



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DEPARTAMENTO DE POSTGRADO



MAESTRIA EN AGRONOMÍA
MENCIÓN: SISTEMAS AGROPECUARIOS

**PROYECTO DE INNOVACIÓN PRESENTADO EN OPCIÓN AL GRADO DE
MAGISTER EN AGRONOMÍA**

**Efecto de arreglos agroforestales y niveles de manejo
agronómico sobre la incidencia de *Monilia* [*Moniliophthora
roreri* (Cif & Par.) Evans et al.] en el cultivo de cacao
(*Theobroma cacao* L.), en Orellana**

AUTOR

LEIDER ANIBAR TINOCO JARAMILLO

DIRECTOR DE TESIS

DRA KARINA CARRERA SÁNCHEZ

Puyo – Ecuador

2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Leider Anibar Tinoco Jaramillo con cédula de identidad 0702479049, declaro ante las autoridades educativas de la Universidad Estatal Amazónica, que el contenido del Proyecto de Innovación titulado: “Efecto de arreglos agroforestales y niveles de manejo agronómico sobre la incidencia de Monilia [*Moniliophthora roreri* (Cif & Par.) Evans et al.] en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), en Orellana”, es absolutamente original, auténtico y personal.

En tal virtud y según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente, certifico libremente que los criterios y opiniones que constan en el Proyecto de Investigación y Desarrollo son de exclusiva responsabilidad del autor; y que los resultados expuestos pertenecen a la Universidad Estatal Amazónica y al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

Puyo, 14 de agosto de 2020

Leider Anibar Tinoco Jaramillo

C.I.: 0702479049

AVAL

Quien suscribe Karina María Elena Carrera Sánchez, Directora del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Innovación titulado: “Efecto de arreglos agroforestales y niveles de manejo agronómico sobre la incidencia de Monilia [*Moniliophthora roreri* (Cif & Par.) Evans et al.] en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), en Orellana” a cargo de Leider Anibar Tinoco Jaramillo egresado de la segunda cohorte de la Maestría en Agronomía mención Sistemas Agropecuarios de la Universidad Estatal Amazónica.

Certifico haber acompañado el proceso de elaboración del Proyecto de Innovación y considero cumple los lineamientos y orientaciones establecidas en la normativa vigente de la institución por lo que se encuentra listo para ser sustentado.

Por lo antes expuesto se avala el Proyecto de innovación para que sea presentado ante la Dirección de Posgrado como forma de titulación como Magister en Agronomía mención Sistemas Agropecuarios y que dicha instancia considere el mismo a fin de que tramite lo que corresponda.

Para que a si conste, firmo la presente a los 14 días del mes de agosto de 2020.

Atentamente,

Ing. Karina Carrera Sánchez, PhD.

DIRECTORA DEL PROYECTO DE INNOVACION

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN CERTIFICA QUE:

El presente Trabajo de Titulación: “**efecto de arreglos agroforestales y niveles de manejo agronómico sobre la incidencia de Monilia [*Moniliophthora roreri* (Cif & Par.) Evans et al.] en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), en Orellana**”, bajo la responsabilidad del egresado **LEIDER ANIBAR TINOCO JARAMILLO**, ha sido meticulosamente revisado, autorizando su presentación a la Defensa Pública:

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Dr. C. Yoel Rodríguez Guerra, PhD
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dr. C. Segundo Valle, PhD
MIEMBRO 1 DEL TRIBUNAL

Ms. C. Sandra Soria Re
MIEMBRO 2 DEL TRIBUNAL



**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
CENTRO DE POSTGRADOS
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND**

OFICIO N° 0041-KCS-UEA-2020

Puyo, 14 de agosto del 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que, el trabajo de titulación “**Efecto de arreglos agroforestales y niveles de manejo agronómico sobre la incidencia de Monilia [*Moniliophthora roreri* (Cif & Par.) Evans et al.] en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), en Orellana**”, correspondiente al Ing. **LEIDER ANIBAR TINOCO JARAMILLO**, con cédula 0702479049, de la maestría en Agronomía Mención Sistemas Agropecuarios cuya directora del proyecto es la Ing. Karina María Elena Carrera Sánchez PhD. Proyecto que ha sido revisado mediante el sistema antiplagio Urkund, reportando una similitud del 0%, informe generado el día 13 de agosto del 2020 por parte de la directora del proyecto.

Particular que comunico para los fines pertinentes

Ing. Karina Carrera Sánchez, PhD.

DIRECTORA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN



Document Information

Analyzed document	Proyecto_investigación_Leider Tinoco_ 7 de ago de 2020 corregido.pdf (D77742100)
Submitted	8/13/2020 2:33:00 PM
Submitted by	Karina Carrera
Submitter email	mcarrera@uea.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	mcarrera.uea@analysis.arkund.com

Sources included in the report

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios Jehová por ser una guía espiritual durante el transcurso de mis estudios y de mi vida.

A mi esposa Yadira Vargas Tierras quien me brindó su amor, comprensión y apoyo incondicional durante los años de mi carrera.

A mis Padres Germán Tinoco León y María Jaramillo Carrión, por haberme brindado su cariño, comprensión y consejos en todo momento, quienes con su ejemplo y perseverancia me incentivaron a la conclusión de mis estudios. A mis hermanas, Maryuri, Ruth, Marisol, Liliana, Talihta y Maribel, por su apoyo en todas las facetas de mi vida.

A mis queridos suegros Daniel Vargas y Beatriz Tierras por su apoyo incondicional a mi familia durante el transcurso de mis estudios. A mis cunad@s Dani, Diego, Tania, Yesly y Neyda.

A la Universidad Estatal Amazónica, de manera especial al cuerpo docente y científico, por contribuir a mi formación académica.

Al Instituto Nacional de investigaciones Agropecuarias por prestarme las facilidades de logística, escenarios de investigación e insumos para el proyecto de investigación, requisito para graduarme de Magister en Agronomía.

A la Ing. Sandra Soria coordinadora de la Maestría en Agronomía mención: Sistemas Agropecuarios de la UEA por su apoyo y confianza en el desarrollo de mis estudios.

A la Dra. Karina Carrera Sánchez Directora de mi Trabajo de Titulación por haberme brindado su confianza, apoyo y guía en todo el proceso de mi Trabajo de Titulación.

Al MSc. Jimmy Trinidad Pico Rosado Cotutor de mi Trabajo de Titulación por haberme brindado su amistad, apoyo y guía en todo el proceso de investigación.

Al personal Técnico, Administrativo y de campo del INIAP, en especial a los compañeros Guiber Jiménez, Rubén Zegarra, Ángel Aguilar, Edgar Yanes y Jefferson Pérez.

DEDICATORIA

A mi Dios Jehová porque por el tengo vida.

A Yadira Beatriz Vargas Tierras mi amada y querida esposa, por ser mi amiga, compañera y confidente

A mi hijo, mi principito Leider Haziél Tinoco Vargas por ser la más valioso que tengo

A mis padres German Tinoco y Esther Jaramillo por ser mis consejeros y

A mi querida sobrinita, mi princesita Danielita Valarezo.

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES

En Ecuador el 60% de la producción nacional de cacao se pierde por causa de la *Monilia*, una alternativa sostenible para este problema son los sistemas agroforestales, que favorecen la conservación de los recursos naturales. Por esta razón, se planteó el estudio que permitió evaluar el efecto de los arreglos agroforestales y niveles de manejo agronómico sobre la incidencia de *Moniliophthora roreri* en el cultivo de cacao. La investigación se desarrolló en la parroquia San Carlos, La Joya de los Sachas, Orellana. Se empleó un diseño de parcelas divididas con un arreglo en franjas, los factores en estudio fueron los arreglos agroforestales (forestal, servicio, frutal, forestal+servicio y pleno sol) y manejos agronómicos (alto y medio convencional e intensivo y bajo orgánico). Los datos se analizaron con el paquete estadístico R, los análisis de varianza se realizaron usando un “Strip plot” y las medias se estimaron con la prueba de Tukey al 5%. Los resultados mostraron que los arreglos agroforestales presentaron un porcentaje de sombra (22 al 36%). Además, la menor incidencia de *Monilia* se obtuvo en el arreglo forestal con *Cedrelinga cateniformes* y manejo orgánico intensivo (48.8%) y la más alta con el arreglo con *Cedrelinga cateniformes* más *Erythrina peoppigiana* con el mismo manejo (97.8%). La producción de cacao con manejo orgánico (156.18 a 229.38 g planta⁻¹) fue más baja que sus homólogos convencionales (246.02 a 343.93 g planta⁻¹). El sistema *Cedrelinga cateniformes* más *Erythrina peoppigiana* obtuvo más cacao en grano seco (304.33 g planta⁻¹) que los sistemas agroforestales con una sola especie (232.91 a 259.04 g planta⁻¹) y que el cultivo a pleno sol (171.69 g planta⁻¹).

PALABRAS CLAVE: Cacao, *Moniliophthora roreri*, sistemas agroforestales, incidencia, forestal, manejos agronómicos.

ABSTRACT AND KEYWORDS

In Ecuador, 60% of the National Cacao production is lost due to *Monilia*. A sustainable alternative to this problem is the Agroforestry system, which favour the conservation of natural resources. For this reason, the study was proposed to evaluate the effect of agroforestry arrangements and levels of agronomic management on the incidence of *Moniliophthora roreri* in cacao cultivation. The research was carried out in the San Carlos parish, La Joya de los Sachas, Orellana. A design of divided plots with a striped arrangement was used. The factors under study were agroforestry arrangements (forestry, service, fruit, forestry+service and full sun) and agronomic management (high and medium conventional and intensive and low organic). Data were analyzed with the statistical package R, analysis of variance were performed using a "Strip plot" and means were estimated with the Tukey 5% test. The results showed that the agroforestry arrangements presented a percentage of shade (22 to 36%). In addition, the lowest incidence of *Monilia* was got in the forest arrangement with *Cedrelinga cateniformes* and intensive organic management (48.8%) and the highest with the arrangement with *Cedrelinga cateniformes* plus *Erythrina peoppigiana* with the same management (97.8%). Cacao production with organic management (156.18 to 229.38 g plant⁻¹) was lower than its conventional counterparts (246.02 to 343.93 g plant⁻¹). The *Cedrelinga cateniformes* system plus *Erythrina peoppigiana* obtained more cocoa beans in dry form (304.33 g plant⁻¹) than the agroforestry systems with only one species (232.91 to 259.04 g plant⁻¹) and than the cultivation in full sun (171.69 g plant⁻¹).

KEY WORDS: Cacao, *Moniliophthora roreri*, agroforestry systems, incidence, forestry, agronomic management.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.PROBLEMA CIENTÍFICO	2
1.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. ORIGEN, DISTRIBUCIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL CACAO.....	4
2.2. PLAGAS PRESENTES EN LOS SISTEMAS AGROFORESTALES DE CACAO	4
2.3. MANEJO DE PLAGAS EN LOS SISTEMAS AGROFORESTALES DE CACAO	5
2.4. MORFOLOGÍA DEL CACAO	7
2.5. MONILIA (<i>M. royeri</i>)	9
2.5.1. Origen y distribución de la Monilia.....	9
2.5.2. Clasificación taxonómica de la Monilia	9
2.5.3. Sintomatología.....	10
2.5.4. Ciclo de infección de la Monilia.....	11
2.5.5. Medidas de control para la Monilia.....	12
2.6. SISTEMAS AGROFORESTALES (SAF).....	14

2.7. SOMBRA	15
2.8. IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO.....	16
2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES ARBÓREAS EN ESTUDIO	19
2.9.1. Chucho (<i>Cedrelinga cateniformis</i> D. Duke).....	19
2.9.2. Chontaduro (<i>Bactris Gasipaes</i> H.B.K).....	19
2.9.3. Póro [<i>Erythrina poeppigiana</i> (Walp) O.F. Cook]	20
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1. LOCALIZACIÓN	22
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	23
3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	23
3.4. TRATAMIENTO DE DATOS.....	23
3.4.1. Factores en estudio	23
3.4.2. Tratamientos del experimento de arreglos agroforestales y niveles de manejo agronómico	25
3.4.3. Diseño experimental	25
3.4.4. Unidad experimental.....	27
3.4.5. Variables de evaluación del experimento	29
3.4.6. Manejo específico del experimento.....	31
3.4.7. Análisis estadístico	31
3.5. RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES	32

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1. MEDICIÓN DEL PORCENTAJE DE SOMBRA DE DIFERENTES ARREGLOS AGROFORESTALES DE CACAO.....	33
4.2. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES ARREGLO AGROFORESTAL Y NIVELES DE MANEJO AGRONÓMICO SOBRE LA INCIDENCIA DE MONILIA EN EL CULTIVO DE CACAO	35
4.3. EFECTO DE LOS ARREGLOS AGROFORESTALES Y NIVELES DE MANEJO AGRONÓMICO SOBRE LOS RENDIMIENTOS DE CACAO (<i>T. cacao</i>)	40
4.3.1. Porcentaje de mazorcas sanas.....	40
4.3.2. Peso seco de almendras de cacao	42
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
5.1. CONCLUSIONES.....	46
5.2. RECOMENDACIONES	47
6. BIBLIOGRAFÍA	48
7. ANEXOS	60

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del experimento “Efecto de arreglos agroforestales y niveles de manejo agronómico sobre la incidencia de Monilia en el cultivo de cacao”	22
Figura 2. Diseño utilizado en el experimento “Efecto de arreglos agroforestales y niveles de manejo agronómico sobre la incidencia de Monilia en el cultivo de cacao”	26
Figura 3. Unidades experimentales de los cinco arreglos agroforestales con sus respectivas zonas de evaluación del estudio “Arreglos agroforestales y manejos agronómicos de cacao”	28
Figura 4. Efecto principal para el porcentaje de sombra en sistemas agroforestales de cacao, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador, 2019	33
Figura 5. Efectos de la interacción para el porcentaje de mazorcas de cacao con Monilia en cinco sistemas agroforestales y cuatro manejos agronómicos, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador, 2019	35
Figura 8. Efectos de la interacción para el porcentaje de mazorcas de cacao sanas determinado por los factores arreglo agroforestal y manejo agronómico, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador, 2019	40
Figura 9. Medias para el porcentaje de mazorcas de cacao sanas determinados por la interacción arreglo forestal y manejo agronómico, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador, 2019. Las medias seguidas de la misma letra no son estadísticamente diferentes (alfa = 0.05)	41
Figura 10. Efectos principales para el peso seco de almendras de cacao en g planta ⁻¹ año ⁻¹ determinado por los factores arreglo forestal y manejo agronómico, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador, 2019	42
Figura 11. Medias para el peso seco de almendras de cacao en g planta ⁻¹ año ⁻¹ determinados por el factor manejo agronómico, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador,	

2019. Las medias seguidas de la misma letra no son estadísticamente diferentes (alfa = 0.05)..... 43

Figura 12. Medias para el peso seco de almendras de cacao en g planta⁻¹ año⁻¹ determinados por el factor arreglo forestal, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador, 2019. Las medias seguidas de la misma letra no son estadísticamente diferentes (alfa = 0.05) 45

ÍNDICE DE CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Diseño experimental del ensayo con cinco arreglos agroforestales y cuatro tipos de manejo agronómico en el cultivo de cacao.	25
--	----

1. INTRODUCCIÓN

Ecuador, es considerado como el primer productor mundial de cacao de alta calidad, conocido en mercados internacionales como Sabor Arriba, esto ha permitido el posicionamiento en industrias de Europa y América por su aroma y calidad (Espinoza, Hidalgo, y Mieles, 2017). En el país se cultivan 457 327 ha, con una producción de 205 955 t, con un rendimiento promedio de 300 kg ha⁻¹ año⁻¹ a nivel de productor (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2017), manteniéndose por debajo del promedio mundial de 480 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Espinoza et al., 2017).

Entre las limitantes de la producción de cacao se destaca [*Moniliophthora roreri* (Cif & Par) Evans et al.], agente causal de la Monilia del cacao. Este patógeno se reporta por primera vez en Ecuador en Quevedo en 1915 y actualmente se encuentra disperso en todas las plantaciones ocasionando pérdidas del 60 hasta el 100% en plantaciones no manejadas (Sánchez y Garcés, 2012; Sánchez et al., 2015). La Monilia está considerada como la enfermedad más destructiva del cacao en América Latina, ataca a mazorcas, provocando necrosis interna y externa finalizando con la pérdida de la mazorca, posteriormente las mazorcas se momifican y permanecen en el árbol, aportando niveles elevados de esporas que pueden sobrevivir por siete meses, estas son diseminadas por el cultivo afectando a mazorcas sanas (Ortiz, Torres y Hernández, 2015).

Si, a esto se suma el modelo agrícola industrial y la expansión de monocultivos, así como el uso intensivo de agrotóxicos, urge impulsar de inmediato la transformación de esta agricultura e iniciar una transición a sistemas agrícolas diversos, sostenibles y resilientes al cambio climático; una expresión de este tipo de agricultura es la agroforestería, modelo ecológico promisorio que promueve la diversidad, prospera sin químicos y sostiene la producción de cultivos, árboles y animales todo el año (Moreno et al., 2014). Los mismos autores manifiestan, que en América Latina los sistemas agroforestales (SAF) más conocidos son empleados en cacao y café, sistemas diversificados con árboles de sombra multiestratificados que permiten una producción constante de frutas, leña, forraje, en medio de incertidumbres climáticas, sin depender de insumos externos, con bajos costos de producción, y conservando los recursos naturales de la finca, suelo, agua y biodiversidad.

El cacao es un árbol que tolera la sombra; sin embargo, el punto crucial es la intensidad de ésta que debe existir alrededor de las plantas de cacao, debido a que puede afectar a otros factores como la temperatura, humedad relativa, evaporación, disponibilidad de agua en el suelo, fertilidad de la plantación con diferencias en la velocidad de incorporación de hojarasca como materia orgánica al suelo, por lo tanto, se recomienda que las plantas de cacao deben sembrarse bajo sombra parcial (60%), para mantener mayor concentración de clorofila que influye en la asimilación de CO₂ (Jaimez, Tezara y Coronel, 2008).

Los SAFs en el cultivo es una alternativa eficaz a largo plazo para el control de enfermedades (Monilia), porque se incrementa la abundancia y diversidad de agentes microbianos y endófitos que son antagonistas de los patógenos que atacan al cacao cuando éste está expuesto a pleno sol (Tscharntke et al., 2011; Maldonado, 2016).

Sin embargo, debido a la presencia de factores fitosanitarios y edafoclimáticos que actúan de manera simultánea en la producción de cacao, es importante evaluar estrategias de manejo integrado de cultivo; es decir, prácticas agrícolas complementarias como la fertilización, controles fitosanitarios, podas de mantenimiento y sanitarias, que permitan elevar el rendimiento del cultivo, la solvencia económica del productor y la sostenibilidad (Ortíz et al., 2015).

1.1. PROBLEMA CIENTÍFICO

¿Cómo afectan los arreglos agroforestales y los niveles de manejo agronómico en la incidencia de Monilia (*M. rozeri*) en el cultivo de cacao (*T. cacao*) en la Joya de los Sachas, provincia de Orellana?

1.2. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Los arreglos agroforestales y los niveles de manejo agronómico en el cultivo de cacao (*T. cacao*) contribuirán a reducir la incidencia de Monilia (*M. rozeri*) e incrementarán la producción de cacao en la Joya de los Sachas, provincia de Orellana.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de arreglos agroforestales y niveles de manejo agronómico sobre la incidencia de Monilia (*M. rozeri*) y los rendimientos en el cultivo de cacao (*T. cacao*) mediante diagnósticos fitosanitarios y parámetros agronómicos en el cantón La Joya de los Sachas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Medir el porcentaje de cobertura de sombra de diferentes arreglos agroforestales de cacao.
- Determinar el efecto de diferentes arreglos agroforestales y niveles de manejo agronómico sobre la incidencia de Monilia en el cultivo de cacao.
- Valorar el efecto de diferentes arreglos agroforestales y niveles de manejo agronómico sobre el rendimiento de cacao.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. ORIGEN, DISTRIBUCIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL CACAO

El cacao (*T. cacao*) tuvo su origen en América pero no se conoce con precisión el lugar específico ni su distribución. Aún en la actualidad continúa siendo un tema de intenso debate. Varios autores indican que los primeros cultivos de cacao se establecieron en México y América Central y señalan al mismo tiempo que los españoles no lo vieron cultivado en América del Sur cuando arribaron a ese continente, aunque lo encontraron creciendo en forma natural en muchos bosques a lo largo de los ríos Amazonas y Orinoco y sus afluentes, donde aún hoy existen tipos genéticos de mucho valor (Batista, 2009).

