

## Viabilidad económica y ambiental de policultivos de hule, café y cacao\*

### Rubber, coffee and cocoa polyculture economic and environmental viability

Belén Cruz González<sup>1</sup>, Ramón Jarquín Gálvez<sup>2§</sup> y Hugo Magdaleno Ramírez Tobias<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Chiapas, Campus IV, Centro de Biociencias. <sup>2</sup>Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía. Carretera a Puerto Madero, Col. Cantarranas, km 1.8 C. P. 30797, Tapachula, Chiapas México, judisbel@hotmail.com. <sup>2</sup>Carretera San Luis Potosí, Matehuala, km 14.5. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: ramon.jarquin@uaslp.mx.

#### Resumen

Los policultivos en general han recibido una atención creciente por las aparentes bondades en el aprovechamiento de espacio y servicios ambientales que ofrecen. No obstante, se sabe que no todas las combinaciones de cultivos pueden resultar económica y ambientalmente competitivas, por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar en 2008, la viabilidad económica y ambiental de cuatro cultivos de importancia económica y las posibles combinaciones entre ellos existentes en el municipio de Huehuetán, Chiapas, México. Se tomaron indicadores económicos, físicos, químicos, y biológicos que se evaluaron utilizando un análisis estadístico multivariado de componentes principales y la prueba t-student. Se encontró que los policultivos café robusta-cacao y hule-cacao obtuvieron un LER de 1.33 y 1.13 respectivamente y una relación B/C de 2.59 y 1.89, por lo que fueron los más viables económicamente. El policultivo hule-café árabe presentó características de interferencia interespecífica. El hule en monocultivo al igual que el policultivo hule-cacao fueron los más viables económicamente y ambientalmente, debido a que destacaron significativamente en cada indicador y a las posibilidades de corrección de factores limitantes como pH y cantidad de luz que tienen los productores.

#### Abstract

Polyculture in general have received increasing attention by the apparent advantages in the utilization of space and environmental services offered. However, it is known that not all combinations of crops can be economically and environmentally competitive, for this reason the aim of this study was to evaluate in 2008, the economic and environmental viability of four economically important crops and the existing possible combinations of these in the town of Huehuetán, Chiapas, Mexico. Economic, physical, chemical, and biological indicators were evaluated using multivariate statistical analysis of main components and the t-student test. We found that, the polyculture robusta coffee-cocoa and rubber-cocoa obtained a LER of 1.33 and 1.13 respectively and a B/C relation of 2.59 and 1.89, so they were the most economically viable. The polyculture rubber-Arabic coffee presented interspecific interference characteristics. The rubber as monoculture as well as the polyculture rubber-cocoa was the most economically and environmentally viable, significantly exciding in each indicator and to the correction possibilities of limiting factors such as pH and the amount of light that the producers have.

\* Recibido: agosto de 2012  
Aceptado: enero de 2013

**Palabras clave:** *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, *Hevea brasiliensis*, *Theobroma cacao*, policultivos.

**Key words:** *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, *Hevea brasiliensis*, *Theobroma cacao*, polyculture.

## Introducción

El Soconusco, Chiapas, es una región altamente productiva y la historia de sus plantaciones se remonta a la etapa precolombina, en la cual los nativos poseían pequeñas plantaciones de cacao para el autoconsumo, que se complementaba con productos como maíz, frijol, yuca y chile (Méndez y Ramírez, 2007). Éstos tres últimos, al igual que el hule y el algodón, fueron desplazados en el siglo XIX por la llegada del cultivo del café (Peña, 2004). Sin embargo, en la actualidad la inestabilidad en el precio del café ha generado abandono del cultivo, reducción de actividades de mantenimiento y de renovación (Méndez y Ramírez, 2007), por lo que una estrategia de sobrevivencia de los productores ha sido diversificar el cafetal como un sistema más complejo y productivo, creando policultivos (Ramírez y Juárez, 2008).

En el municipio de Huehuetán, Chiapas existen combinaciones entre cultivos de cacao, hule y café, lo cual concuerda con reportes en los que el café se asocia con plantas medicinales (Fonegra y Jiménez, 2003), comestibles (Gamboa, 2006, Pohlan y Pérez, 2006), y forestales (Suatunce *et al.*, 2009). En lo que respecta al cultivo del hule, se han reportado asociaciones exitosas con palma y maíz en el estado de Tabasco (SAGAR y SINDER, 2007) y existen reportes que afirman que el cacao ha sido asociado con plátano, y algunos maderables como *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Tabebuia rosea*, *Vochysia* spp., *Xanthoylum* spp. y *Apeiba aspera* (Ballesteros, 2008).

Se han señalado, una serie de ventajas de los policultivos; sin embargo, es necesario destacar que a) no todas las combinaciones potenciales de cultivo pueden coexistir ni resultar ecológica y económicamente viables; b) los beneficios no son igualmente valorados por los productores; y c) demandan tareas complejas y con mayor consumo de energía, de trabajo y de conocimiento ecológico. Así, se hace necesario estimar si las relaciones entre los cultivos asociados son positivas o no, con el propósito de fomentar las interacciones que promuevan la productividad del cultivo y la conservación de suelo, el agua y los recursos biológicos (García, 2003).

## Introduction

Soconusco, Chiapas, is a highly productive region and its history dates back to the plantations from the pre-Columbian era, in which the natives had small cocoa plantations for consumption, complemented with other products such as maize, beans, cassava and chili (Méndez and Ramírez, 2007). These last three, like rubber and cotton were displaced in the nineteenth century by the arrival of coffee cultivation (Peña, 2004). However, recent instability in the price of coffee has led to abandonment of farming, reduction of maintenance and renewal (Méndez and Ramírez, 2007), so a survival strategy of the producers has been to diversify the coffee as a more complex and productive system, creating polycultures (Ramírez and Juárez, 2008).

In the municipality of Huehuetán, Chiapas, there are combinations of cacao, rubber and coffee, which is consistent with reports in which the coffee is associated with medicinal plants (Fonegra and Jiménez, 2003), groceries (Gamboa, 2006; Pohlan and Pérez, 2006), and forestry (Suatunce *et al.*, 2009). With respect to the cultivation of rubber, successful partnerships have been reported with palm and maize in the State of Tabasco (SAGAR and SINDER, 2007) and there are reports noting that, cocoa has been associated with banana, and some timber as well such as *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Tabebuia rosea*, *Vochysia* spp., *Xanthoylum* spp. and *Apeiba aspera* (Ballesteros, 2008).

A number of advantages of polyculture have been noted; however, it should be noted that a) not all potential combinations of culture can coexist and, be ecologically and economically viable; b) the benefits are not equally valued by the producers and; c) more complex tasks are required with higher energy consumption, labor and ecological knowledge. Thus, it is necessary to consider whether the relationship between intercropping are positive or not, in order to encourage interactions that promote crop productivity and the conservation of soil, water and biological resources (García, 2003).

