

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



PROYECTO DE GRADO

**EVALUACIÓN DE LA TASA FOTOSINTÉTICA Y
CONDICIONES MICROCLIMÁTICAS EN DIFERENTES
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CACAO**

PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL

POSTULANTE: Univ. Jhovanna Susana Quispe Nina

TUTOR: Ph.D. Santiago Morales Maldonado

CO TUTOR: Dr. Francisco Saavedra Agramont

LA PAZ – BOLIVIA

NOVIEMBRE – 2023



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

DEDICATORIA

A mi mama y a mi hermana, quienes me inspiraron a seguir adelante con esta meta, a mis amigos, quienes me brindaron su apoyo y a docentes que me brindaron su conocimiento y orientación

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer a Dios por darme las fuerzas para poder culminar mi carrera y haberme brindado una vida llena de aprendizaje, experiencias y felicidades.

A mi mamá Caciaa Nina Pinto por su sacrificio, trabajo y apoyo incondicional en todos estos años, además de ser mi soporte emocional y económico para poder concentrarme en mis estudios.

A mi hermana Casiana Marcelina Quispe Nina por su apoyo emocional diario y por ser mi inspiración para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos.

A mi tutor Dr. Francisco Saavedra Agramont, por su dedicación, paciencia, guía y apoyo a lo largo del desarrollo de mi proyecto de grado.

A la licenciada Maritza Cornejo que más que una compañera de trabajo se convirtió en una amiga la cual me ayudo y me oriento en el desarrollo del proyecto.

Al instituto de investigación de Ecología de la UMSA por permitirme realizar mi proyecto de grado. Al FIBL y a SysCom Bolivia por el financiamiento de mi investigación como parte de uno de los proyectos realizados.

Finalmente, agradecer a mis amigos de Ingeniera, Física y del taekwondo por estar siempre a mi lado en todo este tiempo y por hacer que mi experiencia en la universidad sea una de las partes más importantes de mi vida.

RESUMEN

Los árboles de cacao tienen la capacidad de adaptarse a diferentes condiciones de producción. En Bolivia son producidos en diferentes tipos de sistemas de producción, algunos incluyen árboles de sombra. Las condiciones microclimáticas generadas en los sistemas de producción tienen influencia sobre procesos fisiológicos como la tasa fotosintética. La presente investigación, tiene como objetivo evaluar la tasa fotosintética y condiciones microclimáticas entre diferentes sistemas de producción de cacao en el municipio de Alto Beni, Bolivia. Para esto, se utilizó un diseño de bloques establecido hace 15 años, donde se realizaron visitas aleatorias a cinco diferentes sistemas de producción de cacao en el centro de investigación y capacitación Sara Ana. En cada parcela, se ubicaron cinco árboles de estudio, y se registraron datos en tiempo real entre las 10:00 am y 14:00 pm. Con la ayuda de dos sensores inalámbricos conectados a un datalogger se registró la captura de CO₂, temperatura, cobertura de dosel y Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) para la determinación de la tasa fotosintética. Los resultados de este estudio muestran que las condiciones microclimáticas y la tasa fotosintética varía entre los diferentes sistemas de producción de cacao. La influencia de las condiciones microclimáticas mostraron que la temperatura y PAR influyen positivamente sobre la tasa fotosintética, mientras que, la cobertura de dosel influye negativamente sobre ella. Se concluye, que las condiciones microclimáticas varían entre sistemas de producción e influyen sobre la tasa de fotosíntesis. Además, se encontró una interrelación entre todas las variables analizadas, por lo cual no solo influyen en la tasa fotosintética directamente sino también entre ellas mismas.

ABSTRACT

Cocoa trees have the ability to adapt to different conditions. In Bolivia, they are produced in different types of production systems, some include shade trees. The microclimatic conditions generated in production systems influence physiological processes such as the photosynthetic rate. The objective of this research is to evaluate the photosynthetic rate and microclimatic conditions between different cocoa production systems in the municipality of Alto Beni, Bolivia. For this, we used a random block design it was established 15 years ago, where random visits made to five different cocoa production systems at the Sara Ana experimental station. We were located five study trees in each plot and the data recorded in real time between 10:00 am and 14:00 pm. With the help of two wireless sensors connected to a datalogger we recorded CO₂ capture, temperature, canopy cover and photosynthetically active radiation (PAR) for determine the photosynthetic rate. The results show that microclimatic conditions and photosynthetic rate vary between different cocoa production systems. The influence of microclimatic conditions showed that temperature and PAR have positively influence on the photosynthetic rate, while canopy cover has negatively influences on it. We concluded that microclimatic conditions vary between production systems and influence on the photosynthesis rate. Furthermore, we found an interrelationship between all the variables analyzed, so they not only directly influence the photosynthetic rate but also each oth

INDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	Objetivo general.....	3
2.2	Objetivos específicos.....	3
3	JUSTIFICACIÓN.....	3
3.1	Técnica.....	3
3.2	Económica.....	3
3.3	Ambiental.....	4
4	MARCO TEÓRICO.....	5
4.1	Origen del cacao.....	5
4.2	El cacao en Bolivia.....	5
4.3	Características de los Sistemas de Producción.....	6
4.3.1	Monocultivo Orgánico.....	6
4.3.2	Monocultivo Convencional.....	7
4.3.3	Agroforestal Orgánico.....	7
4.3.4	Agroforestal Convencional.....	8
4.3.5	Sistema Agroforestal Sucesional.....	9
4.4	Características morfológicas de los genotipos de cacao.....	10
4.5	Requerimientos climáticos del cacao.....	13
4.5.1	Precipitación.....	13
4.5.2	Temperatura.....	13
4.5.3	Humedad relativa.....	14
4.5.4	Luminosidad.....	14
4.5.4.1	Cobertura de dosel.....	15

4.5.4.2	Radiación Fotosintética Activa.....	15
4.6	La fotosíntesis.....	16
4.7	La tasa fotosintética.....	17
5	MATERIALES Y METODOLOGIA	18
5.1	Materiales.....	18
5.2	Metodología.....	18
5.2.1	Área de estudio.....	18
5.2.2	Características climáticas.....	19
5.2.3	Características de la vegetación.....	19
5.2.4	Características del suelo.....	20
5.2.5	Diseño experimental de los sistemas de producción.....	20
5.2.6	Toma de datos experimentales en campo.....	24
5.2.7	Procesamiento de datos en laboratorio.....	28
6	CALCULOS EXPERIMENTALES.....	30
6.1	Cálculo de tasa fotosintética.....	30
6.2	Análisis estadístico.....	31
7	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
7.1	Resultados.....	31
7.1.1	La tasa fotosintética de cacao en cinco diferentes sistemas de producción.....	31
7.1.2	Variables microclimáticas en los cinco sistemas de producción.....	33
7.1.3	Efecto de la tasa fotosintética de cacao con las variables microclimáticas en los sistemas de producción.....	40
7.2	DISCUSION.....	42
7.2.1	Tasa fotosintética y variables microclimáticas del cacao en cinco diferentes sistemas de producción.....	43

7.2.2	Evaluación de la asociación de la tasa fotosintética con las variables microclimáticas en los sistemas de producción.....	45
8	CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES.....	47
8.1	Conclusiones.....	47
8.2	Recomendaciones.....	48
9	BIBLIOGRAFIA.....	49

INDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Árboles de cacao en sistema de Monocultivo Orgánico	6
Figura 2:	Árboles de cacao en sistema de Monocultivo Convencional	7
Figura 3:	Árboles de cacao en sistema de Agroforestal Orgánico	7
Figura 4:	Árboles de cacao en sistema Agroforestal Convencional	8
Figura 5:	Arboles de cacao en Sistema Agroforestal Sucesional	9
Figura 6:	Tipos de cacao	10
Figura 7:	Estructura de dosel arbóreo en sistemas agroforestales	15
Figura 8:	Espectro de luz visible	16
Figura 9:	Mapa del área de estudio, Sara Ana y la región de Alto Beni	18
Figura 12:	Mapa de los sistemas de producción de cacao	22
Figura 10:	Mapa de los sistemas de producción de cacao	20
Figura 11:	Esquema grafico de la distribución de variedades de cacao dentro de la parcela #3	21
Figura 12:	Morfología de Los árboles de cacao	22
Figura 13:	Recolección de datos experimentales de cacao	23
Figura 14:	Recolección de datos experimentales de agroforestales	24
Figura 15:	Sensores inalámbricos dentro del tupper	24
Figura 16:	Datalogger conectados a los sensores	25
Figura 17:	Manejo de datalogger para la recolección de datos	25

