

**Interacciones entre componentes del sistema agroforestal  
cacaotero de Baracoa**

**Trabajo de Diploma presentado en opción al Título de  
Ingeniero Forestal**

**AUTOR:**Yosvani Ramirez Ferrer

2020

**UG/FAF 2020**

**Interacciones entre componentes del sistema agroforestal cacaotero de Baracoa**

**Trabajo de Diploma presentado en opción al Título de Ingeniero Forestal**

**AUTOR:**Yosvani Ramirez Ferrer

**Tutores:**Dr. C. Igor BidotMartínez  
M. Sc. ÁngelRamírezRamírez

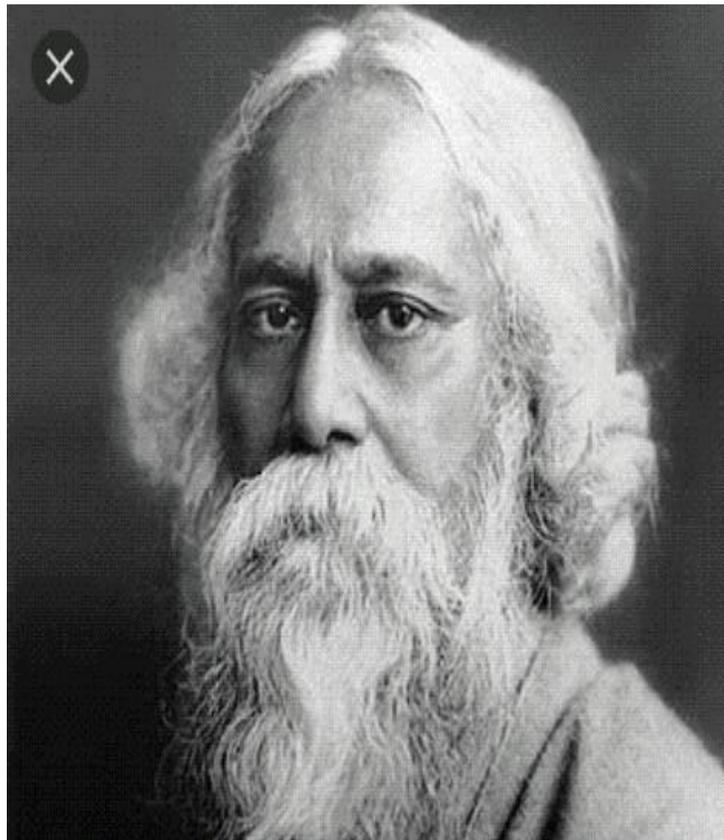
**2020**

# Pensamiento



“Convertid un árbol en leña y arderá para vosotros, pero no producirá flores ni frutos para vuestros hijos.”

Rabindranath Tagore



# Dedicataria



## Dedicatoria

- ✚ A mi familia que me ha dado su apoyo incondicional en especial a mi abuela Juana Correoso Zamora, mi madre Soraida Ferrer Correoso, mi tía Victoria Solís Agüero, mis tíos Armando Ferrer Correoso, Rafael Matos Caine, Marcial Pérez, Francisco Acosta Pérez, William Ferrer Correoso, mi suegra Caridad Viera Campanioni y mi novia Elsa María Gaitan.
- ✚ A mis compañeros de aula que me dieron su apoyo incondicional a cuales llevare siempre en mi corazón.

# Agradecimientos



## Agradecimientos

Agradezco infinitamente a dios por brindarme sus bendiciones y darme las fuerzas para alcanzar mis metas y sueños.

- ✚ A mis tutores Igor BidotMartínez, Ángel Ramírez y al profesor Lázaro Telo Crespo.
- ✚ Al claustro de profesores que contribuyeron a mi formación como futuro Ingeniero Forestal.
- ✚ A la Universidad de Guantánamo, Facultad Agroforestal de Montaña, la carrera de Ingeniería Forestal y al personal docente que contribuyeron a que fuera una persona mejor.
- ✚ A la Revolución cubana, el partido, el pueblo de Cuba y al comandante en jefe Fidel Castro Ruz por crear la mejor obra de la Revolución.

# Resumen



## **Resumen**

El trabajo se realizó con el objetivo de identificar las relaciones entre los componentes del sistema agroforestal cacaotero de Baracoa y la producción de estos agroecosistemas. Se recolectaron datos de siete fincas productoras de cacao en Baracoa. Se caracterizaron las siguientes variables: profundidad efectiva del suelo, erosión del suelo, materia orgánica del suelo,  $P_2O_5$  del suelo, diversidad de Simpson, pendiente del suelo, pH del suelo, precipitaciones medias,  $K_2O$  del suelo, profundidad pedológica del suelo y la heterocigosidad esperada del cacao. Estas variables se analizaron en conjunto con la producción de cacao y de otros cultivos. Los resultados obtenidos permitieron observar que las variables que más aportan a la variabilidad del sistema agroforestal cacaotero fueron profundidad efectiva del suelo, erosión del suelo, materia orgánica del suelo, fósforo del suelo, diversidad biológica y pendiente del suelo. Las correlaciones más importantes fueron la diversidad de Simpson con la materia orgánica del suelo, el fósforo del suelo y la pendiente y de la materia orgánica del suelo con la pendiente del suelo, el fósforo y negativa con la erosión del suelo. En el caso de la producción en el sistema agroforestal cacaotero hay una estrecha relación positiva con la diversidad biológica y negativa con la pendiente y la erosión del suelo. En conjunto, los resultados indican la importancia del suelo y la biodiversidad en la producción del sistema agroforestal cacaotero.

**Palabras claves:** cacao, sistemas agroforestales, relación entre componentes

# Abstract



## **Abstract**

The work was carried out with the aim of identifying the relationships between the components of the agroforestry cocoa system of Baracoa and the production of these agro-systems. Data were collected from seven cocoa-producing farms in Baracoa. The following variables were characterized: effective soil depth, soil erosion, soil organic matter, soil  $P_2O_5$ , Simpson diversity, soil slope, soil pH, average rainfall, soil  $K_2O$ , soil pedological depth and expected heterozygosity of cacao. These variables were analyzed in conjunction with the production of cocoa and other crops. The results obtained allowed to observe that the variables that most contribute to the variability of the agroforestry cocoa system are effective soil depth, soil erosion, soil organic matter, soil phosphorus, biological and soil slope. The most important correlations were Simpson's diversity with soil organic matter, soil phosphorus and soil organic matter slope with soil slope, phosphorus and refusal with soil erosion. In the case of production in the agroforestry cocoa system he has a positive and negative relationship with the slope and erosion of the soil. Together, the results indicate the importance of soil and biodiversity in the production of the agroforestry cocoa system.

**Keywords:** cocoa, agroforestry systems, component relationship

# Índice



## Índice

I.INTRODUCCION.....	1
II. Revisión bibliográfica .....	4
2.1 Origen y distribución del cacao .....	4
2.2 Producción mundial.....	5
2.3 Introducción y distribución del cacao en Cuba. ....	6
2.4. Clasificación taxonómica y características morfológicas.....	6
2.4.1 Tallo.....	7
2.4.3 Hojas .....	8
2.4.4 Flor, fruto y semilla .....	8
4.5 Reproducción.....	10
2.4.6 Temperatura y precipitación.....	10
2.4.7 Suelo .....	11
2.4.8 <i>Pendiente</i> .....	12
2.5 Tipos de cacao.....	12
2.5.1 Tipos de cacao en Cuba. ....	13
2.6 Sistemas agroforestales .....	14
2.6.1 Clasificación de los sistemas agroforestales.....	15
Sistemas agroforestales secuenciales .....	15
Sistemas agroforestales simultáneos .....	15
2.6.2 Funcionamiento de un Sistema Agroforestal .....	16
2.6.3 Caracterización de los Sistemas Agroforestales .....	17
<i>Ecología</i> .....	17
2.7 Sistema Agroforestal Cacaotero.....	18
2.7.1 Caracterización de los Sistemas Agroforestales cacaoteros .....	19
2.7.2 Tipos de cacaotales en función de la sombra .....	20
2.7.3 Plagas y Enfermedades en el sistema agroforestal cacaotal .....	21

III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1.2. Recolección de los datos que caracterizan a las fincas cacaoteras seleccionadas.	23
3.2. Análisis de las relaciones entre las variables evaluadas y la producción en las fincas cacaoteras estudiadas .....	24
3.2.2. Asociación entre las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas de cacao estudiadas .....	24
3.2.3. Efecto entre las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas de cacao estudiadas con la producción .....	25
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	26
4.2. Asociación entre las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas de cacao estudiadas .....	30
4.3. Efecto entre las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas de cacao estudiadas con la producción .....	31
V. Conclusiones .....	39
VI. Recomendaciones.....	40

Bibliografía

# Introducción



## I.INTRODUCCIÓN

El nombre científico del cacao es *Theobroma cacao* Lin., es originario del continente americano y se considera que su punto de origen está en las cuencas de los Amazonas y Orinoco. Cuando los españoles descubrieron México vieron que allí se utilizaba el grano de cacao como moneda y para preparar una bebida. Después el cacao se extendió por América, el Caribe, Europa, África y Oceanía. Actualmente la zona africana es la más productora y los países que más lo producen son Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Brasil y Nigeria (Ramos, Ramos y Azócar, 1999).

El centro de origen del cacao (*Theobroma cacao* L.) se encuentra en la región alto amazónica, cerca de Iquitos, Perú, en la confluencia de los ríos Napo, Solimões, Putumayo y Caquetá. En esa región existe la mayor diversidad genética, morfológica y fisiológica de la especie (Serenó *et al.*, 2006; Montomayore *et al.*, 2008).

Las plantaciones de cacao en Cuba ubicadas en la región oriental, se encuentran distribuidas fundamentalmente en la precordillera de los macizos montañosos Nipe-Sagua-Baracoa y Sierra Maestra, además de un creciente desarrollo en la zona Central y Occidental. Siendo parte del sustento de más de 4000 familias dedicadas a este cultivo (Caro, 2005; Márquez y Aguirre, 2006; Matos y Ochoa, 2008).

El cacao se cultiva principalmente en forma de sistemas agroforestales donde constituye el cultivo principal. Estos sistemas representan una alternativa cuando el uso de monocultivos no es económicamente factible debido al alto costo de los productos agroquímicos, la elección de un sistema con árboles para sombra depende de la necesidad de diversificar la producción (Jiménez y Muschler, 2001).

Los sistemas agroforestales permiten la combinación de cultivos de interés y de árboles forestales, así como con animales domésticos en un mismo espacio físico. Este nivel de combinación requiere la optimización de la producción por unidad de

área mientras que al mismo tiempo se respeta el principio de obtener rendimientos sostenibles (Torres *et al.*, 2014).

Según Mills (2010), para el funcionamiento de un Sistema se requiere materia orgánica y energía solar para ser procesado como minerales disueltos, como resultado de este proceso se obtiene alimento para todos los componentes del ecosistema. La salud de los seres vivos heterótrofos y autótrofos que forman parte de este sistema requiere de suficiente flujo de energía, lo que permite que haya una metamorfosis del ecosistema.

En particular, los sistemas agroforestales cacaotales son herramientas importantes para la conservación de la biodiversidad, porque tienen diferentes especies y formas de vida vegetal y animal (Beer, 1999, Salgado *et al.*, 2007). Por su estructura estratificada son capaces de proporcionar hábitat, recursos y alimentos a animales y plantas (Guiracocha *et al.*, 2001).

Los Sistemas Agroforestales de cacao se encuentran extendidos en las zonas tropicales húmedas de América Latina y África (Avendaño *et al.*, 2011; De la Cruz *et al.*, 2015). Los cacaotales incluyen además del cacao, a los otros cultivos asociados y las plantas del dosel de sombra (Somarriba, 2002). Tradicionalmente se cultivan en de manera diversificada, donde el cacao comparte espacio y recursos con otras especies de interés para el agricultor; árboles que además de brindar sombra, proporcionan algunos otros bienes y servicios (Rice y Greenberg, 2000). Comúnmente se establecen, ya sea en reductos del bosque secundario o acahual (Wood, 1985), o en plantaciones junto con otras especies arbóreas (Rice y Greenberg, 2000; Somarriba, 2004).

El manejo óptimo de los sistemas agroforestales cacaoteros demanda del conocimiento de la mayoría de todos los factores que influyen en su funcionamiento. Igualmente importante, es conocer la relación que existe entre los diferentes componentes del sistema agroforestal cacaotero y como estos influyen en la producción del sistema. Estos aspectos han sido poco estudiados en las

zonas cacaoteras de la región de Baracoa, de ahí que el problema de esta investigación sea:

**Problema:** ¿Cómo influyen las relaciones entre los componentes de los sistemas agroforestales cacaoteros de la región Baracoa en su producción?

**Hipótesis:** Si se estudia las relaciones entre las diferentes variables en los sistemas agroforestales cacaoteros de Baracoa esto nos permitirá identificar las variables que contribuyen a su producción.