En la actualidad se conoce que la especie de cacao tuvo su origen en el noreste de América del Sur (en la región del alto Amazonas), dispersándose de esta zona hacia el norte por la costa del pacífico que comprende países como Colombia, Ecuador, Perú y Brasil, donde existe una alta variabilidad genética. Desde este lugar de origen la especie de cacao se dispersó entre los países de América del Sur, América Central, México, el Caribe, África, Asia y Oceanía; países que cuentan con zonas de bosques húmedos tropicales (Enríquez, 2010; Carrera, 2016).

La clasificación taxonómica más aceptada para el cacao según Ayala (2008) y Universal Taxonomic Services (2008) es: Dominio Eukaryota, Reino Plantae, Subreino Tracheobionta, División Magnoliophyta, Clase Magnoliopsida, Subclase Dilleniidae, Orden Malvales, Familia Sterculiaceae, Subfamilia Byttnerioideae, Género *Theobroma* y Especie *cacao*.

2.2. PLAGAS PRESENTES EN LOS SISTEMAS AGROFORESTALES DE CACAO

El cultivo de cacao es atacado por varios patógenos fúngicos que afectan su crecimiento y productividad, la principal enfermedad que afecta a la producción cacaotera en Ecuador y

en la mayoría de países de Centro y Sudamérica es *M. royeri* que causa pérdidas de la producción hasta el 100% (Ramírez, 2008), otra enfermedad que afecta la producción en un 67% es *Phytophthora capsici* Leonian, además, el cacao es afectado por otros patógenos en porcentajes menores, así, el 10.1% de la plantas son atacadas por *Fusarium* sp., el 3.7% por *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. y Sacc y el 0.9% por *Ceratocystis cacaofunesta* Engelbr & T.C.Harr (López, Brito, López, Salaya y Gómez, 2017).

Este cultivo también es atacado por insectos que afectan la producción del cultivo, la mayor afectación se produce con *Atta* sp. que ocasiona pérdidas de un 33.9%, *Toxoptera aurantii* Boyer de Fonscolombe en un 11%, *Xyleborus ferrugineus* (F.), *Xylosandrus morigerus* (Blandford), *Hypothenemus birmanus* (Eichhoff), *Corthylus minutissimus* (Schedl), *Taurodermus sharpi* Lenis, *Hypothenemus interstitialis* (Hopkins) 5.5%, *Vanduzea segmentata* (Fowler) en un 5.5%, *Selenothrips rubrocinctus* Giard. y *Clastoptera laenata* Fowler en un 3.6%. Finalmente las aves y mamíferos también afectan la producción de cacao, el pájaro carpintero causa daños en un 4.6%, las tuzas en un 3.7% y las ardillas en un 7.3% (López et al., 2017).

En un trabajo similar realizado por López et al. (2017) en un sistema agroforestal de cacao las enfermedades que tuvieron mayor incidencia fueron pudrición de mazorca *P. palmivora* con el 65%, *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon & Maubl con el 55% y *C. gloeosporioides* con el 55%, incidencias menores se reportaron para mancha foliares ocasionadas por *Cercospora* sp. y *Phomopsis* sp., chancros del tallo por *P. palmivora*, muerte regresiva por *L. theobromae* y agallas causadas por *Fusarium decemcellulare* Brick, en un 20, 10, 15, 10, y 10%, respectivamente.

2.3. MANEJO DE PLAGAS EN LOS SISTEMAS AGROFORESTALES DE CACAO

La agricultura convencional representa el 20% o más del costo de producción del cultivo, debido a que los plaguicidas adquieren un papel importante en el combate de las plagas; sin embargo, la aplicación intensiva y desmedida han afectado el ambiente por la

acumulación de residuos en los alimentos, suelos y agua; afectando la calidad de vida de los productores (López et al., 2017).

En la actualidad se busca alcanzar una agricultura sostenible, la cual acepta la utilización apropiada de diversos métodos y técnicas, económicamente viables y compatibles con el ambiente, esta búsqueda dio lugar al manejo integrado de plagas, técnica que reduce al mínimo el uso de plaguicidas y su impacto ambiental (López et al., 2017). Este manejo consta de cuatro estrategias básicas, la prevención (barreras de cultivos, selección de campo y semillas, utilizar variedades resistentes o tolerantes, pronóstico), convivencia (monitoreo de plagas y enemigos naturales), manipulación (racionalidad en el uso de plaguicidas químicos, control cultural, conservación de enemigos naturales y uso de controladores biológicos), y supresión (aplicación de plaguicidas, control cultural, variedades resistentes y otros) (Murguido y Elizondo, 2007).

Las altas densidades de plagas resultan del estrés fisiológico en el cacao sin sombra, puesto que cuando los árboles de cacao envejecen (25 a 30 años) la disminución de los rendimientos y el aumento de la presión de las plagas de insectos hacen que los agricultores abandonen las plantaciones existentes, por lo que los agricultores para evitar el riesgo a largo plazo implementan sistemas agroforestales manteniendo la sombra como un seguro contra los brotes de plagas, mientras que los agricultores que maximizan el rendimiento reducen la sombra y apuntan a beneficios monetarios a corto plazo. En el manejo sostenible se necesita conservar o crear una capa diversa de árboles de sombra de uso múltiple que se puedan podar en lugar de eliminar cuando los cultivos maduran, además la reducción de la fumigación con pesticidas protege la agrobiodiversidad funcional, como los antagonistas de plagas y enfermedades y los mosquitos polinizadores que determinan los rendimientos del cacao (Tscharntke et al., 2011).

En México, en un estudio al evaluar sistemas con manejo tradicional - MT (control mecánico de maleza, eliminación mecánica de renuevos, control químico de *Phytophthora* con sulfato de cobre en época de lluvias y eliminación quincenal de frutos enfermos) y con manejo integrado del cultivo de cacao - MIC (prácticas establecidas en el manejo tradicional, fertilización foliar y remoción de frutos, mantenimiento drenajes, control de

arvenses, poda, eliminación total de frutos en época de baja producción, saneamiento de frutos eliminados, control químico), la producción de cacao en grano seco fue de 418 y 1 380 g planta⁻¹, respectivamente (Ortíz et al., 2015).

En un estudio realizado en Colombia, en un SAF de cacao se evaluó el efecto de diferentes esquemas de fertilización orgánica y convencional y se determinó que el número de mazorcas fue similar en el manejo convencional (nitrógeno, fósforo, potasio) y manejo orgánico (compostaje), con 9 y 10 mazorcas, respectivamente. Sin embargo, con el manejo convencional se obtuvo una mayor producción 288.44 con respecto al manejo orgánico 176.25 g planta⁻¹, aunque con este manejo se logró la mayor cantidad de granos totales por mazorca (Álvarez-Carrillo, Rojas-Molina y Suárez-Salazar, 2015). Almeida y Valle (2007), afirman que los parámetros de rendimiento están relacionados con la interceptación de luz, fotosíntesis y capacidad de distribución de la fotosíntesis, respiración de mantenimiento, morfología del fruto y fermentación de la semilla, rasgos que podrían modificarse por factores abióticos. Por lo tanto, el cacao es una especie tolerante a sombra, sin embargo, si hay exceso se reduce el rendimiento de semillas y la incidencia de plagas aumenta, de hecho, la producción de cacao y la intercepción de luz están estrechamente relacionados, cuando la disponibilidad de nutrientes no es limitante (Álvarez-Carrillo et al., 2015).

En Bolivia, cuando se comparó los monocultivos con los sistemas agroforestales con manejo orgánico y convencional no hubo diferencias en los rendimientos anuales 135 y 144 g planta⁻¹ (Armengot, Barbieri, Andrés, Milz y Schneider, 2017).

2.4. MORFOLOGÍA DEL CACAO

La morfología de cacao según Dostert, Roque, Cano, La Torre y Weigend (2011) se describe a continuación:

Altura: El cacao es un árbol o arbusto semicaducifolio de hasta 12 m de altura y cuando ya se establece en cultivos comerciales se procura mantener normalmente alturas de 4-8 m.

Tallo: Es glabro o parcialmente pubescente en ejes jóvenes, su corteza es oscura de color gris-café, y las ramas son de color café y poseen vellosidades.

Hojas: Son coriáceas simples, enteras, ligera e irregularmente sinuadas, angostamente ovadas u obovadas elípticas, ligeramente asimétricas, miden de 17-48 cm de largo y 7-10 cm de ancho, alternas y glabras o ligeramente pubescentes en ambas caras, la base es redondeada a ligeramente cordada, ápice largamente apiculado. El pecíolo es de 14-27 mm de largo y las estípulas son lineares y caducas.

Flores: Son pentámeras, hermafroditas, actinomorfas de 10-20 mm de diámetro; el pedúnculo floral es de 1-3 cm de largo. Los sépalos son verdosos blancos o rosa claros, miden de 5-8 mm de largo, 1.5-2 mm de ancho, angostamente lanceolados, persistentes y fusionados en la base. Los pétalos son más largos que los sépalos, miden de 6-9 mm de largo, libres, amarillentos, con dos o tres nervios violetas adentro, glabros, con la parte inferior redondeada o abruptamente atenuada, recurvos y apiculados.

Los estambres se encuentran en grupos de 10 y son lineares; cinco estambres fértiles se alternan con cinco estaminodios; todos los estambres están fusionados en la base formando un tubo; los estambres fértiles son de 2.5-3 mm de largo y están dispuestos frente a los pétalos; los estaminodios son violeta y 6.5-7.5 mm de largo. El ovario es de 2-3 mm de largo, ángulo ovado, ligeramente pentagonal y pentámero y los óvulos se disponen en dos filas de 6-12 óvulos por fila.

El fruto: Es una baya grande que se denomina mazorca, polimorfa, esférico a fusiforme, púrpura o amarillo en la madurez glabro de 10-20 cm de largo y 7 cm de ancho, de 200-1000 g. de peso y con 5-10 surcos longitudinales. El endocarpio es de 4-8 mm de grosor, duro, carnoso y leñoso en estado seco.

Las semillas: Son café-rojizas, ovadas, ligeramente comprimidas de 20-30 mm de largo, 12-16 mm de ancho y 7-12 mm de grosor.

2.5. MONILIA (*M. royeri*)

2.5.1. Origen y distribución de la Monilia

Ecuador fue considerado inicialmente como el probable centro de origen de la Monilia del cacao. Sin embargo, Rodríguez-Mora (2003), demostró mediante estudios de genética poblacional y el uso de marcadores moleculares, que la región geográfica del noroeste de Colombia contiene la mayor diversidad genética que supera a la encontrada en Ecuador, por lo tanto, estos estudios muestran a Colombia como el centro de origen de esta grave enfermedad, en el año 1800 (Carrera, 2016).

Phillips-Mora (2003) y Carrera (2016) indican que desde éste centro de origen en un periodo de 200 años la Monilia se ha dispersado a 12 países productores de cacao de Sur y Centroamérica (Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Venezuela, Panamá, Costa Rica, Honduras, Guatemala, Belice, México y El Salvador), ocasionado pérdidas superiores al 90% de la producción, y el abandono de los cultivos a lo largo del continente americano. Esta situación ha causado efectos negativos en los cacaoteros, sus comunidades, y en los agroecosistemas en que se produce cacao.

En Ecuador la Monilia apareció en los cultivos de cacao por primera vez en el año 1917 (Rorer, 1918). Los daños ocasionados por la presencia de Monilia en las mazorca de cacao pueden llegar a un 60%, mientras que su incidencia en mazorcas es del 64.76 %, en la parte interna de la mazorca se observa una necrosis y en la parte externa una deformación y pudrición, el tejido afectado se vuelve de color café oscuro y se cubre de una felpa de color crema, que son las esporas del hongo, sin embargo, algunas mazorcas pueden completar su desarrollo sin síntomas externos, pero el tejido interno se encuentra necrosado (Sánchez y Garcés, 2012).

2.5.2. Clasificación taxonómica de la Monilia

Ciferri y Parodi (1933), describieron originalmente el agente causal de la Monilia otorgándole la siguiente clasificación: clase: Deuteromycetes, orden: Hyphales, género: *Monilia* y especie: *royeri*. Años después, Evans, Stalpers, Samson & Benny (1978),

observaron características miceliales típicas de Basidiomycetes, por lo que decidieron crear un nuevo nombre para denominar la especie con el nombre de *Moniliophthora roreri*.

Phillips-Mora (2003), mediante técnicas moleculares confirmó que el hongo es un Basidiomycete perteneciente al orden Agaricales. Posteriormente, Aime y Phillips-Mora (2005) confirmaron la ubicación de *M. roreri* dentro de la familia Marasmiaceae. De acuerdo con Evans et al. (1978) y Aime y Phillips-Mora (2005) la clasificación taxonómica de *M. roreri* es la siguiente: Dominio Eucaryota, Reino Fungi, Phylum Basidiomycota, Subclase Agaricomycetidae, Orden Agaricales, Familia Marasmiaceae, Género *Moniliophthora* y Especie *roreri*.

2.5.3. Sintomatología

La Monilia presenta síntomas externos e internos en los frutos en todas las fases de su desarrollo. El daño externo se caracteriza por presentar en las mazorcas, necrosis, deformación y pudrición en mazorcas, aunque algunos frutos de 60 y 80 días pueden completar su desarrollo sin síntomas externos, pero con el tejido interno necrosado (Sánchez y Garcés, 2012). Esto conlleva a la muerte de la mazorca, con un color café oscuro, para luego cubrirse de una “felpa” de color crema, que son las esporas del hongo (Johnson, Bonilla y Agüero, 2008). Por otra parte el daño interno causado por la enfermedad puede ser más grave que el externo, pudiendo llegar a perderse casi todas las almendras, sin importar la edad del fruto, por lo general los tejidos (pulpa, semillas y algunas veces la cáscara), forman una sola masa en donde los tejidos son rodeados por una sustancia acuosa debido a la descomposición de ellos, siendo también las almendras destruidas parcial o completamente, dependiendo del tiempo de infestación de las mazorcas (Sánchez y Garcés, 2012).

En las mazorcas menores de dos meses, la infección aparece primero como pequeños abultamientos o gibas (protuberancias) en la superficie de la mazorca, incluso esa área se descolora (se vuelve más clara); después que emerge esa giba, se presenta una mancha café (chocolate) que se va extendiendo (la mazorca muere poco después), empezando a aparecer una felpa blanca correspondiendo al micelio del hongo (filamentos vegetativos), para luego de tres a siete días, sobre el micelio blanquecino emerger las esporas del tipo

conidio de color crema (Sánchez y Garcés, 2012). Un síntoma adicional es la llamada madurez prematura, donde las mazorcas cambian de color dando la apariencia de madurez en frutos que todavía están inmaduros (Johnson et al., 2008).

2.5.4. Ciclo de infección de la Monilia

El ciclo de Monilia comienza con las mazorcas contaminados, que quedan en la planta o con los desechos de mazorcas que quedan en el suelo de la plantación después de la cosecha, luego, debido a factores climáticas como la lluvia y el viento las conidias son dispersadas por todo el cultivo infectado a mazorcas recién formados (Navarro y Mendoza, 2006; Amores, Agama, Suárez y Motato, 2009).

Phillips-Mora, Cawich, Garnett & Aime (2006), encontraron que la mayor concentración de esporas de Monilia se encuentra a un metro de altura de los árboles de cacao; también concluyen que las conidias depositadas en la mazorca mueren si quedan expuestas a la radiación en cambio viven en presencia de agua y humedad.

De la misma manera Bailey et al. (2017), indica que las condiciones climáticas y la cantidad de esporas libres son determinantes en el ciclo de vida de la Monilia; si existen las condiciones favorables las esporas germinan y penetran en las mazorcas a través de la cutícula o el estoma y colonizan los tejidos internos. Bailey et al. (2013) y Evans (2016) reconocen que la Monilia es un patógeno hemibiotrófico que presenta dos fases invasivas: la fase biotrófica dura de 45 a 90 días y la mazorca adquiere una forma hinchada con tabiques que da como resultado la malformación de la mazorca. Luego el hongo cambia a la fase necrotrófica, donde se da una alta producción de esporas y se produce la muerte del tejido de la mazorca en cuestión de días. En ésta fase la capacidad de las mazorcas para producir esporulación es considerable, se ha determinado que ocurren hasta 20 periodos de esporulación sucesiva en cuatro ciclos durante 80 días (Phillips-Mora, 2003). Estudios realizados muestran que las esporas sobreviven durante 9 meses en las mazorcas en el árbol, pero aproximadamente un mes en las mazorcas cosechadas que quedan en el suelo (Bailey et al., 2017).

2.5.5. Medidas de control para la Monilia

Una de las principales enfermedades del cacao es la Monilia y para su control se utilizan varias medidas, entre ellas tenemos: Control manual, biológico y químico.

2.5.5.1. Control cultural: Este control consiste en mantener árboles de cacao con baja estatura con la finalidad de realizar con facilidad las labores culturales y evitar el autosombreo para impedir que se crea un microclima interno que estimule la infección y el desarrollo de la enfermedad en las mazorcas. Otra práctica cultural de importancia es la poda sanitaria que nos permiten eliminar las mazorcas enfermas. Además debe considerarse actividades de poda de mantenimiento, regulación del estrato superior, buen drenaje, densidades de siembra apropiadas, control de malezas y correcto programa de fertilización, estas prácticas favorecen un desarrollo óptimo del árbol pues hace que los patógenos que incidan en las plantaciones tengan pocas probabilidades de establecerse y desarrollarse. También, es importante realizar semanalmente la recolección y destrucción de las mazorcas con signos del hongo fitopatógeno, se deben remover en las primeras horas de la mañana o en la tarde por último, en dependencia de la cantidad de mazorcas enfermas, pueden enterrarse o trasladarse a otro sitio (Carrera, 2016).

2.5.5.2. Control biológico: Consiste en utilizar organismos vivos para controlar las infecciones de los patógenos y se define como la reducción de la densidad de inóculo o sus estructuras reproductoras de un hongo patógeno o parásito en estado activo o de dormancia, por uno o más organismos obtenidos naturalmente. La aplicación de este control a nivel de campo es menor con relación al control cultural; sin embargo, el manejo biológico surge como una alternativa promisoría para el control de Monilia, con resultados exitosos (Carrera, 2016).

El control biológico para que tenga un mejor efecto debe emplearse en conjunto con otros métodos de control existentes. Krauss et al. (2003), reporto en Perú resultados muy promisorios con micoparásitos (*Trichoderma* sp., *Clonostachys rosea* (Link) Schroers y *Clonostachys byssicola* Schroers) en varias mezclas y formulaciones. Los autores citados también mencionan, que este control por su naturaleza, no elimina, sino que reduce las poblaciones de patógenos y, como consecuencia, reduce la intensidad de la enfermedad

En Colombia, los resultados obtenidos durante la prueba de antagonismo *in vitro*, se observó una inhibición en el crecimiento de *M. roleri* de un 95% frente a la cepa de *Trichoderma* sp. del Zulia, pudiendo ser un posible controlador biológico para la Monilia, entre tanto la cepa *Trichoderma* sp. de Iscalá fue del 70%, mientras que la de *Trichoderma* sp. Cubana fue de un 55%. Estos valores de inhibición por encima del 50%, los convierten en posibles controladores biológicos (Suárez, 2006).