Por lo anterior se planteó como hipótesis, que al menos una de las asociaciones existentes en el municipio de Huehuetán ofrece ventajas ecológicas y económicas suficientes para promoverla. Por lo que el objetivo principal fue evaluar la viabilidad económica y ambiental de los cultivos hule (*Hevea brasiliensis*), café árabe (*Coffea arabica*), café robusta (*Coffea canephora*) y cacao (*Theobroma cacao*), existentes en el municipio de Huehuetán, Chiapas, México.

## Materiales y métodos

El estudio se realizó en el ejido de Tepehuitz, municipio de Huehuetán, Chiapas, ubicado en la latitud norte de 15° 04' 19.8" a 15° 04' 44.7" y una longitud oeste de 92° 20' 57.5" a 92° 20' 12.5", a una altura de 350 a 550 msnm.

Las evaluaciones se llevaron a cabo en dos periodos: el primero corresponde al periodo de secas, en el mes de febrero y el segundo al de lluvias, en el mes de julio de 2008. Se seleccionaron y muestrearon siete parcelas que garantizaron condiciones comparables de variedad, longevidad y manejo: hule-café árabe (H-CA), hule-cacao (H-CC), café robusta-cacao (CR-CC) como asociaciones; hule(H), cacao (CC), café robusta (CR) y café árabe(CA) como testigos en monocultivo, con cuatro repeticiones. Cada repetición constó de una planta central y una planta cercana a cada uno de sus cuatro puntos cardinales. En cada condición se evaluaron aspectos económicos y ambientales.

### Evaluación económica

La evaluación económica se realizó a partir de datos colectados con productores usando como instrumento la encuesta de pregunta abierta (Torres *et al.*, 2006). La información obtenida se analizó a través del cálculo del índice LER (*land equivalent ratio*) propuesta por Mead y Wiley (1980) mediante la fórmula:

$$LER = \sum (Y_{pi} / Y_{mi})$$

Donde:  $Y_p$  = producción de cada cultivo o variedad en policultivo; y  $Y_m$  = producción de cada cultivo o variedad en monocultivo.

La sumatoria de las combinaciones dará la LER total, usado para comparar la productividad de los policultivos ante los monocultivos en un área determinada

Therefore, it was hypothesized that at least one of the associations in the municipality of Huehuetán provides environmental and economic benefits enough to be promoted. For this reason, the main objective was to evaluate the economic and environmental viability of rubber (*Hevea brasiliensis*), Arabic coffee (*Coffea arabica*), robusta coffee (*Coffea canephora*) and cocoa (*Theobroma cacao*), in the municipality of Huehuetán, Chiapas, Mexico.

## Materials and methods

The study was conducted in the ejido of Tepehuitz, Township Huehuetán, Chiapas, located at latitude 15° 04' 19.8" and 15° 04' 44.7" and, longitude from 92° 20' 57.5" to 92° 20' 12.5" at an elevation of 350-550 m.

The evaluations were conducted in two periods: the first one is during the dry period in February and the second one during the rainy season in July, 2008. Seven plots were selected and sampled that guaranteed comparable conditions of variety, longevity and handling: rubber-Arabic coffee (H-CA), rubber and cocoa (H-CC), robusta coffee and cocoa (CR-CC) and associations; rubber (H), Cocoa (CC), coffee robusta (CR) and Arabic coffee (CA) as controls in monoculture, with four replications. Each replication consisted of a central plant and another one for each of its four corners. In each condition, economic and environmental aspects were evaluated.

### Economic evaluation

The economic evaluation was conducted using data collected with the producers using an open-question survey as instrument (Torres *et al.*, 2006). Data were analyzed by calculating the index LER (*land equivalent ratio*) given by Mead and Wiley (1980) using the formula:

$$LER = \sum (Y_{pi} / Y_{mi})$$

Where:  $Y_p$  = production of each crop or variety on polyculture, and  $Y_m$  = production of each crop or variety in monoculture.

The sum of the combinations gives the LER total, used to compare the productivity of the monoculture to polyculture in a certain area (Vandermeer, 1989). The benefit-cost ratio (B/C) was calculated using the following formulas:

(Vandermeer, 1989). Por su parte el cálculo de la relación beneficio-costo (B/C) se calculó mediante las siguientes fórmulas:

$$B = \sum_{t=1}^{t=n} b_t (1+i)^t$$

$$C = \sum_{t=1}^{t=n} c_t (1+i)^t$$

$$C/B = \frac{B}{C} = \frac{B}{I+C}$$

Donde: t= número de período; I= inversión de capital; B= beneficios;  $b_t$ = beneficio del período t; C= costo y  $c_t$ = beneficio del periodo t.

### Evaluación ambiental

Se evaluaron los siguientes atributos: temperatura ambiente (°C), Humedad relativa (% RH) y cantidad de luz (°lux), para lo que se utilizó una mini estación meteorológica móvil marca SPER SCIENTIFIC LTD®, modelo 85007D; otro atributo considerado fue textura del suelo evaluada con el método de Bouyoucos. También se estimó el contenido de nitrógeno, fósforo y materia orgánica del suelo, por el método semi-microkjeldhal, el de Olsen y el de Walkley y Black, respectivamente.

El pH del suelo fue medido por la técnica de relación 1:2 con agua. Los atributos biológicos medidos fueron la actividad enzimática de la peroxidasa en suelo, según método continuo descrito por Frick (1976) y la captura de carbono total medida en componente arbóreo, herbáceas, raíces, hojarasca y ramas caídas (Rendón y Soto, 2007). Finalmente se realizaron observaciones sobre la presencia de *Lumbricus terrestris* (lombriz de tierra) en el sustrato de los sistemas de producción (USDA, 2000).

Los datos obtenidos fueron analizados por método estadístico multivariable de componentes principales (ACP), técnica estadística que tiene el objetivo de reducir un banco de datos con muchas variables, en grupos, perdiendo la menor cantidad de información posible (Aguilar *et al.*, 2010); y con la prueba t-student del software MINITAB se determinó significancia de las variables entre los siete sistemas.

$$B = \sum_{t=1}^{t=n} b_t (1+i)^t$$

$$C = \sum_{t=1}^{t=n} c_t (1+i)^t$$

$$C/B = \frac{B}{C} = \frac{B}{I+C}$$

Where: t= number of period, I= investment; B= benefits,  $b_t$ = Profit for the period t, C= cost and  $c_t$ = Profit for the period t.

### Environmental assessment

We evaluated the following attributes: temperature (°C), humidity (% RH) and amount of light (lux °), for which we used a mini mobile weather station SPER SCIENTIFIC LTD®, model 85007D; another attribute considered was the soil's texture, evaluated by the method of Bouyoucos. Also estimating the content of nitrogen, phosphorus and soil organic matter for the semi-microkjeldhal, Olsen's and the Walkley's and Black's, respectively.

