría una mayor conservación de los recursos suelo y agua en la Concesión. Más allá del área de San Miguel, el sistema agrícola de maíz en barbecho mejorado es una alternativa para el manejo de las zonas de usos múltiples de áreas protegidas como la Reserva de la Biosfera Maya.

Sin embargo, la adopción a corto plazo del barbecho mejorado en San Miguel se ve limitada por varios factores ajenos a todos los beneficios que este pueda generar. De todos modos, la demostración de la importancia de esta alternativa en términos de los beneficios económicos de los bienes y servicios ambientales generados y de las ventajas al productor es un importante paso hacia la sustitución del sistema agrícola tradicional.

La metodología empleada en este estudio dio excelentes resultados en el cumplimiento de los objetivos propuestos, ya que tiene una gran flexibilidad, considera todos los elementos necesarios en la obtención de los datos y establece una secuencia práctica en el proceso de valoración física y económica de los bienes y servicios ambientales en sistemas agrícolas.

Finalmente, la valoración económica de bienes y servicios ambientales es una herramienta esencial para demostrar la viabilidad económica y ecológica de diferentes sistemas agrícolas, de modo que se permita tomar decisiones de carácter político con base en fundamentos más amplios.

## VIII. RECOMENDACIONES

En este estudio sobresale la necesidad de incluir los bienes y servicios ambientales en las valoraciones económicas de sistemas agrícolas, ya que proveen una base más amplia y elementos más concretos al momento de implementar alternativas productivas

Durante el proceso de identificación, jerarquización y selección de los bienes y servicios ambientales a ser valorados, es importante relacionar los criterios metodológicos con la realidad del área de estudio, puesto que un determinado beneficio puede tener mayor o menor relevancia, de acuerdo a la situación en que se está generando

También es necesario dedicar gran esfuerzo a la obtención de datos para las valoraciones físicas, debido a que de esto depende la calidad de los resultados de las valoraciones económicas

Es recomendable implementar la producción de maíz en barbecho mejorado en la totalidad del área cultivada de la Concesión Comunitaria de San Miguel, ya que contribuiría a una mayor generación de beneficios económicos en términos de producción de bienes y servicios ambientales. Además, la implementación del barbecho mejorado eliminaría las áreas de barbecho, incrementaría el área de manejo forestal, eliminaría las quemadas para la preparación de las parcelas y conservaría los recursos suelo y agua por un periodo más prolongado.

El proceso de implementación del maíz en barbecho mejorado en San Miguel debe estar enfocado hacia las ventajas futuras, principalmente en términos de la reducción del área agrícola e incremento del área de manejo forestal, con todos sus beneficios económicos derivados de la extracción de madera y productos forestales no maderables, así como de la generación de excedentes para la comercialización y la producción para el consumo familiar por un periodo más

prolongado, lo que garantizaría alimento e ingresos monetarios a las generaciones futuras. Una de las posibles formas de implementar el barbecho mejorado en San Miguel es por medio de áreas demostrativas en las parcelas de aquellos agricultores que ya lo han adoptado, de forma que la promoción y la transferencia ocurra principalmente de agricultor a agricultor.

Sin embargo, paralelamente a la implementación del barbecho mejorado, es necesario presentar soluciones a algunos de los problemas locales que puedan dificultar el proceso de adopción. Entre estos problemas se encuentran la organización y participación comunitaria y la generación de ingresos en efectivo. Una vez implementado el barbecho mejorado en San Miguel, existiría la posibilidad de manejar el área agrícola de la Concesión con una mayor viabilidad económica y ecológica por un periodo más prolongado.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- ARÉVALO, M. 1996. Caracterización de la producción de maíz bajo el sistema de agricultura migratoria en el Área de Usos Múltiples de San Miguel La Palotada. San Andrés, Petén. Tesis Lic. Universidad de San Carlos de Guatemala. 83p.
- AYLWARD, B., BARBIER, E. 1991. Valuing environmental functions in developing countries: a challenge for economics and ecology. Paper presented at the International Workshop on Ecology and Economics. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 20p.
- BARBIER, E., COSTANZA, R., TWILLEY, R. 1993. Lineamientos para la evaluación de humedales tropicales. Serie Técnica. Informe Técnico/CATIE. No. 231. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 63p.
- BENBROOK, C. 1990. Society's stake in sustainable agriculture. *In* Edwards, C., Lal, R. (Eds.) Sustainable agricultural systems. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, USA. pp.68-76.
- BIANCO, L. 1994. Sondeo del mercado de carbón en las ciudades de León y Chinandega, Nicaragua. Documento de Trabajo No. 1. Proyecto OLAFO/CATIE. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 34p.
- BINGHAM, G., BISHOP, R., BRODY, M., CRONLEY, D., CLARCK, E., COOPER, W., COSTANZA, R., HALE, T., FLAYDEN, G., KELLERT, S., NORGAARD, R., NORTON, B., PAYNE, J., RUSSELL, L., SUTTER, G. 1995. Issues in ecosystem valuation: improving information for decision making. *Ecological Economics* (Netherlands) 14: 73-90.
- BRADY, N. 1990. Making agriculture a sustainable industry. *In* Edwards, C., Lal, R. (Eds.) Sustainable agricultural systems. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, USA. pp. 20-23.
- BRIONES, N. 1986. Estimating erosion costs: a Philippine case study in the lower Agno River watershed. *In* Waster, K., Dixon, J., Hufschmidt, M. (Eds.) Watershed resources management: an integrated framework with studies from Asia and the Pacific. East-West Center. Honolulu, USA. pp. 205-218.
- BRONFENBRENNER, B., SICHEL, W., GARDNER, W. 1990. Economics. Third Edition. Houghton Mifflin Co. Boston, USA. 969p.