Figura 18: Representación gráfica de la cobertura de dosel de los arboles	26
Figura 19: Diagrama de la toma de datos experimentales en campo	27
Figura 20: Área foliar de las hojas en el Imagen J	28
Figura 21: Tasa fotosintética en los diferentes sistemas de producción	30
Figura 22: Temperatura en los diferentes sistemas de producción	32
Figura 23: Cobertura de dosel en los diferentes sistemas de producción	34
Figura 24: El PAR en los diferentes sistemas de producción	35
Figura 25: Asociación de la tasa fotosintética respecto la cobertura de dosel en los sistemas de producción	37
Figura 27: Asociación de tasa fotosintética con la temperatura en los diferentes sistemas de producción	38
Figura 28 Asociación de la tasa fotosintética con el PAR en los diferentes sistemas de producción	38

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características morfológicas de las variedades de cacao	11
Tabla 2: Resultados de la prueba de Tukey en la tasa fotosintética en los diferentes sistemas de producción	31
Tabla 3: Resultados de la prueba de Tukey de la temperatura en los diferentes sistemas de producción	33
Tabla 4: Resultados de la prueba de Tukey en la cobertura de dosel en los diferentes sistemas de producción	34
Tabla 5: Resultados de la prueba de Tukey del PAR en los diferentes sistemas de producción	36

1 INTRODUCCIÓN

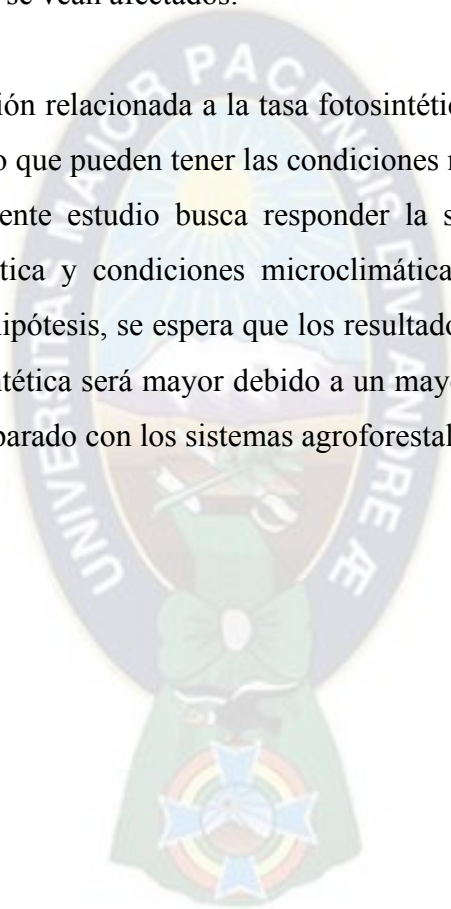
El crecimiento y desarrollo del cacao depende en gran medida de las variables microclimáticas como la radiación fotosintéticamente activa (PAR), temperatura y la cobertura del dosel (De Almeida & Valle, 2008). Esta relación está mediada por el efecto de las variables microclimáticas sobre la tasa fotosintética (I. Aspiazú et al., 2010). El cacao es producido en diferentes sistemas de producción que pueden estar asociados o no a árboles acompañantes que generan sombra (Arévalo-Gardini et al., 2021). En consecuencia, la cobertura de dosel modifica la exposición a la radiación fotosintéticamente activa y en consecuencia se produce una variación de la tasa fotosintética en los diferentes sistemas de producción (Baligar et al., 2008).

Los sistemas de producción que con frecuencia se utiliza para el cultivo de cacao se encuentran el monocultivo orgánico (MO), monocultivo convencional (MC), agroforestal orgánico (AO), agroforestal convencional (AC) y agroforestal sucesional dinámico (SAFS) (Naoki et al., 2017). Entre estos sistemas la diferencia principal está asociado a la cobertura de dosel, lo cual modifica las variables microclimáticas en cada sistema (Salazar et al., 2018). En este sentido los sistemas de monocultivo serán sistemas que han de caracterizarse por tener una mayor cantidad de radiación fotosintéticamente activa, mayores temperaturas y una menor cobertura de dosel (Salazar et al., 2018). Estas condiciones incrementan la tasa fotosintética y por ende la producción de cacao (Carruthers et al., 2001). Por el contrario, en los sistemas agroforestales, la presencia de una cobertura de dosel, reduce la cantidad de radiación fotosintética y la temperatura, lo cual puede reducir la tasa fotosintética (Farfán-Valencia, 2019). En Bolivia, la región de Alto Beni es una de las zonas que tiene la mayor producción de cacao (Adela, 2016). Específicamente, la productividad de cacao por hectárea en Bolivia alcanza los 600 kg/ha por año (Andres et al., 2016), donde gran parte se cultiva en sistemas de monocultivo. Sin embargo, en los últimos 10 años, los productores han optado por sistemas de producción agroforestal que son más resilientes al cambio climático y a enfermedades propias del cacao, (Andres et al., 2016).

Se sabe que el cambio climático causa variaciones en el clima a nivel global (Jacobi et al., 2015). Hoy en día, existe la necesidad de tener conocimientos respecto a la respuesta que está teniendo esta especie al cambio climático. Por ejemplo, en algunas regiones de Alto Beni ya se han

observado efectos negativos en el rendimiento de parcelas que se encuentran en sitios donde se han producido olas calor, sequías, inundaciones y enfermedades (Jacobi et al., 2015). Estos hechos han provocado que muchos productores pierdan sus cultivos de cacao. Por lo tanto, conocer si los sistemas de producción más utilizados son resilientes los cambios climáticos es clave para la producción de cacao a largo plazo. Por ello, identificar aquellos sistemas de producción de cacao que mejor se adapten a los cambios en el ambiente, nos permitirá que a futuro puedan utilizarse para realizar la producción de manera que ni el rendimiento y más que todo los ingresos económicos de los productores se vean afectados.

No se ha encontrado información relacionada a la tasa fotosintética en los diferentes sistemas de producción de cacao y el efecto que pueden tener las condiciones microclimáticas sobre la tasa de fotosíntesis, entonces, el presente estudio busca responder la siguiente pregunta ¿Cuál es la variación de la tasa fotosintética y condiciones microclimáticas entre diferentes sistemas de producción de cacao?. Como hipótesis, se espera que los resultados muestren que en los sistemas de monocultivo, la tasa fotosintética será mayor debido a un mayor nivel de PAR, temperatura y menor cobertura de dosel comparado con los sistemas agroforestales.



2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar la tasa fotosintética y condiciones microclimáticas entre cinco diferentes sistemas de producción de cacao en el municipio de Alto Beni.

2.2 Objetivos específicos

- Estimar la tasa fotosintética de cacao en cinco diferentes sistemas de producción.
- Determinar las variables microclimáticas (PAR, Temperatura, cobertura de dosel) in situ.
- Relacionar la tasa fotosintética de cacao con las condiciones microclimáticas.

3 JUSTIFICACIÓN

3.1 Técnica

Los sistemas de monocultivo y agroforestales tienen variables microclimáticas únicas y necesitan un manejo agronómico adecuado el cual incluye un conjunto de prácticas que deben efectuarse durante toda su vida útil (Ej., el control de malezas, fertilización, poda, regulación de sombra, control de plagas, control de enfermedades y cosecha) (Arvelo et al., 2017). El conocer la relación entre la tasa fotosintética y las condiciones microclimáticas generadas en los sistemas de producción ayudará a los técnicos y/o productores locales a diseñar sistemas de producción más eficientes respecto a su adaptación al cambio climático (Jacobi et al., 2015). Hoy en día, poco se sabe sobre cuál es la respuesta que tienen las especies arbóreas cultivadas en diferentes sistemas de producción (Jacobi et al., 2014). Por lo cual, futuras investigaciones podrán basarse en los resultados que se obtengan en el presente estudio para la ampliación de estos conocimientos en el desarrollo de nuevas tecnologías de producción de alimentos.