Soil pH was measured by the technique of 1:2 ratio with water. The biological attributes measured were the peroxidase enzyme activity in the soil, according to the continuous method described by Frick (1976) and total carbon collecting measured in component tree, herbs, roots, leaves and fallen branches (Rendón and Soto, 2007). Finally, observations were made about the presence of *Lumbricus terrestris* (earthworm) in the substrate of the production systems (USDA, 2000).

Data were analyzed by multivariate statistical method of principal components (PCA), a statistical technique that aims to reduce a database with several variables, in groups, losing as little information as possible (Aguilar *et al.*, 2010); and with the t-student test using MINITAB software, the significance of the variables among the seven systems was determined.

## Results and discussion

### Economic evaluation

The value of LER registered polycultures robusta coffee-cocoa and rubber-cocoa was higher than one (Figure 1), indicating that these systems are more productive than

## Resultados y discusión

### Evaluación económica

EL valor de LER registrado para los policultivos café robusta-cacao y hule-cacao fue mayor que la unidad (Figura 1), lo que indica que estos sistemas son más productivos que los monocultivos por unidad de terreno ocupado (Jiménez *et al.*, 2007) y dado que el valor de LER es de 1.33 para CR-CC, significa que el área plantada con monocultivos necesitaría ser 33% mayor que el área plantada con policultivo, para producir lo mismo (Gliessman, 2002), de ahí que los valores para los monocultivos se expresen como LER= 1 (Morales y Franco, 2009).

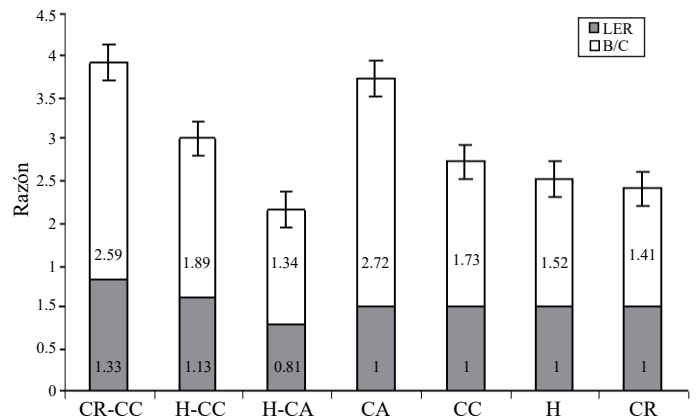
En contraste, la asociación hule-café árabe resultó menos recomendable debido a que presentó una LER <1, lo que indica que existe mayor competencia interespecífica que intraespecífica (García, 2003). En este caso, es probable que los individuos del hule interfieran con el desarrollo de los de café en mayor medida que los individuos del café entre sí. Este resultado coincide con reportes donde café árabe en asociación con especies forestales como laurel prieto, guayacán y teca, presenta mejores valores de producción en monocultivo que asociado (Suatunce *et al.*, 2009). De lo anterior tenemos que los cultivos que presentan mejor aprovechamiento de tierra en términos de producción son café robusta-cacao y hule-cacao. La razón beneficio-costo fue favorable para todos los cultivos por ser B/C > 1 lo que indica que por cada peso de costo se obtiene más de un peso de ganancia bruta (Rucoba *et al.*, 2006).

### Evaluación ambiental

La textura de los monocultivos es semejante a la de sus policultivos correspondientes, teniéndose que CR, CC, CR-CC y H-CC presentan suelo franco y CA, H y H-CA arcilloso. Lo anterior sugiere que existen similitudes en la aireación, intercambio catiónico, retención de agua y permeabilidad (Sánchez, 2007) que permitan la comparación de los policultivos y sus blancos.

FUNDESYRAM y CRS (2010) indican que la textura adecuada para cafetos corresponde a franco, lo que indica que CA podría presentar alguna limitación en su desarrollo óptimo en policultivo o monocultivo; sin embargo, esta limitante no provoca alteraciones en el caso H-CA al cultivo del hule (H), ya que éste presentó 55% de arcilla y según

monocultivos per unit of the land occupied (Jiménez *et al.*, 2007) and since the RSI value is 1.33 for CR-CC, meaning that the area planted with monocultures need to be 33% higher than the area planted with polyculture to produce the very same (Gliessman, 2002), hence the values are expressed as monocultures LER= 1 (Morales and Franco, 2009).



**Figura 1. Comparación de la razón equivalente de tierra y razón beneficio-costo de tres policultivos y sus testigos en monocultivo. Café robusta-cacao (CR-CC); hule-cacao (H-CC); hule-café árabe (H-CA), como asociaciones y café árabe (CA), cacao (CC), hule (H) y café robusta (CR).**

**Figure 1. Comparison of land equivalent ratio and cost benefit ratio of three controls in polyculture and monoculture. Robusta coffee-cocoa (CR-CC), rubber-cocoa (H-CC); rubber-Arabic coffee (H-CA), as associations and Arabic coffee (CA), Cocoa (CC), rubber (H) and robusta coffee (CR).**

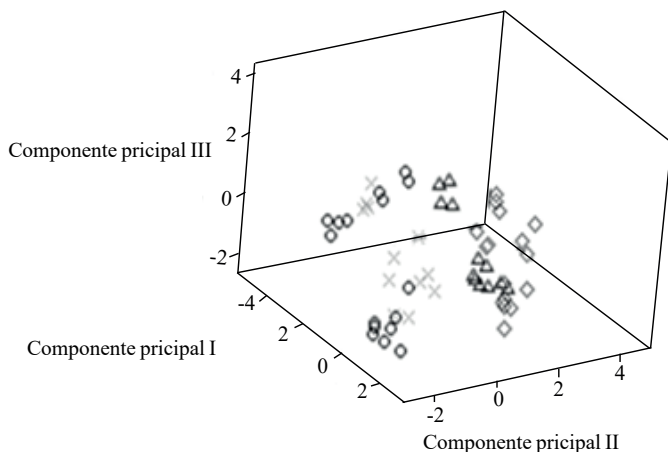
In contrast, the rubber-Arabic coffee association was less desirable because it presented a LER <1, indicating that there is a higher interspecific competition (García, 2003). In this case, it is likely that individuals in the rubber interfere with the development of further coffee individuals of coffee together. This result agrees with reports where Arabic coffee in partnership with laurel trees as tight, guaiac and teak, has better production values associated to monoculture (Suatunce *et al.*, 2009). For this reason we have crops that have better use ground in terms of production such is the case of robusta coffee-cocoa and rubber-cocoa. The cost benefit ratio was favorable for all the crops because B/C > 1, which indicated that for every penny of cost, we get more (Rucoba *et al.*, 2006).

### Environmental assessment

The texture of monoculture is similar to that of their corresponding polycultures, having CR, CC, CR-CC and H-CC have loamy-soil, and CA, H and H-CA clay. This

Rubber Research Institute of Malaysia (1988) es necesario suelos arcillosos con un mínimo 35% de arcilla, para favorecer la retención de humedad y nutrientes necesarios para el cultivo de hule.