En Venezuela, identificaron la microbiota en plantas de cacao, donde estudiaron muestras de hojas, encontrando en ellas una población epifita de cacao muy abundante, siendo 48 especies de hongos, de los cuales, fueron detectados *Penicillium* sp. y *Gliocladium* sp., como posibles controladores biológicos (Urdaneta y Delgado, 2007).

En la actualidad se ha demostrado que existe un gran potencial de hongos y bacterias endófitos para el control de la Monilia. Entre los microorganismos más importantes se encuentran las bacterias de los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus*, así como hongos de los géneros *Clonostachys* y *Trichoderma* (Carrera, 2016).

2.5.5.3. Control Químico: Para el control de la Monilia generalmente se está utilizando sulfato de cobre (2 kg ha^{-1} en siembras de alta densidad), realizando aplicaciones semanales durante tres meses, a partir de los primeros picos más intensos de floración y dirigido a las mazorcas en su periodo de mayor crecimiento (Sánchez y Garcés, 2012). Con la aplicación de productos químicos se consigue reprimir la enfermedad de manera significativa, demostrando los beneficios de los fungicidas sistémicos en las mazorcas; éstos muestran un mejor control de *M. roleri* en comparación con los de contacto, lo cual implica reducir el número y los costos de aplicaciones; al complementar las labores culturales con los controles químicos, la producción de cacao sano se incrementa alrededor del 20%, mostrando resultados favorables y significativos al combinar estos dos tipos de control (Ayala, 2008).

La guía de manejo integrado del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) recomienda iniciar el control químico cuando las mazorcas tengan un tamaño aproximado de 4 - 5 cm en el periodo de mayor fructificación. Se deben realizar alrededor

de 5 aplicaciones con intervalos de 22 días cada una con la finalidad de proteger a las mazorcas desde las etapas iniciales de su desarrollo (Pico et al., 2012).

2.6. SISTEMAS AGROFORESTALES (SAF)

Por definición se dice que un SAF es “Un sistema de uso de la tierra, que implica la introducción, mantenimiento o mezcla deliberada de árboles u otras plantas leñosas perennes con cosechas y sistemas de producción animal, al objeto de beneficiarse de las interacciones económicas y ecológicas entre componentes” (Pando y Lorenzo, 2002).

Estos sistemas son utilizados por los indígenas y campesinos desde tiempos muy antiguos con diversos cultivos, consiste en ordenar las especies vegetales y animales en el tiempo y espacio, considerando las condiciones de hábitat de cada especie y los requerimientos de manejo cultural de las especies cuando crecen juntas, así como el manejo de todo el sistema (Altieri y Nicholls, 2011; Giraldo, Siniterra y Muergueitio, 2011). Estos sistemas de producción son más aplicados en los trópicos, aproximadamente el 20% de la población mundial (1.2 millones de personas) dependen exclusivamente de los productos agroforestales y sus servicios ambientales en los países en desarrollo (Casanova, Petit y Solorio-Sánchez, 2011).

El propósito fundamental de los SAF, es diversificar y optimizar la producción para un manejo sostenible, además proteger al suelo de la erosión a través de la adición de materia orgánica, proveer de alimento y sombra a los animales todo el tiempo, provocar la optimización de procesos ecológicos como el control biológico, fertilidad del suelo, polinización y mantener una alta biodiversidad (Altieri y Nicholls, 2011), así mismo, la integración de especies leñosas dentro de estos sistemas, promueven la recuperación de áreas degradadas, así como la captura y almacenamiento de carbono, para obtener beneficios económicos, y ayudar a mitigar la acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera (Casanova et al., 2016).

2.7. SOMBRA

La función principal de los árboles de sombra es conservar niveles altos de materia orgánica, esto depende principalmente de la productividad del ecosistema y su manejo, para mantener la estructura del suelo y la provisión de nutrientes (Casanova et al., 2016).

El manejo de la sombra es probablemente la interacción biofísica más importante en los sistemas agroforestales tropicales, principalmente en sitios sin épocas marcadas de déficit hídrico, debido a que la presencia del dosel de sombra en estos sistemas es capaz de disminuir la demanda evaporativa del agua del suelo, debido a la intercepción de la luz y a la presencia del mantillo que protege al suelo, es así que, incrementa la infiltración de agua de lluvia y reduce la escorrentía, por lo tanto ofrece un mayor nivel de protección de los cultivos frente a la vulnerabilidad agrícola a los recursos hídricos (Tscharntke et al., 2011).

El cultivo de cacao establecido bajo sombra resulta una alternativa para contrarrestar los graves problemas ambientales, sociales, productivos y ecológicos, imprescindibles para un equilibrio natural, por lo tanto, el diseño y manejo de los árboles de sombra del cacao determinan el valor del cacaotal para la conservación, su diversidad funcional y su potencial de provisión de bienes y servicios. En estos sistemas se ha logrado mantener una amplia diversidad de aves, murciélagos, mamíferos no voladores e invertebrados, similar a la de los bosques naturales y superior al hábitat de sistemas agrícolas de uso más intensivo (Roa-Romero, Salgado-Mora, Álvarez-Herrera, 2009).

Álvarez-Carrillo, Rojas-Molina y Suarez-Salazar (2012) y Furcal-Beriguete (2017) mencionan, que existe una correlación positiva entre la producción de cacao y la luz, debido a que tiene un efecto directo en el crecimiento, el rendimiento del cultivo y en la demanda nutricional, cuando existe una cobertura abundante de sombra en un cacaotal, el rendimiento del cultivo es bajo, en cambio, si hay poca o ninguna cobertura de árboles de sombra, la absorción de nutrientes y los rendimientos de cacao son más altos. Es decir, árboles con copas densas y compactas sembrados a altas densidades que interceptan hasta el 90% de la luz no son adecuados para proporcionar sombra al cacao, por lo que se recomienda seleccionar árboles de copa ligera y ancha como las leguminosas (*Erythrina* e

Inga) que proporcionan un sombreado del 50 al 70% en plantaciones jóvenes y del 25 al 35% en plantaciones adultas (Álvarez et al., 2012; Cueva, 2013).

Las especies de sombra por lo general varían de acuerdo a cada localidad, en Nicaragua, el 50% de sombra se ubica en el estrato bajo (1-10 m), el 33% en el estrato medio (11-20 m) y el restante 17% en el estrato alto (más de 20 m), las especies dominantes en el estrato bajo son frutales como: cítricos (*Citrus* spp.), especies de *Mussa*, mango (*Mangifera indica* L.), aguacate (*Persea americana* Mill.) y guayaba (*Psidium guajava* L.); en el estrato medio se destacan las guabas (*Inga* spp), madero negro [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.], guarumo (*Cecropia peltata* L.) y roble [*Tabebuia rosea* (Bertol.) Bertero ex A.DC.] y en el estrato alto sobresalen los maderables de regeneración natural: laurel [*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken.], cedro (*Cedrela odorata* L.), nogal [*Juglans olanchana* (Estandl & L. O. Williams), guayabón [*Terminalia oblonga* (Ruiz & Pav.) Steud.] y la palma de pejibaye (*Bactris gassipaes* H.B.K) conocida como chontaduro en Ecuador (Orozco y López, 2013).

Según Opoku-Agyeman, Anim-Kwapong y Owusu-Ansah (2017) indicaron que cuando el árbol de cacao se asocia con *Allanblackia parviflora* Oliv. Ex Benth., *Ricinodendron heudelotii* (Baill.) heckel, *P. americana* y *Tetrapleura tetráptera* Schumm. & Thonn. Taub. el árbol tiene un mejor desarrollo que cuando se asocia con *Terminalia superba* Engl. & Diels y *Terminalia ivorensis* A. Chev. en estos sistemas, la entrada de luz fue de 53 y 78 y el porcentaje de cobertura del suelo varió entre 28 y 42%, estos valores indican de los árboles tienen suficiente espacio antes del cierre del dosel.

2.8. IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES CON CACAO

Los productores por la dinámica del manejo del cultivo de cacao han diseñado diferentes arreglos agroforestales en respuesta a las necesidades ecofisiológicas de la planta, debido a que es una especie tolerante a la sombra pero no un árbol de sombra, al respecto se ha indicado que el cacao Criollo, Forastero y el híbrido Trinitario se saturan a densidades de flujo fotónico comprendidas entre 400 a 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, intensidades entre el 25 y 30%

de radiación en un día despejado, y donde las tasas de asimilación de CO₂ no sobrepasan entre 6 a 7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, esto comprueba la necesidad de mantener al cacao bajo sombra parcial en la etapa de crecimiento y producción. Por otra parte, la poca tolerancia de la planta a la elevada radiación, es el tiempo de vida promedio de las hojas que es de 450 días en plantas bajo sombra y 250 días a plena exposición solar (Jaimez, Tezara y Coronel, 2008).

Generalmente el cacao se asocia con leguminosas de servicio, lo que algunos autores denominan especies de la "columna vertebral" del sombrío en el cacao, en este caso, las especies, son sembradas, podadas y manejadas de acuerdo a las necesidades del cultivo (Tscharntke et al., 2011; Carrillo, Molina, y Salazar, 2012). La inclusión de árboles fijadores de nitrógeno (leguminosas) en los sistemas está ampliamente difundido, no solo con el fin de proporcionar ciertos elementos o incrementar su disponibilidad, sino porque permite mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo al mitigar la erosión provocada por la escorrentía; por otra parte, las raíces pueden alcanzar más allá de 2 m de profundidad en comparación con los árboles de cacao que poseen raíces superficiales, esto permite que estos sistemas tengan el potencial de "red de seguridad" para recuperar los nutrientes que se mueven por el perfil del suelo fuera de la zona de la raíz efectiva del cacao (Tscharntke et al., 2011).

Para fijar nitrógeno y movilizar fósforo en el suelo se utiliza *Morella pubescens* [(Humb. & Bonpl. Ex Willd) Wilbur] y *Lupinus mutabilis* Sweet., en sistemas andinos, para incrementar los contenidos de materia orgánica, nitrógeno y carbono se usa *Acacia decurrens* Willd. y *Alnus acuminata* Kunth. (Cabrera, Muñoz y Vélez, 2014). *Leucaena leucocephala* [(Lam.) de Wint] incrementa el contenido de potasio, calcio y magnesio, y *Mucuna pruriens* [(L.)CD.] aumenta el contenido de nitrógeno (Casanova et al., 2016). Además, *Erythrina poeppigiana* [(Walp) O.F.Cook] e *Inga edulis* Mart. fijan 100 kg ha⁻¹ de nitrógeno; sin embargo, estas estimaciones son muy variables porque pueden oscilar de 55 a 555 kg ha⁻¹ (Montagnini, Somarriba, Murgueitio, Fassola, y Eibl, 2015). En Ghana, la absorción de nutrientes por parte del árbol de cacao bajo sombra de leguminosas es mayor que los monocultivos (43-80%, 22-45% y 96-140% para N, P, K, respectivamente),

además estas especies capturan al menos 30 kg ha⁻¹ año de nitrógeno que reemplazaría la compra y aplicación de alrededor de 150 kg ha⁻¹ de urea (Tschardt et al., 2011).

Estos sistemas de producción permiten almacenar carbono especialmente cuando está asociado con maderables y frutales, como iguá [*Albizia guachapele* (Kunth) Dugand], cedro (*C. odorata*), nogal cafetero (*C. alliodora*) y bayo (*Acacia glomerosa* Benth.) y frutales, como jobo o ciruela (*Spondias mombim* L.), papayo (*Carica papaya* L.) y aguacate (*P. americana*). Estas especies son las más representativas, con edades de entre 15 y 20 años y almacenan gran cantidad de carbono en su biomasa, en Colombia, un SAF con maderables y frutales almacenó 61 t C ha⁻¹ y un SAF con cítricos 17.7 t ha⁻¹ año⁻¹ (Marín, Andrade y Sandoval, 2016). En Perú, 69 árboles ha⁻¹ almacenan 131.18 t C ha⁻¹ (65.61 t C ha⁻¹ para biomasa aérea y 65.57 t C ha⁻¹ para el componente suelo) (Pocomucha, Alegre y Abregú, 2016). En Ghana, en sistemas con *T. superba* y *T. ivorensis*, se logra acumular 4 veces más biomasa 12.35 t ha⁻¹ y carbono 73.96 t C ha⁻¹ que un sistema con *A. parviflora*, *R. heudelotii*, *P. americana* y *T. tetráptera* (Opoku-Agyeman et al., 2017).

También, en estos sistemas de producción alternativos se puede encontrar una elevada acumulación de organismos biocontroladores, en la Amazonía Peruana en un SAF de cacao se encontró 30 géneros de hongos, el 30% con potencial de biocontrol, el 41% saprófito, el 17% patógenos-saprófitos y el 11% patógenos). Siendo los más frecuentes *Mycogone*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Cladosporium*, *Fusarium* y *Aspergillus* (Arévalo-Gardini, Canto, Alegre, Loli, Julca y Baligar, 2017).

Por otra parte, el rendimiento del cultivo es más favorable cuando se asocia con las especies adecuadas, en Ghana el rendimiento anual de cacao con *A. parviflora*, *R. heudelotii*, *P. americana* y *T. tetráptera* en el tercer año fue de 0.9 t ha⁻¹ año⁻¹ y con *T. superba* y *T. ivorensis* fue de 0.8 t ha⁻¹ año⁻¹ fue similar a la de monocultivo 0.5 t ha⁻¹ año⁻¹ (Opoku-Agyeman et al., 2017).

2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ESPECIES ARBÓREAS EN ESTUDIO

2.9.1. Chuncho (*Cedrelinga cateniformis* D. Duke)

Los sinónimos de esta especie son *Piptadenia cateniformis* Ducke, *Pithecellobium cateniformis* (Ducke) L. Cárdenas, el árbol es nativo de la Amazonía, se distribuye de 0 a 1 000 m s.n.m., en las provincias de Morona Santiago, Napo, Pastaza, Orellana, Sucumbíos y Zamora Chinchipe, su madera se utiliza para la construcción de viviendas, encofrados y construcción de canoas [Ministerio del Ambiente (MAE, 2014)]. Esta especie tiene una relación simbiótica con ciertas bacterias del suelo; estas bacterias forman nódulos en las raíces y fijan el nitrógeno atmosférico. Parte de este nitrógeno es utilizado por la planta en crecimiento, pero parte también puede ser utilizada por otras plantas que crecen cerca, por esta razón, es utilizado en sistemas agroforestales a esto se suma su rápido crecimiento, buen sistema radicular y copa medianamente amplia (Fern y Morris, 2014),

Esta leguminosa puede alcanzar una altura de hasta 50 m y un diámetro a la altura de pecho (DAP) de 65 a 150 cm, el tronco es cilíndrico con raíces tablares grandes; la corteza externa es café y agrietada vertical y profundamente; la corteza interna es de rosada-cremosa, fibrosa y de sabor dulce; la copa es amplia, redondeada y de gran tamaño; las hojas son compuestas, alternas, con uno o dos pares de pinnas, con 3 pares de folíolos oblicuo-ovado, glabros, peciolo cilíndrico con una glándula en el ápice. Esta especie originalmente proviene de la región amazónica y se puede cultivar en plantaciones puras, en sistemas agroforestales o en enriquecimiento de bosque natural; es considerada una especie valiosa por sus características de coloración y usos muy similares al cedro, tiene una gran demanda por los sectores industriales, con la ventaja que crece más rápido y no requiere de muchos cuidados que las especies de cedro y caoba (López, 1981).

2.9.2. Chontaduro (*Bactris Gasipaes* H.B.K)

En la Amazonía ecuatoriana, en los sistemas agroforestales tradicionales (SAF) denominados chakras, practicados por la etnia indígena Kichwa, se cultivan herbáceas de uso medicinal, alimenticio, arbóreas maderables de sombra y palmas utilizadas para

autoconsumo, alimentación del pueblo Kichwa y la venta de estos productos especialmente de yuca (*sculenta* Cranz), Chontaduro (*B. gasipaes*) y algunas Musáceas (Jadán, Torres, Selesi, Peña, Rosales y Günter, 2016).

El chontaduro (*B. gasipaes*), es una especie propia de zonas tropicales que se adapta a regiones de altas precipitaciones; alcanza diámetros de 10 a 25 cm y hasta 25 m de altura, el tallo es cilíndrico y cubierto de espinas; las hojas tienen forma pinnada de 2 a 4 m de largo con raquis espinoso y muy resistente; la raíz por lo general es lateral superficial formado una red tupida de aproximadamente 10 m de diámetro; esta especie es cotizada por sus frutos y por el palmito que se obtiene de los foliolos en formación (Escobar, Zuluaga, Rojas, Yasno, y Cárdenas, 1998).

2.9.3. Póro [*Erythrina poeppigiana* (Walp) O.F. Cook]

La *Erythrina* en sistemas agroforestales de café con manejo orgánico y convencional al tercer año la planta puede llegar a medir 2 m de altura, con un DAP de 2.7 cm y un volumen total de $0.0025 \text{ m}^{-3} \text{ árbol}^{-1}$; además, es una especie que aporta gran cantidad de biomasa, en el SAF de café el aporte en parcelas con manejo orgánico fue de $10\,072 \text{ kg ha}^{-1}$ y con un manejo convencional de $11\,790 \text{ kg ha}^{-1}$. Esta especie aporta N, P, K, Ca de 300 a 360; 25.4 a 29.7; 186.3 a 205.2 y 96.9 a $115.2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Por otro lado, en un SAF con *Erythrina* el porcentaje de sombra fue del 64.59% y cuando se asocia con cashá el porcentajes fue mayor (71.54%) al igual que el área de copa (55.08 m^2), sin embargo la producción de café se vio afectada porque esta especie requiere un porcentaje de sombra < al 60% (Merlo, 2007).

La *E. poeppigiana* es una especie que se adapta muy bien en zonas tropicales, pueden alcanzar alturas de hasta 35 m y diámetros de más de 100 cm, el tronco es cilíndrico cubierto de espinas en los primeros años de su desarrollo, la corteza externa es de color pardo verdoso o marrón, algo lisa y ligeramente acanalada, con verrugas y a veces con espinas gruesas, la corteza interior es gruesa, relativamente espesa ya que llega a medir hasta 2 cm de espesor, de color blancuzco y de sabor amargo; las ramas a menudo poseen espinas esparcidas, de alrededor 1.5 cm de largo; la copa es muy amplia (mayor a 14 m) (Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá por UEIA, 2014).

Las raíces son superficiales; las hojas son compuestas, alternas, de 2 a 3 cm de largo, incluyendo los pecíolos que son finamente vellosos, de color verde-claro. La hoja está compuesta de tres folíolos, anchamente ovoides, obtusos o ligeramente agudos en el ápice y anchamente redondeados en la base; miden de 6 a 18 cm de largo por 5 a 15 cm de ancho, a veces mayores. Pecíolos de 6 a 15 mm de largo, con dos glándulas verdes en la base del folíolo terminal y de los dos folíolos laterales. Las hojas suelen aparecer en las ramas tiernas y se desprenden en el periodo de sequía tropical, de enero a mayo; brotan nuevas después de la floración; el follaje sirve como forraje y abono. La corteza tiene propiedades medicinales e insecticidas (Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá por UEIA, 2014).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

El presente estudio se realizó desde enero a diciembre del año 2019, en la Estación Experimental Central de la Amazonia (EECA) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ubicada en la parroquia San Carlos, cantón La Joya de los Sachas, provincia de Orellana, en latitud $00^{\circ} 21'31.2''S$, longitud $76^{\circ} 52' 40.1''W$, altitud de 250 m s.n.m (fuente: datos GPS), Figura 1. El estudio se realizó en un ensayo establecido en el año 2015, sistema agroforestal de cacao (clones EET-103 y 95) de 4 años de edad.