3.2 Económica

Es más económico y eficiente que la naturaleza haga su trabajo a través de la fijación de CO₂ que realizan las plantas para llevar a cabo el proceso de fotosíntesis. Económicamente es más rentable y crucial para reducir la concentración de CO₂ en el planeta (Yepes & Silveira, 2011). En los sistemas de producción de cacao, la absorción de CO₂ se traduce en la producción de biomasa (Ej.

frutos y semillas) que posteriormente se convierten en productos manufacturados (Ej. Chocolate, manteca de cacao), con valor agregado que al ser comercializados generan mayores ingresos económicos para productores y comercializadores. Por lo tanto, lo más importante desde el punto de vista económico es la sostenibilidad de los sistemas de producción de cacao a través de los años.

3.3 Ambiental

Desde un punto de vista de la ingeniería ambiental esta investigación aporta con información, la cual permitirá recomendar a productores la aplicación de sistemas de producción de alimentos más sostenibles. Además, proporciona información para el diseño de sistemas de producción que generen mayores rendimientos por superficie, menores impactos ambientales, la conservación de la biodiversidad y reducción de la deforestación. Adicionalmente, nos permitirá conocer: (1) las condiciones microclimáticas dentro y entre diferentes sistemas de producción de cacao (Naoki et al., 2017) y (2) la respuesta fisiológica de las plantas de cacao a estas condiciones (Naoki et al., 2017) lo cual ayudará a mejorar nuestra comprensión de las estrategias de adaptación y mitigación del cultivo de especies arbóreas al cambio climático y contribuirá a tener mayor conocimiento del proceso de la fotosíntesis (Jacobi et al., 2015).

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Origen del cacao

Agudelo et al., (2017) indican que el origen del cultivo de cacao se extiende desde las regiones del Orinoco en las Amazonas hasta México. El cacao fue producido por los indígenas muchos años antes de que los españoles llegaran a América (Miranda, 2005). Las tribus nativas utilizaban las semillas de cacao como moneda en sus transacciones comerciales (Agudelo et al., 2017).

Cuando los españoles llegaron a México encontraron el cacao. Antiguamente lo usaban principalmente para hacer bebidas y de alimento los cuales los mezclaban con el maíz (Andres et al., 2016). Entre las culturas mesoamericanas, los mayas fueron los primeros en cultivar el cacao como parte de su agricultura (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2008).

4.2 El cacao en Bolivia

La mayor parte la producción de cacao de Bolivia proviene de la región del Alto Beni en el este de los Andes (Andres et al., 2016). Desde la colonización por los monjes franciscanos en el siglo XVIII, una amplia gama de variedades locales de cacao fueron recolectadas tradicionalmente y cultivadas junto con las variedades introducidas. En las últimas décadas se ha promocionado el cacao como alternativa a la producción de coca en Alto Beni y otras partes de Bolivia (Andres et al., 2016) (Arvelo et al., 2017) debido a su alta productividad y buen precio en el mercado.

La productividad de cacao por hectárea en Bolivia se encuentra por debajo de los $600 \text{ kg} * \text{ha}^{-1}$ por año (Andres et al., 2016). En Alto Beni, la empresa privada El Ceibo y la fundación ECOTOP han jugado un papel pionero en la promoción de la producción de cacao bajo sistemas agroforestales orgánicos certificados desde la década de 1980 (Menacho, 2009). Fundada en 1977, El Ceibo fue la primera cooperativa a nivel mundial en comercializar granos de cacao orgánico, a través del “Programa de Implementación de iniciativas Agroecológicas y Forestales; PIAF-El Ceibo”. El PIAF proporciona extensión y organiza el sistema de control interno necesario para la certificación de sistemas de producción, mientras que El Ceibo realiza el acopio, procesamiento y comercialización a nivel nacional y niveles internacionales de derivados del cacao (Andres et al., 2016). Hoy en día, los sistemas agroforestales se encuentran entre los métodos comunes de producción de cacao en la región, y los agricultores asociados con El Ceibo reciben un precio más

alto por su cacao que otros países en la región, en parte debido a la agricultura orgánica y comercio justo que practica la cooperativa del Ceibo (Jacobi et al., 2015).

4.3 Características de los Sistemas de Producción

4.3.1 Monocultivo Orgánico

Es un sistema de producción sin cobertura de dosel permanente. El suelo tiene una cobertura de soja forrajera (*Neonotonia wightii*), una leguminosa rastrera que se utiliza para el control de malezas y aporte de nitrógeno al suelo (Lohse Duarte, 2017). Además, se aplica abono orgánico y compost, para la fertilización del suelo y no se utilizan agroquímicos sintéticos. Se realiza el deshierbe manual para el control de maleza en el estrato bajo. Durante la fase de establecimiento (los tres primeros años) se asoció con plátano (*Musa spp.*, *Musaceae*) con la misma densidad que el del cacao (Naoki et al., 2017).

Figura 1

Árboles de cacao en sistema de Monocultivo Orgánico



Fuente: Elaboración propia (Foto: S. Quispe Nina)

4.3.2 Monocultivo Convencional

Es un sistema de producción sin sombra, donde se aplica herbicidas para el control de malezas y fertilizantes químicos (Naoki et al., 2017) y en el caso de presentarse problemas por enfermedades o plagas, se aplica fungicidas e insecticidas bajo el concepto de un manejo integral (Lohse Duarte, 2017). Al igual que el monocultivo orgánico, en la fase de establecimiento se asoció con plátano (*Musa spp.*, *Musaceae*), para ofrecer una sombra temporal para las plantas juveniles de cacao (Naoki et al., 2017).

Figura 2

Árboles de cacao en sistema de Monocultivo Convencional



Fuente: Elaboración propia (Foto: S. Quispe Nina)

4.3.3 Agroforestal Orgánico

Es un sistema utilizado por muchos pequeños productores en el Alto Beni y otros países cacaoteros. Se caracteriza por no aplicar agroquímicos y en vez de eso se utiliza abono orgánico y productos de biocontrol autorizados. En estos sistemas se encuentran árboles forestales de entre 10 a 12 [m] de altura, forma un dosel semiabierto, bajo el cual, crecen los árboles de cacao y otra vegetación como subdosel.

Figura 3*Árboles de cacao en sistema de Agroforestal Orgánico*

Fuente: Elaboración propia (Foto: S. Quispe Nina)

4.3.4 Agroforestal Convencional

Es un sistema que posee una sombra permanente de especies agroforestales como leguminosas, maderables y frutales. Se utilizan agroquímicos en menor dosis que en el monocultivo convencional, se emplean fertilizantes químicos y para el control de maleza se aplica herbicidas y en caso necesario se aplica también insecticidas. Se emplea la hojarasca como aporte de materia orgánica al suelo y tiene un manejo integrado de poda del dosel.

Figura 4*Árboles de cacao en sistema Agroforestal Convencional*

Fuente: Elaboración propia (Foto: S. Quispe Nina)

4.3.5 Sistema Agroforestal Sucesional

Las plantaciones de cacao son establecidas para simular el proceso de la sucesión natural, sembrando varias especies de plantas de ciclo de vida corta (hibisco, yuca, arroz, chicharrilla, piña) en su fase inicial y después diversas especies de árboles agroforestales (Naoki et al., 2017). Estas plantas producen una gran cantidad de materia orgánica, que sirve como abono orgánico (Naoki et al., 2017). Los árboles acompañantes están establecidos estratégicamente y respetando la regeneración natural de las especies presentes (Ripa & Naoki, 2021). Estos sistemas podrían parecer un bosque natural, por ello son ideales para proteger el suelo, conservar el agua y mantener una alta biodiversidad (Lohse Duarte, 2017). No se aplican ni agroquímicos ni productos de biocontrol. Se realiza deshierbe selectivo y podas del dosel para satisfacer la necesidad del cacao respecto a la luz (Naoki et al., 2017).