De acuerdo al análisis de componentes principales (ACP) se observa que se manifiestan diferencias entre 4 grupos (Figura 2). Con el análisis de varianza multivariado, útil para evaluar la proximidad entre los grupos, se obtuvo la traza de Pillai, con un resultado altamente significativo ( $F_c=72$ ,  $g.l.=90$ ,  $p<0.001$ ), lo que indica que los 4 grupos son estadísticamente diferentes entre ellos.



**Figura 2. Grafica de componentes principales con cuatro grupos (o) monocultivos en lluvia, (X) policultivos en lluvia, (Δ) policultivos en secas, (◇) monocultivos en secas.**

**Figure 2. Principal components graphic with four groups (o) monocultures in rain, (X) polyculture in rain, (Δ) polycultures in dry, (◇) monocultures in dry.**

Según CONAGUA (2008), el rango de precipitación entre las 2 estaciones del año para ésta zona va de 200-250 mm en secas a 2 500-3 000 mm en lluvias, esto justifica que las variables tengan diferencias marcadas en su comportamiento entre cada época: lluvias y secas (Figura 2), ya que la frecuencia e intensidad de las precipitaciones influyen directamente en el funcionamiento de un ecosistema (Locatelli, 2006). Existe menor variabilidad ante la presencia de lluvias en los policultivos con respecto a los monocultivos (Figura 2).

La temperatura, cantidad de luz y fosforo son las variables que más influyen en la formación de los grupos (Cuadro 1). Y a continuación se observa las correlaciones entre cada una de ellas.

suggests that there are similarities in the aeration, cation exchange, water retention and permeability (Sánchez, 2007) allowing comparison of intercropping and their targets.

FUNDESYRAM and CRS (2010) indicated that, the right texture for coffee trees corresponds to loam, indicating that CA could present some limitation in their optimal development in polyculture or monoculture; however, this limitation does not cause changes in the H-CA with the cultivation of rubber (H), since it showed 55% of clay and according to the Rubber Research Institute of Malaysia (1988) is required a minimum of clayey soils with 35% of clay to favor the retention of moisture and nutrients for the cultivation of rubber.

According to the principal component analysis (PCA), it shows that manifest differences between 4 groups (Figure 2). With the multivariate analysis of variance useful to evaluate the proximity between the groups, the Pillai trace was obtained, with a highly significant result ( $F_c=72$ ,  $g.l.=90$ ,  $p<0.001$ ), indicating that the four groups are statistically different.

According to CONAGUA (2008), the precipitation range between 2 seasons for this zone ranges from 200-250 mm in dry to 2 500-3 000 mm in rainfall, this justifies the variables have marked differences in behavior between each time: rainy and dry seasons (Figure 2), since the frequency and intensity of rainfall directly affect the functioning of an ecosystem (Locatelli, 2006). There is less variability in the presence of rain in polycultures compared to monocultures (Figure 2).

The temperature, amount of light and phosphorus are the variables that most influenced the formation of the groups (Table 1). Correlations between each of them.

### **Robusta coffee-cocoa association:**

Polyculture robusta coffee-cocoa (CR-CC) had 40% of environmental benefits, while their monocultures CR and CC had 30% each (Figure 3).

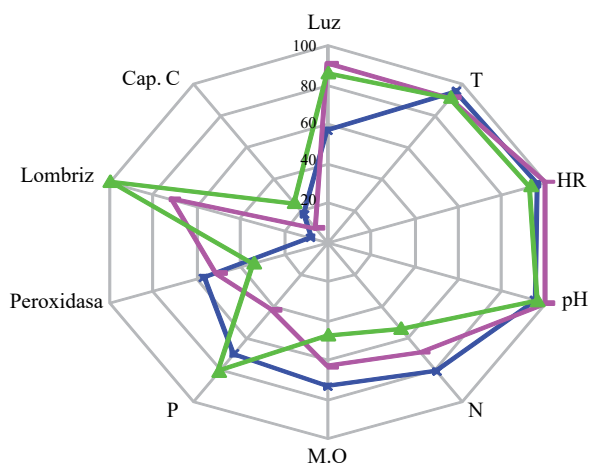
Six of ten variables presented ( $p<0.05$ ) (t-students) between CR-CC and CR monoculture, the variables that did not show any statistically differences were mostly chemical: N, organic matter, pH and peroxidase. Between

**Cuadro 1. Correlación entre las variables de los componentes principales I, II y III.**  
**Table 1. Correlation between variables of the main components I, II and III.**

Variables	CP1	P-Value	CP2	P-Value	CP3	P-Value
Temperatura	0.316	0.018	0.612	0.000	-0.397	0.002
Humedad	-0.295	0.028	-0.851	0.000	-0.235	0.081
Luz	-0.681	0.000	-0.266	0.048	-0.289	0.031
Ph	0.176	0.195	-0.488	0.000	-0.517	0.000
Nitrógeno	-0.915	0.000	0.186	0.171	0.036	0.793
Fósforo	0.565	0.000	0.314	0.019	-0.344	0.009
Materia orgánica	-0.955	0.000	0.103	0.449	0.051	0.708
Captura de Carbono	0.172	0.204	-0.297	0.026	0.772	0.000
Lombrices	0.194	0.153	-0.528	0.000	0.092	0.501
Peroxidasa	0.076	0.578	0.392	0.003	0.633	0.000

### Asociación café robusta-cacao:

El policultivo café robusta- cacao (CR-CC) presentó 40% de ventajas ambientales, mientras que sus monocultivos CR y CC presentaron 30% cada uno (Figura 3).



**Figura 3. Gráfica de araña para comparar las ventajas ambientales de la asociación café robusta-cacao (■) antes sus monocultivos café robusta (▲) y cacao (●).**

**Figure 3. Graphical amoeba to compare the environmental benefits of robusta coffee-cocoa association (■) against robusta coffee (▲) and cocoa monoculture (●).**

Seis de diez variables presentaron ( $p < 0.05$ ) (t-students) entre CR-CC y el monocultivo CR, las variables que no presentaron diferencia estadística fueron en su mayoría las químicas: N, materia orgánica, pH y peroxidasa. Entre CR-CC y CC, 80% de variables son diferentes significativamente ( $p < 0.05$ ), sólo en pH y peroxidasa no hubo diferencia. Se observa así, que la asociación café robusta-cacao tiene

CR-CC and CC, 80% of variables are significantly different ( $p < 0.05$ ), only pH and peroxidase no difference. It is thus seen that the association robusta coffee-cocoa have significant environmental advantages over their monocultures in variables such as temperature, humidity before CR and organic matter and nitrogen to CC. Robusta coffee cultivation is the closest to a similarity of conditions with polyculture.

### Rubber-cocoa association:

60% of advantages in this comparison was obtained in the cultivation of rubber (H) while cocoa (CC) together with the H-CC polyculture obtained 20% respectively (Figure 4).