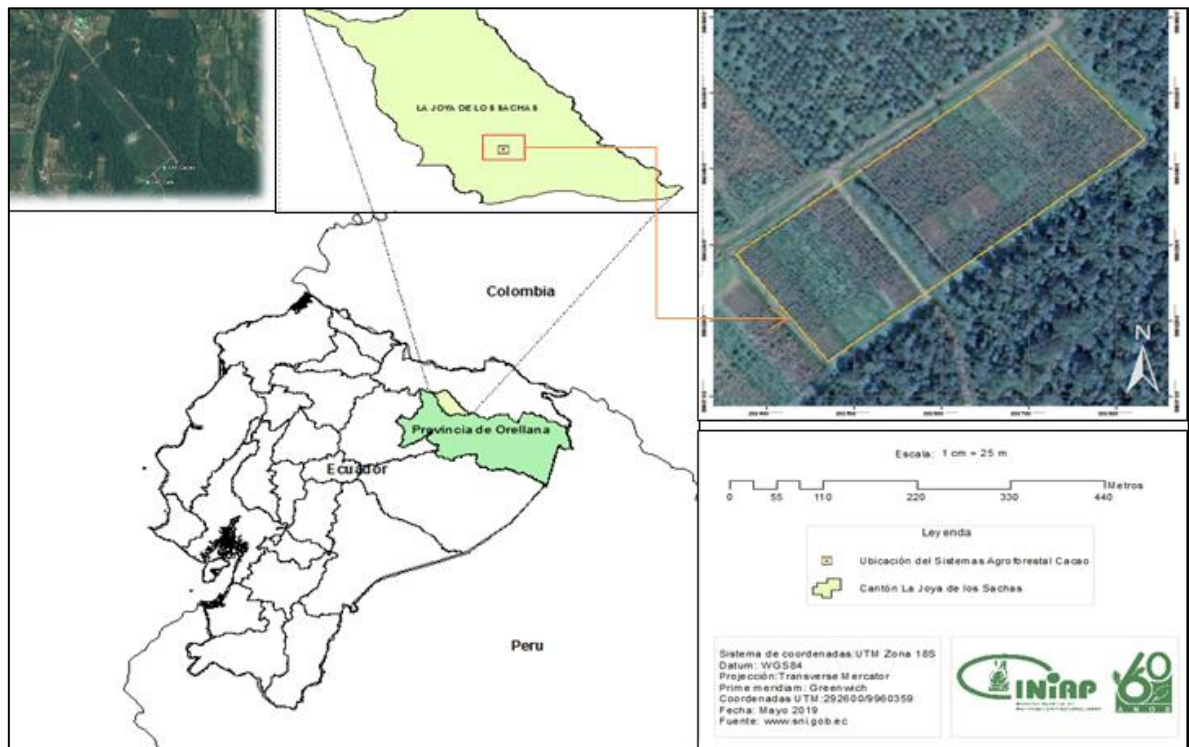


Figura 1. Ubicación del experimento “Efecto de arreglos agroforestales y niveles de manejo agronómico sobre la incidencia de Monilia en el cultivo de cacao”

El experimento se encuentra ubicado a 7 km de la Cabecera del Cantonal de La Joya de los Sachas; de acuerdo a la clasificación de zonas de vida, corresponde a un bosque húmedo tropical (bhT) (Holdridge, 1982), Las características meteorológicas de la zona son: precipitación 3 217 mm/año, heliofanía 1 418.2 horas luz, temperatura promedio anual

24 °C y humedad relativa del 91.5% (INAMHI, 2010; PDOT cantonal La Joya de los Sachas, 2016).

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se utilizó dos tipos de investigación documental y experimental, la primera nos permitió seleccionar y recopilar información secundaria regional, nacional e internacional referente al tema, posteriormente se realizará una lectura crítica de los documentos con la finalidad de que estos hallazgos ayuden a sustentar el trabajo planteado en esta investigación. En segundo lugar se utilizó la investigación de tipo experimental, debido a que se quiso conocer si los arreglos agroforestales y manejos agronómicos (causa) influenciaron en la incidencia de Monilia y rendimiento de cacao (efecto).

3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación que se utilizó fue experimental ya que para éste estudio se relacionan la causa y efecto, permitiendo manipular las variables independientes (arreglos agroforestales y manejos agronómicos) y conocer los efectos sobre las variables dependientes (incidencia de Monilia y rendimiento de cacao).

3.4. TRATAMIENTO DE DATOS

3.4.1. Factores en estudio

Los factores en estudio corresponden a los arreglos agroforestales y a niveles de manejo agronómico. Los arreglos agroforestales estuvieron conformados por cinco sistemas, y se detallan a continuación:

a). Pleno sol: (PSL): el cacao esta cultivado como monocultivo sin árboles.

b). Forestal (FOR): el arreglo incluye chuncho (*C. cateniformis*).

c). Frutal (FRU): el arreglo incluye chontaduro (*B. gasipaes*)

d). Servicio (SER): el arreglo incluye Póro (*E. poeppigiana*)

e). Forestal más servicio (FOR + SER): una combinación de chuncho (*C. cateniformis*) y Póro (*E. poeppigiana*).

Los niveles de manejo agronómico fueron cuatro y se detallan a continuación:

a). Manejo alto convencional (AC), la fertilización se realizó con fertilizantes químicos sintéticos en base al análisis de suelo y se aplicó lo que el cultivo necesitó más el 50%; el control de malezas se efectuó exclusivamente con la aplicación de herbicidas sistémicos (glifosato y amina) y de contacto (paraquat) en dosis de 2 litros de producto por ha de cada uno; para el control de plagas y enfermedades en el manejo AC se realizaron cuatro aplicaciones con frecuencias de 22 días, esto en los dos ciclos de producción anual de cacao, se utilizaron insecticidas sintéticos (clorpirifos 0.5 l/ha y thiamethoxam + lambdacihalotrina 0.5 l/ha) y fungicidas sistémicos sintéticos (Azoxystrbin 250 g/l 0,5 l/ha. y Tebuconazole + Triadimenol 0,5 l/ha.), estas aplicaciones se combinaron con dos de hidróxido de cobre 2 kg/ha, con la finalidad de controlar insectos (*Hymenoptera* sp. *Sahlbergella singularisy* y *Toxoptera* sp.) y para controlar hongos (*M. roreri*, *M. pernicioso*, *Phytophthora* sp.) (Ayala, 2010).

b) Manejo medio convencional (MC), la fertilización se realizó con fertilizantes químicos sintéticos y se aplicó lo que el cultivo necesitó en base al análisis de suelo; el control de malezas se efectuó con la aplicación de herbicidas sistémicos (glifosato y amina) y de contacto (paraquat) en dosis de 2 litros de producto por ha de cada uno, los controles químicos se intercalaron con controles mecánicos utilizando una motoguadaña; para el control de plagas y enfermedades en el manejo MC se realizó dos aplicaciones con frecuencias de 22 días en los dos ciclos de producción anual se utilizaron insecticidas sintéticos (clorpirifos 0.5 l/ha y thiamethoxam + lambdacihalotrina 0.5 l/ha) y fungicidas sistémicos sintéticos (Azoxystrbin 250 g/l 0,5 l/ha. y Tebuconazole + Triadimenol 0,5 l/ha.), estas aplicaciones se combinaron con tres de hidróxido de cobre 2 kg/ha con la finalidad de controlar insectos (*Hymenoptera* sp. *Sahlbergella singularisy* y *Toxoptera* sp.) y para controlar hongos (*M. roreri*, *M. pernicioso*, *Phytophthora* sp.)

c) Manejo orgánico intensivo (OI), la nutrición del cultivo se realizó con abonos orgánicos (compost) y se aplicó lo que el cultivo necesitó en base al análisis de suelo; el

control de malezas se efectuó mensualmente empleando una motoguadaña ; para el control de plagas y enfermedades en el manejo OI se realizó cuatro aplicaciones de hidróxido de cobre 2 kg/ha con frecuencias de 22 días, después de ocho días de cada aplicación de hidróxido de cobre se efectuó un control biológico con *Thichoderma* 2kg/ha esto hizo en los dos ciclos de producción durante el año con la finalidad de controlar hongos (*M. roleri*, *M. pernicioso*, *Phytophthora* sp.)

c) **Manejo bajo orgánico (BO)**, la nutrición del cultivo se realizó con abonos orgánicos (compost) y se aplicó EL 50% de lo que el cultivo necesitó en base al análisis de suelo; el control de malezas se efectuó trimestralmente empleando una motoguadaña; para el control de plagas y enfermedades no se realizó ningún control.

3.4.2. Tratamientos del experimento de arreglos agroforestales y niveles de manejo agronómico

La combinación de los factores en estudio (cinco arreglos agroforestales y cuatro manejos agronómicos) generaron 20 tratamientos como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Diseño experimental del ensayo con cinco arreglos agroforestales y cuatro tipos de manejo agronómico en el cultivo de cacao.

Arreglos agroforestales	Manejo Agronómico/Tratamiento			
Pleno sol	AC-T1	MC-T2	OI-T3	BO-T4
Forestal (chuncho)	AC-T5	MC-T6	OI-T7	BO-T8
Frutal (chontaduro)	AC-T9	MC-T10	OI-T11	BO-T12
Servicio (erythrina)	AC-T13	MC-T14	OI-T15	BO-T16
Forestal + servicio (chuncho + erythrina)	AC-T17	MC-T18	OI-T19	BO-T20

3.4.3. Diseño experimental

El diseño en franjas “Strip plot” es un esquema de experimentación para dos factores que da prioridad a la evaluación de la interacción entre factores. Usualmente usado cuando los factores a estudiar necesitan grandes extensiones (ensayos agroforestales) y donde uno de los factores está dispuesto en forma vertical (manejos agronómicos) y el segundo factor

está dispuesto de manera horizontal (arreglos agroforestales). En este diseño la aleatorización se la hace entre bloques pero no dentro de los bloques que quedan determinados por la combinación de los factores vertical y horizontal. Este tipo de modelo incrementa la precisión necesaria para medir el efecto de interacción entre los factores.

En este diseño cada bloque es dividido verticalmente y horizontalmente como niveles se tenga para cada factor. La precisión para medir el efecto de cada factor viene dado por el tipo error que mide cada efecto. El modelo estadístico utilizado para este estudio fue:

$$y_{ijk} = \mu + \rho_i + \alpha_j + (\rho\alpha)_{ij} + \beta_k + (\rho\beta)_{ik} + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde α_j y β_k son los niveles de los factores vertical y horizontal respectivamente; ρ_i es el efecto de la réplica o bloque que es considerado aleatorio. Así los términos $\rho\alpha$ y $\rho\beta$ se convierten en los errores necesarios para evaluar los efectos de los factores vertical y horizontal respectivamente (Error a, y error b) y el término de interacción se mide a través del error experimental neto ε_{ijk} (error c) (Figura 2).

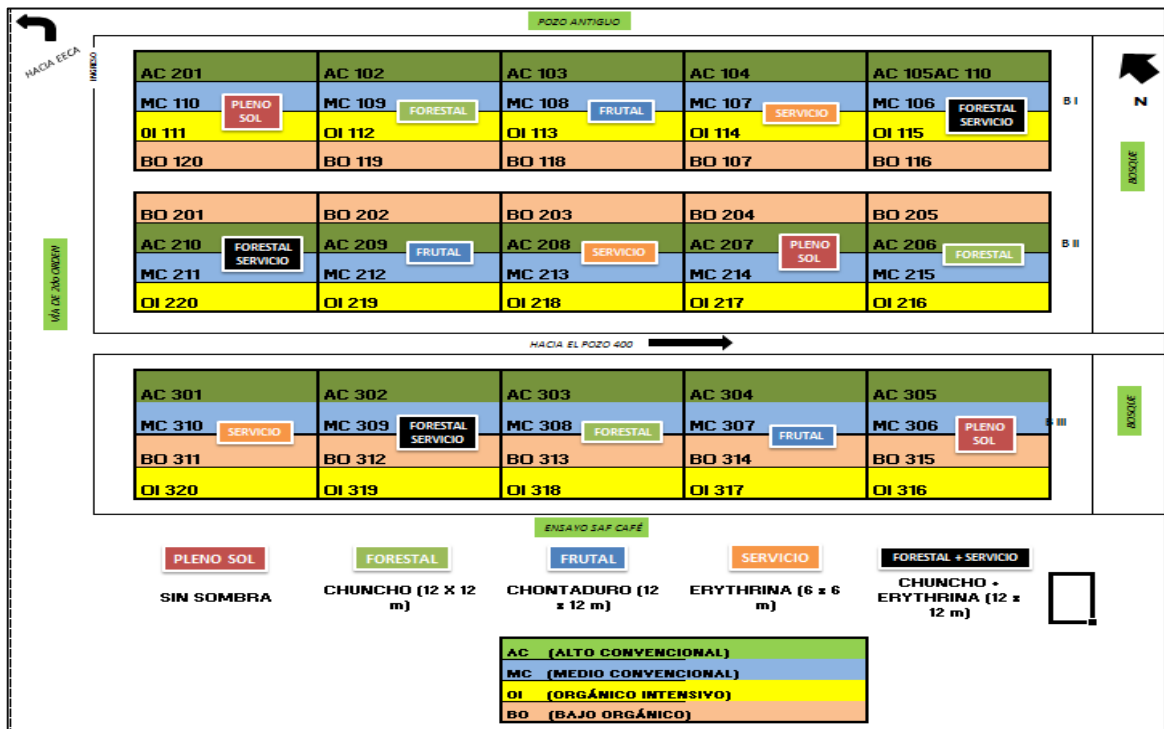
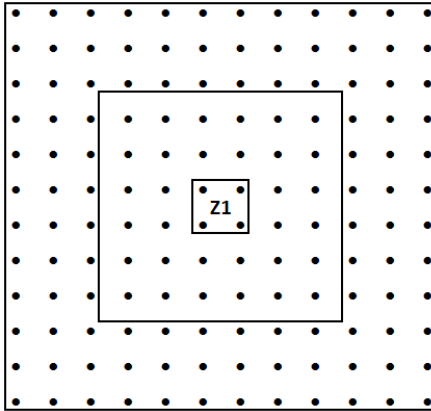


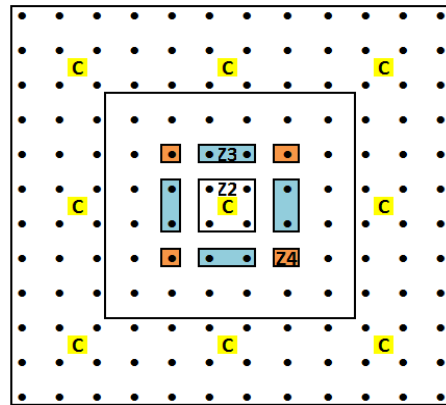
Figura 2. Diseño utilizado en el experimento “Efecto de arreglos agroforestales y niveles de manejo agronómico sobre la incidencia de Monilia en el cultivo de cacao”

3.4.4. Unidad experimental

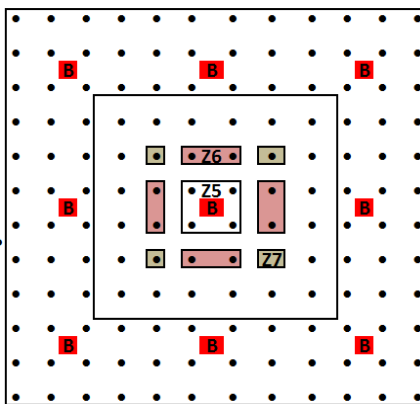
Las unidades experimentales donde se aplicaron los diferentes niveles de manejo bajo cada uno de los arreglos agroforestales propuestos, fueron parcelas de 12 x 12 árboles de cacao con un total de 144 árboles, en los que la parcela neta correspondió a 36 árboles centrales (6 x 6 árboles de cacao), de estos se seleccionarán 9 árboles al azar, tomando en cuenta que estén ubicados en todas las zonas de la parcela y que tengan competencia inter-específica perfecta; la distancia de siembra del cacao fue (3 x 3 m) con una densidad de 1 111 plantas/ha, (Figura 3).



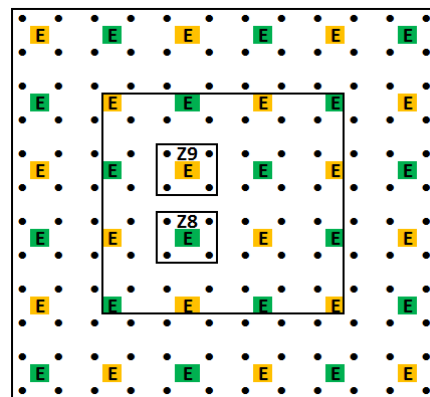
Arreglo Pleno sol



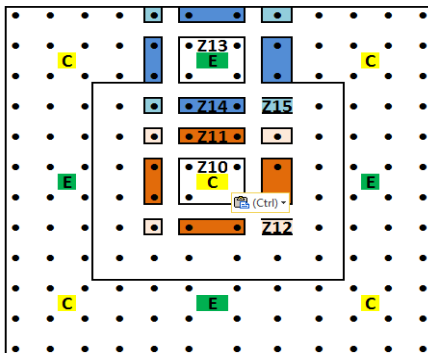
Arreglo forestal con chuncho



Arreglo frutal con chontaduro



Arreglo de servicio con *Erythrina*



Arreglo combinado chuncho + *Erythrina*

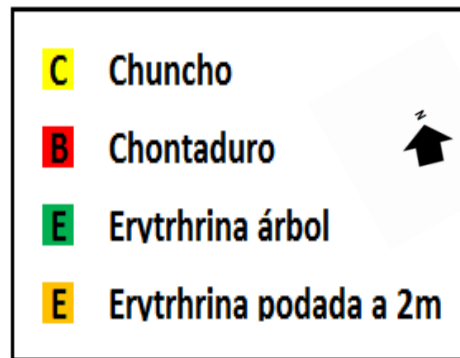


Figura 3. Unidades experimentales de los cinco arreglos agroforestales con sus respectivas zonas de evaluación del ensayo, Efectos de Arreglos agroforestales y manejos agronómicos sobre la incidencia de *Monilia* en el cultivo de cacao

3.4.5. Variables de evaluación del experimento

En las unidades experimentales se realizó la evaluación de las variables planteadas de acuerdo a los resultados esperados de cada uno de los objetivos específicos, como se indican a continuación:

3.4.5.1. Medición del porcentaje de sombra en los diferentes arreglos agroforestales de cacao.

Para determinar el porcentaje de sombra se realizó cinco mediciones (al centro y los cuatro puntos cardinales) de radiación solar en la parte terminal de las ramas y se comparó con una medición de radiación solar a plena exposición solar, se realizó una vez al año en el segundo ciclo de producción (septiembre - diciembre). La cantidad de la radiación solar global incidente se midió usando un piranómetro de células de silicio Apogee MP-200 con un sensor separado y una placa niveladora. La radiación solar incidente se midió arriba y abajo del sistema agroforestal (en las parcelas demarcadas Figura 3) en días soleados y se registró las mediciones en el período de 9h00 a 10h30, de 11h30 a 13h00 y de 14h00 a 15h30 (Piato, 2018). Los valores de la radiación global interceptada se obtuvieron de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$(Fórmula 1)$$
$$T = \frac{(Rn)}{(Rt)} \times 100$$

Donde, T: tasa de radiación interceptada (%); Rn: radiación solar incidente dentro del sistema agroforestal ($W m^{-2}$); Rt: radiación solar incidente por encima del sistema agroforestal ($W m^{-2}$) (Caron, Sgarbossa, Schwerz, Elli, Eloy, Behling, 2018)

Debido a la interferencia en la radiación solar, las especies agroforestales maderables y no maderables fueron podadas. Los criterios utilizados para la poda fueron que el 50% del dosel verde tenía que mantenerse. La poda se realizó para proporcionar mayor disponibilidad de radiación al cultivo de cacao (Caron et al., 2018; Schwerz, Medeiros, Elli, Eloy, Sgarbossa, Caron, 2018).