Figura 5

Árboles de cacao en Sistema Agroforestal Sucesional



Fuente: Elaboración propia (Foto: S. Quispe Nina)

4.4 Características morfológicas de los genotipos de cacao

El sistema tradicional de clasificación que aún se emplea indica que existen básicamente tres tipologías de cultivares a partir de los cuales se desprenden las variedades, híbridos y clones que hoy se siembran a nivel mundial: los denominados criollos, forasteros y trinitarios (figura 6) (Arvelo et al., 2017).

Figura 6




Tipos de cacao




NOTA. Tomado de *Manual Técnico del Cultivo de Cacao* (p. 12), por Arvelo, Miguel, et al. (2017). IICA editorial.

En la tabla 1 se describen las características morfológicas de las variedades más utilizadas en Alto Beni. Entre las características que se usan para diferenciarlas se encuentran: La longitud del fruto, el ancho del fruto, el grosor de la cascara, el color del fruto inmaduro (rojo o verde), tamaño del fruto puede estar entre muy pequeño < 10 [cm], pequeño de 10 a 14 [cm], mediano de 15 a 19 [cm] y grande > 20 [cm]; forma del fruto puede ser Elíptico, Oblongo, Ovado, Obovado, Orbicular y Oblado; rugosidad del fruto puede ser ligera, intermedia y amplia; forma de la semilla puede ser Oblonga, Ovada, Elíptica e irregular; forma de la constricción basal puede estar Ausente, Suave, Intermedio y fuerte; forma del ápice puede ser Caudado, Dentado, Agudo, Mamilado, Obtuso y Redondeado (Adela, 2016).

Tabla 1*Características morfológicas de las variedades de cacao*

CODIGO		CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS	
III - A		LF; AF [cm]	16.61; 8.63
		GCASC [cm]	0.90
		CFINM	Rojo
		TF	Mediano
		FF	Elíptico
		RUGF	Suave
		FSEM	Ovada
		FCB	Suave
		FAP	Mamilado
III - 06		LF; AF [cm]	19.44 ; 9.80
		GCASC [cm]	1.40
		CFINM	Verde
		TF	Grande
		FF	Elíptico
		RUGF	Áspera
		FSEM	Oblongo
		FCB	Intermedio
		FAP	Caudado
III - 13		LF; AF [cm]	20.44 ; 9.47
		GCASC [cm]	1.00
		CFINM	Rojo
		TF	Grande
		FF	Elíptico
		RUGF	Intermedio
		FSEM	Oblanga
		FCB	Intermedio

		FAP	Optuso
SS - 18		LF; AF [cm]	17.5 ; 8.5
		GCASC [cm]	1.2
		CFINM	Verde
		TF	Intermedia
		FF	Elíptico
		RUGF	Suave
		FSEM	Oblanga
		FCB	Intermedio
		FAP	Mamilado
IIa - 22		LF; AF [cm]	21.1 ; 7.5
		GCASC [cm]	1.2
		CFINM	Rojo
		TF	Grande
		FF	Oblonga
		RUGF	Intermedia
		FSEM	Oblanga
		FCB	Intermedio
		FAP	Mamilado
ICS - 1		LF; AF [cm]	17.91; 8.76
		GCASC [cm]	1.35
		CFINM	Rojo
		TF	Intermedia
		FF	Elíptico
		RUGF	Suave
		FSEM	Elíptico
		FCB	Suave
		FAP	Obtuso
VII - 03		LF; AF [cm]	19.67; 8.30
		GCASC [cm]	1.05

	CFINM	Rojo
	TF	Intermedia
	FF	Oblonga
	RUGF	Suave
	FSEM	Ovalada
	FCB	Intermedio
	FAP	Agudo

NOTA. Abreviaturas: LF: longitud del fruto, AF: ancho del fruto, GCASC: grosor de la cascara, CFINM: color del fruto inmaduro, TF: tamaño del fruto, FF: forma del fruto, RUGF: rugosidad del fruto, FSEM: forma de la semilla, FCB: forma de la constricción basal, FAP: forma del ápice.

4.5 Requerimientos climáticos del cacao

Los elementos del clima con mayor efecto sobre el establecimiento adecuado de las plantaciones de cacao y su óptima producción son la precipitación, la temperatura, la humedad y la luminosidad.

4.5.1 Precipitación

La precipitación es considerada un factor climático importante y crítico para el desarrollo de la producción de cacao (Arvelo et al., 2017). La cantidad óptima de lluvia para el cacao oscila entre 1500 y 2500 mm de precipitación por año, presentando un límite mínimo mensual de 120 a 150 mm y siendo difícil de ubicar un límite máximo ya que la planta puede desarrollarse en regiones con alta precipitación. Periodos con más de tres meses secos son perjudiciales para los sistemas de producción (Miranda, 2005).

4.5.2 Temperatura

La temperatura media que requiere el cultivo de cacao fluctúa entre 22 y 30 (°C) (Taiz & Zeiger, 2002). Se considera a los 21 (°C) como límite medio anual de temperatura, puesto que es difícil cultivar cacao con una temperatura media más baja (Miranda, 2005).

Este rango de temperatura le permite al cacao tener un buen desarrollo vegetativo y dar cosechas abundantes (Miranda, 2005). Cuando la temperatura entre el día y la noche varía en más de 9 grados centígrados, afecta el desarrollo y la producción. Temperaturas mayores de 38 (°C) y menores de 15 (°C), afecta el funcionamiento de la planta y su productividad (Agroforestales, 2013).

4.5.3 Humedad relativa

La humedad relativa recomendable para la producción del cacao es de 70 a 80% (Cacao Móvil, 2021). La humedad relativa es importante puesto que facilita la propagación de algunas plagas y enfermedades que atacan especialmente a las mazorcas (Adela, 2016). Sin embargo, su importancia no puede ser comparada a los factores de temperatura y precipitación, pero podría ser limitante bajo condiciones especiales (Miranda, 2005).

4.5.4 Luminosidad

El cacao durante los primeros años requiere un 30% de luz y 70 % de sombra, después del tercer año de establecimiento los árboles de cacao pueden sobrevivir con diferentes cantidades de sombra, ya que son tolerantes a la misma (Somarriba & Beer, 2011). Las hojas de los árboles de cacao son protegidos por la sombra generada por los arboles acompañantes, la cual evita el contacto directo con el sol y en consecuencia ejerce una acción restrictiva sobre su crecimiento (Miranda, 2005).

4.5.4.1 Cobertura de dosel

Una estructura formada por la disposición espacial de las ramas, hojas, ramillas y troncos de los vegetales superiores constituyen lo que se conoce como dosel o cubierta vegetal (Farfán-Valencia, 2019) (figura 7).

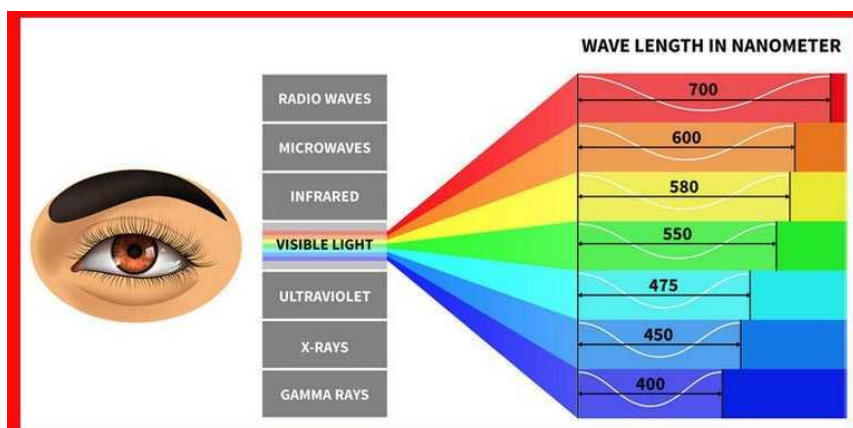
El porcentaje de la cobertura de dosel es esencial para entender la relación que existe entre planta-ambiente. La cobertura controla la cantidad, calidad y distribución de la luz dentro del cultivo. Adicionalmente, controla la cantidad de lluvia que ingresa al interior de los sistemas de producción, la humedad del suelo y del aire, los movimientos de aire dentro del sistema, la temperatura y la evapotranspiración.