Considering 70% of the variables show significant difference ( $p < 0.05$ ) between H and H-CC and 90% between H and CC, it can be stated that, the monoculture rubber had significant environmental advantages over cocoa and even over the polyculture H- CC, as noted by García (2003), despite the advantages of polyculture to monoculture often overgeneralized in the literature on sustainable agriculture, not all combinations can coexist and be ecologically and economically viable.

### Rubber-arabic coffee association:

H-CA polyculture and monoculture H had 40% of environmental advantages respectively, and monoculture CA 20% (Figure 5). 30% of the variables showed significant difference ( $p < 0.05$ ) between H-CA and H and between H-CA and CA 80%. This shows that, H-CA polyculture and monoculture H had significant advantages over CA.

ventajas ambientales significativas sobre sus monocultivos; en variables como temperatura, humedad ante CR y materia orgánica y nitrógeno ante CC. El cultivo café robusta es el más cercano a una similitud de condiciones con el policultivo.

#### Asociación hule- cacao:

El 60% de ventajas en ésta comparación la obtuvo el cultivo de hule (H) mientras que el cacao (CC) junto con el policultivo H-CC obtuvieron 20% respectivamente (Figura 4).

Debido a que 70% de las variables presentan diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre H y H-CC y 90% entre H y CC, se puede aseverar que el monocultivo hule tuvo ventajas ambientales significativas sobre cacao e incluso sobre el policultivo H-CC, constatando así lo dicho por García (2003); es decir, que pese a las ventajas de los policultivos ante los monocultivos frecuentemente sobre-generalizadas en la literatura sobre agricultura sustentable, no todas las combinaciones pueden coexistir ni resultar ecológica y económicamente viables.

#### Asociación hule- café árabe:

El policultivo H-CA y su monocultivo H tuvieron 40% de ventajas ambientales respectivamente, y el monocultivo CA 20% (Figura 5). El 30% de las variables presentaron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre H-CA y H y entre H-CA y CA 80%. Esto muestra que el policultivo H-CA y el monocultivo H presentan ventajas significativas ante el CA.

El escoger alguna de las dos condiciones H y H-CA sólo por sus características ambientales es indistinto si no se toma en cuenta la parte económica. Por tal motivo, se han determinado los cuatro cultivos más convenientes en términos de producción y beneficios económicos y aquellos que en comparación con sus análogos (policultivos y monocultivos correspondientes) resultaron con ventajas ambientales. Conjuntar los cuatro indicadores, de las cuatro condiciones con ventajas, permite tener un panorama integral y suficiente claro para promoverlo.

#### Panorama conjunto de indicadores

Los indicadores físicos tuvieron 67% de diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). El 33% de similitud ( $p < 0.05$ ) se debió a la temperatura y humedad entre hule-café árabe y hule, esto indica que asociar café árabe a las plantaciones

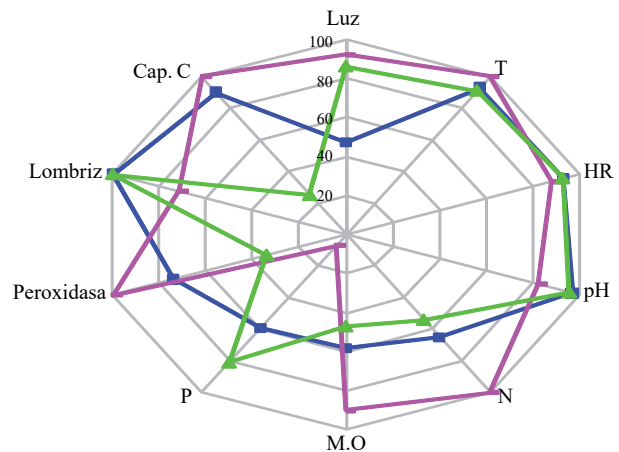


Figura 4. Gráfica de ameba para comparar las ventajas ambientales de la asociación hule-cacao (■) antes sus monocultivos hule (—) y cacao (—).

Figure 4. Graphical amoeba to compare the environmental benefits of rubber-cocoa association (■) against rubber (—) and cocoa monoculture (—).

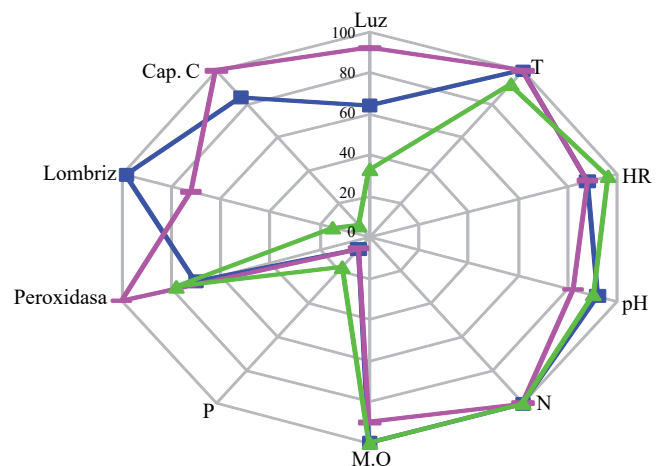


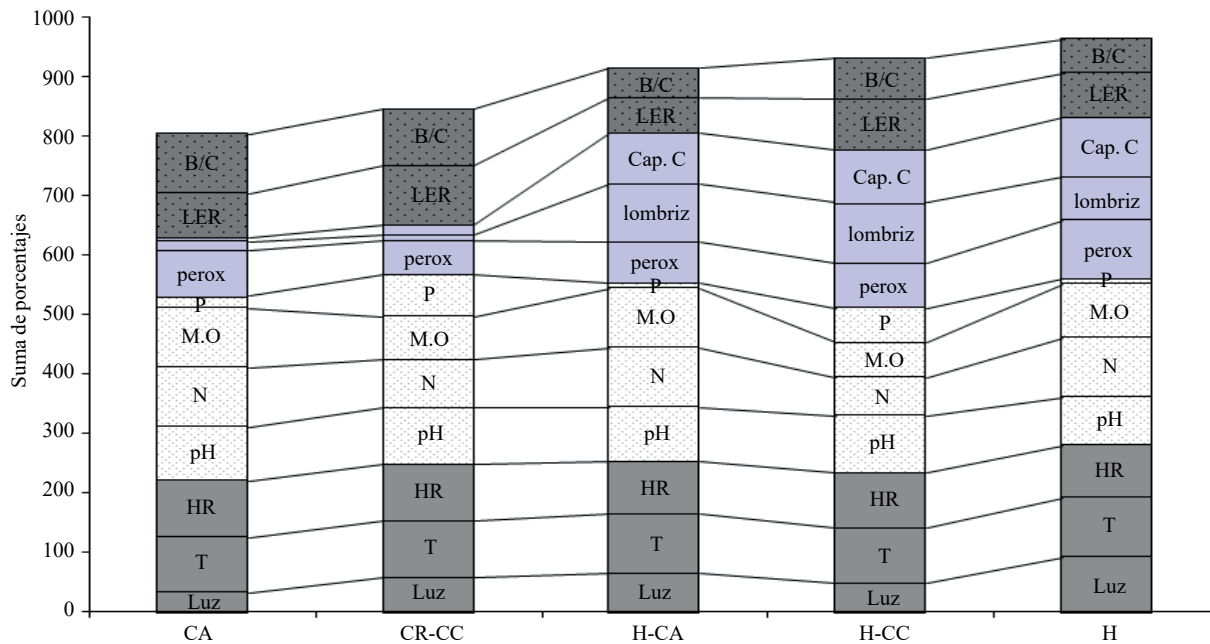
Figura 5. Gráfica de ameba para comparar las ventajas ambientales de la asociación hule-café árabe (■) antes sus monocultivos hule (—) y café árabe (—).