**Objetivo:** Identificar las relaciones que existe entre componentes del sistema agroforestal cacaotero de Baracoa y la producción de estos sistemas.

### **Objetivos específicos**

- ✚ Identificar las variables con mayor variabilidad del sistema agroforestal cacaotero en Baracoa.
- ✚ Establecer las relaciones entre los componentes del sistema agroforestal cacaotero que contribuyen a su producción y rendimiento.

# Revisión Bibliográfica



## II. Revisión bibliográfica

### 2.1 Origen y distribución del cacao

El propio nombre de la planta ya nos remite a sus deliciosas cualidades. La ciencia ha preferido llamar al árbol del cacao *Theobroma cacao*, que literalmente significa “alimentos de los dioses”, quizás por el reflejo de las creencias mayas que suponían que esta planta era un regalo de los dioses a la humanidad.

El nombre científico del cacao es *Theobroma cacao* Lin., y se ubica su origen en el continente americano. Los españoles lo descubrieron en México donde se utilizaba el grano de cacao como moneda y para preparar una bebida. Después el cacao se extendió por las regiones tropicales y subtropicales de América, el Caribe, África y Oceanía. Actualmente la zona africana es líder en la producción de este cultivo y los países con mayor incidencia en su producción son: Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Brasil y Nigeria (Ramos, Ramos y Azócar, 1999).

El centro de origen del cacao (*Theobroma cacao* L.) se localiza en la región alto amazónica, cerca de Iquitos, Perú, en la confluencia de los ríos Napo, Solimões, Putumayo y Caquetá. En esa región existe la mayor diversidad genética, morfológica y fisiológica de la especie (Serenó *et al.*, 2006; Montomayore *et al.*, 2008). Existen 10 grupos genéticos de cacao, ellos son: Curaray, Guiana, Nanay, Iquitos, Marañon, Contamana, Purús, Nacional, Amelonado y Criollo, este último es el único que se encuentra en la región centroamericana (Figura1).

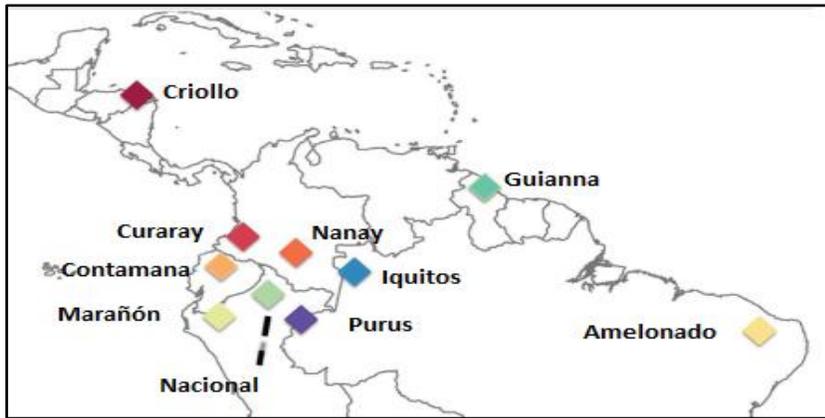


Figura 1. Origen del cacao. Adaptado de Motamayor *et al.*, 2008.

## 2.2 Producción mundial.

Los principales países productores de cacao están en el este de África: Costa de Marfil, Ghana, Nigeria y Camerún. Estos países aportan cerca de las dos terceras partes de la producción mundial y tres cuartos de las exportaciones mundiales de granos de cacao (Figura 2). Para países como Costa de Marfil y Ghana, las exportaciones de cacao representan el 30% y 25% de los ingresos totales de exportación, respectivamente. Entre los países productores de otras regiones con significativas producciones de granos de cacao se encuentran Indonesia, Malasia, Brasil, Colombia, Ecuador y República Dominicana (Donovan, 2006).

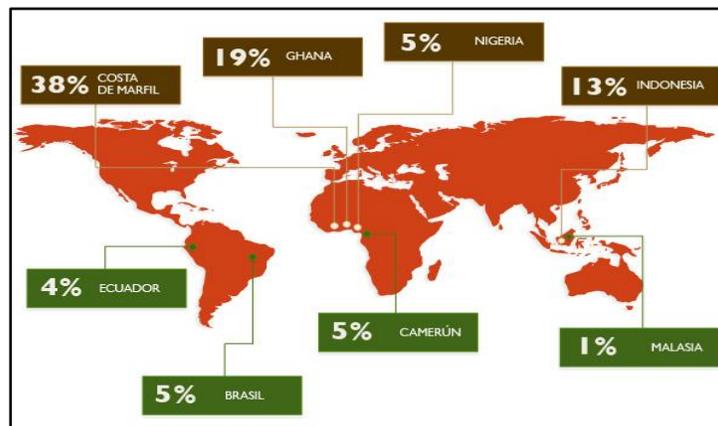


Figura 2. Principales productores de cacao.

### 2.3 Introducción y distribución del cacao en Cuba.

Mucho se ha escrito en Cuba, y fuera, acerca de la caña de azúcar, del tabaco y hasta del café. Pocos reportes, por el contrario, mencionan al cacao, sin embargo, este fue uno de los primeros cultivos introducidos por los españoles en la isla, en los tiempos iniciales de la colonización; y algunos aseguran que se daba silvestre en nuestras fértiles tierras. Y aunque su importancia económica como cultivo comercial, comparado con la caña de azúcar o el tabaco fue menor, el cacao ocupó un lugar principal en la alimentación tradicional en Cuba hasta el siglo XIX durante el cual el chocolate compartió la preferencia con el café, hasta ser desplazado por este y es innegable su importancia en la historia y la cultura nacional (Núñez y González, 2005).

Las plantaciones de cacao se encuentran distribuidas fundamentalmente en la precordillera de los macizos montañosos Nipe-Sagua-Baracoa y Sierra Maestra, además del creciente desarrollo en la zona Central y Occidental de nuestro país (Figura 3); siendo parte del sustento de más de 4 000 familias dedicadas a este cultivo (Caro, 2005; Márquez y Aguirre, 2006; Matos y Ochoa, 2008).

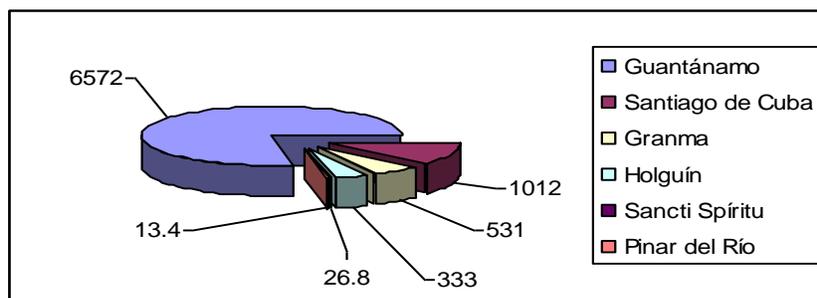


Figura 3. Distribución de las áreas de cacao en Cuba (ha), hasta febrero 2008.

### 2.4. Clasificación taxonómica y características morfológicas.

El cacao es una especie diploide ( $2n = 20$  cromosomas), de ciclo vegetativo perenne. Linneo en 1753, se ubicó primero al género *Theobroma* en la familia

*Tiliaceae*. Después consideró que podría ser incluido en la familia *Esterculiaceae*, y actualmente está incluido en la familia *Malvaceae*. *Theobroma cacao* es una de las 22 especies del género *Theobroma* (Hardy, 1960), originaria de Sudamérica y partes de Centroamérica (Ogata, 2007). La clasificación taxonómica de *Theobroma cacao* L. es la siguiente:

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Malvales*

Familia: *Malvaceae*

Género: *Theobroma*

Especie: *Theobroma cacao* L

### **2.4.1 Tallo**

La planta proviene de semilla que produce un tallo erecto, el cual puede llegar a medir de 1 m a 1,50m de altura; de este emergen las ramas en número de 3 a 5 con un crecimiento horizontal formando el llamado abanico u horqueta. Una vez formado la horqueta la yema terminal se elimina, y el siguiente crecimiento vertical ocurre por un chupón que sale de la parte inferior de la horqueta y asciende para luego repetir de la misma manera unos centímetros más arriba, la ramificación del tallo principal y f

El cacao tiene una raíz principal pivotante muy profunda que puede llegar a medir hasta 1 m de profundidad. Si se siembra las plantas con la raíz torcida el árbol se desarrollará de manera anormal y su producción será baja y a futuro, se tendrá que cambiar la planta. En las plantas de propagación clonal no hay raíz pivotante sino varias raíces principales y proliferan cerca de la superficie formando así una

cabellera compacta que fija la planta al suelo, por tal motivo no se debe dejar descubierto el pie de los árboles. (Ártica, 2008, Navarro y Mendosa, 2006);

### **2.4.3 Hojas**

Cuando el árbol es adulto, las hojas son de color verde oscuro y delgado, de tamaño mediano y son de textura firme, se encuentran unidas a las ramas por el peciolo. El peciolo tiene una hinchazón llamado yema de donde se origina ramas que se usan para los injertos. (Navarro y Mendosa, 2006).

### **2.4.4 Flor, fruto y semilla**

El cacao es cauliforo, por lo que las flores y los frutos brotan en las partes más viejas de la planta como tronco y ramas desprovistas de hojas. Las flores salen donde antes había hojas y siempre brotan en el mismo lugar, por tal motivo hay que tratar de no dañar la base de los cojines florales para así mantener buena producción. (Ártica, 2008, Navarro y Mendosa, 2006). Las flores del cacao son hermafroditas es decir poseen ambos sexos, “su fórmula es  $S_5, P_5, E_5 + 5, G_5$ ; lo que significa cinco sépalos, cinco pétalos, diez estambres en dos grupos o verticilos de los cuales solo uno es fértil y un ovario supero de cinco carpelos fundidos (Figura 4) (Ártica, 2008).

El fruto del cacao es una baya, también conocida como mazorca y tiene diferentes tamaños, colores y formas según la variedad (Figura 4). Tiene un tamaño aproximado de 30 cm de largo y 10 cm de ancho, por lo general contiene de veinte a cuarenta semillas y están rodeadas por una pulpa que se forma del integumento externo del ovulo. (Navarro y Mendosa, 2006). El número de frutos se incrementa hasta los 8 a 10 años (de Almeida y Valle, 2007). Son drupas indehiscentes, de hasta 32 cm de largo por 7 a 10 cm de ancho, esféricas a cilíndricas, algunas puntiagudas. Contienen entre 20 y 60 semillas de 1 a 3 cm de largo recubiertas por una pulpa mucilaginoso de sabor ácido o dulce, con placentación axilar en

cinco filas y dos cotiledones de color blanco a violeta intenso. Los frutos inmaduros son verdes (amarillo o anaranjado al madurar) o rojos (anaranjado o rojo al madurar) (Mora, 2009; Niemenaket al., 2009).



Figura 4. Flor, fruto y semilla del cacao. Flor (a), fruto o mazorca (b), fruto abierto (c) y semillas de cacao luego de ser sometidas al proceso de beneficio (d).

Las semillas del cacao se encuentran dentro del fruto. El número, tamaño y forma de las semillas dependerá de la variedad. Las semillas son de forma aplanada o redonda de 2 cm a 4 cm de tamaño, están ubicadas en cinco hileras dentro del fruto. La semilla está rodeada de una envoltura arilar blancuzca y azucarada. El arilo está compuesto por parénquima. La testa es gruesa y coriácea con la cutícula dura. El embrión se forma de dos grandes cotiledones que encierra una pluma pequeña. Las sustancias que se encuentran en los cotiledones son las que constituyen el producto comercial (Ártica, 2008).

## **4.5 Reproducción**

El Cultivo de cacao se puede propagar de dos maneras: de manera sexual empleando la semilla y la otra de manera asexual mediante el uso de estacas, acodos e injertos.

### *Reproducción sexual*

Este método utiliza la semilla botánica para la propagación. Cuando se va a propagar de esta manera es necesario conocer el biotipo y las características de la planta productora de semillas para que así esta reciba un adecuado tratamiento (Ártica, 2008).

Se recomienda obtener las semillas de campos oficiales, pero en caso de no contar con campos productores de semillas oficiales, se debe realizar una buena selección de plantas madres de donde se obtendrán las semillas (Ártica, 2008).

### *Reproducción asexual*

Este tipo de propagación consiste en la utilización de partes vegetativas de plantas seleccionadas, este método es muy utilizado ya que todas las características de la planta madre la tendrá la nueva planta, esto implica que no hay cambio en la constitución genética de la nueva planta (Ártica, 2008).

La propagación asexual se puede realizar por medio de estacas o ramillas, pero el más usado es el injerto, ya que no requiere una inversión costosa en instalaciones y aprovecha al máximo el material vegetativo de la planta madre. (Manual del cultivo de cacao, Perú 2004).