Figura 7*Estructura de dosel arbóreo en sistemas agroforestales*

Fuente: Elaboración propia (Foto: S. Quispe Nina)

4.5.4.2 Radiación Fotosintéticamente Activa

La Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR por sus siglas en inglés), no es una medida de luz, sino que representa el espectro luminoso utilizado por las plantas para la fotosíntesis (Carruthers, et al., 2001). Las plantas sólo aprovechan la luz perteneciente a un rango de longitudes de onda que corresponde a la luz visible (400-700 nm) (figura 8) (Taiz & Zeiger, 2002). Solo el 50% de la radiación total de la luz solar cae bajo radiación fotosintéticamente activa de los cuales sólo entre el 2 y el 10 % son capturados por las plantas. Las longitudes de onda que se utilizan en la fotosíntesis son la luz azul que se encuentra entre 425–450 nm y la luz roja que se encuentra entre 600–700 nm. Un PAR alto promueve el crecimiento de las plantas y monitorear el PAR es importante para garantizar que las plantas reciban la luz adecuada para realizar la fotosíntesis.

Figura 8*Espectro de luz visible*

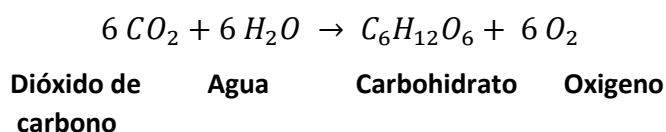
NOTA. Tomado de *La Quora* por Donald Duck, 2022 (<https://es.quora.com/Qu%C3%A9-es-la-luz-visible>)

4.6 La fotosíntesis

La fotosíntesis es un proceso que se considera vital para la vida en la Tierra, proporciona la base de la cadena alimentaria y es responsable de la producción de oxígeno (Taiz & Zeiger, 2002). Las plantas necesitan luz para su crecimiento y desarrollo óptimo. La fotosíntesis es el único proceso de importancia biológica que puede recolectar la energía del sol y transformarla en energía química (Taiz & Zeiger, 2002).

El término fotosíntesis se refiere a la reacción química entre el dióxido de carbono y el agua, en presencia de luz, para producir carbohidratos y oxígeno (Lopez, 2023). La velocidad de este proceso depende en gran medida a la cantidad de luz; la reacción de la fotosíntesis es más alta a medida que aumenta la radiación fotosintéticamente activa (PAR).

A finales del siglo XIX, se definió el balance de la reacción química para la fotosíntesis que se escribe de la siguiente manera:



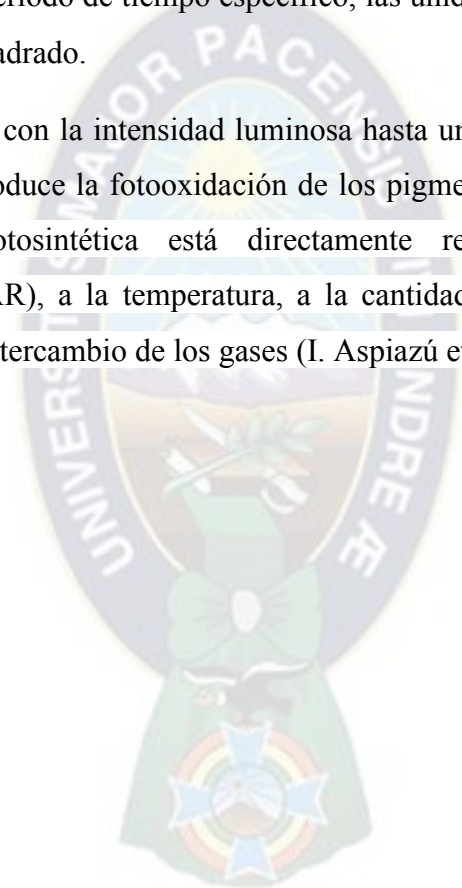
Donde $C_6H_{12}O_6$ representa un azúcar simple (glucosa).

4.7 La tasa fotosintética

La tasa fotosintética es una medida que se utiliza para cuantificar la velocidad a la cual las plantas, algas y algunos microorganismos fotosintéticos convierten la energía luminosa del sol en energía química (Taiz & Zeiger, 2002) en un área determinada.

La tasa fotosintética se expresa generalmente en términos de la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) absorbido durante un período de tiempo específico, las unidades utilizadas son micromoles de CO_2 por hora por metro cuadrado.

La tasa fotosintética aumenta con la intensidad luminosa hasta un cierto límite, característico de cada especie, en el que se produce la fotooxidación de los pigmentos (Baez, Castro, Mireles, & Girón, 2021). La tasa fotosintética está directamente relacionada con la radiación fotosintéticamente activa (PAR), a la temperatura, a la cantidad de sombra, a los factores de disponibilidad del agua y al intercambio de los gases (I. Aspiazú et al., 2010).



5 MATERIALES Y METODOLOGIA

5.1 Materiales

- ❖ Sensor inalámbrico de CO_2 , el cual tiene la capacidad de registrar datos sobre la concentración de dióxido de carbono en el ambiente en tiempo real (PASCO, 2007).
- ❖ Sensor meteorológico inalámbrico con GPS, registra datos de las condiciones ambientales complejas (PASCO, 2007). Las variables que puede medir son: Temperatura, Humedad relativa, Humedad absoluta, Presión barométrica, Velocidad del viento, Sensación térmica, Punto de rocío, Índice UV, Rango de iluminación, Irradiación solar y Radiación fotosintética activa.
- ❖ Datalogger, dispositivo electrónico que registra datos en el tiempo o en relación a la ubicación por medio de instrumentos y sensores conectados de forma inalámbrica. Casi todos están basados en microcontroladores (PASCO, 2007).

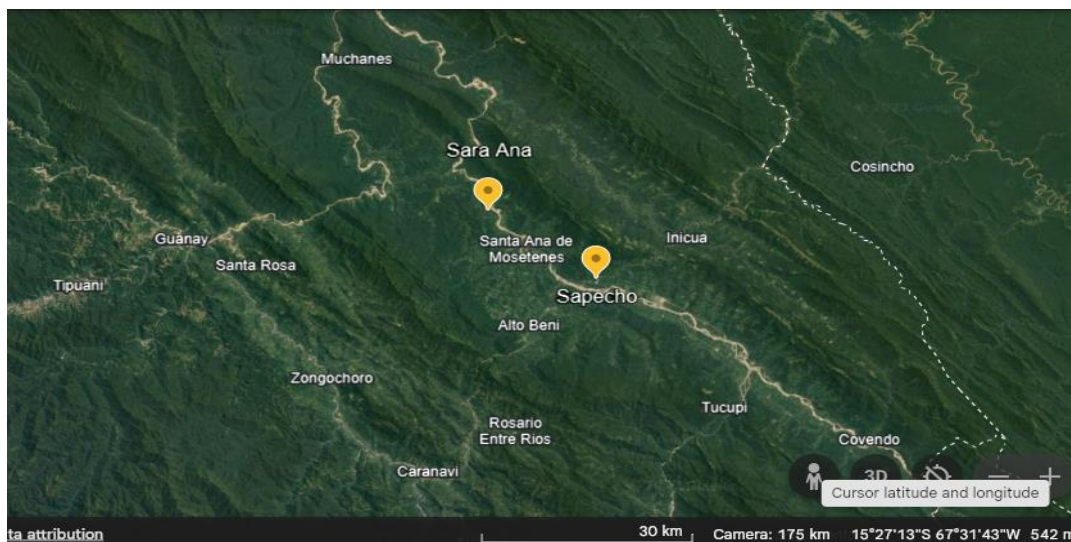
5.2 Metodología

5.2.1 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el centro de investigación y capacitación Sara Ana (Ripa & Naoki, 2021), el cual se creó a través de un acuerdo interinstitucional entre el Instituto de ecología (IE) de la Universidad Mayor de San Andrés, la fundación ECOTOP (<https://es.ecotop-consult.de/>), y la empresa privada El Ceibo. La estación experimental está ubicada en el Municipio de Alto Beni, Provincia Caranavi, Departamento de La Paz a 20 km de la localidad de Sapecho ($15^{\circ}27'30''$ S, $67^{\circ}28'38''$ O, altitud de 390 m.s.n.m.) y comprende aproximadamente 500 ha (Figura 9) (Ripa & Naoki, 2021).