Figure 5. Graphical amoeba to compare the environmental benefits of the partnership rubber-Arabic coffee (■) against rubber (—) and Arabic coffee monoculture (—).

Taking any of the two conditions H and H-CA only for its environmental features is indistinct if not taken into account the economic side. Therefore, we have determined the most convenient four crops in terms of production and economic benefits and those that compared to their analogues (polyculture and monoculture corresponding) resulted in environmental benefits. To join the four indicators of the four conditions with advantages, allowed us to have an integral overview, clear enough to promote it.



de hule no alteran significativamente las condiciones de temperatura y humedad; sin embargo, si influye en la cantidad de luz presente en el sistema. La luz fue la única variable física con diferencia significativa entre las cuatro condiciones, y se observa una correlación estrecha con variables como lombrices y captura de carbono en los sistemas con hule, donde a menor luz mayor presencia de lombrices, y menor captura de carbono (Figura 6).



**Figura 6. Porcentajes obtenidos para cada indicador ambiental y económico de cuatro condiciones destacadas, representados en gráfica apilada para la visualizar la más viable.**

**Figure 6. Percentages obtained for each environmental and economic indicator, four conditions outlined, represented in stacked graphical display for the most viable.**

Lo anterior coincide con escritos donde afirman que la lombriz de tierra es fotofóbica (CECYTECH, 2008), por lo que al tener temperatura que oscila entre los  $26 \pm 2$  y humedad mayor a 70%, lo óptimo para el desarrollo de éstas lombrices según SAGARPA (2002), se tienen las condiciones físicas para que se realice de forma natural este incremento en la población. Con respecto a la captura de carbono, la luz juega un papel indispensable, debido al proceso de fotosíntesis que cada árbol desarrolla ya que por medio de la respiración de  $\text{CO}_2$  acumulan carbono en la madera (Rendón y Soto, 2007) y se alcanza una mayor fijación de  $\text{CO}_2$  cuando se tiene una mayor intensidad de luz (Lira, 2003). El cultivo de hule con 93.3% de valores óptimos, fue el más destacado en cuanto a características físicas.

Los indicadores químicos fueron los más homogéneos entre cada condición ( $p > 0.05$ ), donde CR-CC y H-CC no presentaron significancia en las cuatro variables: pH, N,

### Panorama set of indicators

Physical indicators were 67% of significant differences ( $p < 0.05$ ). 33% similarity ( $p < 0.05$ ) was due to temperature and humidity between rubber and rubber-Arabic coffee, this indicated that, the Arabic coffee-rubber associated plantations do not significantly alter the conditions of temperature and humidity, but influences the amount of

light present in the system. The light was the only physical variable with significant difference between the four conditions, and there is a close correlation with variables such as worms and carbon capture systems with rubber, where less light increased presence of worms, and lower carbon collection (Figure 6).

This coincides with papers which claim that, the earthworm is photophobic (CECYTECH, 2008), so that having temperature ranging between 2 and  $26 +$  humidity higher than 70%, the optimum for the development of these worms as SAGARPA (2002), we have physical conditions that are naturally made this increase in population. With regard to carbon capture, light plays an indispensable role, due to the process of photosynthesis that each tree develops as breathing through  $\text{CO}_2$  accumulate carbon in wood (Rendón and Soto, 2007) and reaches a higher  $\text{CO}_2$  fixation when it

materia orgánica y P (figura 6), al igual que H-CA y H, lo que indica que cada par es semejante entre sí en cuanto a sus propiedades químicas. Esta estabilidad de nutrientes y pH puede deberse a la cantidad de materia orgánica generada por cada condición, que va de un rango de 3.51%-6.46%, lo que conserva la fertilidad del suelo, manteniendo estables sus propiedades químicas, como el amortiguamiento del pH (Fundación Hogares Juveniles Campesinos, 2002).

Referente al fósforo extractable se observa que H y H-CA son los que presentan menor porcentaje, debido que el pH es 4.75 y 5.35 respectivamente y a que la textura del suelo en ambos corresponde a arcilloso, lo cual según Rausch *et al.* (2002), provoca que la fracción del P extractable sea mínima por ser suelos muy ácidos en combinación con dicha textura. El valor más alto en cuanto a condiciones químicas fue 79.75% y lo obtuvo CR-CA, aunque no existió significancia entre ésta y los tres cultivos en comparación.

Los indicadores biológicos presentaron diferencia significativa entre ellos (67.7% de las variables), mientras 33.3% no presentó significancia fue exclusivamente en los valores de peroxidasa. Se observa que la presencia de lombrices se correlaciona, además de la luz, con el porcentaje de humedad relativa (Agüero *et al.*, 2002), la temperatura, los nutrientes del suelo como nitrógeno (SAGARPA, 2002), fósforo (Brito *et al.*, 2006) y materia orgánica (Ríos, 2003). El único cultivo que no refleja tal correlación es CR-CC, a pesar de las óptimas condiciones físicas y químicas que posee.

Esto se puede atribuir a dos factores importantes: 1) el cultivo fue tratado periódicamente con agroquímicos, factor que según Ricardo *et al.* (2010) produce un comportamiento de huida en la población de lombrices; y 2) las hormigas presentes en el cacao y café en policultivo son más abundantes y variadas (Gallego, 2005) y son uno de los principales enemigos de ésta lombriz, debido a que la hormiga la ataca directamente en cualquier edad, fraccionándola hasta causarle la muerte (SAGARPA, 2002). Referente a la disminución significativa en la captura de carbono de CR-CC, se atribuye a que la densidad de madera que tienen los árboles de cacao y café son mucho menor que del hule; además el café y el cacao por sus características fisiológicas, morfológicas y bioquímicas se clasifican como plantas C-3 donde la enzima ribulosa bifosfato (RuBP), fijadora de CO<sub>2</sub>, produce un ácido de tres carbonos (ácido aspártico) en lugar de cuatro, a diferencia de las C-4 que alcanzan la máxima tasa fijación de carbono al día (Lira, 2003). Por su parte hule resulto ser el cultivo de condiciones biológicas óptimas (90.67%) y el CR-CC el menos recomendable (27.67%).

has a higher light intensity (Lira, 2003). Rubber cultivation with 93.3% of optimal values was the most prominent in terms of physical traits.