## **2.4.6 Temperatura y precipitación**

La temperatura es un factor de gran importancia debido a su relación con el desarrollo, floración y fructificación del cultivo de cacao. Paredes (2003), afirma que la temperatura media anual óptima debe ser de alrededor de 25 °C; Zúñiga y

Arévalo (2008), mencionan que para que el cacao tenga un crecimiento bueno, floración y fructificación abundante, y brotación vegetativa bien repartida durante el año, la temperatura media anual óptima debe estar entre los 23 °C y 28 °C. En los países donde se cultiva el cacao se observan dos períodos de brotación: marzo-abril y septiembre-octubre, lo que coincide con los períodos equinocciales, en los que la intensidad de la radiación solar es considerable.

El cacao es una planta muy sensible tanto a las deficiencias como a los excesos de humedad en el suelo. La cantidad y distribución de la cosecha de cacao está regulada a menudo más por la lluvia que por cualquier otro factor ecológico. El riego en las áreas de baja precipitación y obras de drenaje donde existen excesos de humedad en el suelo, son prácticas que generalmente pueden aumentar la producción y expandir el cultivo a otras regiones. Para Vázquez *et al.* (2004) y Olivera (1997), la cantidad de lluvia que requiere el cultivo de cacao oscila entre 1 500–2 500 mm en las zonas de trópico húmedo y de 1 000–1 500 mm en las zonas más templadas o en los valles más altos, la precipitación más adecuada es la que oscila entre los 1 200 mm y 2 500 mm bien distribuida durante todo el año. Para Rodríguez (2001), el mínimo anual de precipitación requerida o necesaria se sitúa alrededor de los 1 200 mm, siendo preferible una media superior a 1 500 mm.

#### **2.4.7 Suelo**

Un régimen de lluvias ideal, no significa necesariamente una distribución de la producción uniforme durante todo el año, sino una distribución de acuerdo con los cambios en las condiciones climáticas que afectan la demanda de humedad del suelo por parte de la planta.

Para una producción óptima de cacao, la provisión de agua al suelo, ya sea por la lluvia o el riego, debe ser tal que mantenga la humedad aprovechable entre los niveles de 50% a 70%. En zonas con precipitaciones superiores a los 4 000 mm anuales, el cultivo de cacao solo es económicamente rentable en suelos bien

drenados, ya que la inundación por unos días provoca asfixia de las raíces y la muerte del árbol. Cuando la época de sequía no es muy prolongada se pueden tener cosechas permanentes durante todo el año, mientras que si esta época se prolonga, la cosecha se concentra en periodos cortos.

Debido a que el cacao desarrolla 95% de sus raíces en los primeros 60 cm de profundidad del suelo (Cadmia, citado por Ruiz *et al.*, 1999), es en los primeros 30 cm donde se encuentra el mayor porcentaje de raíces fisiológicamente activas, encargadas de la absorción de agua y nutrientes (Zúñiga 2008).

### **2.4.8 Pendiente**

La pendiente juega un papel determinante en el cultivo, pues no son recomendables aquellas mayores a 30% (Vázquez *et al.*, 2004); son adecuados los suelos planos o ligeramente planos, mientras que en terrenos con pendiente se deberán realizar prácticas de conservación de suelo y agua. Por lo general, en pendientes mayores de 15%, las actividades agrícolas se realizan manualmente, en tanto que en pendientes menores se puede hacer uso de maquinaria (Paredes, 2003).

## **2.5 Tipos de cacao.**

El cacao en el mundo se clasifica tradicionalmente en 3 grupos principales:

**Criollo:** Generalmente, de mazorcas rojas y con semillas de color blanco o crema, con poca resistencia a plagas y enfermedades, pero con una gran calidad, por el aroma que produce al chocolate.

**Forastero:** Generalmente, de mazorcas verdes, con semillas de color violeta y con gran resistencia a plagas y enfermedades, con calidad inferior al criollo.

**Trinitario:** Es producto de una mezcla entre los dos grupos anteriores, por ello tiene diversidad de formas, tamaños y colores en la mazorca y semilla. Entre ellos hay clones que dan buen aroma y sabor al chocolate.

Existe otra clasificación más reciente (Motamayor *et al.*, 2008) que se basa en el empleo de marcadores moleculares tipo micro satélites y que reconoce 10 grupos genéticos del cacao. Esta clasificación permitió identificar los orígenes del cacao en Suramérica (Epígrafe 2.1, Figura 1).

### **2.5.1 Tipos de cacao en Cuba.**

En Cuba el cacao existente es del grupo trinitario, aunque se han introducido clones forasteros y existen algunos árboles criollos. Los campesinos identifican tres tipos de cacao según el origen de las plantas:

**Tradicional:** Reproducidos por semillas de plantaciones con 40-50 años o más. Quedan pocas áreas en los municipios cacaoteros, fundamentalmente quedan plantaciones en fincas de campesinos de los municipios Baracoa, Maisí, e Imías y plantas intercaladas con café en el resto de los municipios cacaoteros.

Sus mazorcas tienen diferentes tamaños y colores: verde, verde oscuro, verde claro, rojo claro, rojo púrpura; tienen diferentes formas: Anjoleta, Cundiamor, Amelonado y Calabacillo, predominando el Amelonado. Los granos por lo general son pequeños, alrededor de un gramo o menores, con coloración violeta, aunque puede ser mayor o menor la intensidad del violeta.

**Híbridos:** Introducidos al país de semillas (hijos de TSH) y producidos por semilla híbrida de padres conocidos y polinizados manualmente, por la Estación de Investigaciones de Cacao de Baracoa. Existen dos grupos: los hijos de T. S. H., introducidos en 1974 de Trinidad-Tobago y establecidos en las provincias de Granma, Santiago de Cuba, Holguín y en Guantánamo en los municipios de San Antonio del Sur y El Salvador.

**Injerto:** Plantas producidas mediante esta técnica, por lo general son clones de cacao de reconocida productividad. Se destacan por ser plantas con frutos grandes y semillas de color violeta con diferentes grados de intensidad. A este grupo pertenecen las plantas de los clones: UF-650, UF-677, entre otros.

## 2.6 Sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales son una forma de uso de la tierra en donde plantas leñosas perennes interactúan biológicamente en un área con cultivos y/o animales; el propósito fundamental es diversificar y optimizar la producción respetando el principio de la sostenibilidad (López, 2007). La agroforestería como también se les conoce, es vista como un sistema productivo tanto de madera como de alimentos, así como un sistema de manejo del suelo; de esta manera se tiene un mejor aprovechamiento de los recursos naturales y la mejora del ecosistema (Palomeque, 2009).

Estos sistemas consisten en la combinación simultánea de árboles con cultivos perennes, tales como café (*Coffea arabica*), cacao (*Theobroma cacao*), té (*Camellia sinensis*) y cardamomo (*Elettaria cardamomum*) y representan una alternativa cuando el uso de monocultivos no es económicamente factible debido al alto costo de productos agroquímicos. La elección de un sistema con árboles para sombra depende de la necesidad de diversificar la producción (Jiménez y Muschler, 2001; Musálem, 2001).

Los árboles en estos sistemas de cultivo contribuyen con productos adicionales, mejoran el suelo o sirven de tutor para cultivos de enredadera como pimienta (*Piper nigrum*) o vainilla (*Vanilla planifolia*). Diversas especies de árboles se pueden encontrar en los sistemas agroforestales, pueden ser maderables como por ejemplo *Cordia alliodora* o *Cedrela odorata*, especies leguminosas de uso múltiple como *Inga spp.*, *Gliricidia sepium* y *Erythrina spp.*, o frutales como *Citrus spp.*, *Persea americana*, o *Macadamia spp.* (Ramírez, 2005).

Otros objetivos de la agroforestería incluyen el mantenimiento de la cantidad y calidad del agua, retención de carbono, reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, mantenimiento y ordenación de la diversidad biológica en el paisaje agrícola (Mendieta y Rocha, 2007). Así también, los sistemas agroforestales pueden servir a los esfuerzos de conservación dependiendo de los factores como diseño y origen, su permanencia en el paisaje, su ubicación relativa al hábitat natural restante y el grado de conexión dentro del hábitat (Palomeque, 2009).

### **2.6.1 Clasificación de los sistemas agroforestales.**

Existen varios criterios para la clasificación de los sistemas agroforestales de acuerdo con el arreglo temporal y espacial de sus componentes, la importancia y rol de estos componentes, los objetivos de la producción del sistema y el escenario económico social (Conafor, 2007). No obstante, existen dos categorías básicas de sistemas agroforestales: simultáneos y secuenciales (Rivas, 2005).

#### **Sistemas agroforestales secuenciales**

Musálem (2001) describe que en estos sistemas existe una relación cronológica entre las cosechas anuales y los productos arbóreos; esta categoría incluye formas de agricultura migratoria con la intervención o manejo de barbechos, y los sistemas Taungya, métodos de establecimiento de plantaciones forestales en los cuales los cultivos anuales se llevan a cabo simultáneamente con las plantaciones de árboles, hasta que el follaje de los árboles se encuentra desarrollado.

#### **Sistemas agroforestales simultáneos**

Son aquellos sistemas donde todos sus componentes se encuentran presentes al mismo tiempo, que es más fácil de identificar (Conafor, 1997). Mientras que para Rivas (2005) en un sistema simultáneo, los árboles y las cosechas agrícolas o los

animales crecen juntos, al mismo tiempo en el mismo pedazo de terreno, estos son los sistemas en los cuales los árboles compiten principalmente por luz, agua y minerales, la competencia es minimizada con el espaciamiento y otros medios, los árboles en un sistema simultáneo no deben crecer tan rápido cuando la cosecha está creciendo también rápidamente, para reducir la competencia, los árboles deben tener también raíces que lleguen más profundamente que las de los cultivos, y poseer un dosel pequeño para que no los sombreen demasiado.

### **2.6.2 Funcionamiento de un Sistema Agroforestal**

Según Mills (2010), para el funcionamiento de un sistema agroforestal requiere materia orgánica y energía solar para el procesamiento de los minerales disueltos, resultado de este proceso se obtiene el alimento para todos los componentes del ecosistema. La salud de seres vivos heterótrofos y autótrofos que forman parte de este sistema requiere de suficiente flujo de energía lo que hace que haya una metamorfosis del ecosistema.

El principal elemento para el funcionamiento de un sistema es la energía libre proveniente de energía solar. Esta energía solar permite el procesamiento de materiales orgánicos e inorgánicos como resultado del cual se transforma en energía química, este se conoce como flujo de energía disponible. La naturaleza es perfecta, su funcionamiento sucesional y cíclico, sincroniza los niveles tróficos (Productores, consumidores y descomponedores) con el alto grado de complejidad y disturbio generado por las interacciones de los componentes del sistema; sus interacciones pueden ser dadas por competencia, alelopatía, parasitismo, predación, mutualismo, antagonismo y todos los procesos son regulados de manera natural sin intervención humana. En este sistema, no existen plagas ni enfermedades que provoquen la ruptura del sistema generando crisis ambiental, por tanto, cada evento o fenómeno estará definido por su ciclo de vida de cada especie (Mills, 2010; Sarandón y Flores, 2014; Götsch, 1994, 1995 citado por Mills 1997; Gliessman, 2002).

Es un sistema diseñado para abastecer las necesidades del hombre mediante una producción sostenible, este sistema de finca garantiza la conservación del suelo, del agua y del medio ambiente, dónde el hombre y la naturaleza trabajan de la mano. El sistema agroforestal a nivel macro es también una opción para mitigar los efectos de cambios climáticos debidos a la alta deforestación e intervención de los ecosistemas naturales (Condori, 2011; Sarandón y Flores, 2014; Gliessman, 2002 y Benzing, 2001; Arévalo, 1998).

### **2.6.3 Caracterización de los Sistemas Agroforestales**

Para visualizar diferentes facetas de la sostenibilidad del planeta, de una región, de un país o de una comunidad sirven de base cinco dimensiones o instancias que permiten estimar la sostenibilidad: socialmente justa, económicamente sustentable, ecológicamente estable, culturalmente aceptable y políticamente aceptable (Mendieta y Marca 2000, citado por Choque, 2009; Restrepo, 2000; Altieri y Nicholls, 2000).

#### *Ecología*

Está representado por el medio ambiente y la oferta de recursos naturales (flora y fauna) y se constituye en la base fundamental para que las personas interactúen y construyan aprovechando los recursos. Este capital ofrece las posibilidades y los límites a las acciones humanas, de él hacen parte el agua, el suelo, la biodiversidad representada en las especies vegetales y animales, las características propias del paisaje como la topografía, y las condiciones edafoclimáticas (Flora *et ál.* 2005).

#### *Social*

Son características de las comunidades basada en las interacciones entre los individuos y grupos que se enmarca en los principios de equidad, justicia, respeto

a las culturas, salud, educación, autonomía, confianza mutua, reciprocidad, identidad colectiva, cooperación, solidaridad y sentido de un futuro compartido. De manera que el sentido del manejo y la organización son compatibles con los valores culturales y éticos del grupo involucrado y de la sociedad (equidad), lo que lo hace aceptable por esas comunidades, u organizaciones y da continuidad al sistema en el tiempo (Müller, 1993; Flora, 2004).