Figura 9

Mapa del área de estudio, Sara Ana y la región de Alto Beni



NOTA: Tomado de Google Earth por S. Quispe Nina

5.2.2 Características climáticas

Según los registros meteorológicos del centro experimental de Sara Ana entre 2010 y 2020, la temperatura media anual fue de 26.9 ± 0.4 °C y la precipitación anual fue de 1654 ± 244 mm / año (Ripa & Naoki, 2021). La humedad relativa es aproximadamente del 80% todo el año (Ripa & Naoki, 2021). La época húmeda comienza en diciembre y termina en marzo con precipitaciones mayores a 200 mm/mes. La época seca inicia en abril y termina en noviembre registrándose en ocasiones precipitaciones menores a 60 mm/mes (Ripa & Naoki, 2021).

La temperatura media mensual muestra poca variación entre los meses (Ripa & Naoki, 2021). El mes más frío es julio con una temperatura media de (24.5 °C). El mes más cálido es noviembre con una temperatura media de (28.1 °C) (Ripa & Naoki, 2021).

5.2.3 Características de la vegetación

La vegetación de Sara Ana y el Alto Beni en general es moldeada por dos fenómenos: 1) Los eventos que naturalmente ocurren, por ejemplo, los vientos cargados de agua, producto de la evapotranspiración del Amazonas; el cual se transforma en lluvias y choca con la cordillera en los

puntos más altos de la cuenca (Jacobi et al., 2015). 2) Los derivados de la actividad humana, los cuales empezaron en la década de los 60's, cuando el Instituto Nacional de Colonización inicio la adjudicación de tierras y promovió el asentamiento de pobladores ajenos a la región (Ripa & Naoki, 2021). Estos individuos utilizaron los recursos naturales para la construcción de casas y la habilitación de tierras agrícolas. Ahora se observa, un mosaico de distintas unidades de vegetación que varían desde bosques casi naturales, bosques intervenidos hasta matorrales, zonas ribereñas, áreas de cultivos y pastizales.

Los bosques de Sara Ana son considerados como bosques siempre verdes, subandino del suroeste de la Amazonia (Ripa & Naoki, 2021). Poseen cuatro estratos principales: el dosel que se encuentra a 15 a 20 m (*Arecaceae*, *Malvaceae*, *Moraceae*); el subdosel que se encuentra por debajo de los 15 m (*Chonta*, *Motacu*, *Chima*); el sotobosque con árboles hasta 10 m (*Leonia crassa*, *Annona montana*, *Urera baccifera*) y un estrato herbáceo (*arbustos*, *plántulas de árboles*, *trepadoras*).

5.2.4 Características del suelo

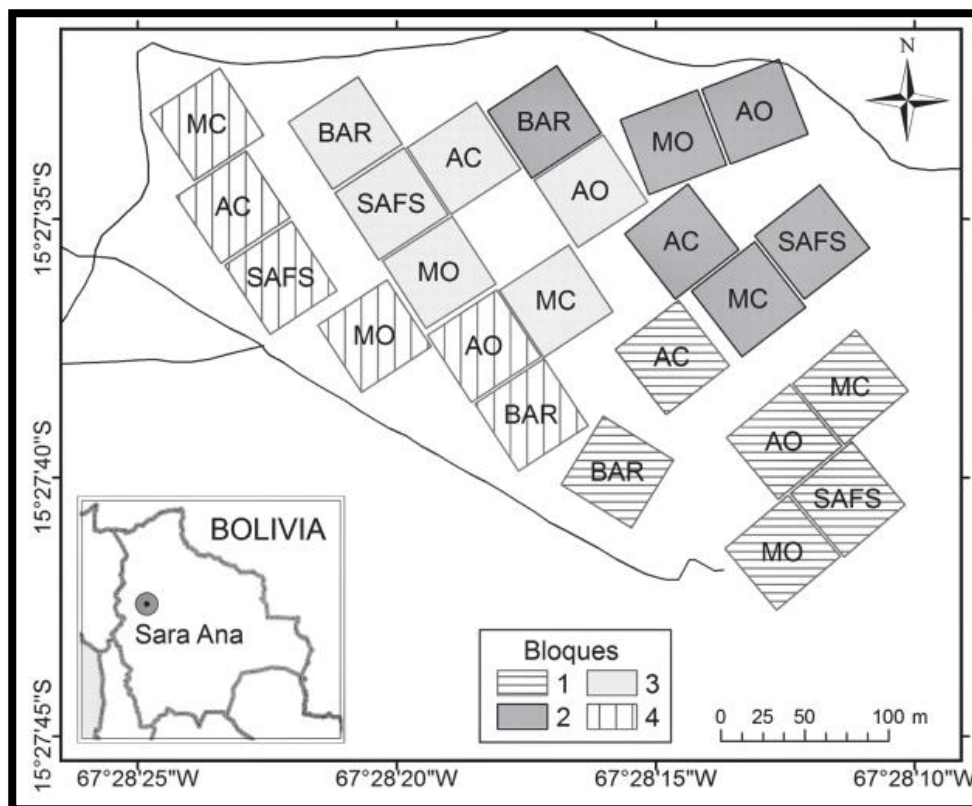
En el año 2008, al inicio de la implementación del centro de investigación de Sara Ana, se realizó un perfil de suelo (Ripa & Naoki, 2021). Los suelos fueron clasificados como Luvisoles y Lixisoles (Ripa & Naoki, 2021). La textura va de franca a franca-arcillosa, con un pH que oscila entre 5 y 8, con un contenido alto de materia orgánica en los primeros centímetros del suelo, pueden ser considerados con una fertilidad relativamente buena (Ripa & Naoki, 2021). Apto para forestales maderables y cultivos tropicales (Velazquez, 2016).

5.2.5 Diseño experimental de los sistemas de producción

En el centro de investigación de Sara Ana se estableció hace más de 10 años con un diseño de bloques aleatorios (Ripa & Naoki, 2021). El sistema de bloques cuenta con 24 parcelas de 48 x 48 m, con un total de 2.304 m² cada una, las cuales fueron repartidas en cuatro bloques, el mapa con la distribución de las parcelas donde se realizó la toma de muestras se observa en la Figura 10. Cada uno cuenta con seis tipos de sistemas de producción: monocultivo orgánico (MO), monocultivo convencional (MC), agroforestal orgánico (AO), agroforestal convencional (AC) y agroforestal sucesional dinámico (SAFS) y una parcela de barbecho (BAR) (Naoki et al., 2017). Las características de los sistemas de producción de cacao seleccionados se pueden observar en el acápite de marco teórico.

Figura 10

Mapa de la distribución los sistemas de producción de cacao.



NOTA. Abreviaciones: BAR: Barbecho, SAFS: Sistema agroforestal sucesional, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional. Tomado de *Selección de diferentes sistemas de producción de cacao (Theobroma cacao, Malvaceae) por aves en Alto Beni, Bolivia - una prueba de cafetería en el campo*, (p. 103), por Kazuya Naoki, M. Isabel Gómez y Monika Schneider.

5.2.2. Especies de estudio

En el estudio se utilizaron como objeto de estudio cinco genotipos de cacao: Ila22, III06, III13, ICS1, TSH565. El genotipo ICS 1 es parte del Imperial College Selection 1; THS 565 es un híbrido seleccionado de trinidad; y los cultivares Ila22, III06, III13 son cultivares locales derivados de un programa de selección de árboles de elite en las áreas II y III del Alto Beni (Schneider et al., 2017). Todos estos genotipos se encuentran dentro de las variedades mejor adaptadas y con mayor

rendimiento en Bolivia (Adela, 2016). Los cuales se encuentran distribuidos aleatoriamente dentro de cada parcela (figura 11).