3.4.5.2. Determinación del efecto de diferentes arreglos agroforestales y niveles de manejo agronómico sobre la incidencia de Monilia en el cultivo de cacao

Los datos se registraron en nueve plantas tomando en cuenta que estén ubicados en todas las zonas de la parcela y que tengan competencia inter-específica perfecta, las cuales fueron marcadas para ser consecuentes en las evaluaciones, las evaluaciones se realizaron cada 15 días en los meses de enero a mayo y julio a noviembre.

- a) **Número de mazorcas sanas**, cada quince días se evaluó el número de mazorcas que no presentaron síntoma alguno de enfermedad.
- b) **Número de mazorcas enfermas**, quincenalmente se evaluó el número de mazorcas que presentaron síntomas de Monilia, como gibas, maduración prematura, puntos claros, mancha chocolate y esporulación blanca (Phillips-Mora y Cerda 2010).
- c) **Porcentaje de mazorcas enfermas**, este valor se obtuvo de la relación entre mazorcas sanas y enfermas, como se indica en la fórmula 2:

(Fórmula 2)

$$\% \text{ ME} = (n/N) \times 100$$

Dónde: % ME = porcentaje de mazorcas enfermas, n = número de frutos enfermos y N= número total de frutos (Paredes, 2016).

3.4.5.3. Valoración del rendimiento de cacao bajo diferentes arreglos agroforestales y niveles de manejo agronómico

Los datos se registraron en las nueve plantas seleccionadas de cada tratamiento, se utilizó una balanza gramera para pesar el cacao, el mismo que se expresó en gramos, se evaluó el:

- a) **Rendimiento cacao fresco**, quincenalmente; de todas las mazorcas cosechados se procedió a extraer los granos presentes dentro de cada uno y se determinó su peso en

gramos, la cosecha se realizó cada 15 días en los meses de enero a mayo y de julio a noviembre.

b) Rendimiento cacao seco, para determinar el peso del cacao seco en gramos se multiplicó la producción de cacao fresco de cada tratamiento por el coeficiente de corrección igual a 0.40.

3.4.6. Manejo específico del experimento

El experimento planteado se realizó en un ensayo agroforestal de cacao establecido el 21 de noviembre de 2015 en la Estación Experimental Central de la Amazonia del INIAP. para este estudio se utilizaron solo los datos recopilados de las variables incidencia de plagas y producción del año 2019.

Para medir la radiación solar y calcular el porcentaje de sombra de los arreglos agroforestales del ensayo se utilizó un piranómetro de células de silicio Apogee MP-200 con un sensor separado y una placa niveladora. La radiación solar incidente se midió arriba y abajo del sistema agroforestal en las parcelas señaladas en los días soleados, estas mediciones se registraron a las 9h00 a 10h30, de 11h30 a 13h00 y de 14h00 a 15h30. Esta actividad se realizó una vez al año (Piato, 2018).

Los manejos agronómicos que se realizaron estuvieron en función de los tratamientos planteados, por lo tanto actividades como: poda de especies arbóreas donde se eliminó el 60% de la cobertura del árbol, remoción quincenal de mazorcas enfermas, deshije bimensual y poda de producción anual del cacao se efectuaron en todos los manejos agronómicos (AC, MC, OI y BO). Además, de estas actividades se desarrollaron otras de acuerdo a cada manejo agronómico, como se indico en el acápite 3.4.1.

3.4.7. Análisis estadístico

Los análisis de varianza se hicieron usando *Strip plot*. La diferencia entre medias de los tratamientos fue estimada con la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5%. El modelo fue corrido con el paquete estadístico R (Mendiburo, 2017).

3.5. RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES

El estudio se desarrolló con la colaboración de los técnicos y trabajadores del Departamento de Protección Vegetal de la Estación Experimental Central Amazónica del INIAP, además se tuvo el acompañamiento técnico del director de tesis y docentes de la Universidad Estatal Amazónica.

En esta investigación se utilizaron herramientas menores (machetes, tijeras de podar, escaleras, balanza, baldes y serruchos de podar), equipos (motobombas, podadoras de altura y piranómetro) e insumos agrícolas (fertilizantes, abonos, cal, insecticidas, fungicidas y herbicidas). También, se utilizó materiales de oficina (lápiz, tablero apoyamanos, etiquetas, marcadores, cinta de embalaje), equipos informáticos (cámara térmica, cámara fotográfica y computador) y vehículo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. MEDICIÓN DEL PORCENTAJE DE SOMBRA DE DIFERENTES ARREGLOS AGROFORESTALES DE CACAO

El porcentaje de sombra varió de 22 a 36% en los diferentes arreglos forestales, además se encontró diferencias significativas ($p < 0,0001$) (Anexo 1 y 6). La sombra más baja se obtuvo con el arreglo forestal (Chuncho) y el arreglo forestal (Chuncho + *Erythrina*) y la mayor sombra con los arreglos frutal (Chontaduro) y servicio (*Erythrina*) (Figura 4)

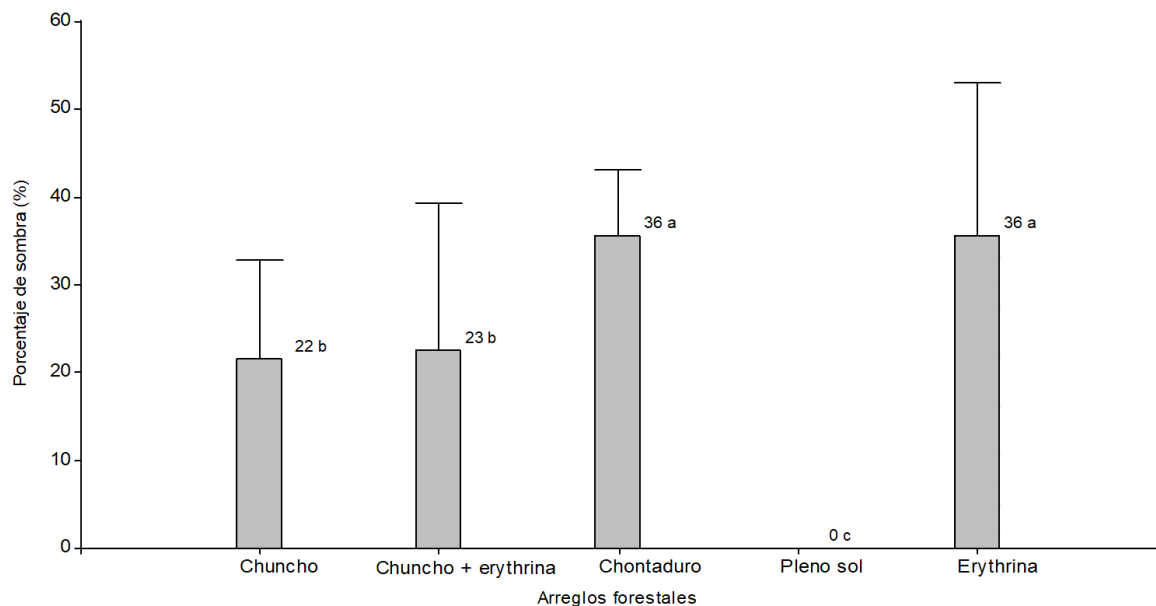


Figura 4. Efecto principal para el porcentaje de sombra en cinco sistemas agroforestales de cacao, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador, 2019

Este porcentaje de sombra se encuentra dentro de los rangos reportados por Paredes y Subía (2018) y Paredes, Pico, Caicedo, Lima, Chimbo y Monteros-Altamirano (2019), quienes mencionan en porcentaje de sombra en plantaciones de cacao en la provincia de Napo, Sucumbíos y Orellana varía del 3 al 76%.

Además, el porcentaje de sombra obtenido en este estudio es similar a lo recomendado por Hoogendijk (2012), quien manifiesta que para el cacao el porcentaje de sombra ideal debe ser del 30 al 40% y, para lograr este porcentaje se deben seleccionar árboles de copa ligera y ancha como las leguminosas (*Erythrina* e *Inga*) especies que proporcionan un sombreado del 50 al 70% en plantaciones jóvenes y del 25 al 35% en plantaciones adultas (Álvarez-Carrillo et al., 2012).

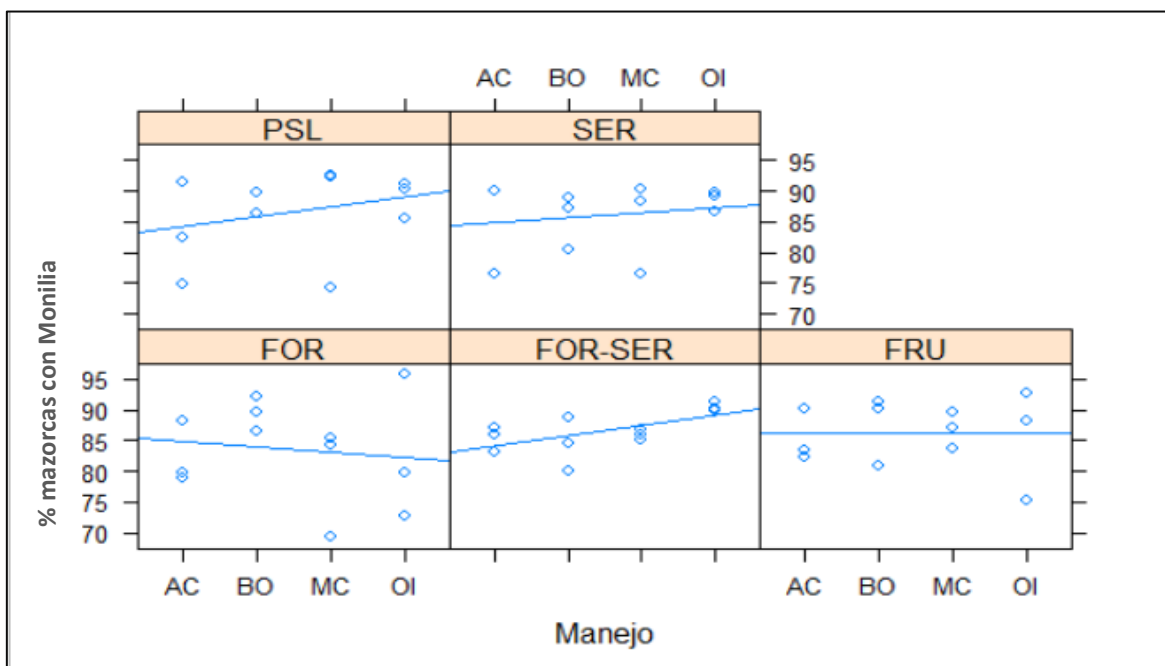
Estos resultados confirman los hallazgos encontrados en otras investigaciones, que muestran que la sombra en los sistemas agroforestales de cacao se caracterizan como sistemas de sombra media y baja con una cobertura de dosel del 30 y 10%, respectivamente, y coincide con la clasificación de los sistemas de sombra media-alta y baja identificados en África occidental por Gockowski et al. (2007).

Además, el porcentaje de sombra en los diferentes sistemas agroforestales estudiados, concuerdan con los requerimientos de Rainforest Alliance, que manifiesta que para lograr una producción sostenible de cacao se requiere un sistema con sombra media (Abdulai et al., 2018). Esto ha permitido que los proyectos de certificación de Rainforest Alliance den incentivos a los agricultores por mantener árboles de sombra que permiten mejorar la diversidad biológica del cultivo de cacao (Gockowski et al., 2007).

Igualmente, en la presente investigación se determinó que la sombra en los sistemas agroforestales tuvo diferentes efectos en la producción de cacao e incidencia de *Monilia*, resultados que variarían en función de la región donde se cultive cacao, esto concuerda con lo mencionado por Beer et al. (1998), que los sistemas de sombra media tienen un efecto positivo en los rendimientos de cacao en las regiones secas y medias, pero tienen un efecto negativo en la región húmeda; por lo tanto, para realizar las recomendaciones del nivel de sombra para el cacao se debe considerar las condiciones climáticas específicas de cada región.

4.2. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE DIFERENTES ARREGLO AGROFORESTAL Y NIVELES DE MANEJO AGRONÓMICO SOBRE LA INCIDENCIA DE MONILIA EN EL CULTIVO DE CACAO

El porcentaje de mazorcas con Monilia en el tratamiento a pleno sol, en el sistema agroforestal con *Erythrina* y en el sistema chuncho más *Erythrina* fue creciente, en cambio en el sistema agroforestal con chuncho se observó que la incidencia fue decreciente, menor incidencia se encontró en los manejos altos convencionales y mayor en el orgánico intensivo, en el sistema con chontaduro el porcentaje de mazorcas con Monilia fue constante con todos los manejos agronómicos (Figura 5)



FOR: arreglo con chuncho; FOR-SER: arreglo chuncho más Erythrina; FRU: arreglo con chontaduro; PSL: pleno sol; SER: arreglo con Erythrina; AC: alto convencional; MC: medio convencional; OI: orgánico intensivo; BO: bajo orgánico

Figura 5. Efectos de la interacción para el porcentaje de mazorcas de cacao con Monilia en cinco sistemas agroforestales y cuatro manejos agronómicos, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador, 2019

En el arreglo agroforestal con chuncho (FOR) con manejo orgánico intensivo (OI) se obtuvo la menor incidencia de *Monilia* (48.8%) y en el arreglo agroforestal chuncho más *Erythrina* (FOR-SER) con mismo manejo la incidencia fue mayor (97.8%), también, incidencias elevadas se encontró en el cacao a pleno sol (PSL) (97.4%) y el arreglo con chontaduro (FRU) (88.9%), estos últimos bajo las mismas condiciones del manejo convencional (MC), en cambio en los otros tratamientos se reportan incidencias entre 50 y 79% (Figura 6). Además, se encontró diferencias significativas ($p= 0.0018$) para la interacción manejo agronómico (Mann) y arreglo forestal (Arr) (Anexo 2 y 7).

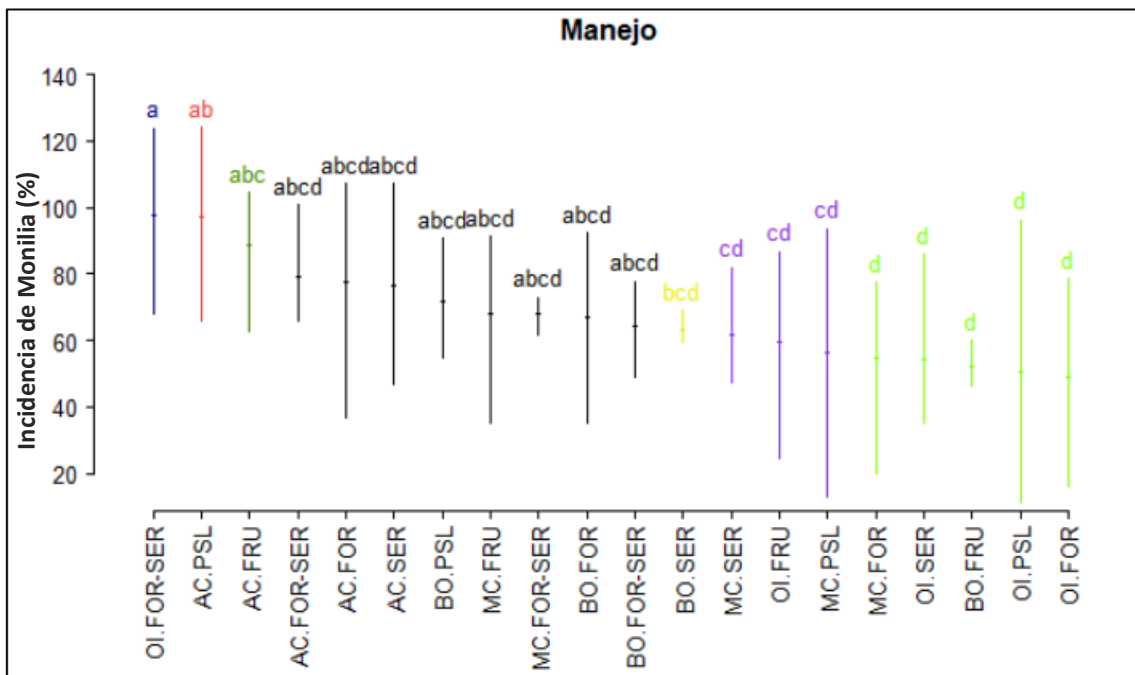


Figura 6. Medias en porcentaje para la incidencia de mazorcas de cacao con *Monilia* determinados por los factores arreglos agroforestales y manejos agronómicos, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador, 2019. Las medias seguidas de la misma letra no son estadísticamente diferentes ($\alpha = 0.05$)

La incidencia de *Monilia* fue la principal causa de pérdida de mazorcas sanas en el estudio a largo plazo, del 48 al 98%, estos resultados no difieren a los encontrados en parcelas de cacao con manejo tradicional – MT (control mecánico de maleza, eliminación mecánica de renuevos, control químico de *Phytophthora* con sulfato de cobre en época de lluvias y eliminación quincenal de frutos enfermos) donde la incidencia de *Monilia* fue del 75 al

80.7% en México, del 70% en Costa Rica y 80% en Panamá (Ortíz-García, Torres-de-la-Cruz y Hernández-Mateo, 2015). Pero si difieren a los reportados por Pico et al. (2019) que mencionan que la mayor incidencia de *Monilia* se encontró en los manejos agronómicos convencionales con y sin fungicida, 48.72 y 36.50%, respectivamente, y la menor incidencia en el manejo agronómico orgánico (31.92%).

Además, los resultados encontrados, concuerdan con otros estudios, que muestran que las enfermedades fúngicas son una causa importante de la pérdida de cacao; se estima que el 40% de la producción anual de cacao se pierde por algunas de las enfermedades fúngicas más importantes, como *Monilia*, mazorca negra y escoba de bruja (Krauss y Soberanis, 2002; Phillips-Mora y Wilkinson, 2007). Por otra parte, Sánchez-Mora y Garcés (2012) mencionan, que esta enfermedad puede causar pérdidas superiores al 64% de la cosecha en plantaciones con nivel medio y bajo de tecnología.

Sin embargo, en esta investigación se esperaba que la incidencia de *Monilia* sea igual o similar al 16%, incidencia que se logró cuando se aplicaron todas las prácticas de manejo integrado del cultivo - MIC (prácticas establecidas en el manejo tradicional, fertilización foliar y remoción de frutos, mantenimiento drenajes, control de arvenses, poda, eliminación total de frutos en época de baja producción, saneamiento de frutos eliminados, control químico) (Ortíz-García et al., 2015).

Una explicación para este alta incidencia podría ser el retraso en las prácticas de gestión cultural en toda la plantación como la poda de los árboles de cacao y árboles agroforestales (dos veces al año), manejo frecuente de malezas, nutrición, cosecha y eliminación de mazorcas cada 15 días; estudios previos muestran que si se realiza quincenalmente la remoción de mazorcas solo el 18% de estas se verían afectados debido a que se evitaría que el hongo llegue a la fase de esporulación (Armengot et al. 2019; Phillips-Mora y Wilkinson 2007), ya que una mazorca enferma puede llegar a producir más de 7 mil millones de esporas que serán ampliamente distribuidas por el viento (Phillips-Mora & Wilkinson, 2007). Además, Armengot et al. (2019) menciona que *Monilia* es más destructiva y más difícil de manejar que mazorca negra y escoba de bruja.

En general, los resultados muestran que los sistemas agroforestales y los monocultivos con manejo convencional y orgánico tienen incidencias similares de *Monilia*. Del mismo modo, Kieck et al. (2016) indicaron que no existe ninguna relación entre la diversidad del sistema y el porcentaje de mazorcas poco saludables. Así mismo, no se encontró una correlación directa entre la incidencia de *Monilia* y la sombra, esto concuerda con lo descrito por Gidoín et al. (2014), pero contrario a la creencia de los agricultores, que mencionan que el cacao bajo sistemas agroforestales es más propenso al ataque de enfermedades fúngicas. Sin embargo, se necesitaría un mejor conocimiento del efecto de las especies agroforestales en las comunidades fúngicas.