### *Economía*

Esta dimensión implica un carácter de eficiencia en el uso y el aprovechamiento de recursos con alta productividad y opcionalidad a una variación de productos. En el sentido de que el sistema en uso produce una rentabilidad razonable y estable a través del tiempo para quien lo maneja, lo que hace atractivo continuar con dicho manejo en el tiempo (AOPEB, 1997; Müller, 1996; Choque, 2009).

### *Técnica*

El capital físico está constituido por la infraestructura de carácter pública o privada y el conjunto de bienes y servicios con los que cuentan las personas para satisfacer sus necesidades básicas, realizar actividades productivas y alcanzar su desarrollo y bienestar (DFID, 1999; Flora *et al.*). Las mejoras registradas en el capital físico pueden ser el resultado del trabajo conjunto de la comunidad, así mismo este capital cumple una importante función en la medida que apoya el crecimiento de los otros capitales (Bermúdez, 2007).

## **2.7 Sistema Agroforestal Cacaotero.**

Los sistemas agroforestales cacaotales son herramientas importantes para la conservación de la biodiversidad, porque tienen diferentes especies y formas de vida vegetal y animal (Beer, 1999, Salgado *et al.*, 2007). Por su estructura estratificada son capaces de proporcionar hábitat, recursos y alimentos a animales y plantas (Guiracocha *et al.*, 2001).

### **2.7.1 Caracterización de los Sistemas Agroforestales cacaoteros**

Los sistemas agroforestales de cacao se encuentran extendidos en las zonas tropicales húmedas de América Latina y África (Avendaño *et al.*, 2011; De la Cruz *et al.*, 2011). Los cacaotales incluyen además del cacao, a los otros cultivos asociados y las plantas del dosel de sombra (Somarriba, 2002). Tradicionalmente se cultivan de manera diversificada, donde el cacao comparte espacio y recursos con otras especies de interés para el agricultor; árboles que además de brindar sombra, proporcionan algunos otros bienes y servicios (Rice y Greenberg, 2000). Comúnmente se establecen, ya sea en reductos del bosque secundario o acahual (Wood, 1985), o en plantaciones junto con otras especies arbóreas (Rice y Greenberg, 2000; Somarriba, 2004).

Al igual que el cacao, muchos cultivos perennes que se encuentran a lo largo de los trópicos se cultivan bajo el dosel de los árboles, como el café, la vainilla, y la pimienta; los cuales son parecidos entre sí en su estructura agroecológica (Rice y Greenberg, 2000; Somarriba, 2002). Cuando se cultivan diversas especies de manera intercalada y multiestratificada, el sombreado está dominado por unas pocas especies que conforman la “columna vertebral” del componente de sombra (Rice y Greenberg, 2000). Estas especies usualmente son plantas de rápido crecimiento, ya sea maderables o leguminosas fijadoras de nitrógeno (Rice y Greenberg, 2000; Paredes *et al.*, 2004; Enriquez, 2006; Riveros-Angarita, 2009).

Estos sistemas soportan una gran diversidad biológica, pero la elección de árboles de sombra se rige más por la necesidad de diversificar la producción y abastecer de madera, frutos, y leña, entre otros; que por sus ventajas ecológicas (Mendieta y Rocha, 2007; Rice, 2011).

Los árboles del dosel también brindan protección contra el impacto de la lluvia, y por lo tanto, contra la erosión del suelo; además las hojas que caen proveen de una fuente de materia orgánica, lo que incrementa la aireación, la infiltración y el drenaje del suelo (Rice y Greenberg, 2000), favoreciendo el ciclado de los nutrientes requeridos por el cultivo (Mendieta y Rocha, 2007).

La sombra que proporciona el dosel tiene un efecto protector-regulador en el desarrollo de las plantas de cacao. Las especies de cobertura propician las condiciones ideales para su buen desarrollo al modificar el microclima subyacente (Enríquez, 2006; Somarriba *et al.*, 2011). Estas interacciones entre las plantas de cacao y los árboles del dosel se explican mediante el proceso de facilitación; el cual se describe como el efecto de una especie en el ambiente que beneficia el desarrollo de otra (no necesariamente de manera recíproca) (Vandermeer, 1984). Dos cultivos creciendo juntos dentro de un agroecosistema, son similares a dos especies coexistiendo en un ecosistema no-agrícola. Dos especies coexistirán si su competencia interespecífica es menor que su competencia intraespecífica. Las plantas que están interactuando unas con otras pueden interpretarse como un proceso de dos etapas: La especie A, tiene un efecto en el ambiente E; la especie B es afectada por el ambiente E; por lo tanto, A modifica a B, obteniendo:  $E = f(A)$  y  $B = f(E)$  (Vandermeer, 1989).

### **2.7.2 Tipos de cacaotales en función de la sombra**

La clasificación de los cacaotales está en función de la cobertura del dosel y de las especies que se encuentran asociadas. Según Rice y Greenberg (2000) puede ser de tres tipos: (i) Cacao con manejo rustico, cuando se cultiva dentro del bosque secundario, formando un sistema dentro del bosque tropical altamente modificado; (ii) Cacaotal con “sombra plantada”, estos varían entre el policultivo tradicional de muchas especies de sombra hasta cultivos comerciales en los que unas cuantas especies conforman el dosel de sombra especializada; y (iii) cacaotales tecnificados sin sombra.

Somarriba *et al.* (2011) proponen una clasificación de seis tipos de cacaotales: Sin sombra; con una sola especie de sombrío; con otros cultivos de valor comercial de manera intercalada; con varias especies de sombra, árboles frutales o maderables; cacaotales rústicos o “cabrucas”: se encuentran entre el bosque natural raleado; agrobosques: son cacaotales en sitios reocupados que fueron invadidos por el bosque.

### 2.7.3 Plagas y Enfermedades en el sistema agroforestal cacaotal

En el sistema agroforestal cacaotal uno de los factores principales son las enfermedades causadas por plagas, bacterias y hongos que afectan al cultivo y su frecuencia son: *Moniliophthoralaroreri*(100%), *Phytophthora capsici* (67%), *Fusarium* sp. (10,1%), *Colletotrichumgloeosporioides* (3,7%), *Ceratocystiscacaofunesta* (0,9%), *Attasp.* (33,9%), *Toxopteraaurantii* (11%), *ardillas* (7,3%), *Xyleborusferrugineus*, *Xylosandrusmorigerus*, *Hypothenemusbirmanus*, *Corthylusminutissimus*, *Taurodermussharpi*, *Hypothenemusinterstitialis* (5,5%), *Vanduzeasegmentata* (5,5%), pájaro carpintero (4,6%), *Selenothripsrubrocintus* (3,7%), *Clastopteralaeana* (3,7%) y tuzas (3,7%). *Moniliophthora* es el principal factor que afecta la supervivencia del cacao y su biodiversidad (Gómez et al., 2015).

# Materiales y Métodos



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló entre los meses de enero y mayo del 2020. Primero se recolectaron los datos que describen diferentes aspectos de las fincas de cacao analizadas y segundo se realizó el análisis integral de la información para comprender la influencia de las variables estudiadas.

#### 3.1. Recolección de los datos de las fincas analizadas

##### 3.1.1. Ubicación de las fincas de cacao analizadas

Las siete fincas analizadas se localizan en el municipio Baracoa, provincia Guantánamo. Estas fincas se seleccionaron como representativas de las características agroecológicas que identifican la producción de cacao en Baracoa (Lescaille 2009, comunicación personal). Las características generales de las fincas seleccionadas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1 Las características generales de las fincas cacaoteras seleccionadas en el municipio de Baracoa, provincia Guantánamo

Código	Nombre	Organización	Productor	Área (ha)	Localidad
F02	Finca Santa María	CCS Wilber Galano	Fred Legrá	11,7	San Luis
F05	Finca Elcita	CCS René Gómez	Rolando Suarez	Yaser 5,33	Sabanilla - Paso de Cuba
F08	Finca Los Yaser	UBPC Jose Maceo	Carlos Delfino	Manuel 16	Jamal
F10	Finca Miguel	San UBPC	Roberto Germán Columbié	San 6,66	Sabanilla - Paso de Cuba
F11	Poca Pena	CCS	Fliver Ortiz	Machado 8,5	Sabanilla - Paso de Cuba
F15	Santa Rita	CCS M. Á. Betancourt	David Fasta Guillian	9,45	Jamal
F19	La Esperanza I	UBPC A. Maceo	Danieliannis Mena	Maceo 3	San Luis

### 3.1.2. Recolección de los datos que caracterizan a las fincas cacaoteras seleccionadas.

Las fincas se caracterizaron atendiendo a varias variables del suelo, vegetación, precipitaciones y producción de diferentes renglones.

Del suelo se evaluaron las siguientes variables:

- Profundidad efectiva del suelo (cm).
- Erosión.
- Humedad (%)
- Agro productividad, la cual se clasificó en cuatro niveles decrecientes: I, II, III, IV.

Con respecto a las variables climáticas se recolectaron en el Instituto de Meteorología de Guantánamo los datos de precipitaciones (mm) durante los últimos 10 años.

Para los estudios de diversidad se realizó un inventario florístico en las siete fincas, donde se observaron las especies vegetales presentes y su cantidad. Con esta información se calculó el Índice de Diversidad de Simpson de cada una de las fincas de acuerdo con la fórmula:

$$\text{Índice de Diversidad de Simpson} = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2$$

Dónde: n: número de especies en el agroecosistema

$p_i$ : Frecuencia de la especie i en el agroecosistema

El índice de Diversidad de Simpson se calculó con el paquete *vegan* versión 2.5-6 (Oksanen, 2019) que pertenece al Lenguaje de programación estadística R versión 4.0.0 (R Core Team, 2020).

La heterocigosidad esperada se calculó a partir de la información existente de los marcadores moleculares microsatélites de las plantas de cacao de las fincas estudiadas. Para esto se utilizó el paquete *adegenet* versión 2.1.2. (Jombart, 2008; Jombart y Ahmed, 2011) que pertenece al Lenguaje de programación estadística R versión 4.0.0 (R Core Team, 2020).

Esta información se analizó con la producción, en los últimos 10 años, de diferentes productos en cada una de las fincas cacaoteras evaluadas, especialmente la producción de cacao por ser el cultivo fundamental, aunque se entregan otros productos agrícolas como plátano burro (*Musa*spp. L.), cítricos (*Citrus*spp. L.), frutales (Aguacate (*Persea americana* Mill), guapen (*Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg, guanábana (*Annona muricata* L.), zapote (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn.), cocotero (*Cocos nucifera* L.) y otros cultivos.

## **3.2. Análisis de las relaciones entre las variables evaluadas y la producción en las fincas cacaoteras estudiadas**

### **3.2.1. Variables que más aportan a la variabilidad de las fincas de cacao estudiadas**

Para determinar las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas de cacao estudiadas se realizó un Análisis de Componentes Principales. Para esto se utilizó el paquete *FactoMineR* versión 2.3 (Lê *et al.*, 2008) que pertenece al Lenguaje de programación estadística R versión 4.0.0 (R Core Team, 2020). Las variables cualitativas se codificaron con los valores de las clases fenotípicas.

### **3.2.2. Asociación entre las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas de cacao estudiadas**

Se realizó inicialmente una correlación por el método de Spearman entre la producción de cacao y las variables analizadas en las fincas cacaoteras de Baracoa. Se eligió este método debido a que permite determinar el coeficiente de correlación con datos de variables cualitativas, como es el caso de algunas de las que se analizaron.

Con el resultado de la correlación de Spearman se realizó un gráfico para representar el grado de correlación observado que permita posteriormente realizar el análisis de sendero.

La correlación se calculó con el lenguaje de programación estadística R versión 4.0.0 (R Core Team, 2020).

### **3.2.3. Efecto entre las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas de cacao estudiadas con la producción**

Posteriormente se estudió el efecto de las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas de cacao estudiadas con la producción en las mismas. Para esto se realizó un análisis de sendero a partir de la correlación calculada entre las variables evaluadas en las fincas y la producción de cacao, plátanos, cítricos, cultivos varios y otros cultivos. Con los resultados obtenidos se elaboró un diagrama de sendero con las relaciones entre las diferentes variables y el grado de relación entre ellas.

Para este análisis se emplearon los paquetes *lavaan* (Rosseel, 2012) y *semPlot* (Rosseel, 2012) del lenguaje de programación estadística R versión 4.0.0. (R Core Team, 2020).

# Resultado y Discusión



## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Variables que más aportan a la variabilidad de las fincas de cacao estudiadas.