- BUCKLES, D. 1993. Extensión campesino a campesino de los abonos verdes en la Sierra de Santa Marta, Veracruz, México. *In* Gorras y Sombreros: Caminos hacia la colaboración entre técnicos y campesinos. Catemaco, México pp.10-20.
- BUNCH, R. 1994. Slash/Mulch: How farmers use it and what researchers know about it. CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp.6-10.
- BUOL, S.; HOLE, F.; McCracken, R. 1991. Génesis y clasificación de suelos. Trillas. México, D.F. 417p.
- CAPISTRANO, A.; KIKER, C. 1995. Macro-scale economic influences on tropical forest depletion. *Ecological Economics* (Netherlands) 14:21-29.
- CARE 1996. Estrategia Agroforestal. CARE International/Guatemala, Oficina Regional Petén. Flores, Guatemala. 58p.
- CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA 1994a. Plan de manejo forestal para la Unidad de Manejo San Miguel, Petén, Guatemala. Documento de Trabajo No.9. Proyecto OLAFO/CATIE. Turrialba, Costa Rica. 27p.
- CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA 1994b. Impacto ambiental del plan de manejo forestal de la Unidad de Manejo San Miguel, Petén, Guatemala. Documento de Trabajo No.10. Proyecto OLAFO/CATIE. Turrialba, Costa Rica. 9p.
- CENTRO MAYA. 1996. Informe de resultados 1993-1995. Programa de suelos Flores, Guatemala. 29p.
- CHÁVEZ, E. 1993. Efecto residual de la mucuna sobre el rendimiento de maíz bajo diferentes sistemas de manejo. *In* Gorras y Sombreros: Caminos hacia la colaboración entre técnicos y campesinos. Catemaco, México. pp.89-95.
- CLARK, E. 1985. The off-site costs of soil erosion. *Journal of soil and water conservation* (USA) 40(1):19-22.
- COLLINET, J. 1990. Diagnósticos, potencialidades y factores limitantes de algunos de los sistemas de suelos representativos de la zona de estudio "Biotopo", Petén, Guatemala. Proyecto OLAFO. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 43p.
- COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS. 1990. Decreto Ley No. 5-90. República de Guatemala. Ciudad Guatemala, Guatemala. 16p.

- COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS. 1994. Contrato de Manejo Forestal para la Unidad de Manejo de San Miguel, San Andrés, Petén, Guatemala. Presidencia de la República de Guatemala. Ciudad Guatemala, Guatemala. 20p.
- COSTANZA, R.; PATTEN, B. 1995. Defining and predicting sustainability. *Ecological Economics* (Netherlands) 15:193-196.
- de GROOT, R. 1992. Functions of nature: evaluation of nature in environmental planning, management and decision making. Wolters-Nordhoff. Amsterdam. 315p.
- de la Cruz, R.; ROJAS, E.; MERAYO, A. 1994. Manejo de la caminadora (*Rottboellia cochinchinensis*) en el cultivo de maíz y el período de barbecho con leguminosas de cobertura. *Manejo Integrado de Plagas* (Costa Rica) 31:29-35.
- DOROMEDIS, J. 1984. Establecimiento y manejo del frijol terciopelo (*Mucuna pruriens*) como cobertura viva para el combate de malezas en maíz (*Zea mays*). Tesis Mag.Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 130p.
- ELLIOT, L.; STEVENSON, F. 1977. Soil for management of organic wastes and waste waters. American Society of Agronomy. Madison, USA. 650p.
- ELLIOT, W.; FOSTER, G.; ELLIOT, A. 1991. Soil erosion: processes, impacts and prediction. *In* Lal, R.; Pierce, F. (Eds.) *Soil Management for Sustainability*. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, USA. pp.25-34.
- ESPINOSA, R.; MADRIGAL, R.; ÁLVAREZ, N. 1994. Agroecosystems for sustainable corn productivity in hot wet regions of Mexico. *In* *Slash/Mulch: How farmers use it and what researchers know about it*. CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp.61-74.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. 1978. Shifting cultivation. *FAO Soils Bulletin* 24. Rome. 248p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. 1986. Improved production systems as an alternative to shifting cultivation. *FAO Soils Bulletin* 53. 218p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. 1991. Shifting cultivation: local technical knowledge and natural resources management in the humid tropics. *FAO Community Forestry Note* 8. 80p.

- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. 1993a. Shifting cultivators of Indonesia: marauders or managers of the forest? FAO Community Forestry Case Studies Series 6. 119p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. 1993b. Fertilizer yearbook. FAO Statistics Series No 119. Rome. 148p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. 1995. Shifting cultivation in Bhutan: a gradual approach to modifying land use patterns. FAO Community Forestry Case Studies Series 11. 88p.
- FASSBENDER, H.; BORNEMISZA, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2a. Ed. IICA. San José, Costa Rica. 420p.
- FLORES, M. 1993. Tienen razón los agricultores de usar el frijol abono? *In* Gorras y Sombreros: Caminos hacia la colaboración entre técnicos y campesinos. Catemaco, México pp.33-40.
- FRANCIS, C.; CLEGG, M. 1990. Crop rotation in sustainable production systems. *In* Edwards, C.; Lal, R. (Eds). Sustainable agricultural systems. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, USA. pp.107-122.
- FUJII, Y.; SHIBUYA, T.; YASUDA, T. 1992. Allelopathy of velvetbean: its discrimination and identification of L-DOPA as a candidate of allelopathic substances. *Japan Agricultural Research Quarterly (Japan)* 25(4):238-247.
- GILLER, K.; WILSON, K. 1991. Nitrogen fixation in tropical cropping systems. CAB International. Oxon, England. 313p.
- GLEISSMAN, S. 1990. Understanding the basis of sustainability for agriculture in the tropics: experiences in Latin America. *In* Edwards, C.; Lal, R. (Eds). Sustainable agricultural systems. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, USA. pp.378-390.
- GRAHAM, P. 1972. El ciclo del nitrógeno. *Suelos Ecuatoriales (Colombia)* 4:119-139.
- GREGERSEN, H.; BROOKS, K.; DIXON, J.; HAMILTON, L. 1986. Guidelines for economic appraisal of watershed management projects. Report prepared for The Food and Agriculture Organization. St. Paul, USA. 112p.
- HAIRIAH, K. 1992. Biomass production and performance of leguminous cover crops on al ultisol in Lampung. *Agrivita (Indonesia)* 15(1):39-44.