Figura 11

Esquema grafico de la distribución de variedades de cacao dentro de la parcela #3

C		< 48m >										
	95	III 06	95x67	565	III 13	565x67	1	IIa 22	1x67	6	IIa 58	6x67
	1	IIa 22	1x67	6	IIa 58	6x67	95	III 06	95x67	565 Crecimie	III 13	565x67
	95	III 06	95x67	R7 TSH 565	R8 III 13	R9 565x67	R10 ICS 1	R11 IIa 22	R12 1x67	6	IIa 58	6x67
	1	IIa 22	1x67	31 IIa 22	32 III 06	33 6x67	34 ICS 1	35 95x67	36 95x67	565	III 13	565x67
	95	III 06	95x67	30 95x67	29 III 06	28 III 06	27 ICS 95	26 IIa 58	25 TSH 525	6	IIa 58	6x67
	1	IIa 22	1x67	19 III 13	20 ICS 1	21 6x67	22 ICS 1	23 ICS 1	24 565x67	565	III 13	565x67
	95	III 06	95x67	18 565x67	17 III 13	16 6x67	15 TSH 565	14 1x67	13 III 06	6	IIa 58	6x67
	1	IIa 22	1x67	7 IIa 58	8 565x67	9 ICS 95	10 IIa 58	11 IIa 22	12 1x67	565	III 13 Crecimie	565x67
	95	III 06	95x67	6 1x67	5 ICS 6	4 TSH 565	3 ICS 95	2 ICS 6	1 ICS 6	6	IIa 58	6x67
	1	IIa 22	1x67	R6 ICS 6	R5 IIa 58	R4 6x67	R3 ICS 95	R2 III 06	R1 95x67	565	III 13	565x67
	95	III 06	95x67	565	III 13	565x67	1	IIa 22	1x67	6	IIa 58	6x67
	1	IIa 22	1x67	6	IIa 58	6x67	95	III 06	95x67	565	III 13	565x67

NOTA. En los cuadros de color amarillo se observan los individuos de cacao que fueron muestreados dentro del área de no tiene influencia externa, la selección se realizó dentro del área que se encuentra fuera de la influencia externa. Fuente: Elaboración propia

5.2.5.1 Descripción morfológica del cacao

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un árbol que en cultivo alcanza un tamaño entre 4 a 8 m de altura pero puede llegar hasta 20 m en sombra intensa (Dumble, 2013). Su copa es densa, redonda y con un diámetro de 7 a 9 m. Tiene un tronco recto que se puede desarrollar en formas muy variadas, según las condiciones ambientales. Las hojas son simples, enteras, angostamente ovadas

(17 – 48 cm de largo y 7 – 10 cm de ancho) y de color verde bastante variable (color café claro, morado o rojizo, verde pálido) y de pecíolo corto de aproximadamente 14 – 27 [mm] de largo (Doster, et al., 2012). Las flores son pequeñas y se produce, al igual que los frutos, en racimos pequeños sobre el tejido maduro mayor de un año del tronco y de las ramas, alrededor en los sitios donde antes hubo hojas (Doster et al., 2012). Las flores son pequeñas con pétalos grandes. El cáliz es de color rosa con segmentos puntiagudos; la corola es de color blancuzco, amarillo o rosa (Dumble, 2013). El fruto es una baya grande (mazorca) de 30 cm de largo y 10 cm de diámetro, siendo lisos o acostillados y de color rojo, amarillo, morado o café dependiendo de la variedad. La pared del fruto es gruesa, dura o suave y de consistencia como de cuero. El contenido de semillas por baya es de 20 a 40 semillas y son planas o redondeadas, de color blanco, café o morado, de sabor dulce o amargo (Dumble, 2013).

Figura 12

Morfología de *Los árboles de cacao*



Fuente: Elaboración propia (Foto: S. Quispe Nina)

5.2.6 Toma de datos experimentales en campo

El trabajo de campo se realizó en abril de 2022 en la estación experimental de Sara Ana. Se realizaron visitas a las parcelas entre las 10:00 am y 14:00 pm donde se ubicaron los cinco árboles seleccionados en cada sistema de producción. El orden de las visitas a las parcelas fue aleatorio en cada bloque para evitar sesgos en el registro de datos. En cada registro, se posicionó una escalera en orientación norte al árbol figura (figura 13 y 14). En cada árbol se seleccionó una rama con hojas sanas y que contenga por lo menos 10 hojas. Primero, se introdujo en un tupper de 3 litros un sensor inalámbrico de CO_2 y otro sensor meteorológico inalámbrico con GPS (figura 15) verificando que se encontraban encendidos, calibrados y conectados al Datalogger (PASCO, 2007) (figura 16 y 17).

Figura 13

Recolección de datos experimentales de cacao



Fuente: Elaboración propia (Foto: S. Quispe Nina)

Figura 14

Recolección de datos experimentales de agroforestales



Fuente: Elaboración propia (Foto: S. Quispe Nina)

Figura 15

Sensores inalámbricos dentro del tupper



Fuente: Elaboración propia (Foto: S. Quispe Nina)

Figura 16

Datalogger conectados a los sensores



Fuente: Elaboración propia (Foto: S. Quispe Nina)

Figura 17

Manejo de datalogger para la recolección de datos

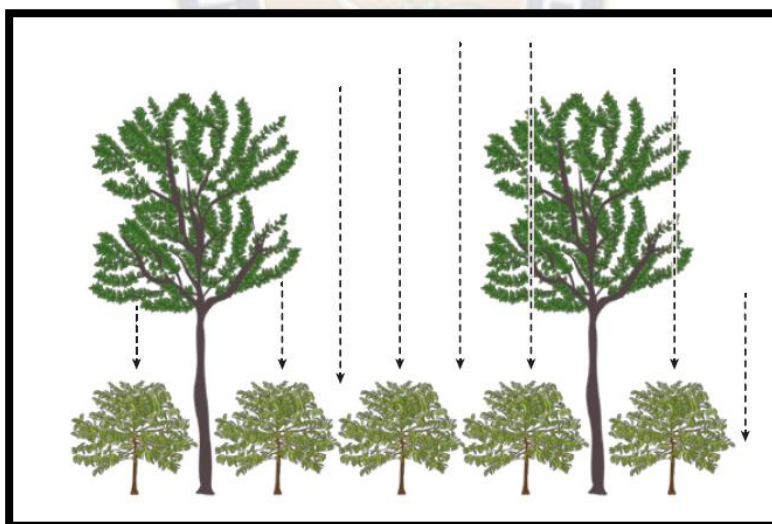


Fuente: Elaboración propia (Foto: S. Quispe Nina)

Segundo, se introdujo una hoja unida a la rama dentro del tupper y se inició el registro de datos de la concentración de CO₂, temperatura, la Radiación Fotosintética Activa (PAR), durante 300 segundos con la ayuda del datalogger. Adicionalmente se registró la fecha, el bloque, la hora, el número de registro, el número de parcela, el tipo de sistema de producción, el código de árbol, la variedad de cacao, el número de hoja, tamaño del árbol y la cobertura de dosel. La cobertura de dosel se registró por observación, considerando el porcentaje de superficie de cultivo cubierto por la proyección vertical de las copas de los árboles que se proyecta en la parte superior (Farfán-Valencia, 2019). Por ejemplo, una cobertura del 50% indica que la mitad de la planta está cubierta por el dosel de los árboles y 100 % sería el máximo teórico alcanzable (figura 18). El PAR, dosel y temperatura no necesariamente son condiciones microclimáticas. Sin embargo, estas se utilizaron en esta investigación como variables que podrían determinar la micro climatología.

Figura 18

Representación gráfica de la cobertura de dosel de los arboles



NOTA. Adaptado de *Descripción de la estructura del dosel arbóreo al interior de un sistema agroforestal con café* (p. 3), por Fernando Farfán Valencia, 2019.