El Análisis de Componentes Principales realizado sobre la base de las variables descriptivas de las fincas de cacao permitió explicar el 63,43 % de la variabilidad total en las fincas con dos componentes principales. De todas las variables evaluadas las seis que más aportaron a la variabilidad de las fincas evaluadas fueron: profundidad efectiva del suelo (cm), erosión del suelo, materia orgánica del suelo (%), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> del suelo (mg/100 g), diversidad de Simpson y pendiente del suelo (%) (Tabla 2).

Tabla 2: Auto valores, porcentaje de la varianza, porcentajes acumulativos y valores de los vectores propios en el análisis de componentes principales realizado con las variables descriptivas de las fincas de cacao.

	CP 1	CP 2
Auto valor	3,56	3,42
Varianza (%)	32,35	31,08
Varianza acumulada (%)	32,35	63,43
Vectores propios	Dimensión 1	Dimensión 2
Profundidad efectiva del suelo (cm)	1,54	26,22
Erosión del suelo	24,46	0,97
Materia orgánica del suelo (%)	22,05	0,03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> del suelo (mg/100 g)	10,21	11,62
Diversidad de Simpson	3,79	16,46
Pendiente del suelo (%)	0,82	17,54
pH del suelo	6,83	10,89
Precipitaciones medias (mm)	12,50	4,59
K <sub>2</sub> O del suelo (mg/100 g)	11,03	0,01
Profundidad pedológica del suelo (cm)	0,00	9,71
Heterocigosidad esperada del cacao	6,77	1,97

El mayor aporte a la variabilidad se observó en la profundidad efectiva del suelo. La nutrición de los cultivos depende de las condiciones del suelo y la interrelación de los factores ambientales, el manejo de las plantaciones, la ubicación geográfica, altitud, y los efectos antrópicos. El suelo tiene como función proveer el soporte mecánico y los nutrientes que necesitan las plantas (Paredes *et al.*, 2018). El cacao es una planta dicotiledónea, caracterizada por presentar una raíz principal que crece en profundidad y desarrolla raíces secundarias menores (Crang *et al.*, 2018). Estas raíces pivotantes en el cacao pueden alcanzar profundidades de 1,5 hasta 2,0 m, de ahí la importancia de cultivar esta especie en suelos profundos, aunque las raíces laterales se encuentran en su mayoría en los primeros 30 cm del suelo, donde absorben la mayoría de los nutrientes que necesita la planta de cacao (AnzulesToala, 2019). Se considera que en Cuba los suelos adecuados que permiten un desarrollo normal del sistema radical del cacao deben tener una profundidad efectiva no menor de 60 cm, por lo que menores profundidades constituyen una limitante para alcanzar altos rendimientos (Márquez Rivero y Aguirre Gómez, 2008; Suárez Venero, 2013). Una profundidad del suelo de aproximadamente 1 m permite el desarrollo de las raíces del cacao (Batista, 2009).

Se pueden encontrar plantaciones de cacao desarrolladas en suelos con menos de 60 cm de profundidad efectiva; sin embargo, no logran adecuadas producciones. El desarrollo del cultivo en suelos con menor profundidad efectiva de la requerida se debe a que la planta de cacao es un cultivo protector de los suelos, ya que deposita en la superficie del mismo su propia hojarasca en descomposición, y con el pasar del tiempo, crea un horizonte húmico que aumenta la capacidad para el desarrollo del sistema radical (Suárez Venero, 2013). La profundidad efectiva de los suelos es una de las propiedades que más limitan el normal crecimiento y desarrollo del cacao en el mundo. Este se denota con mayor influencia cuando la fertilidad del suelo es escasa, por lo que se requieren de suelos que sean profundos y con buena fertilidad.

La erosión del suelo fue el segundo componente con mayor aporte a la variabilidad. El relieve está relacionado con el peligro de erosión de los suelos y puede influir en la profundidad efectiva de los mismos. Los expertos consideran que esta variable no es determinante para seleccionar las zonas adecuadas para el cultivo del cacao, si se tiene en cuenta la profundidad efectiva (Suárez Venero, 2013). Sin embargo, en el presente estudio la pendiente del suelo se ubicó entre los seis parámetros que más influyen en la variabilidad. Este resultado puede estar relacionado con las características típicas de la región de Baracoa, con plantaciones que se ubican en fincas con fuertes pendientes. Estas pendientes combinadas con las precipitaciones de más de 2000 mm al año incrementan las probabilidades de erosión y pérdida de suelo y nutrientes en estas fincas, lo que determina la disminución en la producción y los rendimientos del cacao.

Es de destacar la estrecha relación que se observa entre los componentes más importantes que aportan a la variabilidad en las fincas cacaoteras analizadas. La biodiversidad es uno de estos factores que se interrelacionan estrechamente con otros. Como parte de la diversidad biológica en las fincas de cacao se destacan los árboles de sombra. Estas especies mitigan el incremento de las temperaturas, potencialmente pueden disminuir la evaporación e incrementar las propiedades de los suelos al aumentar la materia orgánica y proteger al suelo de la erosión por su sistema radical (Medina y Laliberte, 2017; Arenas Rubio, 2019).

Entre las funciones de la diversidad vegetal están la fertilidad y la protección del suelo. Este efecto es más importante en pendientes con un alto grado de inclinación, donde es necesario la cubierta continua: árboles, abono verde, hierbas y vegetación natural. Este conjunto de especies juega un papel crucial en la estabilización del suelo. Otra de las funciones de la biodiversidad es que permite mantener un ambiente con temperaturas más bajas y mayor humedad relativa (Bliss, 2017). Estos efectos son muy importantes en las condiciones de Cuba, con altas temperaturas durante todo el año, en especial el verano, momento cuando termina la cosecha grande del cacao.

Varios estudios indican la relación de la biodiversidad con el desarrollo sostenible de sistemas agroforestales. Los árboles de sombra sembrados en una alta densidad (8 m x 8 m) en el sistema agroforestal cacaotero en Papua New Guinea, pueden influenciar en la cantidad de materia orgánica que entra en el agroecosistema y en la absorción de nutrientes (Hosseini Bai *et al.*, 2017). Otros estudios indican que los modelos de monocultivo, que prestan poca atención a la biodiversidad, pueden provocar diversos problemas. Esto se observó en el cultivo de cacao cultivar CCN-51 en Ecuador, donde aumentó la erosión y disminuyó la diversidad biológica, como principales efectos negativos (Carla Gianella, 2018).

Al comparar suelos de bosques y plantaciones de cacao en Indonesia, el mayor productor de cacao del mundo, se observó que el incremento de la diversidad de especies forestales no fue determinante para la fertilidad del suelo. Otros factores como la vegetación de cobertura y el historial de uso de la tierra pueden contribuir significativamente a alterar las tasas de descomposición y la calidad del suelo. Aunque la diversificación del agro ecosistema cacaoteros puede tener el potencial de brindar beneficios significativos a la conservación de la diversidad y el sustento del campesino, no es la solución para mitigar los impactos negativos de la deforestación en la salud del suelo del ecosistema en la plantación de cacao. La sostenibilidad de las fincas puede favorecerse mediante la implementación de franjas forestales y rotaciones regulares para la recuperación del ecosistema (Wartenberg *et al.*, 2017).

El desarrollo sostenible involucra la generación de alimentos de calidad, manteniendo la fertilidad del suelo, minimizando la erosión, disminuyendo la contaminación del agua, prescindiendo del uso de agro tóxicos e incentivando los policultivos (Muñoz-Espinoza *et al.*, 2016). Estos principios pueden alcanzarse en fincas agroecológicas de cacao, con alta diversidad biológica y un manejo bajo principios agroecológicos del cultivo.

## 4.2. Asociación entre las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas de cacao estudiadas

La correlación entre las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas de cacao estudiadas se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3 Correlación entre las variables que más aportaron a la variabilidad de las fincas de cacao estudiadas.

	Profundidad efectiva del suelo (cm)	Erosión del suelo	Materia orgánica del suelo (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> del suelo (mg/100 g)	Diversidad de Simpson	Pendiente del suelo (%)
Profundidad efectiva del suelo (cm)	1,00	-0,18	0,07	-0,50	-0,48	-0,41
Erosión del suelo	-0,18	1,00	-0,21	-0,21	-0,04	-0,21
Materia orgánica del suelo (%)	0,07	-0,21	1,00	0,79	0,66	0,52
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> del suelo (mg/100 g)	-0,50	-0,21	0,79	1,00	0,79	0,69
Diversidad de Simpson	-0,48	-0,04	0,66	0,79	1,00	0,94
Pendiente del suelo (%)	-0,41	-0,21	0,52	0,69	0,94	1,00

Entre las correlaciones observadas se destaca la diversidad de Simpson con altos coeficientes de correlación con la materia orgánica del suelo (0,66), el fósforo (0,79) y la pendiente (0,94). De igual manera la materia orgánica presenta además altos valores de correlaciones positivas con la pendiente del suelo (0,52) y el fósforo (0,79) y negativa con la erosión del suelo (-0,21).

Los estudios de correlación se han centrado en componentes que influyen directamente en la productividad del cacao como número de semillas /fruto, peso de una semilla, longitud del fruto, peso fresco de la semilla, diámetro del fruto, peso seco de la semilla, peso del fruto (López Hernández y Ortiz Mejía, 2018;

Ramírez-Guillermo *et al.*, 2018; Justo Domínguez, 2019). O en otros efectos relacionados como los realizados en plantaciones de CCN-51 en Ecuador que muestran que una mayor aplicación de agroquímicos tiene una correlación positiva con un mayor daño ambiental.

Los resultados obtenidos indican que la producción es un carácter muy complejo en el cacao, en el cual no solo influyen variables morfológicas, estrechamente relacionadas con las características del cultivar utilizado, sino también otras variables ambientales relacionadas con el suelo y la diversidad biológica en las fincas. No obstante, la baja correlación entre algunas de las variables estudiadas puede deberse a que constituyen un número reducido de datos empleados o el bajo poder discriminante de estas variables. Lo que indica que son necesarios estudios complementarios, con mayores muestras, que permitan obtener conclusiones más precisas sobre las complejas relaciones que se establecen en los sistemas agroforestales que permiten su utilización económica.

#### **4.3. Efecto entre las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas de cacao estudiadas con la producción**

En el diagrama del análisis de sendero se muestran las relaciones entre las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas de cacao estudiadas con el rendimiento de cacao en estas (Figura 5).

El rendimiento del cacao de las fincas evaluadas tiene la mayor relación positiva con la profundidad efectiva del suelo (1,25), con un efecto muy inferior de la diversidad de Simpson (0,07) y el fósforo en el suelo (0,02). Tres de las variables tuvieron una relación negativa con el rendimiento de cacao: la materia orgánica del suelo (-1,25), la pendiente (-0,28) y la erosión del suelo (-0,13).

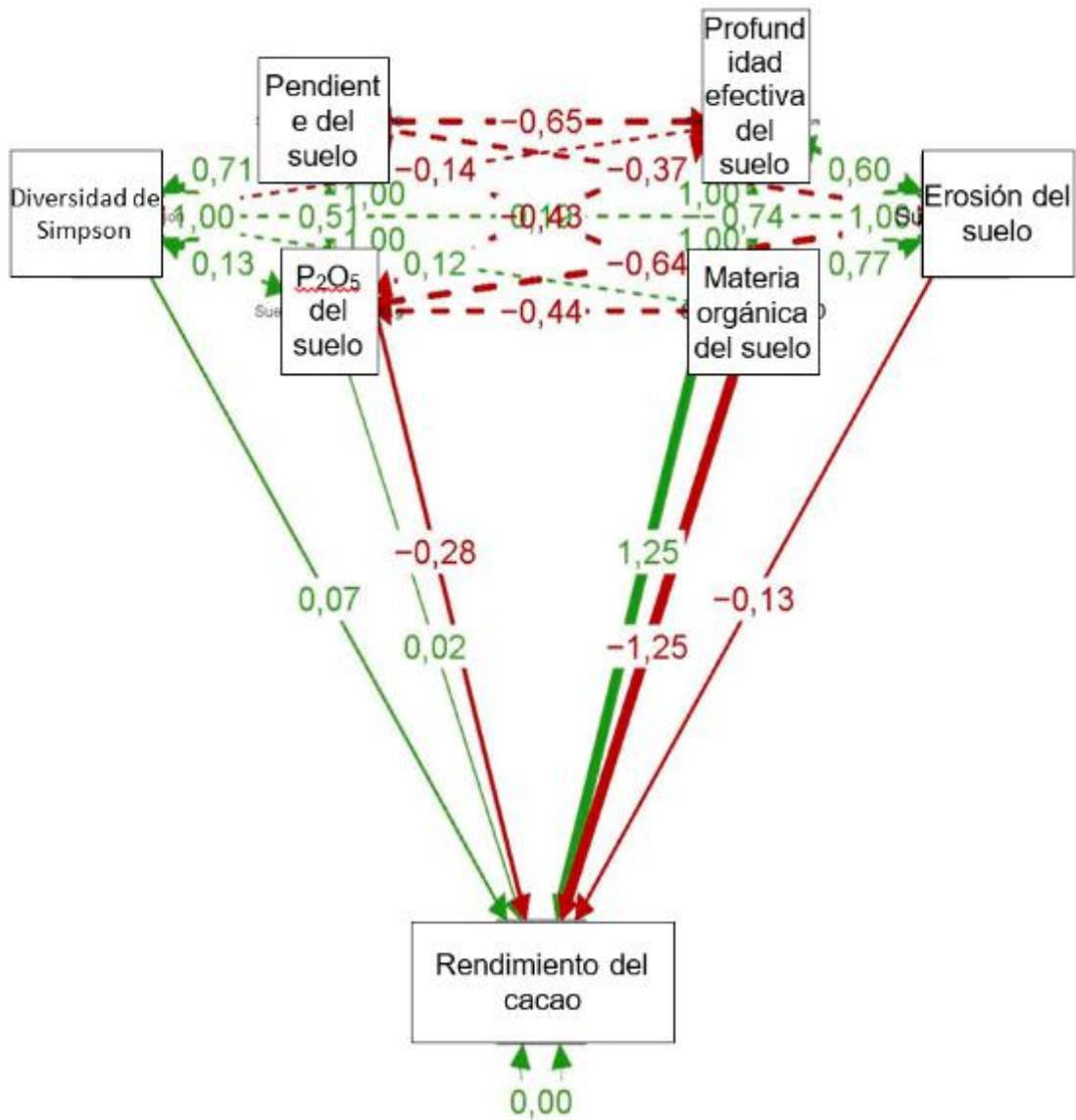


Figura 5. Diagrama del análisis de sendero de las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas estudiadas con el rendimiento de cacao.