Chemical indicators were the most homogeneous between each condition ( $p > 0.05$ ), where CR-CC and H-CC showed no significance in the four variables: pH, N, P and organic material (Figure 6), as H-CA and H, indicating that each pair is similar to the other in terms of their chemical properties. This nutrient and pH stability may result from the amount of organic matter generated for each condition, which is a range from 3.51% to 6.46%, which retains soil fertility, maintaining stable chemical properties, such as pH buffer (Peasants SOS Youth Foundation, 2002).

Concerning the extractable phosphorus, it's shown that H and H-CA are those with lesser percentage, because pH is 4.75 and 5.35 respectively as the soil texture corresponds to clay, which according to Rausch *et al.* (2002), causes the extractable fraction of P is minimized by being very acidic in combination with the texture. The highest value in terms of chemical conditions was obtained by CR-CA at 79.75%, although there was no significance between it and the three crops compared.

Biological indicators showed significant difference between them (67.7% of the variables) while 33.3% had no significance was only in the values of peroxidase. It is observed that, the presence of worms correlates, besides light, with relative humidity (Agüero *et al.*, 2002), temperature, soil nutrients such as nitrogen (USDA, 2002), phosphorus (Brown *et al.*, 2006) and organic matter (Rivers, 2003). The only culture that reflects such correlation is not CR-CC, despite the optimal physical and chemical conditions that it has.

This can be attributed to two major factors: 1) the culture was periodically treated with agrochemicals, factor according Ricardo *et al.* (2010) produces escape behavior in the earthworm population; and 2) the ants in cocoa and polyculture coffee are more abundant and varied (Gallego, 2005) and are one of the main enemies of this worm, because the ant directly attacks at any age, breaking it to death (USDA, 2002). Regarding the significant decrease in carbon capture, CR-CC is attributed to wood density with cocoa and coffee trees much smaller than rubber's, besides, coffee and cocoa for its physiological, morphological and biochemical plants are classified as C-3 wherein the enzyme ribulose biphosphate (RuBP) fixing

Finalmente, 75% de los indicadores económicos presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) siendo los de mayor diferencia entre las cuatro condiciones, lo cual es determinante para la toma de decisiones. El 25% representa una semejanza entre H-CC y H en cuanto a la productividad de la tierra, que después del CR-CC son los de mejor rendimiento (77% y 65% respectivamente). Se observa que el policultivo CR-CC destacó en cuanto a la viabilidad económica 97.5%. Existen reportes que coinciden con esta aseveración donde consideran la asociación de café y cacao como una de las preferidas, a la par de la asociación de café y plátano (Ballesteros *et al.*, 2008); sin embargo, por el uso de agroquímicos tiene desventajas biológicas que no le permiten ser la opción más viable (Figura 5).

## Conclusiones

Los policultivos café robusta-cacao y hule-cacao fueron los más viables económicamente hablando, por tener un LER: 1.33 y 1.13 y una relación C/B: 2.59 y 1.89 respectivamente.

El hule en monocultivo, en contraste con lo esperado fue el de mejor condición ambiental sobre los tres policultivos evaluados con una ventaja en 90% de las variables.

El policultivo hule-café árabe presenta características de interferencia inter específica reflejado en su producción con un LER: 0.81 < 1.

Las dos condiciones con viabilidad económica y ambiental son hule y hule-cacao debido a que son redituables en producción y ganancias con una razón LER y B/C  $\geq 1$ , porque sus indicadores físicos, químicos y biológicos mostraron valores óptimos y homogéneos  $\geq 70\%$  y porque sus 2 limitantes ambientales pueden ser corregidas con modificadores de pH para el monocultivo H y con una densidad diferente en el policultivo H-CC para mejorar el paso de la luz.

## Agradecimientos

A Javier Valle Mora, por su colaboración en la fase estadística del trabajo. A José Noé Lerma Molina por su apoyo para el uso de las instalaciones del laboratorio integral. Al Fondo de Apoyo para el Desarrollo, Innovación y Transferencia Tecnológica en el estado de Chiapas

CO<sub>2</sub> produce a three-carbon acid (aspartic acid) instead of four, unlike the C-4 which reach the maximum rate day carbon fixation (Lira, 2003). Rubber cultivation proved to be optimal biological conditions (90.67%) and CR-CC the less desirable (27.67%).

Finally, 75% of the economic indicators showed significant differences ( $p < 0.05$ ), with the highest difference between the four conditions, which is critical for decision making. 25% represents a similarity between H and H-CC in land productivity that only after CR-CC are the bests in performance (77% and 65% respectively). It is observed that CR-CC polyculture stressed about 97.5% economic viability. There are reports that match this assertion which considered the association of coffee and cocoa as a favorite, alongside the association of coffee and banana (Ballesteros *et al.*, 2008); however, the use of agrochemicals has biological disadvantages that did not allow being the most viable option (Figure 5).

## Conclusions

Polyculture robusta coffee-cocoa and rubber-cocoa were the most economically viable, having a LER: 1.33 and 1.13 and a C/B: 2.59 and 1.89 respectively.

Rubber in monoculture in contrast to what was expected had the best environmental conditions on the three evaluated polycultures with a 90% advantage in all the variables.

The rubber-Arabic coffee polyculture presents interference characteristics interspecific reflected in production with a LER 0.81 < 1.

The two conditions with economic and environmental viability are rubber and rubber-cocoa because they are profitable in production and with profits with a reason of LER and B/C > 1, because their physical, chemical and biological indicators showed optimum homogeneous values >70% and because its two environmental constraints can be corrected with pH modifiers for monoculture H and with a different density in the polyculture H-CC for improving the passage of light.

*End of the English version*



(FODIT) del COCYTECH. Proyecto FODIT-026-C01-2006 Fortalecimiento de Capacidades para la Investigación Participativa en Diversificación y Manejo Agroecológico de Cafetales, por el financiamiento de la investigación.