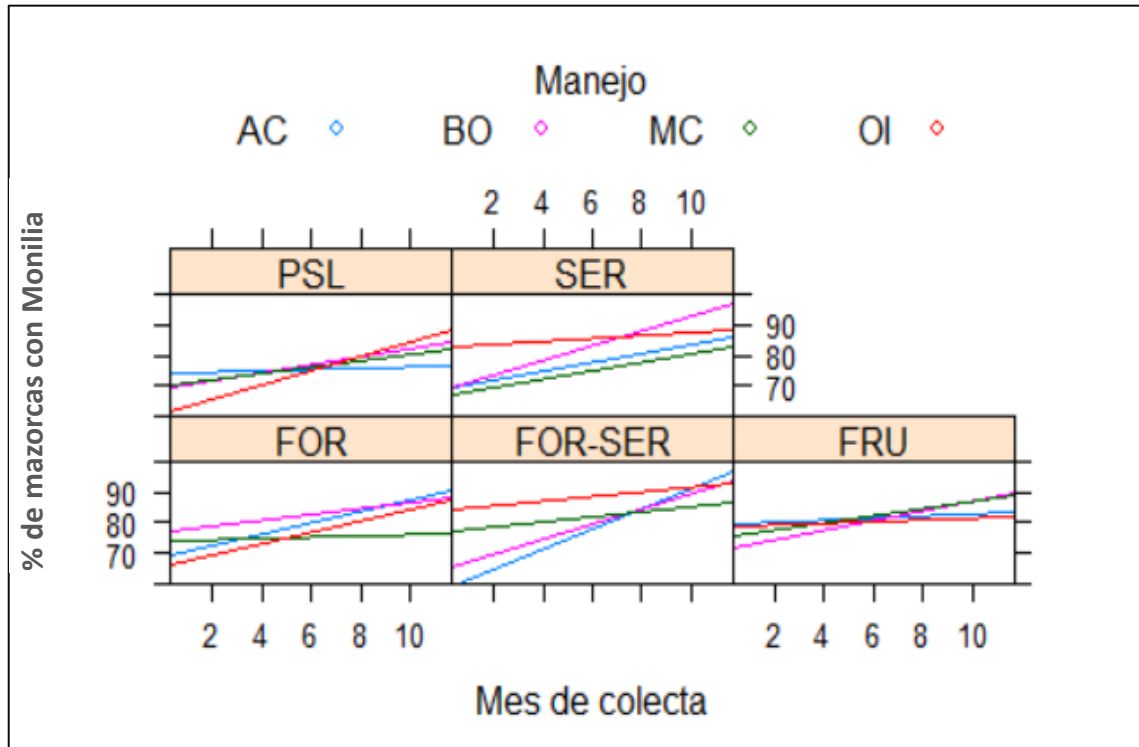
Por otro lado, hay controversias sobre el papel que cumple la sombra en la incidencia de las principales enfermedades fúngicas en cacao. Por ejemplo, se ha mencionado que la incidencia de mazorca negra disminuye a niveles de sombra altos, moderados y bajos, y se han publicado resultados contradictorios para la *Monilia*, que indican que tanto la sombra excesiva como la falta de sombra provocan una mayor incidencia (Krauss & Soberanis, 2002; Armengot et al., 2019).

El microclima, también juega un papel muy importante en los sistemas agroforestales porque es diferente al del monocultivo, por lo que se podría estimular a las poblaciones de antagonistas naturales o alentar a la esporulación de hongos y favorecer la autoinfección, por esta razón, la estructura espacial de los árboles de sombra y la densidad de los árboles de cacao en los sistemas agroforestales, juegan un papel importante en la regulación de la *Monilia* (Gidoín et al., 2014).

Kieck et al. (2016) mencionan, que en estudios anteriores se ha demostrado que hay un efecto negativo de los sistemas agroforestales en el rendimiento del cacao a lo largo de un gradiente de sombra, lo que indicaría que las especies compiten por la luz. También menciona, que aún no se ha estudiado si los árboles de sombra pueden aumentar la vida productiva de las plantaciones de cacao al reducir el envejecimiento prematuro, en contraste con los monocultivos a pleno sol.

Por otra parte, la incidencia de *Monilia* se incrementó en la segunda mitad del año (Figura 7) provocando más mazorcas enfermas en los meses de julio a septiembre. Se encontró

diferencias significativas entre los meses que se evaluó *Monilia* ($p < 0,0001$) (Anexo 3). Similares resultados se encontró en Costa Rica, donde la mayor cantidad de frutos enfermos se intensificaron en la segunda mitad del año, especialmente en el mes de septiembre (Sánchez-Mora et al., 2014).



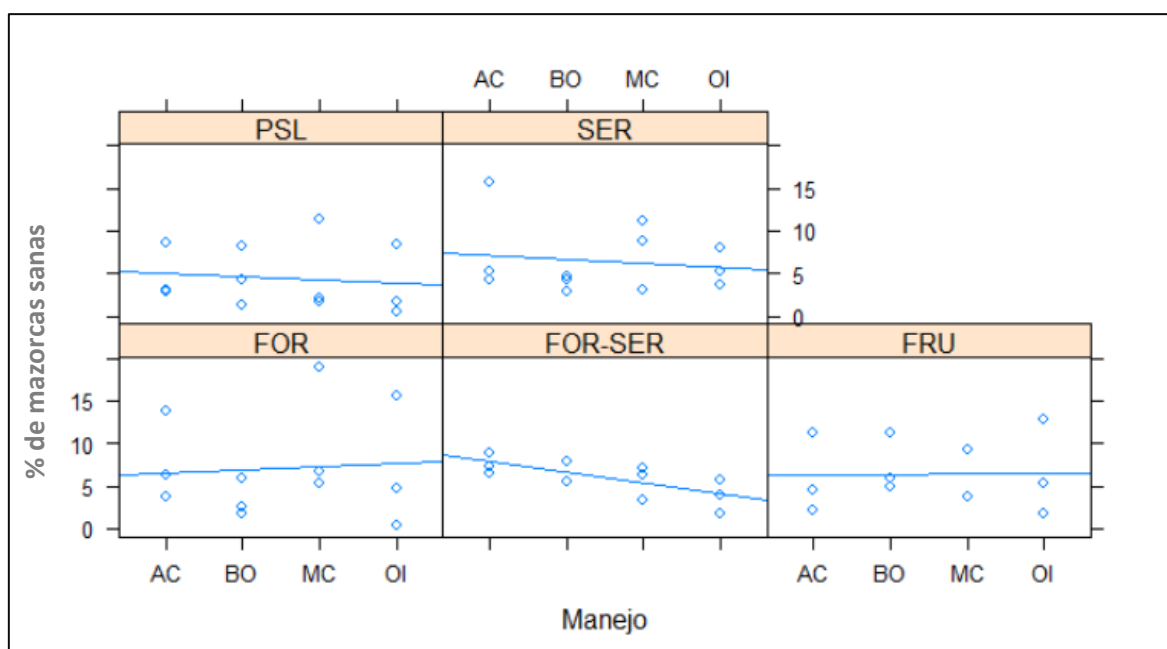
FOR: arreglo con chuncho; FOR-SER: arreglo chuncho más Erythrina; FRU: arreglo con chontaduro; PSL: pleno sol; SER: arreglo con Erythrina; AC: alto convencional; MC: medio convencional; OI: orgánico intensivo; BO: bajo orgánico

Figura 7. Efectos de la interacción mensual para el porcentaje de mazorcas de cacao con *Monilia* en cinco sistemas agroforestales y cuatro manejos agronómicos, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador, 2019

4.3. EFECTO DE LOS ARREGLOS AGROFORESTALES Y NIVELES DE MANEJO AGRONÓMICO SOBRE LOS RENDIMIENTOS DE CACAO (*T. cacao*)

4.3.1. Porcentaje de mazorcas sanas

El porcentaje de mazorcas sanas fue decreciente en los arreglos agroforestales con *Erythrina* (SER), chuncho (FOR) más *Erythrina* (SER) y a pleno sol (PSL), creciente en el arreglo con chuncho (FOR) y constante cuando en el cacao se encuentra asociado con chontaduro (FRU). La mayor cantidad de mazorcas sanas se obtuvo con el manejo agronómico alto convencional (AC) y la menor cantidad con el manejo orgánico intensivo (OI) (Figura 8)

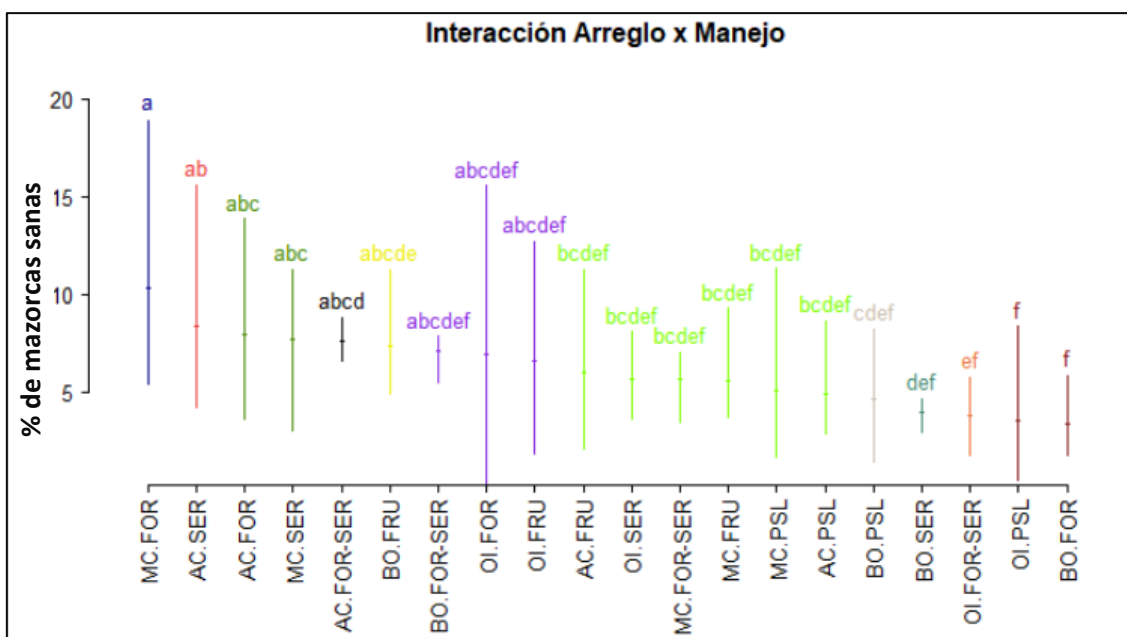


FOR: arreglo con chuncho; FOR-SER: arreglo chuncho más *Erythrina*; FRU: arreglo con chontaduro; PSL: pleno sol; SER: arreglo con *Erythrina*; AC: alto convencional; MC: medio convencional; OI: orgánico intensivo; BO: bajo orgánico

Figura 8. Efectos de la interacción para el porcentaje de mazorcas de cacao sanas determinado por los factores arreglo agroforestal y manejo agronómico, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador, 2019

Los factores manejo agronómico (Mann) y arreglo agroforestal (Arr) presentaron una influencia significativa para la interacción ($p=0.099$) (Anexo 4). El porcentaje de mazorcas sanas de la cantidad total de mazorcas cosechadas fue bajo, fluctuó entre 3.38 (FOR-BO) a 10.28% (FOR-MC) (Figura 9).

Por otra parte, la mayor producción de mazorcas sanas de cacao se obtuvo entre los meses de febrero a mayo. Estos resultados son diferentes a los obtenidos en el trópico seco húmedo, donde la mayor producción de mazorcas sanas se alcanza en los meses de octubre y marzo (Sánchez-Mora et al., 2014). Por otra parte, el número de mazorcas sanas no siempre es un indicador para lograr rendimientos elevados. Esto concuerda con lo mencionado por Carvalho et al. (2001), quienes manifiestan que a pesar de la importancia de la producción de mazorcas, el peso de almendra es lo que más le interesa al agricultor.

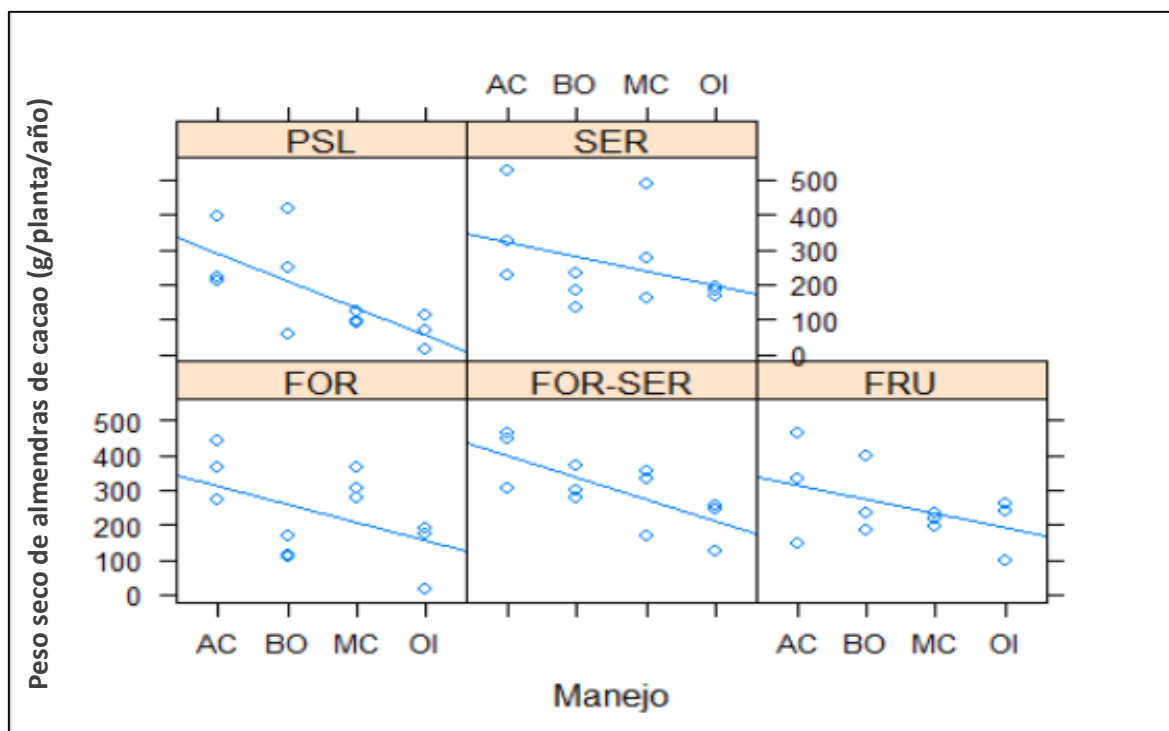


FOR: arreglo con chuncho; FOR-SER: arreglo chuncho más Erythrina; FRU: arreglo con chontaduro; PSL: pleno sol; SER: arreglo con Erythrina; AC: alto convencional; MC: medio convencional; OI: orgánico intensivo; BO: bajo orgánico

Figura 9. Medias para el porcentaje de mazorcas de cacao sanas determinados por la interacción arreglo forestal y manejo agronómico, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador, 2019. Las medias seguidas de la misma letra no son estadísticamente diferentes (alfa = 0.05)

4.3.2. Peso seco de almendras de cacao

La producción de cacao seco en el año 2019 en los sistemas agroforestales con *Erythrina* (SER), chuncho (FOR), chuncho más *Erythrina* (FOR-SER) y frutal (FRU) y, en el cultivo a pleno sol, fue decreciente; el peso más alto se obtuvo con el manejo alto convencional (AC) y el más bajo con el orgánico intensivo (OI) (Figura 10).

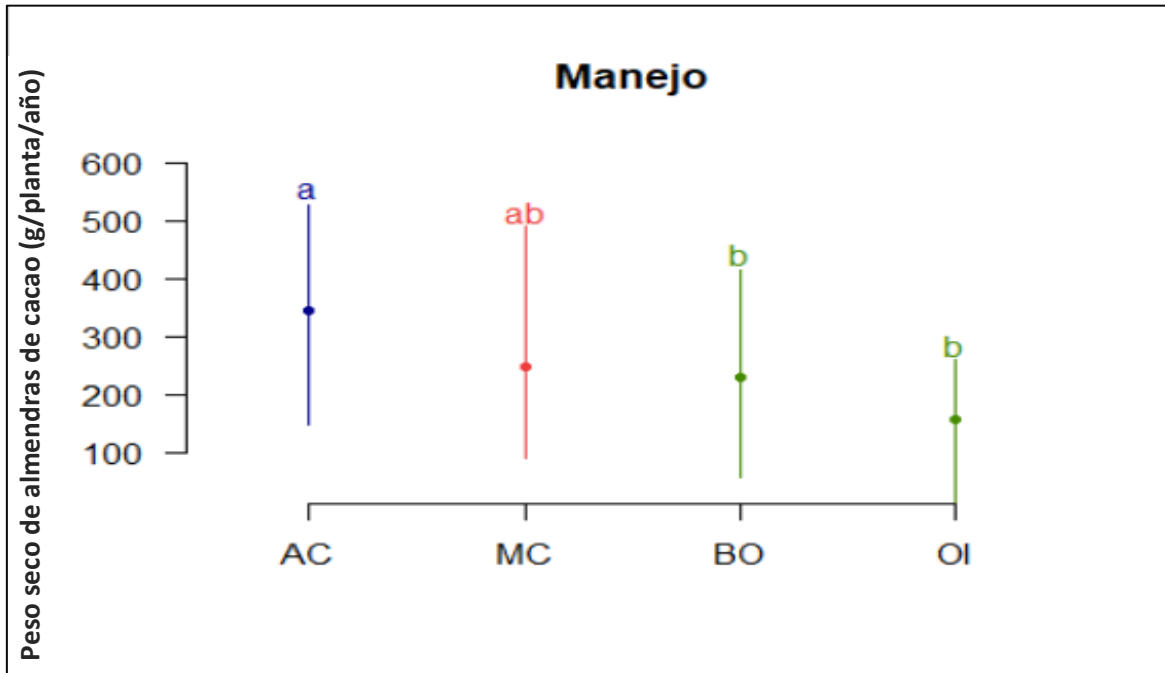


FOR: arreglo con chuncho; FOR-SER: arreglo chuncho más *Erythrina*; FRU: arreglo con chontaduro; PSL: pleno sol; SER: arreglo con *Erythrina*; AC: alto convencional; MC: medio convencional; OI: orgánico intensivo; BO: bajo orgánico.

Figura 10. Efectos principales para el peso seco de almendras de cacao en g planta⁻¹año⁻¹ determinado por los factores arreglo forestal y manejo agronómico, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador, 2019

El factor manejo agronómico tuvo una influencia significativa para esta variable ($p=0.00004$) (Anexo 5 y 8), los manejos orgánicos muestran una producción más baja en comparación con sus homólogos convencionales. La producción media de cacao en grano seco varió de 156.18 g planta⁻¹ en el manejo orgánico intensivo (OI) a 343.93 g planta⁻¹ en

el manejo alto convencional (AC). Con el manejo alto convencional se obtuvo producciones significativamente más altas que los demás manejos agronómicos (+14%), seguido de manejo medio convencional (MC), que a su vez logró producciones significativamente más altas que los dos manejos orgánicos (+5.5%) (Figura 11).