- HANLEY, N.; RUFFELL, R. 1993. Contingent valuation of forest characteristics. *Journal of Agricultural Economics (England)* 44(2):218-229.
- HANLEY, N. 1989. Valuing rural recreation sites: an empirical comparison of two approaches. *Journal of Agricultural Economics (England)* 40(3):361-374.
- HANLEY, N. 1992. Environmental limits to cost benefit analysis. *Environmental and Resource Economics (Netherlands)* 2(1):33-59.
- HANLEY, N.; SPASH, C.; WALKER, L. 1995. Problems in valuing the benefits of biodiversity protection. *Environmental and Resource Economics (Netherlands)* 5(3):249-272.
- HARTWICK, J. 1992. Deforestation and national accounting. *Environmental and Resource Economics (Netherlands)* 2(5):213-521.
- HARWOOD, R. 1990. A history of sustainable agriculture. *In* Edwards, C.; Lal, R. (Eds). *Sustainable agricultural systems. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, USA* pp.3-19.
- HAUCK, R.; TANJI, K. Nitrogen transfer and mass balances. *In* Stevenson, F. (Ed.) *Nitrogen in agricultural soils. American Society of Agronomy. Madison, USA* pp.891-924.
- HENZELL, E.; NORRIS, D. 1962. Processes by which nitrogen is added to the soil-plant system. *In* Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Australia. A review of nitrogen in the tropics with particular reference to pastures: a symposium. Farnham Royal, Bucks, England. Commonwealth Agricultural Bureaux. pp.1-18.
- HERRERA, I. 1995. Efecto de coberturas vivas de leguminosas en el control de nemátodos fitoparásitos del café. Tesis Mag.Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 72p
- HOLT-GIMÉNEZ, E.; CRUZ, O. 1993. El programa de experimentación campesina con abonos verdes en Omotepe, Nicaragua. *In* Gorras y Sombreros: Caminos hacia la colaboración entre técnicos y campesinos. Catemaco, México. pp.33-40.
- HOLT-GIMÉNEZ, E.; PASOS, R. 1994. Farmer to Farmer: The potential for technology generation and transfer for farmers in Rio San Juan, Nicaragua. *In* Slash/Mulch: How farmers use it and what researchers know about it. CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp.75-64.
- INTERNATIONAL DEVELOPMENT RESEARCH CENTRE. 1992. For Earth's sake. IDRC. Ottawa, Canada. 145p.

- INTERNATIONAL GEOSPHERE-BIOSPHERE PROGRAMME. 1988. A study of Global Change. IGBP. Swedish Royal Academy of Sciences. Stockholm. 152p.
- JIMENEZ, J. 1995. Evaluación de la actividad de frijol abono: Área demostrativa de San Miguel, Petén, Guatemala. Informe Interno. Proyecto Olafo. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 8p.
- JIMENEZ, J. 1996. Informe de Viaje a San Miguel. Proyecto OLAFO. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 3p.
- JOHANSSON, P. 1992. Altruism in cost-benefit analysis. *Environmental and Resource Economics* (Netherlands) 2(6):605-614.
- JOHNSTON, R. J. 1989. *Environmental problems: nature, economy and state*. Belhaven press. London, England. 211p.
- KAHN, J.; McDONALD, J. 1994. Third-world debt and tropical deforestation. *Ecological Economics* (Netherlands) 12:107-123.
- KENDALL, H.; PIMENTEL, D. 1994. Constraints on the expansion of the global food supply. *Ambio* (Sweden) 23(3):198-205.
- KIDD, C.; PIMENTEL, D. 1992. *Integrated resource management. Agroforestry for development*. Academic Press (USA). 223p.
- KIMBALL, J. 1971. *Biologia*. Fondo Educativo Interamericano. Reading, USA. 761p.
- KINGIL, L. 1990. Soil nutrient management in the United States. *In* Edwards, C.; Lal, R. (Eds). *Sustainable agricultural systems. Soil and Water Conservation Society*. Ankeny, USA. pp.89-106.
- LAL, R. 1989. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol: II: Water runoff, soil erosion and nutrient loss. *Agroforestry systems* (Netherlands) 8(2):97-112.
- LAL, R. 1991. Soil structure and sustainability. *Journal of Sustainable Agriculture* (USA) 1:67-92.
- LAL, R. 1994. Agronomic sustainability of different farming systems on alfisols in southwestern Nigeria. *Journal of Sustainable Agriculture* (USA) 4(2):33-51.