En el caso de la materia orgánica se observó una relación negativa con el rendimiento del cacao. Este resultado puede estar causado porque se hace necesario ampliar el estudio con un mayor número de muestras, tanto en el número de puntos de muestreo en las fincas como en el número de fincas.

Con respecto a la erosión se observó una relación negativa. Este resultado indica que los suelos con mayor erosión o pendiente no son los más adecuados para obtener altos rendimientos en el cacao.

En la Figura 6 se muestra el análisis de sendero de las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas de cacao con el rendimiento del plátano burro, el segundo cultivo de mayor producción en estas fincas.

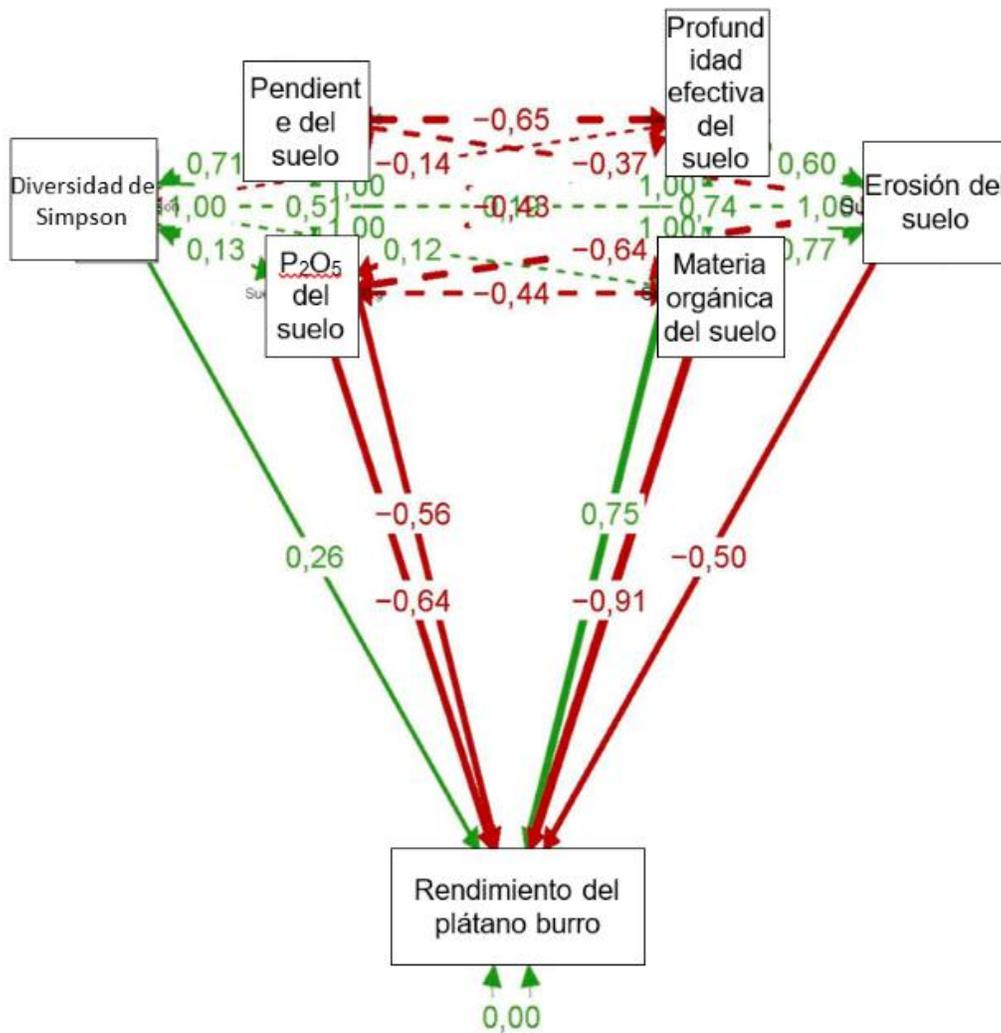


Figura 6. Diagrama del análisis de sendero de las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas estudiadas con el rendimiento de plátano burro.

En el rendimiento del plátano burro de las fincas evaluadas la mayor relación positiva se observó con la profundidad efectiva del suelo (0,75), con un efecto

inferior de la diversidad de Simpson (0,26). Cuatro de las variables tuvieron una relación negativa con el rendimiento de cacao: la materia orgánica del suelo (-0,95), el fósforo del suelo (-0,64), la pendiente del suelo (-0,56) y la erosión del suelo (-0,50).

Otro de los cultivos destacados en las fincas cacaoteras de Baracoa son los cítricos. En la Figura 7 se muestra el análisis de sendero de las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas de cacao y su influencia en el rendimiento de los cítricos.

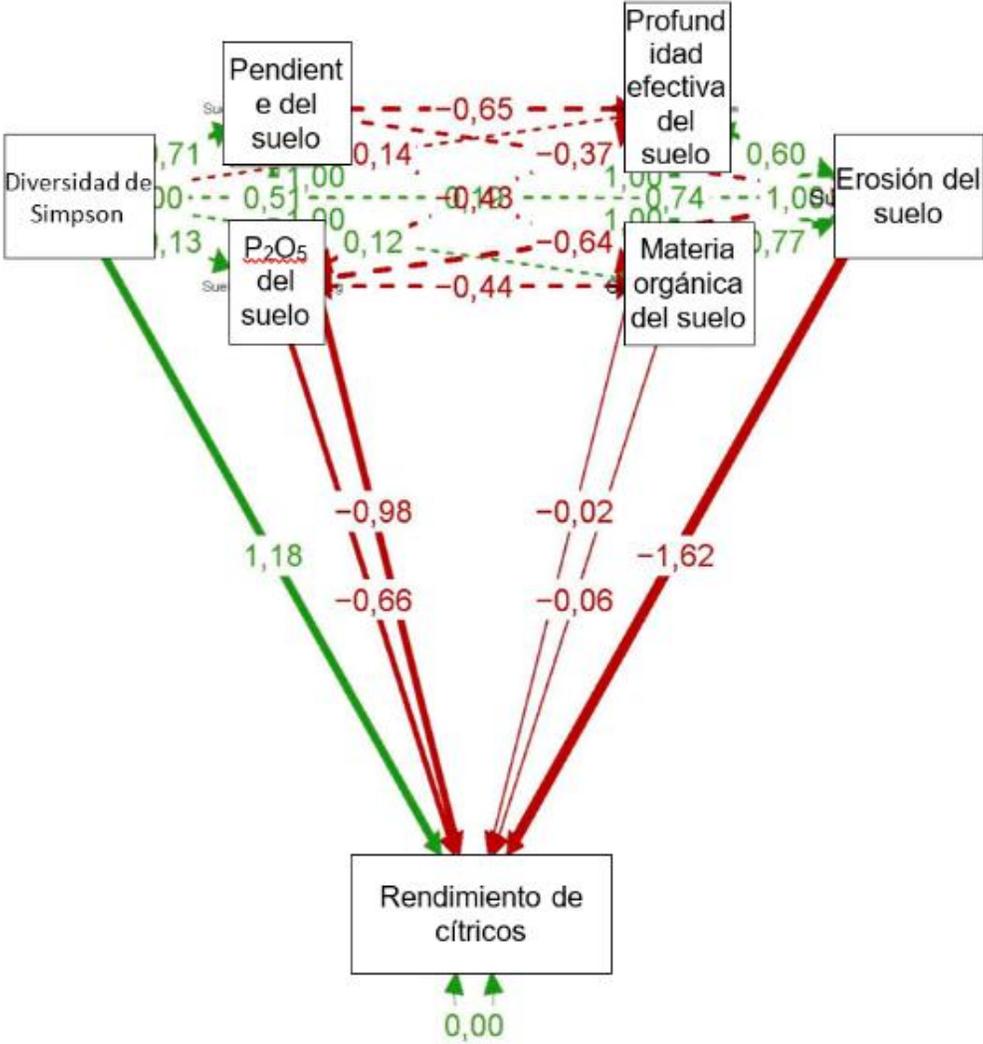


Figura 7. Diagrama del análisis de sendero de las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas estudiadas con el rendimiento de cítricos.

En el rendimiento de los cítricos en las fincas evaluadas solo se observó una relación positiva con la diversidad de Simpson (1,18). En las otras cinco variables la relación fue negativa. En dos de estas variables el valor fue muy cercano a cero: profundidad efectiva del suelo (-0,02), materia orgánica del suelo (-0,06). En las otras cinco variables la relación negativa fue muy superior: fósforo del suelo (-0,66), pendiente del suelo (-0,98) y erosión del suelo (-1,62).

Además de los cultivos mencionados existen en las fincas cacaoteras otros cultivos diversos que se producen y comercializan. En la Figura 8 se muestra el análisis de sendero de las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas de cacao estudiadas con estos otros cultivos.

En tres de las variables la relación con el rendimiento de cultivos varios fue positiva: fósforo del suelo (0,81), materia orgánica del suelo (0,81) y diversidad de Simpson (1,17). En las otras tres variables la relación con el rendimiento de cultivos varios fue negativo: erosión del suelo (-0,21), profundidad efectiva del suelo (-0,89) y pendiente del suelo (-1,85).

Al analizar en conjunto los resultados del análisis de senderos del rendimiento de cacao, plátano burro, cítricos y cultivos varios se observó en todos los casos una relación positiva con la diversidad de Simpson. Este resultado indica que a mayor diversidad biológica en las fincas se obtiene una mayor producción de los sistemas agroforestales.

La diversidad biológica muchas veces no se considera en toda su importancia para aportar un equilibrio en estos sistemas. La deforestación, estrechamente relacionada con la disminución de la diversidad biológica, genera impactos negativos en las propiedades físicas, químicas, microbiológicas del suelo y otros componentes de los agro ecosistemas. Este resultado provoca la destrucción de los ecosistemas y la incapacidad de las generaciones futuras de aprovechar los ecosistemas (Celis-Tarazona *et al.*, 2020).