AC: alto convencional; MC: medio convencional; OI: orgánico intensivo; BO: bajo orgánico

Figura 11. Medias para el peso seco de almendras de cacao en g planta⁻¹año⁻¹ determinados por el factor manejo agronómico, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador, 2019. Las medias seguidas de la misma letra no son estadísticamente diferentes (alfa = 0.05)

Estos resultados confirman los hallazgos encontrados en otras investigaciones, que muestran que el comportamiento de la variable cacao en grano seco obtenidos con los diferentes manejos agronómicos coinciden con los resultados de producción reportados en investigaciones realizadas en Alto Beni, Bolivia, en donde la producción de cacao en grano seco al tercer año fue significativamente mayor en un monocultivo con manejo convencional, con 540 g planta⁻¹ (Andrés et al., 2016). En Colombia, también la mejor producción se obtuvo en sistemas agroforestales con manejo convencional, 198.38 a

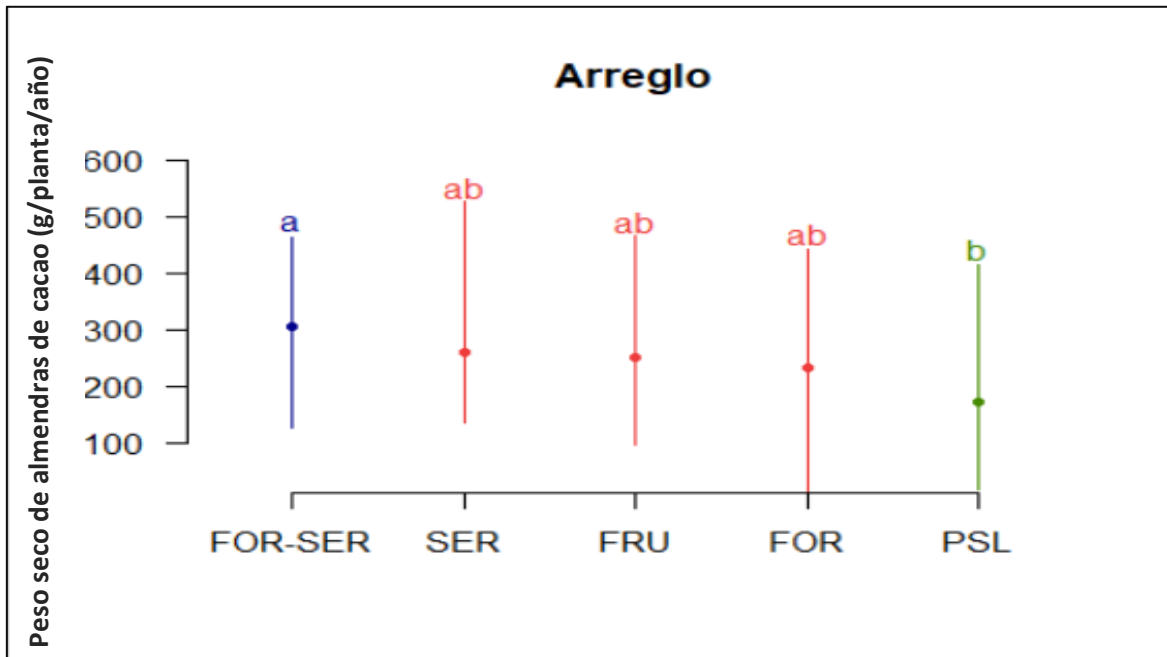
284.44 g planta⁻¹ por año y la más baja con manejo orgánico ,155.63 a 194.38 g planta⁻¹ por año (Álvarez-Carrillo et al., 2015).

Sin embargo, en otras investigaciones cuando se comparó los monocultivos con los sistemas agroforestales con manejo orgánico y convencional no hubo diferencias en los rendimientos anuales, 135 y 144 g planta⁻¹ (Armengot, Barbieri, Andrés, Milz y Schneider, 2017).

Por otro lado, en Bolivia y Ecuador (Amazonía) en plantaciones de 10 a 15 años de edad la producción anual de cacao en grano seco más alto se obtuvo con sistemas agroforestales dinámicos con manejo orgánico, con 380.73 a 459 y 1 584.83 g planta⁻¹, respectivamente, y la más baja producción con los manejos convencionales en monocultivos y sistemas forestal (315 y 1 105 a 1 548.43 g planta⁻¹, respectivamente) (Jacobi et al., 2013; Pico, Paredes, Subía, Suárez, Caicedo, Fernández, 2019). Así mismo, en plantaciones ubicadas en el trópico seco húmedo (Ecuador) la producción promedio de cacao en sistemas agroforestales con manejo orgánico fue de 253.83 g planta⁻¹ por año (Ferrín, 2019).

En México, en un estudio al evaluar sistemas con manejo tradicional - MT (control mecánico de maleza, eliminación mecánica de renuevos, control químico de *Phytophthora* con sulfato de cobre en época de lluvias y eliminación quincenal de frutos enfermos) y con manejo integrado del cultivo de cacao - MIC (prácticas establecidas en el manejo tradicional, fertilización foliar y remoción de frutos, mantenimiento drenajes, control de arvenses, poda, eliminación total de frutos en época de baja producción, saneamiento de frutos eliminados, control químico), la producción de cacao en grano seco fue de 418 y 1380 g planta⁻¹, respectivamente (Ortíz-García et al., 2015).

Por otro lado, la producción de cacao en grano seco difirió entre los sistemas agroforestales (p=0.06517) (Anexo 5). El sistema agroforestal chuncho más *Erythrina* (FOR-SER) produjo más cacao en grano seco (304.33 g planta⁻¹) que los sistemas agroforestales con una sola especie (232.91 a 259.04 g planta⁻¹), y estos últimos más que el monocultivo (PSL) 171.69 g planta⁻¹ (Figura 12).



FOR: arreglo con chuncho; FOR-SER: arreglo chuncho más Erythrina; FRU: arreglo con chontaduro; PSL: pleno sol; SER: arreglo con Erythrina

Figura 12. Medias para el peso seco de almendras de cacao en $\text{g planta}^{-1}\text{año}^{-1}$ determinados por el factor arreglo forestal, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador, 2019. Las medias seguidas de la misma letra no son estadísticamente diferentes (alfa = 0.05)

La producción de grano seco de cacao es similar a las reportadas Andrés et al. (2016) y Cerda et al. (2014) para cacao cultivado bajo sistemas agroforestales dinámicos, ellos reportan producciones anuales de 90, 246.62, 489.26, 209.13, 755.35 y 280.55 g planta^{-1} , en Bolivia, Costa Rica, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá, respectivamente. Pero superiores a las producciones obtenidas en la Amazonía ecuatoriana en sistemas agroforestales tipo chackra (sistema agroforestal tradicional y diverso, que tiene el propósito de satisfacer las necesidades alimenticias y generar ingresos) de 70.21 a 126.82 g planta^{-1} (Arévalo-Vizcaino et al., 2013), e inferiores a las obtenidas en La Joya de los Sachas, en sistemas agroforestales con manejo convencional, 871 g planta^{-1} (Viteri & Ramos-Martín, 2012). En cambio, Somarriba & Trujillo (2005) y Sánchez-Mora et al., (2014) mencionan que los árboles de cacao rinden mejor cuando se cultivan a pleno sol, con 331.23 g planta^{-1} (Alto Beni) y 495.04 g planta^{-1} (Ecuador), respectivamente.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La sombra en los sistemas agroforestales de cacao en este estudio se caracterizaron como sistemas agroforestales de sombra media, con una cobertura de dosel del 22 al 36%, porcentaje que es recomendado en plantaciones de cacao para lograr producciones sostenibles y mejorar la diversidad biológica del cultivo.
- El porcentaje de frutos con *Monilia* en todos los tratamientos estudiados fueron superiores al 48.8%, es decir el comportamiento de este patógeno se dio independientemente del sistema agroforestal en el que se encontraba y el manejo agronómico que se realizaba en el cultivo.
- El rendimiento en los sistemas agroforestales mostraron diferencias entre sí, sin embargo en estos sistemas las producciones fueron más altas que el cultivo a pleno sol (+7.4%). Además, con los manejos alto y medio convencional se logró obtener un 11% más producción que con los manejos orgánicos intensivo y bajo.

5.2. RECOMENDACIONES

- Continuar manejando adecuadamente la sombra en los diferentes arreglos agroforestales de cacao con la finalidad de proveerle al cultivo el microclima ideal para su buen desarrollo, producción y reducción del ataque de plagas y enfermedades.
- En estos ensayos a largo plazo es importante establecer estudios específicos para determinar el efecto de los sistemas agroforestales sobre variables meteorológicas y el efecto de la sombra sobre la epidemiología del hongo causante de Monilia.
- La alta humedad relativa, característica de la Región Amazónica Ecuatoriana, parece ser el factor climático más influyente en el desarrollo de Monilia. Sin embargo, es necesario realizar estudios experimentales con tiempos de evaluación más robustos, en condiciones de época lluviosa y seca, para estudiar la dinámica epidemiológica más precisa de esta enfermedad, teniendo en cuenta las características propias de la enfermedad: hospedante susceptible, patógeno virulento y ambiente propicio.
- Finalmente, la brecha de la producción entre el monocultivo y los sistemas agroforestales en este estudio, pueden conducir a que los productores juzguen a estos sistemas de producción alternativos, debido a que no se tiene la certeza de que la producción va a incrementar y la incidencia de plagas va a disminuir con manejos agronómicos orgánicos versus a su homólogos convencionales, por lo tanto, si se desea alcanzar una mayor productividad en estos sistemas de producción, se recomienda realizar un monitoreo constante de la sombra, de la incidencia de plagas y del contenido de nutrientes en el suelo, debido principalmente a que el aporte de nutrientes en los monocultivos es mayor que el de los sistemas agroforestales.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abdulai, I., Jassogne, L., Graefe, S., Asare, R., Asten, P. V., Läderach, P., & Vaast, P. (2018). Characterization of cocoa production, income diversification and shade tree management along a climate gradient in Ghana. *PLOS ONE*, 13(4), 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195777>.
- Altieri, M., & Nicholls. (2011). El potencial agroecológico de los sistemas agroforestales en América Latina. *Revista Agroecológica Leisa*, 27(2), 32-35.
- Álvarez-Carrillo, F., Rojas-Molina, J., y Suarez-Salazar, J. (2012). Simulación de arreglos agroforestales de cacao como una estrategia de diagnóstico y planificación para productores. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(2), 145-150.
- Álvarez-Carrillo, F., Rojas-Molina, J., y Suarez-Salazar, J. (2015). Contribución de esquemas de fertilización orgánica y convencional al crecimiento y producción de *Theobroma cacao* L. bajo arreglo agroforestal en Rivera (Huila, Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(2), 307-314.
- Almeida, Alex-Alan F. de, & Valle, Raúl R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 425-448. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400011>.
- Aime MC., & Phillips-Mora W. (2005). The causal agents of witches' broom and frosty pod rot of cocoa (chocolate, *Theobroma cacao*) form a new lineage of Marasmiaceae. *Mycologia* 97(5), 1012–22.
- Amores, F., Agama, J., Suárez, C., Quiroz, J., y Motato, N. (2009). EET 575 y EET 576 nuevos clones de cacao nacional para la zona central de Manabí. *Boletín divulgativo N 346*. Estación Experimental Tropical “Pichilingue”. Quevedo, Ecuador. 28

- Andrés, C., Comoé, H., Beerli, A., Schneider, M., Rist, S., & Jacobi, J. (2016). Cocoa in Monoculture and Dynamic Agroforestry. *Sustainable Agriculture Reviews*, 19, 121-153. https://doi.org/DOI 10.1007/978-3-319-26777-7_3
- Armengot, L., Barbieri, P., Andres, C., Milz, J. & Schneider1, M. (2017). Comparing productivity and profitability of agroforests and monocultures in Bolivia. La Paz, Bolivia.
- Armengot, L., Ferrari, L., Milz, J., Velásquez, F., Pierre, H., & Schneider, M. (2019). Cacao agroforestry systems do not increase pest and disease incidence compared with monocultures under good cultural management practices. *Crop Protection*, 130, 1-9. doi: 10.1016/j.cropro.2019.105047
- Arévalo-Vizcaino, V., Vera-Vélez, R., & Grijalva-Olmedo, J. (2013). Mejoramiento de chakras, una alternativa de Sistema Integrado para la Gestión Sostenible de Bosques en comunidades nativas de la Amazonía Ecuatoriana. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/320944642_Mejoramiento_de_chakras_u_na_alternativa_de_Sistema_Integrado_para_la_Gestion_Sostenible_de_Bosques_en_comunidades_nativas_de_la_Amazonia_Ecuatoriana
- Arévalo-Gardini, E., Canto, M., Alegre, J., Loli, O., Julca, A. & Baligar, V. (2017). Influence of Agroforestry Systems with Cacao on Soil Properties (Physical, Chemical and Microbiological) in Peruvian Amazon. Tarapoto, Peru.
- Ayala, M. (2008). *Manejo integrado de Moniliasis (Moniliophthora roreri) en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) mediante el uso de fungicidas, combinado con labores culturales* (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Batista, L. (2009). *Guía Técnica el Cultivo de Cacao en la República Dominicana*. CEDAF. Santo Domingo, República Dominicana. 250 pp.
- Bailey, B., Crozier, J., Sicher, R., Strem, M., Melnick, R., Carazzolle, M., Maximova, S. (2013). Dynamic changes in pod and fungal physiology associated with the shift

from biotrophy to necrotrophy during the infection of *Theobroma cacao* by *Moniliophthora roreri*. *Physiological and Molecular Phytopathology*, 81, 84–96.

- Bailey NW., Marie-Orleach L., & MooreAJ. (2017). Indirect genetic effects in behavioural ecology: does behaviour play a special role in evolution? *Behav Eco*. doi:10.1093/beheco/arx127.
- Beer, J., Muschler, R., Kass, D., & Somarriba, E. (1998). Shade management in coffee and cacao plantations. En P. K. R. Nair & C. R. Latt (Eds.), *Directions in Tropical Agroforestry Research: Adapted from selected papers presented to a symposium on Tropical Agroforestry organized in connection with the annual meetings of the American Society of Agronomy, 5 November 1996, Indianapolis, Indiana, USA* (pp. 139-164). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9008-2_6
- Cabrera, J., Muñoz, H., y Vélez, J. (2014). Evaluación de algunas propiedades químicas del suelo en un arreglo agroforestal *Morella pubescens* H.B.K y *Lupinus mutabilis* L. Pasto, Nariño. *Revista Agroforestería Neotropical*, 0(4), 397. Recuperado de <http://revistas.ut.edu.co/index.php/agroforesteria/article/view/>
- Carrera, K. (2016). Caracterización de *Moniliophthora roreri* Evans et al. y evaluación de alternativas de control biológico en cacao, para la Amazonía ecuatoriana (tesis doctoral). Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Santa Clara, Cuba.
- Caron, B., Sgarbossa, J., Schwerz., Elli, E., Eloy, E., & Behling, A. (2018). Dynamics of solar radiation and soybean yield in agroforestry systems. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 90 (4), 3799-3812. doi: 10.1590/0001-3765201820180282.
- Carrillo, F., Molina, J., y Salazar, J. (2012). Simulación de arreglos agroforestales de cacao como una estrategia de diagnóstico y planificación para productores. *Revista Corpoica: Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(2), 145-150.
- Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J., y Solorio-Sánchez, J. (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el Trópico Mexicano.

Revista Chapingo Serie Ciencias Agroforestales y Del Ambiente, 17(1), 133-143.
[https://doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.08.047](https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.047)

Casanova-Lugo, F., Ramírez-Avilés, L., Parsons, D., Caamal-Maldonado, A., Piñeiro-Vázquez, A. T., Díaz-Echeverría, V., ... Díaz-Echeverría, V. (2016). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales tropicales. *Revista Chapingo serie ciencias agroforestales y del ambiente*, 22(3), 269-284. doi: 10.5154/r.rchscfa.2015.06.029

Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá por UEIA, (2014). Recuperado de https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/search?key_search=eritrina.

Carvalho, C. G. P. de, Almeida, C. M. V. C. de, Cruz, C. D., & Machado, P. F. R. (2001). Evaluation and selection of cacao hybrids in Rondônia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36(8), 1043-1051. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000800006>

Cerda, R., Deheuvels, O., Calvache, D., Niehaus, L., Saenz, Y., Kent, J., Vilchez, S., Villota, A., Martinez, C., & Somarriba, E. (2014). Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: Looking toward intensification. *Agroforest Syst*, 88, 957-981. <https://doi.org/DOI 10.1007/s10457-014-9691-8>

Ciferri, R. and Parodi, E. (1933) Descripción del fungo che causa la “Moniliasi” del cacao. *Phytopathologische Zeitschrift*. 6, 539–542.

Cueva, A. (2013). Cacao. Sombreamiento, agroforestería, nutrición, fertilización, fisiología. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.

Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., y Robledo, C. (2008). InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M., y Weigend, M. (2011). Hoja botánica. Cacao. Lima, Perú Recuperado de http://www.botconsult.com/downloads/Hoja_Botanica_Cacao_2012.pdf

- Espinoza, J., Hidalgo, W., y Mieles, O. (2017). Análisis de las relaciones de comercio ecuador-china 2011-2015". *Espirales revista multidisciplinaria de investigación*, 1(1). Recuperado de <http://www.revistaespirales.com/index.php/es/article/view/9>
- Escobar, C., Zuluaga, J., Rojas, J., Yasno, C. y Cárdenas, C. (1998). El cultivo de chontaduro (*Bactris gasipes* H.B.K) para fruto y palmito. Recuperado de <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4075/1/Caracteristicas%20del%20cultivo%20de%20chontaduro.pdf>
- Enríquez, G. (2010). *Cacao Orgánico. Guía para productores ecuatorianos*. Quito, Ecuador: INIAP.
- Evans, H., Stalpers, J., Samson, A. & Benny, G. (1978). On the taxonomy of *Monilia roleri*, an important pathogen of *Theobroma cacao* in South America. *Canadian Journal of Botany* 56: 2528- 2532.
- Evans, H.C. (2016) Witches' broom disease (*Moniliophthora perniciosa*), history and biology. In: *Cacao Diseases* (Bailey, B.A. and Meinhardt, L.W., eds), pp. 137– 177.
- Fern, K., y Morris, R. (2014). Base de datos útil de plantas tropicales. Recuperado de <http://tropical.theferns.info/viewtropical.php?id=Cedrelinga+cateniformis>.
- Ferrín, G. G. (2019). Ecosystem services in fine flavor cocoa agroforestry systems from Ecuador [Posgrado, Wageningen]. <https://edepot.wur.nl/498470>
- Furcal-Beriguete, P. (2017). Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 113-129.
- Gidoín, C., Avelino, J., Deheuvels, O., Cilas, C., & Bieng, M. A. N. (2014). Shade Tree Spatial Structure and Pod Production Explain Frosty Pod Rot Intensity in Cacao Agroforests, Costa Rica. *Phytopathology*, 104(3), 275-281. <http://dx.doi.org/10.1094 / PHYTO-07-13-0216-R>

- Giraldo, J., Siniterra, J., y Muergueitio, E. (2011). Árboles y arbustos forrajeros en policultivos para la producción campesina: Bancos Forrajeros Mixtos. *Revista Agroecológica Leisa*, 27(2), 15-18.
- Gockowski, J., Weise, S., Sonwa, D., Tchatat, M., & Ngobo, M. (2007). Conservation because it pays: Shaded Cocoa agroforests in West Africa. 1-17. <http://biblio1.iita.org/handle/20.500.12478/6229>
- Hoogendijk, T. (2012). Motivations for shade-grown cocoa production in Ghana [University of Applied Sciences, Van Hall Larenstein, Velp, the Netherlands]. <https://edepot.wur.nl/248975>
- Holdridge, L. (1982). Ecología basada en zonas de vida (Traducido del inglés por Humberto Jiménez. Edición I. II reimpresión. II Capítulo, 8-12.
- INEC Instituto Nacional de Estadísticas y Censo. (2017). Estadísticas Agropecuarias. Recuperado de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- INAMHI Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2010). Anuario Meteorológico. Nro. 50. Dirección de Gestión Meteorológica Procesamiento y Edición: SIGIHM, Quito, EC.
- Jacobi, J., Schneider, M., Bottazzi, P., Pillco, M., Calizaya, P., & Rist, S. (2013). Agroecosystem resilience and farmers' perceptions of climate change impacts on cocoa farms in Alto Beni, Bolivia. *Renewable Agriculture and Food System*, 30(20), 170-183. <https://doi.org/doi:10.1017/S174217051300029X>
- Jadán, O., Torres, B., Selesi, D., Peña, D., Rosales, C., y Günter, S. (2016). Diversidad florística y estructura en cacaotales tradicionales y bosque natural (Sumaco, Ecuador). *Colombia Forestal*, 19(2), 5-18.
- Jaimez, R., Tezara, W., y Coronel, I. (2008). Ecofisiología del cacao (*Theobroma cacao*): su manejo en el sistema agroforestal. Sugerencias para su mejoramiento en Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, 52(2), 6.