- LAL, R., PIERCE, F. 1991. The vanishing resource. *In* Lal, R.; Pierce, F. (Eds.). Soil Management for Sustainability. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, USA. pp 1-6.
- LAL, R.; ECKERT, D.; FAUSEY, R.; EDWARDS, W. 1990. Conservation tillage in sustainable agriculture. *In* Edwards, C.; Lal, R. (Eds). Sustainable agricultural systems. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, USA. pp 203-225
- LÓPEZ, G.; BUNCH, R. 1993. La investigación participativa con abonos verdes en Honduras. *In* Gorras y Sombreros: Caminos hacia la colaboración entre técnicos y campesinos. Camatenaco, Mexico. pp.17-22.
- LUNA, J.; HOUSE, G. 1990. Pest management in sustainable agricultural systems. *In* Edwards, C.; Lal, R. (Eds). Sustainable agricultural systems. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, USA. pp 157-173.
- MANNERING, J.; FENSTER, C. 1983. What is conservation tillage? *Journal of Soil and Water Conservation (USA)* 38:141-155.
- McSORLEY, R.; DICKSON, D.; BRITTO, J.; HEWLETT, T. 1994. Effects of tropical rotation crops on *Meloidogyne arenaria* population densities and vegetable yields in microplots. *Journal of Nematology (USA)* 26(2):175-181.
- MYERS, N. 1989. The environmental base of sustainable development. *In* Schramm, G.; Warford, J. (Eds). Environmental management and economic development. John Hopkins University Press. Baltimore, USA. 208p.
- OFICINA COSTARRICENSE DE IMPLEMENTACIÓN CONJUNTA. 1995. Venta de Servicios de Fijación de Carbono: Compañía Nacional de Fuerza y Luz - Noruega. 10p.
- PEARCE, D. 1989. Sustainable development: an economic perspective. Gatekeeper Series No. LEEC 89-01. London Environmental Economics Centre. London, England. 8p.
- PEARCE, D.; MARKANDYA, A. 1989. Marginal opportunity cost. *In* Schramm, G.; Warford, J. (Eds). Environmental management and economic development. John Hopkins University Press. Baltimore, USA. 208p.
- PEARCE, D.; BARBIER, E.; MARKANDYA, A. 1988. Sustainable Development and Cost Benefit Analysis. LECC Paper 88-03. London Environmental Economics Centre. London, England. 30p.

- PÉREZ, J., SCOTT, L.; ARÉVALO, L. 1991. Pijuayo con cobertura de leguminosas. *In* Urpi, J., Scott, L.; Murillo, M.; Patino, V. (Eds.) IV Congreso Internacional sobre biología, agronomía e industrialización del pijuayo. Iquitos, Perú. pp 309-322.
- PIERCE, F. 1991. Erosion productivity impact prediction. *In* Lal, R.; Pierce, F. (Eds.) Soil Management for Sustainability. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, USA. pp 35-52.
- PIERCE, F.; DOWDY, R.; LARSON, W.; GRAHAM, W. 1984. Productivity of soils: assessing long-term changes due to erosion. *Journal of Soil and Water Conservation (USA)* 39:131-136.
- PIMENTEL, D. 1993. World soil erosion. Cambridge University Press (England). 349p
- PIMENTEL, D.; HALL, C. 1984. Food and energy resources. Academic Press. New York, USA. 268p.
- PIMENTEL, D.; JERHUNE, E.; DYSON-HUDSON, R.; ROCHERAW, S.; SAMIS, R.; SMITH, W.; DENMAN, D.; REIFSCHNEIDER, D.; SHEPARD, M. 1976. Land degradation: effects on food and energy resources. *Science (USA)* 194:149-155.
- PIMENTEL, D.; HERDENDORF, M.; EISENFELD, S.; OLANDER, L.; CARROQUINO, M.; LARSON, C.; McDADE, J.; CHUNG, Y.; CANNON, W.; ROBERTS, J.; BLUMAN, L.; GREGG, J. 1994. Achieving a secure energy future: environmental and economic issues. *Ecological Economics (Netherlands)* 9:201-219.
- PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; RESOSUDARMO, P.; SINCLAIR, K.; KURZ, D.; McNAIR, M.; CRIST, S.; SHPRITZ, L.; FITTON, L.; SAFFOURI, R.; BLAIR, R. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science (USA)* 267:1117-1123.
- PLUCKNETT, D. 1990. International goals and the roll of research centers. *In* Edwards, C.; Lal, R. (Eds). Sustainable agricultural systems. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, USA. pp.33-49.
- REGNIER, E.; JANKE, R. 1990. Evolving strategies for managing weeds. *In* Edwards, C.; Lal, R. (Eds). Sustainable agricultural systems. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, USA. pp.174-202
- REYES, R. 1996. Caracterización y evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de producción de la Concesión Comunitaria de San Miguel, Petén, Guatemala. Tesis Mag.Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 177p.