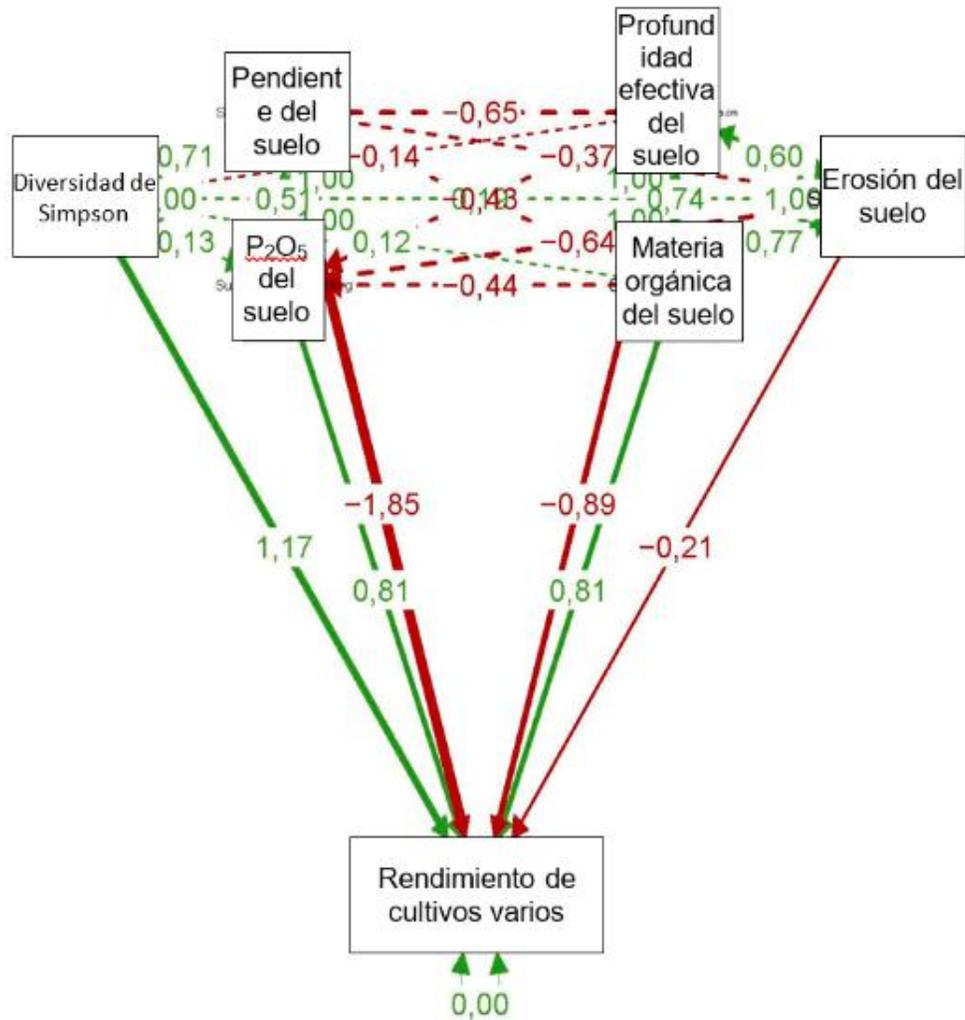


Figura 8. Diagrama del análisis de sendero de las variables que más aportan a la variabilidad de las fincas estudiadas con el rendimiento de cultivos varios.

En Ecuador, la reconversión productiva del cacao arriba, que se cultiva de manera tradicional, por el cacao CCN-51, que se produce en un monocultivo intensivo con el empleo de agroquímicos, provoca daños ambientales. Entre estos daños se encontraron la disminución de la fertilidad del suelo, la contaminación de las fuentes de agua para consumo humano y regadío, la reducción de la biodiversidad existente en las plantaciones de cacao (Pino Peralta y Casanova Montero, 2019).

Además, se observó una relación negativa del rendimiento de cacao, plátano burro, cítricos y cultivos varios con dos variables relacionadas con el suelo: la

pendiente y la erosión, ambas estrechamente relacionadas. Este resultado está relacionado con las características de Baracoa, con plantaciones de cacao sembradas en varias regiones con fuertes pendientes, las cuales contribuyen a la erosión del suelo.

En la actualidad, la agricultura está haciendo un uso cada vez más intensivo del suelo con el fin de obtener alimentos y materias primas, con el empleo de insumos como plaguicidas y fertilizantes, lo que está conduciendo a la degradación de los suelos. El uso excesivo de insumos agroquímicos intensificó el empobrecimiento y la degradación del suelo (Celis-Tarazona *et al.*, 2020).

El presente análisis que engloba varias variables del suelo y la biodiversidad presente en las fincas del sistema agroforestal cacaotero en Baracoa es importante debido a que el cacao es un producto que posee propiedades organolépticas (sabor y aroma) que le son dadas por las condiciones en las que se produce, tanto en términos de clima como por factores relacionados con las características de los suelos y factores muy específicos de localización. Estos factores son cada vez más apreciados en los mercados especializados de chocolates (Sánchez *et al.*, 2019). Debido a esto es necesario continuar las investigaciones sobre el rendimiento y la calidad del cacao, pero no solo relacionando las características morfológicas de la planta, sino también el ambiente donde se desarrolla, como el suelo y la biodiversidad que se encuentra en el sistema agroforestal.

Al analizar de manera general los resultados obtenidos, se reafirma que el rendimiento es un rasgo complejo que se asocia con numerosos caracteres interrelacionados que son altamente afectados por las variaciones ambientales. Tal interdependencia de estos caracteres afecta su relación directa con el rendimiento. Por lo tanto, la especificación de las causas y la medición de la importancia relativa de cada uno de los componentes de rendimiento pueden lograrse mediante el análisis del sendero, como una vía de mitigar los efectos. Sin embargo, a pesar de su importancia para el análisis del rendimiento, muchas

veces se utilizan otros métodos estadísticos como la correlación (Priyadarshan, 2019).

El análisis de sendero se ha utilizado en el estudio del rendimiento del cacao, pero fundamentalmente con componentes del rendimiento relacionados con descriptores morfológicos de la semilla (ancho, largo, peso seco y fresco, peso de la cáscara) y fruto (peso) (Vásquez Salinas, 1999). Sin embargo, hasta nuestro conocimiento, es la primera vez que se realiza este análisis para componentes del rendimiento del cacao relacionados con el suelo y la diversidad biológica del sistema agroforestal.

# Conclusiones



## **V. Conclusiones**

1. Las variables que más aportan a la variabilidad del sistema agroforestal cacaotero de las fincas de Baracoa fueron profundidad efectiva del suelo, erosión del suelo, materia orgánica del suelo, fósforo del suelo, diversidad biológica y pendiente del suelo, lo que indica la alta importancia del suelo en este sistema.
2. Las correlaciones más importantes que se observaron fueron la diversidad de Simpson con la materia orgánica del suelo, el fósforo del suelo y la pendiente y de la materia orgánica del suelo con la pendiente del suelo, el fósforo y negativa con la erosión del suelo, lo que indica la interrelación entre los diferentes componentes del sistema agroforestal.
3. La producción de cacao, plátano burro, cítricos y cultivos varios en el sistema agroforestal cacaotero tiene una estrecha relación positiva con la diversidad biológica y negativa con la pendiente y la erosión del suelo, lo que indica la importancia de la biodiversidad y la protección del suelo para la economía del campesino.

# Recomendaciones



## **VI. Recomendaciones**

1. Ampliar el estudio del sistema agroforestal cacaotero con un mayor número de fincas y variables a analizar, lo cual contribuirá a tener una visión más general y precisa de las complejas relaciones que se establecen en el mencionado sistema.

# Bibliografía



## Bibliografía

1. AnzulesToala, V.V. 2019. Sustentabilidad de sistemas de producción de cacao, (*Theobroma cacao* L.) en Santo Domingo de Los Tsáchilas, Ecuador. Tesis presentada en opción al título de Doctoris Philosophiae (Ph.D.) en Agricultura Sustentable. Escuela de Posgrado. Universidad Nacional Agraria La Molina. 95 pp.
2. Arenas Rubio, I. 2019. Evaluación de especies perennes para uso potencial en sistemas agroforestales en el Caribe colombiano. Tesis presentada en opción al título de Magister Scientiae en Agroforestería y Agricultura Sostenible. División de Educación. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 47 pp.
3. Ártica, M. Cultivo del cacao. Empresa Editora MACRO. Perú. 2008.
4. Avendaño, A.C.H., Villarreal, F.J.M., Campos, R.E., Gallardo, M.R.A., Mendoza, L.A., Aguirre, M.J.F., Sandoval, E.A., Espinosa, Z.S. 2011. Diagnóstico del cacao en México. 1ra edición. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México, México, 80p.
5. Batista, L. 2009. Guía técnica: El cultivo del cacao. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal.
6. Beer, J. 1999. *Theobroma cacao*: un cultivo agroforestal. Agroforestería en las Américas, 6(22), 4.
7. Bermúdez M. B., 2007; Determinación de indicadores agroecológicos en sistemas agroforestales y de medios de vida de fincas cafeteras de Colombia, Costa Rica y Nicaragua; Tesis de Mg Sc; publicado en CATIE; 126p.
8. Bekele, F., A. Kennedy, C. Mc David, F. Lauckner And I. Bekele. 1994. Numerical taxonomic studies on cacao (*Theobroma cacao* L.) in Trinidad. Euphytica 75(39):231-240.
9. Braudeau, J. 1970. El Cacao. Técnicas agrícolas y producciones tropicales. Editorial Blumé. Barcelona, España. 297 p.
10. Bradeau, J. 1978. El cacao. Técnicas agrícolas y producciones tropicales. Ed. Blume, Barcelona, España. pp. 89-108.
11. Bliss, K. 2017. Cultivating biodiversity: a farmers view of the role of diversity in agroecosystems. Biodiversity.
12. Carla Gianella, R.E. 2018. Estimación de los impactos ambientales de la producción de cacao: Relación con la economía ambiental. Tesis presentada en opción al título de Economista Agropecuario. Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Técnica de Machala. 22 pp.

13. Caro, P. 2005. La experiencia cubana en el cultivo del cacao orgánico. 3. Encuentro Latinoamericano y del Caribe sobre Cacao y Chocolate. CICTA-9. Programas y resúmenes. La Habana. P. 164-165.
14. Celis-Tarazona, R.; Florida-Rofne, N. y Rengifo-Rojas, A. 2020. Impacto sobre indicadores físicos y químicos del suelo con manejo convencional de coca y cacao. *Revista Ciencia UNEMI* 13 (33): 01-09.
15. Choque L., 2009; Evaluación de agroecosistemas familiares para comprender la estrategia y lógica adoptada por el productor y su familia del Municipio de Irupana-Sud Yungas, La Paz; Tesis de grado Lic. Publicado en la Unidad Académica Carmen Pampa de Universidad Católica Boliviana; 107p.
16. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)-Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2007. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. Tercera Edición. Zapopan, Jalisco, México. 298 p.
17. Condori J., 2011; Implementación de sistema agroforestal multiestrato en la comunidad San Pablo Municipio de Palos Blancos Alto Beni del Departamento La Paz, Bolivia; Tesis de Lic.; Publicado en la Facultad de Agronomía de la UMSA; 111p.
18. Crang, R.; Lyons-Sobaski, S. y Wise, R. 2018. *Plant anatomy. A concept-based approach to the structure of seed plants.* Springer.
19. De Almeida, A.-A.F. y Valle, R.R. 2007. *Ecophysiology of the cacao tree. Brazilian Journal of Plant Physiology* 19 (4): 425-448.
20. De la Cruz, E; Córdova, V; García, E; Bucio, A; Jaramillo, J. Manejo agronómico y caracterización socioeconómica del cacao en Comalcalco, Tabasco. *Foresta. Veracruzana*, 2015,17(1):33-40.
21. Donovan J. 2006. Diversification in international cacaomarkets: opportunities and challenges for smallholder cacao enterprises in Central America. *A consultancy report prepared by RUTA.* 135 p. Do Rio C, De Oliveira B, Tomazella D, Fracassi J, Pereira G. 2008. Production of calcium oxalate crystals by the basidiomycete *Moniliophthora perniciosa*, the causal agent of Witches' broom disease of Cacao. *Current Microbiology* 56:363-370.
22. Enríquez, G. A. (2006). Fenología y fisiología del cacao. Seminario Taller Internacional, Producción, calidad y mercadeo de cacao especiales. Quevedo, Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
23. Gliessman S., 2002; *Agroecología: Proceso ecológico en agricultura sostenible*; Impreso en LITOCAT, Turrialba, Costa Rica, 380p.
24. Gómez, E.H., Morales, J.H., Avendaño Arrazate, C.H., Guillen, G.L., Garrido Ramírez, E.R., Nápoles, J.R., Díaz, C.N. 2015. Factores socioeconómicos y parasitológicos que limitan la producción del cacao en

- Chiapas, México. Revista Mexicana de Fitopatología. 33(2):232- 246.  
<http://rmf.smf.org.mx/Vol3322015/Integrado/ Volumen3322015.pdf>.
25. Guiracocha, G., Harvey, C., Somarriba, E., Krauss, U. Carrillo, E. 2001. Conservación de la biodiversidad en sistemas agroforestales con cacao y banano en Talamanca, Costa Rica. Agroforestería en las Américas. 8(30): 7-11.
  26. Hardy, F. 1960. Cacao manual. Inter-American Institute of Agricultural Sciences. Turrialba, Costa Rica. Pp.229-308.
  27. Hardy, F. 1961. Manual del curso del cacao. CATIE. Turrialba, Costa Rica. pp. 113-118.
  28. Hernández, J.A. 1981. Análisis de la Tecnología empleada en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el municipio de San Antonio Suchitepequez, Suchiepequez. Tesis de Licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. Guatemala. 77p.
  29. Hosseini Bai, S.; Trueman, S.J.; Nevenimo, T.; Hannet, G.; Bapiwai, P.; Poienou, M. y Wallace, H.M. 2017. Effects of shade-tree species and spacing on soil and leaf nutrient concentrations in cocoa plantations at 8 years after establishment. Agriculture, Ecosystems&Environment 246: 134-143.
  30. Jiménez F. Muschler R. 2001. Introducción a la agroforestería. Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales. Módulos de Enseñanza Agroforestal CATIE/GTZ. Pp.1-24.
  31. Jombart, T. 2008. Adegenet: a R package for the multivariate analysis of genetic markers. Bioinformatics 24: 1403-1405.
  32. Jombart, T. y Ahmed, I. 2011. Adegenet 1.3-1: new tools for the analysis of genome-wide SNP data. Bioinformatics 27: 3070-3071.
  33. Justo Domínguez, L.E. 2019. Caracterización botánico-agronómica de seis clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) de la colección Mendis paredes en Castillo Grande. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 58 pp.
  34. Lê, S.; Josse, J. y Husson, F. 2008. FactoMineR: An R package for multivariate analysis. Journal of Statistical Software 25 (1): 1-18.
  35. López T. G. 2007. Sistemas agroforestales 8. SAGARPA. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Colegio de Post-graduados. Puebla.
  36. López Hernández, J.A. y Ortiz Mejía, F.N. 2018. Caracterización morfoagronómica del cacao (*Theobroma cacao* L.) y su incidencia en la selección de germoplasma promisorio en áreas de presencia natural en El Salvador. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Fitotecnia. Universidad de El Salvador. 125 pp.