- Johnson, J., Bonilla, J., Agüero, L. (2008). Manual de manejo y producción del cacaotero. Leon, Nicaragua. 40.
- Kieck, J. S., Zug, K. L. M., Huamaní Yupanqui, H. A., Gómez Aliaga, R., & Cierjacks, A. (2016). Plant diversity effects on crop yield, pathogen incidence, and secondary metabolism on cacao farms in Peruvian Amazonia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 222, 223-234. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.02.006>
- Krauss, U., & Soberanis, W. (2002). Effect of fertilization and biocontrol application frequency on cocoa pod diseases. *Biological Control*, 24(1), 82-89. [https://doi.org/10.1016/S1049-9644\(02\)00007-5](https://doi.org/10.1016/S1049-9644(02)00007-5)
- Krauss, U., Hoopen, M., Hidalgo, E., Martínez, A., Arroyo, C., García, J.,.... Sánchez, V. 2003. Manejo integrado de la Moniliasis (*Moniliophthora roreri*) del cacao (*Theobroma cacao*) en Talamanca, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10. 37-38.
- López-Ferrer, U., Brito-Vega, H., López-Morales, D., Salaya-Domínguez, J. M., y Gómez-Méndez, E. (2017). Papel de *Trichoderma* en los sistemas agroforestales - cacaotal como un agente antagonico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(1), 91-100.
- López, R. (1981). Estudio silcultural del tornillo (*Cedrelinga catenaeformis* DUCKE) Puerto Almendras, Perú. *Revista Forestal del Perú*, 10(1-2), 1-7.
- MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador); FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). (2014). Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies agroforestales – Ecuador. Quito. 105.
- Maldonado, C. (2016). Efecto del manejo en la reducción de incidencia de enfermedades (Monilia, escoba de bruja y mazorca negra) en el cultivo de cacao en la Estación experimental de Sapecho. *Revista Científica de Investigación INFO-INIAF*, 1(7), 66-71.

- Marín, M., Andrade, H., y Sandoval, A. (2016). Fijación de carbono atmosférico en labiomasa total de sistemas de producción de cacao en el departamento del Tolima, Colombia, *Revista Actualidad y divulgación Científica*. 19 (2).
- Merlo Caballero, M. (2007). Comportamiento productivo del café (*Coffea arabica* var caturra), el poró (*Erythrina poeppigiana*), el amarillón (*Terminalia amazonia*) y el cashá (*Chloroleucon eurycyclum*) en sistemas agroforestales bajo manejos convencionales y orgánicos en Turrialba, Costa Rica. (Tesis de posgrado). CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., y Eibl, B. (2015). Sistemas agroforestales funciones productivas socioeconómicas y ambientales (CATIE). Cali, Colombia: CIPAV.
- Moreno-Calles, A., Galicia-Luna, V., Casas, A., Toledo, V., Vallejo-Ramos, M., Santos-Fita, D., y Camou-Guerrero, A. (2014). La Etnoagroforestería: el estudio de los sistemas agroforestales tradicionales de México. *Etnobiología*, 12(3), 1-16.
- Murguido, C., y Elizondo, A. (2007). El Manejo Integrado De Plagas De Insectos En Cuba. *Fitosanidad*, 11(3), 23-28.
- Navarro, M.; Mendoza, I. (2006). Cultivo del cacao en sistemas agroforestales. Guía técnica para promotores. Río San Juan, NI. 67. Recuperado <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A5288e/A5288e.pdf>.
- Orozco-Aguilar, L., y López, A. (2013). Evolución, aplicación y futuro de la agroforestería en Nicaragua. *Agroforesteria En Las Americas*, 49, 99-110.
- Ortíz-García, C. F., Torres-de-la-Cruz, M., y Hernández-Mateo, S. C. (2015). Comparación de dos sistemas de manejo del cultivo del cacao, en presencia de *Moniliophthora roreri*, en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(2), 191-196.
- Opoku-Agyeman, M. O., Anim-Kwapong, G. J., & Owusu-Ansah, F. (2017). Evaluation of cacao in fruit tree species' shade system in GhanaCocoa. Research Institute of Ghana (CRIG), New Tafo-Akim, Ghana.

- Padilla, G. W., (1979). Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos del Ecuador. Boletín técnico No 32 Estación experimental Santa Catalina del INIAP.
- Pando, F., y Lorenzo, M. (2002). Agroforestería, prácticas agroforestales, uso múltiple: una definición un concepto. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Agroforestales, (14), 9-22.
- Paredes, N. y Subía, C. (2014). Valoración de los servicios ambientales en fincas diversificadas con sistemas agroforestales de alto potencial. En Virginio Filho, E., Caicedo, C., Astorga, C. (Eds). Agroforestería sostenible en la Amazonía ecuatoriana. Serie técnica n° 398. Turrialba, C.R. 73-88p.
- Paredes, M. (2016). El manejo fitosanitario del cultivo de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) y el rendimiento del mismo, en la asociación kallari (Tesis de posgrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Paredes, N., Pico, J., Caicedo, C., Lima, L., Chimbo, P., y Monteros-Altamirano, A. (2019). Caracterización del Aporte de Fincas Agrobiodiversas Cacaoteras a los Servicios Ecosistémicos en la Provincia de Orellana. En Caicedo, C., Díaz, A., (Eds). Memorias del Primer Simposio Internacional Innovaciones Tecnológicas para Fortalecer la Cadena de Cacao en la Amazonía Ecuatoriana. 10 - 11 de julio de 2019. La Joya de los Sachas, Ecuador. 11-14.
- Piato, K. (2018). The evaluation of agroforestry systems in Robusta coffee plantations in the Amazonian Ecuadorian Region with respect to pests and diseases (Tesis de pregrado). Haute Ecole Spécialisée de Suisse occidentale, Ginebra, Suiza.
- Pico, J., Calderón, D., Fernández, F., y Díaz, A. 2012. Guía del manejo integrado de enfermedades del cultivo de cacao. (*Theobroma cacao* L) en la Amazonía. INIAP. Ecuador.
- Pico, J., Paredes, N., Subía, C., Suárez, Ch., Caicedo, C., y Fernández, F. (2019). Efecto de Prácticas de Manejo Sobre la Incidencia de *Moniliophthora roreri* (Cif & Par) y

- Rendimiento en el Cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.). En Caicedo, C., Díaz, A., (Eds).Memorias del Primer Simposio Internacional Innovaciones Tecnológicas para Fortalecer la Cadena de Cacao en la Amazonía Ecuatoriana. 10 - 11 de julio de 2019. La Joya de los Sachas, Ecuador. 43-45.
- Pocomucha, V. S., Alegre, J., y Abregú, L. (2016). Análisis socio económico y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Huánuco. *Ecología Aplicada*, 15(2), 107-114.
- PDOT Plan de Desarrollo de Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado cantonal La Joya de los Sachas. (2016).
- Phillips-Mora, W. (2003). Origen, biogeografía, diversidad genética y afinidades taxonómicas del hongo del cacao (*Theobroma cacao* L.) *Moniliophthora roreri* (Cif & Par) Evans et al., Usando evidencia molecular, fitopatológica y morfo-fisiológica. (Tesis doctoral). Universidad de Reading. Reading, UK. 349.
- Phillips-Mora, W., Castillo, J., Krauss, V., Rodriguez, E., & Wilkinson J. (2005). Evaluation of cacao (*Theobroma cacao*) clones against seven Colombian isolates of *Moniliophthora roreri* from four pathogen genetic groups. *Plant Pathology* 54, 483- 490.
- Phillips-Mora, W., Cawich, J., Garnett, W., & Aime, M. C. (2006). First report of frosty pod rot (Moniliasis disease) caused by *Moniliophthora roreri* on cacao in Belize. *Plant Pathology*, 55, 584.
- Phillips-Mora, W., & Wilkinson, M. J. (2007). Frosty Pod of Cacao: A Disease with a Limited Geographic Range but Unlimited Potential for Damage. 97, 1644-1647. <https://doi.org/10.1094/phyto-97-12-1644>.
- Phillips-Mora, W. and R. Cerda. 2010. Catálogo: Enfermedades del Cacao en Centroamérica. Tropical Agricultural Research and Higher Education Center (CATIE), CR. Serie Técnica No. 93.

- Ramírez, S. (2008). La Monilia un desafío para lograr la sostenibilidad del sistema cacao en México. *Tecnología en Marcha*, 21(1), 97-110.
- Roa-Romero, H., Salgado-mora, M., y Alvarez-Herrera, J. (2009). Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el Soconusco, Chiapas - México. *Acta Biológica Colombiana*, 14(3), 97-109. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3190/319028005007>
- Rorer, J. (1918). Enfermedades y plagas del cacao en Ecuador y método modernos y apropiados al cultivo del cacao. Recuperado de https://books.google.com.ec/books/about/Enfermedades_y_plagas_del_cacao_en_e_l_Ec.html?id=I1HiAAAAMAAJ&redir_esc=y
- Sánchez Mora, F. D., y Garcés Fiallos, F. R. (2012). *Moniliophthora roreri* (Cif y Par) Evans et al. en el cultivo de cacao. *Scientia Agropecuaria*, 3(3), 248-258.
- Sánchez-Mora, F. D. S., Zambrano, J., Vera, J., Ramos, R., Gárces, F., & Vásconez, G. (2014). Productividad de clones de cacao tipo nacional en una zona del bosque húmedo tropical de la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Revista Ciencia y Tecnología*, 7(1), 33-41.
- Sánchez-Mora, F. D., Medina-Jara, S. M., Díaz-Coronel, G. T., Ramos-Remache, R. A., Vera-Chang, J. F., Vásquez-Morán, V. F., ... Onofre-Nodari, R. (2015). Potencial sanitario y productivo de 12 clones de cacao en Ecuador. *Revista fitotecnia mexicana*, 38(3), 265-274.
- Somarriba, E., & Trujillo, L. (2005). El Proyecto "Modernización de la cacaocultura orgánica del Alto Beni, Bolivia. *Agroforesteria En Las Americas*, 43(44), 6-14.
- Suárez, L. 2006. Aislamiento e identificación de *Moniliophthora roreri* causante de la Moniliasis en municipios del nororiente colombiano y ensayos preliminares para su control biológico. *Revista Respuestas* 11(1): 3-9.
- Schwerz F., Medeiros, S., Elli, E., Eloy, E., Sgarbossa, Jaqueline. & Caron, B. (2018). Plant growth, radiation use efficiency and yield of sugarcane cultivated in

agroforestry systems. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90(4), 3265-3283. doi: 10.1590/0001-3765201820160806.

Tscharntke, T., Clough, Y., Bhagwat, S. A., Buchori, D., Faust, H., Hertel, D., ... Wanger, T. C. (2011). Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes – a review. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), 619-629. doi: 10.1111/j.1365-2664.2010.01939.x

Universal Taxonomic Services. (2008). Taxon: *Theobroma cacao* Linnaeus – cocoa. Recuperado de <http://taxonomicon.taxonomy.nl/TaxonTree.aspx?id=6284>

Urdaneta G.; y Delgado A. (2007). Identificación de la micobiota del filoplano del cacaotero (*Theobroma cacao* L.), en el municipio Carraciolo Parra Olmedo, estado Mérida, Venezuela. *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)* 24(1), 47-68.

Viteri, O., & Ramos-Martín, J. (2012). Improving the organisation and commercialisation of small coffee and cocoa producers in the Northern Amazon Region of Ecuador (N.8). https://www.researchgate.net/publication/283505272_Improving_the_organisation_and_commercialisation_of_small_coffee_and_cocoa_producers_in_the_Northern_Amazon_Region_of_Ecuador.

7. ANEXOS

Anexo 1. Análisis estadístico del porcentaje de sombra de los diferentes arreglos agroforestales de cacao

Nueva tabla_2: 21/06/2020 - 21:54:19 - [Versión : 24/04/2018] - [R 3.4.4]

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.001_Porcentaje.de.sombra_REML<-lme(Porcentaje.de.sombra~1+ARR
,random=list(repeticiones=pdIdent(~1))
,method="REML"
,control=lmeControl(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data01
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.001_Porcentaje.de.sombra_REML

Variable dependiente: Porcentaje.de.sombra

Medidas de ajuste del modelo

<u>N</u>	<u>AIC</u>	<u>BIC</u>	<u>logLik</u>	<u>Sigma</u>	<u>R2_0</u>	<u>R2_1</u>
60	459,16	473,21	-222,58	12,37	0,55	0,55

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	<u>numDF</u>	<u>denDF</u>	<u>F-value</u>	<u>p-value</u>
(Intercept)	1	53	209,05	<0,0001
ARR	4	53	16,72	<0,0001

Pruebas de hipótesis secuenciales

	<u>numDF</u>	<u>denDF</u>	<u>F-value</u>	<u>p-value</u>
(Intercept)	1	53	209,05	<0,0001
ARR	4	53	16,72	<0,0001

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: pdIdent

Formula: ~1|repeticiones

Desvíos estándares y correlaciones

(const)

(const) 1,3E-03

Porcentaje.de.sombra - Medias ajustadas y errores estándares para ARR

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

ARR	Medias	E.E.	
FRU	35,67	3,57	A
SER	35,67	3,57	A
FO-S	22,50	3,57	B
FOR	21,58	3,57	B
PSL	0,00	3,57	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 2. Análisis estadístico del porcentaje de incidencia de Monilia de cacao en cinco sistemas agroforestales y cuatro manejos agronómicos

Sin efecto de Sombra

	Sum Sq	Mean Sq	NumDF	DenDF	F value	Pr(>F)
Arr	280.4	70.11	4	8.0000	0.6282	0.65594
Mann	772.0	257.34	3	6.0002	2.3061	0.17653
Arr:Mann	5349.8	445.82	12	23.9999	3.9950	0.00189 **

	FMonilia	groups
OI.FOR-SER	97.80333	a
AC.PSL	97.40333	ab
AC.FRU	88.89667	abc
AC.FOR-SER	79.02667	abcd
AC.FOR	77.40000	abcd
AC.SER	76.62000	abcd
BO.PSL	71.75000	abcd
MC.FRU	68.10667	abcd
MC.FOR-SER	67.85333	abcd
BO.FOR	66.92667	abcd
BO.FOR-SER	64.56667	abcd
BO.SER	63.31333	bcd
MC.SER	61.87333	cd
OI.FRU	59.41333	cd
MC.PSL	56.22000	cd
MC.FOR	54.53000	d
OI.SER	53.98000	d
BO.FRU	52.30333	d
OI.PSL	50.53000	d
OI.FOR	48.87667	d

Anexo 3. Análisis estadístico del porcentaje de mazorcas de cacao con *Monilia* por mes de evaluación en cinco sistemas agroforestales y cuatro manejos agronómicos

	Sum Sq	Mean Sq	NumDF	DenDF	F value	Pr(>F)
ARR	248	62.0	4	8.84	0.2267	0.9165
MAN	363	121.1	3	5.825	0.4433	0.7310
mes	121500	13500.0	9	98.336	49.4052	<2e-16 ***
ARR:MAN	2900	241.7	12	27.054	0.8844	0.5720
ARR:mes	6483	180.1	36	85.059	0.6591	0.9183
MAN:mes	10725	397.2	27	77.034	1.4537	0.1037
ARR:MAN:mes	26160	242.2	108	279.917	0.8865	0.7645

mes	emmean	SE	df	lower.CL	upper.CL
abr	88.7	3.38	23.7	78.3	99.2
ago	93.3	2.95	34.3	84.5	102.1
ene	72.6	3.83	15.9	60.2	85.0
feb	73.7	3.67	17.9	62.0	85.4
jul	92.3	3.03	33.9	83.3	101.4
mar	49.7	3.52	20.5	38.7	60.7
may	83.2	3.25	27.4	73.3	93.1
nov	59.4	2.79	21.8	50.7	68.1
oct	88.1	2.82	27.0	79.4	96.7
sep	94.8	2.88	31.7	86.1	103.4

Anexo 4. Análisis estadístico del número de mazorcas sanas de cacao por planta en cinco sistemas agroforestales y cuatro manejos agronómicos

Sin sombra

	Sum Sq	Mean Sq	NumDF	DenDF	F value	Pr(>F)
Arr	10.661	2.6653	4	8.0001	0.5492	0.70539
Mann	10.360	3.4533	3	6.0000	0.7116	0.57972
Arr:Mann	106.741	8.8951	12	24.0000	1.8329	0.09981 .

Lo mismo que:

Response: P_Fs

	Df	Sum	Sq Mean	Sq F value	Pr(>F)
rep	2	345.78	72.888	35.6247	6.549e-08 ***
Arr	4	45.97	11.492	0.5492	0.705391
Ea	8	167.41	20.926	4.3119	0.002500 **
Mann	3	38.94	12.981	0.7116	0.579718
Eb	6	109.46	18.243	3.7591	0.008851 **
Mann:Arr	12	106.74	8.895	1.8329	0.099813 .
Ec	24	116.47	4.853		

P_Fs = % de frutos sanos

	P_Fs	groups
MC.FOR	10.288630	a
AC.SER	8.357844	ab
AC.FOR	7.954988	abc
MC.SER	7.661538	abc
AC.FOR-SER	7.574065	abcd
BO.FRU	7.369179	abcde
BO.FOR-SER	7.052440	abcdef
OI.FOR	6.891475	abcdef
OI.FRU	6.594197	abcdef
AC.FRU	5.958992	bcdef
OI.SER	5.630949	bcdef
MC.FOR-SER	5.611371	bcdef
MC.FRU	5.593923	bcdef
MC.PSL	5.011463	bcdef
AC.PSL	4.844884	bcdef
BO.PSL	4.586914	cdef
BO.SER	3.930090	def
OI.FOR-SER	3.817286	ef
OI.PSL	3.506819	f
BO.FOR	3.383312	f

Anexo 5. Análisis estadístico del peso seco de almendras de cacao en gramos/planta/año en cinco sistemas agroforestales y cuatro manejos agronómicos

Peso seco

	Sum Sq	Mean Sq	NumDF	DenDF	F value	Pr(>F)
Arr	90633	22658	4	39	2.4141	0.06517 .
Mann	282898	94299	3	39	10.0469	4.892e-05 ***
sw	15807	15807	1	39	1.6841	0.20200
Arr:Mann	119431	9953	12	39	1.0604	0.41772

\$groups

	Pesoseco	groups
AC	343.9367	a
MC	246.0227	ab
BO	229.3873	b
OI	156.1827	b

	Pesoseco	groups
FOR-SER	304.3392	a
SER	259.0400	ab
FRU	251.4158	ab
FOR	232.9183	ab
PSL	171.6983	b

Anexo 6. Evaluación de radiación solar con el piranómetro en los arreglos agroforestales d el ensayo “Efecto de arreglos agroforestales y manejos agronómicos sobre la incidencia d e Monilia en el cultivo de cacao”



Anexo 7. Evaluación de incidencia de Monilia en el ensayo “Efecto de arreglos agroforestales y manejos agronómicos sobre la incidencia de Monilia en el cultivo de cacao”



Anexo 8. Evaluación de producción de cacao (número de mazorcas y peso en gramos de cacao fresco) en el ensayo “Efecto de arreglos agroforestales y manejos agronómicos sobre la incidencia de Monilia en el cultivo de cacao”