## Literatura citada

- Agüero, R.; Rojas, S. y Pérez, L. 2002. Poblaciones de lombrices bajo seis estrategias de manejo de malezas en una plantación de banano. *Agron. Mesoam.* 13(1):25-29.
- Aguilar, D. J. I.; García, A. J. L.; Hernández, A. J. L.; Tlapa, M. D. A.; Salinas, C. J.; Olguín, T. J. E and Tiznado, R. A. 2010. Análisis de componentes principales para la determinación de los FAPPP. *In: García, A., J. Ly Aguilar, D. J. I. Memorias del cuarto congreso internacional de ingeniería vértice. Vértice 2010. Ensenada Baja California.* 79-89 p.
- Ballesteros, P. W.; Marco, S. O. y Ordóñez, J. H. R. 2008. Sistemas agroforestales tradicionales en el consejo comunitario del bajo mira y frontera en Tumaco, Nariño, Colombia. *Agroforestería en las Américas.* 76-80 p.
- Brito, V. H.; Espinosa, V. D.; Figueroa, S. B.; Fragoso, C. y Patrón, I. J. C. 2006. Diversidad de lombrices de tierra con labranza de conservación y convencional. *TERRA Latinoamericana*, 24:100-108.
- Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Chiapas (CECYTECH). 2008. Manual de lombricultura. Colegio de estudios científicos y tecnológicos del estado de Chiapas. SEP. Tuxtla Gutiérrez Chiapas. 15-31 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2008. Monitoreo de procesos hidrológicos y erosión hídrica en la cuenca del río Huehuetán Chiapas. 1-35 p.
- Fundación Hogares Juveniles Campesinos, 2002. Manual agropecuario: tecnologías orgánicas de la granja integral autosuficiente. Biblioteca Del Campo. Colombia Bogotá. Editorial IBALPE. 1093 p.
- Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental (FUNDESYRAM) y Catholic Relief Services (CRS). 2010. Guía para la innovación de la cafecultura, de lo convencional a lo orgánico. Fundesyram. San Salvador, El Salvador. 1-123 p.
- Fonegra, G. R. y Jiménez, R. S. L. 2003. Simposium y curso sobre plantas medicinales y aromáticas. Colombia. 1-11 p.
- Gallego, R. M. C. 2005. Intensidad de manejo del agroecosistema de café (*Coffea Arabiga* L.) (monocultivo y policultivo) y riqueza de especies de hormigas generalistas. *Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle.* 6(2):16-29.
- Gamboa, M. W. G. 2006. El cultivo del chayote *Sechium adule* (Jacq.) Sw.: una alternativa sostenible para obtener ingresos adicionales en zonas cafetaleras. *In: el cafetal del futuro realidades y visiones.* 1ª. Edición. Pohlen, A. J.; Soto, P. L. y Barrera, J. F. (Eds). ECOSUR. Alemania. 191-200 p.
- García, B. L. 2003. Plant-plant interactions in tropical agriculture. *In: Vandermeer, J. (Ed.), Agroecosystems.* CRC Press. Boca Raton, London, New Cork Washington, D.C. 11-58 pp.
- Gliessman, S. R. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. LITOCAT, Turrialba, Costa Rica. 243-245 p.
- Jiménez, M. E.; Sandino, D. V.; Antonio, G. M y Rosalío, L. G. 2007. Comparación de la ocurrencia poblacional de insectos plagas y beneficios en arreglos de policultivo y monocultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill), chiltoma (*Capsicum annum* L.) y Maíz (*Zea mays* L.). La Calera. 19-28 p.
- Lira, S. R.H. 2003. Fisiología vegetal. Editorial Trillas. Segunda reimpresión. México D. F. 155-177 p.
- Locatelli, B. 2006. Vulnerabilidad de los bosques y sus servicios ambientales al cambio climático. Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (CIRAD)- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) Grupo Cambio Global. CIFOR. 1-4 p.
- Mead, R.; Wiley, R. W. 1980. The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields from intercropping. *Exp. Agric.* 16:217-228.
- Méndez, E. J. A. y Ramírez, J. J. 2007. V congreso europeo ceisal de latinoamericanistas, transformaciones territoriales y estrategias de supervivencia en la región soconusco del estado de Chiapas, México. 8 p.
- Morales, R, E. J. y Franco, M. O. 2009. Biomasa, rendimiento y uso equivalente de la tierra de *Helianthus Annus* L. en unicultivo y asociado con *Phaseolus Vulgaris* L. En Valles Altos de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems.* 431-439 p.
- Peña, P. J. 2004. Migración laboral de las mujeres y estrategias de reproducción social en una comunidad indígena Mam de La Sierra Madre de Chiapas, México. Tesis Doctoral. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. El Colegio de la Frontera Sur. 50-88 p.

- Pohlan, A. J y Pérez, R. A. 2006. Diversificación productiva con rambutan (*Nephelium lappaceum* L.). In: el cafetal del futuro realidades y visiones. 1ª. Edición. Pohlan, A. J; Soto, P. L.; Barrera, J. F y ECOSUR (Eds). Shaker Verlag. 242-256 pp.
- Ramírez, V. B y Juárez, S. J. P. 2008. Transformaciones en el medio rural ante la crisis agrícola: el caso de los productores indígenas de café en la Sierra Norte de Puebla, México. Diez años de cambios en el mundo, en la geografía y en las ciencias sociales, 1999-2008. Barcelona. X Coloquio Internacional de Neocrítica. 1-20 p.
- Rausch, A. J.; Galantini, J.; Iglesias, A.; Albin, M.; Barreiro, S.; Venanzi, M. y Ripoll, H. K. 2002. Sistemas de labranzas: 2. disponibilidad del Pedáfico. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Rivadavia 1439 (1033). Buenos Aires, Argentina. 1-3 p.
- Rendón, C. N y Soto, P. L. 2007. Metodología rápida para la estimación y monitoreo de captura de carbono. 1ª. Edición. El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). San Cristóbal de las casas. Chiapas, México. 47:8-20.
- Ricardo, T.; Maitre, M. I. y Rodríguez, A. R. 2010. Efectos subletales de la Lambda-cialotrina sobre *Eisenia fetida* (annelida, oligochaeta, lumbriciade). Suelo. 39-46 pp.
- Ríos, S. Y. 2003. Importancia de las lombrices en la agricultura. Sistema integrado de producción con no nutrientes. Universidad Centro Occidental. 47-52 p.
- Rubber Research Institute of Malaysia. 1988. Soil suitability for rubber. In: soils, management of soils and nutrition of *Hevea*. Jalil, B. H. Y. (Ed.) Malaysia. 50-79 p.
- Rucoba, G. A.; Anchondo, N. A.; Lujan, A. C y Olivas, G. J. M. 2006. Análisis de rentabilidad de un sistema de producción de tomate bajo invernadero en la región Centro-Sur de Chihuahua. Rev. Mex. Agron. X:019-10.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR)- SINDER. 2007. Asociación de cultivos. Salamanca. 1-2 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2002. Lombricultura. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Chiapas, México. 6:1-8.
- Sánchez, V. J. 2007. Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas, conceptos básicos. FERTITEC S. A. 2 p.
- Suatunce, C. P.; Díaz, C. G y García, C. L. 2009. Evaluación de cuatro especies forestales asociadas con café (*coffea arábica* L.) y en monocultivo en el litoral ecuatoriano. Ciencia y Tecnología 2(2):29-34.
- Torres, M.; Paz, K. y Salazar, F. G. 2006. Método de recolección de datos para una investigación. Rev. Electrónica Ingeniería Boletín. 03:12-20.
- United States Department of Agriculture (USDA). 2000. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Lutens, A. y Salazar, L, J. C. (eds). Soil Quality Test Kit Guide. Instituto de Suelos. 22-73 p.
- Vandermeer, J. 1989. The ecology of intercropping. University Of Cambridge. N. Y. EE. UU. 24 p.