- RODRÍGUEZ, R. 1994. Crop rotation studies with velvetbean for the management of *Meloidogyne* spp. *Journal of Nematology (USA)* 24(4):662-668.
- RUTHEMBERG, H. 1971. *Farming systems in the tropics*. Clarendon. Oxford. 53p.
- SÁNCHEZ, P. 1972. Soil management under shifting cultivation. In *Review of soils research in tropical Latin America*. North Carolina State University, USA. pp.62-64.
- SÁNCHEZ, P. 1977. Alternativas al sistema de agricultura migratoria en América Latina. Trabajo presentado ante la Reunión sobre Manejo, Conservación de Suelos y Agricultura Migratoria en América Latina. FAO/SIDA. Octubre 5, 1977. Lima, Perú. 30p.
- SÁNCHEZ, P. 1981a. Nitrogen in shifting cultivation systems of Latin America. *Proceedings of Cali Conference*. Cali, Colombia, March 1981. 19p.
- SÁNCHEZ, P. 1981b. *Suelos del trópico: características y manejo*. IICA. San Jose, Costa Rica. 660p.
- SÁNCHEZ, P.; BAWDY, D.; VILLACHICA, J.; NICHOLAIDES, J. 1982. Amazon soil management for continuous crop production. *Science (USA)* 216:821-827.
- SCHULZE, P. 1994. Cost-benefit analyses and environmental policy. *Ecological Economics (Netherlands)* 9:197-199.
- SENCIÓN, G. 1996. Evaluación económica de un ecosistema bosque húmedo tropical. Estudio de Caso San Miguel La Palotada, Petén, Guatemala. Versión preliminar. Tesis Mag.Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 117p.
- SERAFY, S.; LUTZ, E. 1989. Environmental and natural resources accounting. *In* Schramm, G.; Warford, J. (Eds). *Environmental management and economic development*. John Hopkins University Press. Baltimore, USA. 208p.
- SHECHTER, M. 1991. A comparative study of environmental amenity valuations. *Environmental and Resource Economics (Netherlands)* 1(2):129-155.
- SINGH, J.; SINGH, J. 1995. Land degradation and economic sustainability. *Ecological Economics (Netherlands)* 15:77-86.
- SITOMPUL, S. 1992. Crop yields and sustainability of cassava-based cropping systems on an ultisol in Lampung. *Agrivita (Indonesia)* 15(1):19-28.

- SOLÍS, H. 1993. Cálculo de erosión de la cuenca de Petexbatún. Proyecto OLAFO. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 13p.
- SOOD, B., SHARMA, V. 1992. Effect of nitrogen level on the yield and quality of forrage sorghum intercropped with legumes. *Indian Journal of Agronomy* (India) 37(4) 642-644
- SOULE, M. 1993. Investigación sobre la adopción y el aprendizaje sobre la mucuna en el sur de Veracruz, México. *In* Gorras y Sombreros: Caminos hacia la colaboración entre técnicos y campesinos. Catemaco, México. pp.63-64.
- STINNER, B.; BLAIR, I. 1990. Ecological and organic characteristics of innovative cropping systems. *In* Edwards, C.; Lal, R. (Eds). Sustainable agricultural systems. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, USA. pp.123-140.
- THURSTON, H. 1994. Introduction and discussion of workshop objectives. *In* Slash/Mulch: How farmers use it and what researchers know about it. CATIE, Turrialba, Costa Rica. pp.1-5.
- TIAN, G. 1992. Effects of chemical composition on N, Ca and Mg release during incubation of leaves from selected agroforestry fallow plant species. *Biogeochemistry* (USA) 16(2) 103-119.
- UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA; PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE; FONDO MUNDIAL PARA LA NATURALEZA. 1991. Cuidar la Tierra: Estrategia para el futuro de la vida. Gland, Suiza. 256p.
- VILLEE, C. 1988. *Biología*. 4ta Ed. McGraw Hill. Mexico, D.F. 875p.
- VINCENT, J. 1982. Nitrogen fixation in legumes. Academic Press. Sidney, Australia. 288p.
- WADE, M.; SÁNCHEZ, P. 1983. Mulching and green manure applications for continuous crop production in the Amazon Basin. *Agronomy Journal* (USA) 75:39-44.
- WEAVER, D. 1994. Velvetbean in rotation with soybean for management of *Heterodera glycines* and *Meloidogyne arenaria*. *Journal of Nematology* (USA) 25(4):809-813.
- WENDT, R.; BURWELL, R. 1985. Runoff and soil losses from conventional, reduced and no-till corn. *Journal of Soil and Water Conservation* (USA) 40(5):450-454.

- WINDEVOXHEL, N 1992. Valoración económica parcial de los manglares de la región II de Nicaragua. Tesis Mag.Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 100p.
- WORLD BANK. 1995. Commodity markets and the developing countries. World Bank Quarterly: May 1995. Washington, USA. 45p.
- WORLD WILDLIFE FUND. 1995. Real value for nature: an overview of global efforts to achieve true measures of economic progress. WWF. Gland, Switzerland. 158p.