- 37.37. MaczA.E., y Gálvez J.A., 2006; Evaluación de un sistema agroforestal en un ecosistema muy húmedo de tierras bajas en el Lago de Yojoa, Honduras; Tesis de grado Lic.; publicado en Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente de la Universidad Zamorano, Honduras; 59p.
38. Márquez, J.J María B. Aguirre. (2005). Manual Técnico de Cosecha y Beneficio del Cacao. Producciones Gráficas MINREX. Cuba. P. 11 – 12.
39. Márquez, J.J María B. Aguirre. (2006). Manual Técnico de Propagación del Cacao. Producciones Gráficas MINREX. Cuba. P. 49.
40. Márquez, J.J; Matos G.; Ochoa P.; Lambertt W.; Selva F.; Matos Y. (2008). Programa de Desarrollo del Cacao en Cuba. Documento aprobado Consejo Científico, Estación Central de Investigaciones de Café y Cacao, III Frente. P. 20.
41. Márquez Rivero, J.J. y Aguirre Gómez, M.B. 2008. Manual técnico de manejo agrotécnico de las plantaciones de cacao. Ciudad de La Habana. 60 pp.
42. Medina, V. y Laliberte, B. 2017. A review of research on the effects of drought and temperature stress and increased CO<sub>2</sub> on *Theobroma cacao* L., and the role of genetic diversity to address climate change. Costa Rica. Bioversity International. 58 pp.
43. Mendieta, L.M., Rocha, M.L.R. 2007. Sistemas agroforestales. Universidad agraria. Managua, Nicaragua. [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/training\\_material/docs/1\\_RENF08M538.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/1_RENF08M538.pdf). Consulta: noviembre 2016.
44. Mills J., 1997; Guía para establecimiento de sistemas agroforestales; segunda edición; Publicado en DED Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica.
45. Mills J., 2010; Producción de naranja (*Citrus sinensis*) en sistemas agroforestales sucesionales en Alto Beni, Bolivia - Estudio de caso, en Biodiversidad y Ecología en Bolivia, S. Beck, Editor Instituto de Ecología, Universidad Mayor de San Andrés (UMSA): La Paz, Bolivia. 2010. p. 324-340.
46. Ministerio de Agricultura. Manual del cultivo del cacao. (Disponible en: [http://webmail.radiomaranon.org.pe/redmaranon/archivos/cacao\\_manual\\_cultivo.pdf](http://webmail.radiomaranon.org.pe/redmaranon/archivos/cacao_manual_cultivo.pdf)). Perú. 2004.
47. Montenegro E.J., 2005; Efecto del aporte de nutrientes de la biomasa de tres tipos de árboles de sombra en sistemas de manejos de café orgánico y convencional; Tesis de Mg Sc; publicado en CATIE Turrialba, Costa Rica; 77p.
48. Mora, V.H. 2009. Utilización de microsátélites en el estudio de la resistencia de árboles seleccionados de cacao (*Theobroma cacao* L.) a la enfermedad "Mancha de agua" (*Phytophthora megalasperma*). Tesis presentada en opción

al título de Licenciado en Biología. Departamento de Biología. Universidad de Los Andes. 117 pp 49.

49. Motamayor, J.C.; Lachenaud, P.; da Silva, J.W.; Looor, R.; Kuhn, D.N.; Brown, J.S. y Schnell, R.J. 2008. Geographic and genetic population differentiation of the amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao*L.). PLoSONE3 (10): e3311
50. Müller, S. 1996. ¿Cómo medir la sostenibilidad?: una propuesta para el área de la agricultura y de los recursos naturales. San José, IICA/GTZ.55p.
51. Muñoz-Espinoza, M.; Artieda-Rojas, J.; Espinoza-Vaca, S.; Curay-Quispe, S.; Pérez-Salinas, M.; Núñez-Torres, O.; Mera-Andrade, R.; Zurita-Vásquez, H.; Velástegui-Espín, G.; Pomboza-Tamaquiza, P.; Carrasco-Silva, A. y Barros-Rodríguez, M. 2016. Granjas sostenibles: Integración de sistemas agropecuarios. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 19: 93-99.
52. Musálem S. M. A. 2001. Sistemas agrosilvopastoriles. Universidad Autónoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales. 120 p.
53. Navarro, M. Mendoza, I. Cultivo del cacao en sistemas agroforestales. (Disponible en: [http://www.iica.int.ni/Estudios\\_PDF/Guia\\_Cacao\\_Par\\_Promotores.pdf](http://www.iica.int.ni/Estudios_PDF/Guia_Cacao_Par_Promotores.pdf)). Nicaragua. 2006.
54. Niemenak, N.; Cilas, C.; Rohsius, C.; Bleiholder, H.; Meier, U. y Lieberei, R. 2009. Phenological growth stages of cacao plants (*Theobroma* sp.): codification and description according to the BBCH scale. *Annals of Applied Biology* 155: 1-12.
55. Nosti, J. 1970. *Café y Cacao*. La Habana: Instituto del Libro. 698 p.
56. Ogata, N. 2007. "El cacao". *Biodiversitas*. 72: 1-5.
57. Oksanen, J. 2019. *Vegan: ecological diversity*. 12 pp.
58. Palomeque, F.E. 2009. *Sistemas agroforestales*. Huehuetán, Chiapas, México.  
<https://www.socla.co/wpcontent/uploads/2014/sistemasagroforestales.pdf?iv=58>. Consulta: noviembre 2016
59. Paredes, A. M. 2003. *Manual del cultivo de cacao*. Ministerio de Agricultura. Perú. [http://www.minag.gob.pe/dgpa1/ARCHIVOS/cacao\\_doc0007.pdf](http://www.minag.gob.pe/dgpa1/ARCHIVOS/cacao_doc0007.pdf).
60. Paredes-Arce, M. y Montero-Palacios, O.R. (Ed.). (2004). *Manual de cultivo de cacao*. Perú: PROAMAZONIA-MINAG.
61. Paredes, N.; Astorga, C.; Fernández, F. y Vera, A. 2018. El rol de los sistemas agroforestales en la conservación del suelo, biodiversidad, producción de agua, y almacenamiento de carbono. *Agroforestería sostenible en la Amazonía Ecuatoriana No. 2. Fragilidad de los suelos en la Amazonía ecuatoriana y potenciales alternativas agroforestales para el manejo sostenible*. INIAP, CATIE.

62. Pino Peralta, S.L. y Casanova Montero, A. 2019. Estimación del costo de reparación del daño ambiental en el suelo de cacao en la provincia de Cotopaxi-Ecuador. *ECOCIENCIA* 6 (1): 1-16.
63. Priyadarshan, P.M. 2019. *Plant breeding: Classical to modern*. Springer. 570 pp.64- Quesada, F., Orozco, L., Cerda, E., Villalobos, M., Orozco-Estrada, S. Astorga-Domian, C., Say-Chávez, O.D.E. y Villegas-Cáceres, R. (2011).
64. R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Versión 4.0.0.2020. R Foundation for Statistical Computing.
65. Ramírez-Guillermo, M.Á.; Lagunes-Espinoza, L.C.; Ortiz-García, C.F.; Gutiérrez, O.A. y de la Rosa-Santamaría, R. 2018. Variación morfológica de frutos y semillas de cacao (*Theobroma cacao* L.) de plantaciones en Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41 (2): 117-125.
66. Ramírez R. W. 2005. *Manejo de Sistemas Agroforestales*. 11 p.
67. Ramos, G., A. Ramos y A. Azócar. (1999). *Manual del productor de cacao*. —Mérida, Venezuela. Centro de Investigaciones Agrícolas del Estado de Mérida. p.14.
68. Restrepo M., Ángel S. y Prager M., 2000. *Agroecología*; publicado en Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc. (CEDAF), Santo Domingo, República Dominicana; 134p.
69. Rice, R. A. y Greenberg, R. (2000). Cacao cultivation and the conservation of the biological diversity. *AMBIO: A Journey of the Human Environment*, 29(3), 167-173.
70. Rivas T. D. 2005. *Sistemas Agroforestales 1*. Uach. 8 p.
71. Ruíz C., J.A.; G.G. Medina; I.J. González A.; T. Ortíz C.; H.E. Flores L.; R.A. Martínez P. y K. F. Byerly M. 1999. *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. INIFAP. México D.F. Libro técnico Núm. 3 324. p.
72. Salgado-Mora, M.G., Macías-Sámamo, J.E., LópezBáez, O., Ibarra Núñez, G. 2007. Diversidad arbórea en cacaotales del Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia*. 32(11):763-768. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33901107>.
73. Salgado M. M. G., Ibarra N. G., Macías S. J. E., López B. O. 2007. Diversidad arbórea en cacaotales del Soconusco, Chiapas, México. *Interciencia*, noviembre, año/Vol. 32, número 011. Asociación Interciencia. Caracas, Venezuela. Pp. 763 – 768.
74. Sánchez, V.H.; Zambrano, J.L. y Iglesias, C. (eds). 2019. *La cadena de valor del cacao en América Latina y El Caribe*. INIAP. 99 pp.
75. Sarandon S., y Flores C., 2014; *Agroecológica, bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*; Primera edición,

Universidad Nacional de la Plata; Editorial de la Universidad de la Plata; Buenos Aires Argentina; 467p

76. Somarriba, E. (2002). Estimación visual de la sombra en cacaotales y cafetales. *Agroforestería de las Américas*, 9(35-36), 86-94. Somarriba, E. (2004). ¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra en cacaotales? *Agroforestería en las Américas*, (41-42), 120- 128. Somarriba, E., *La Sombra del Cacao*. Serie Técnica, Materiales de Extensión, 5. Turrialba, C.R.: CATIE.
77. Rosseel, Y. 2012. Lavaan: an R package for structural equation modeling and more. Version 0.5-12 (BETA).
78. Suárez Venero, G.M. 2013. Zonificación edafoclimática de *Theobroma cacao* L. en el macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa. Tesis presentada en opción al título de Doctor en Ciencias Agrícolas. Departamento de Fitotecnia. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 100 pp.
79. Torres, B; Jadán, O; Aguirre, P; Hinojosa; L; Günter, S... The Contribution of Traditional Agroforestry to Climate Change Adaptation in the Ecuadorian Amazon: The Chakra System. *Handbook of Climate Change Adaptation*. 2014: 119.
80. Vandermeer, J. (1989). *The Ecology of Intercropping*. Gran Bretaña. Cambridge University Press.
81. Vázquez, L. Z.; G. Suárez; R. Guarat; N. Abreu y E. Sánchez. 2004. Principales Requerimientos Agroecológicos para el establecimiento de *Theobroma cacao* L. en Cuba. *Revista electrónica Hombre, ciencia y tecnología*. [http://www.gtmo.inf.cu/revista%20electronica/numero\\_39/principales%20requerimientos%20agroecologicos.html](http://www.gtmo.inf.cu/revista%20electronica/numero_39/principales%20requerimientos%20agroecologicos.html).
82. Vázquez Salinas, H. 1999. Análisis de correlaciones y coeficientes de sendero en frutos y semillas de cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Agrónomo. Departamento Académico de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 77 pp.
83. Wartenberg, A.C.; Blaser, W.J.; Gattinger, A.; Roshetko, J.M.; Van Noordwijk, M. y Six, J. 2017. Does shade tree diversity increase soil fertility in cocoa plantations? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 248: 190-199.
84. Wood, R.G. A. y R.A. Lass. 1985. *Cocoa*. Fourth Edition. London 620p.
85. Zúñiga, C. L. y G.E. Arévalo. 2008. *Clima, suelo y producción de cacao*. Instituto de cultivos tropicales, San Martín, Perú. <http://www.ict-peru.org/ITClima.htm>