Una vez terminado el registro de datos se colectó la hoja con la ayuda de la tijera podadora, se le asignó un número y se la conservó para los análisis posteriores en laboratorio. El muestreo se replicó en 20 parcelas, cuatro parcelas para cada tipo de sistema de producción. Las mediciones no fueron realizadas cuando estaba lloviendo o cuando las hojas se encontraban mojadas (Saavedra, et al., 2020). En total se recolectaron 100 hojas que correspondían a los 100 árboles muestreados en los cinco sistemas de producción de cacao.

Figura 19

Diagrama de la toma de datos experimentales en campo



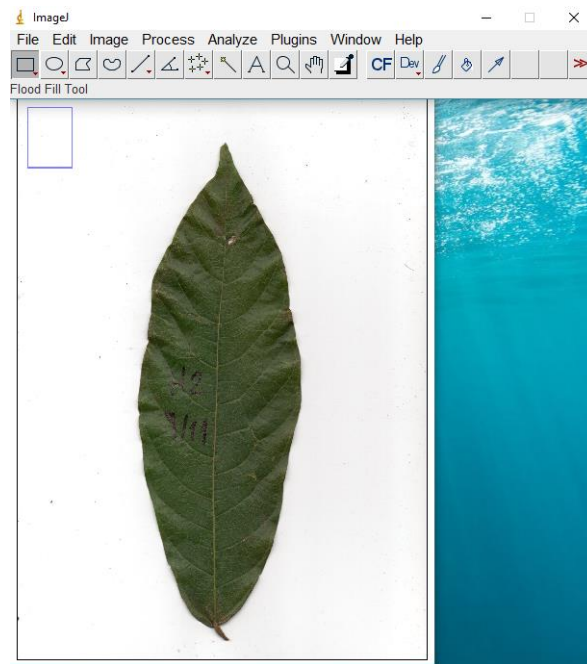
Fuente: Elaboración propia

5.2.7 Procesamiento de datos en laboratorio

El trabajo de laboratorio se llevó a cabo con la ayuda de un escáner EPSON 3150, con el cual se digitalizaron todas las hojas recolectadas. Una vez terminado este proceso se calculó el área foliar de cada hoja con la ayuda del programa **Image J** (Figura 20) (Kunik, 2014), el cual es un programa de procesamiento digital de imágenes. Dentro de este programa, primero se convierten los píxeles de la imagen en unidades métricas conocidas, como los centímetros. Posteriormente, convertimos la imagen a blanco y negro; el contraste de color nos permite calcular el área foliar de la hoja en cm².

Figura 20

Área foliar de las hojas en el Imagen J



NOTA. ImageJ ayuda al cálculo del área foliar de las hojas recolectadas.

Fuente: Elaboración propia (Foto: S. Quispe Nina)

6 CALCULOS EXPERIMENTALES

6.1 Cálculo de tasa fotosintética

Para estimar la tasa fotosintética de los diferentes árboles muestreados se utilizó la siguiente formula:

$$Fsa = \left(\frac{V}{t_2 - t_1} \right) * \left(\frac{sCO_2}{AF} \right)$$

Donde:

Fsa: tasa fotosintética

V: el volumen de asimilación m³

$t_2 - t_1$: el tiempo transcurrido entre las dos muestras de aire

sCO_2 : diferencia de concentración de CO_2 entre las dos muestras de aire μmol

AF: área foliar m²

El volumen de asimilación es igual al volumen del tupper que es de 0,003 m³. El tiempo transcurrido fue el periodo donde se observó el consumo de CO_2 . El sCO_2 fue calculado con la diferencia del dióxido de carbono inicial y final registrados en el datalogger, considerando solo el periodo donde se vio una curva de descenso. El área foliar en [cm²] calculada por el programa **ImageJ** fue dividido entre 10000 para obtener el valor en [m²]. Finalmente, se convirtió la concentración de ppm de CO_2 (las unidades registradas en el datalogger fueron en ppm) con la ayuda del peso molecular del gas de 44 [g/mol] y multiplicándolo por 10⁶ para tener las unidades adecuadas, esta operación nos permite tener la diferencia concentración de CO_2 en [$\mu\text{mol}/\text{m}^3$]

6.2 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con un tamaño de muestra de 100 hojas en cuatro bloques (cinco hojas por cinco sistemas de producción). Primero comparamos la tasa fotosintética en los cinco sistemas de producción de cacao (monocultivo orgánico, monocultivo convencional, agroforestal orgánico, agroforestal convencional y agroforestal sucesional dinámico) usando una prueba de ANOVA de una vía. Los valores de F fueron calculados a partir de la varianza de las medias de los grupos y el promedio de la varianza dentro de los grupos (Amat Rodrigo, 2016). En segundo lugar, para el análisis de la variación de las condiciones microclimáticas entre sistema de producción de cacao se realizó un análisis de ANOVA de una vía. El funcionamiento de las pruebas de ANOVA consiste en calcular las medias de cada uno de los grupos analizados para evidenciar si hay diferencias significativas (Amat Rodrigo, 2016). Adicional a lo anterior se realizaron pruebas de Tukey las cuales nos permite comparar los valores promedios entre pares de grupos analizados para conocer entre que grupos hay diferencias significativas. Finalmente, para la evaluación del efecto de las condiciones microclimáticas sobre la tasa fotosintética se aplicó una regresión lineal simple con un intervalo de confianza del 95 %. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el software estadístico R versión 4.2.2 (R Core team, 2016)

7 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

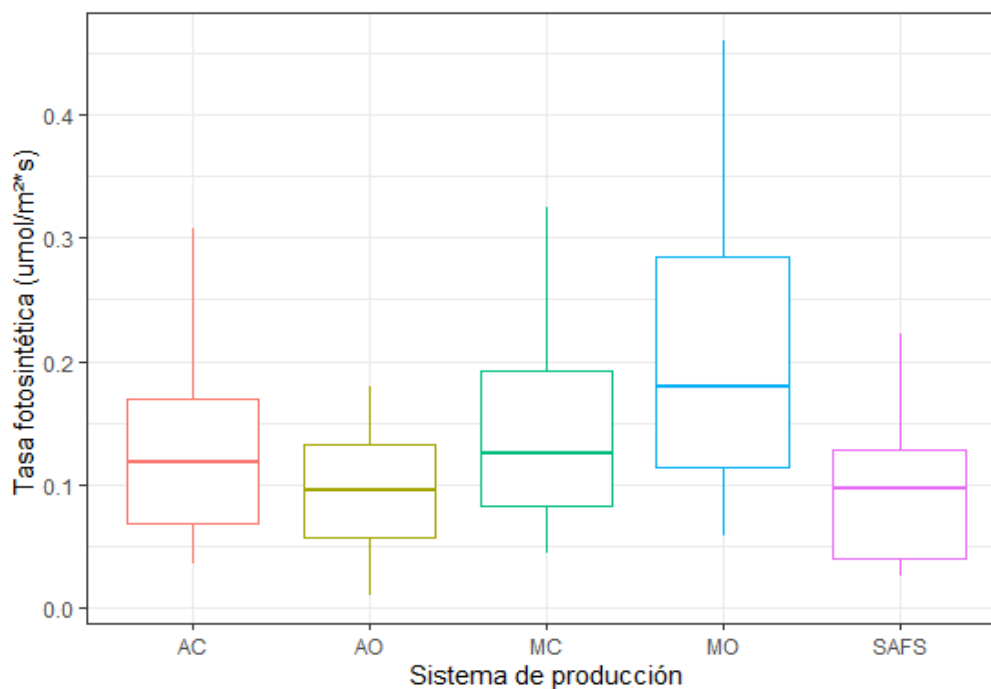
7.1 Resultados

7.1.1 La tasa fotosintética de cacao en cinco diferentes sistemas de producción.

Se encontró diferencias significativas de la tasa fotosintética entre los cinco sistemas de producción ($D_f = 4, F = 5.904, p < 0.001$), es decir, los sistemas de producción tienen diferentes cantidades de tasa fotosintética. En la Figura 21, se observa que el monocultivo orgánico presenta mayor tasa fotosintética frente a los otros tipos de sistemas de producción. Con el análisis de anova se determinó que los análisis son significativos por lo cual se realizaron las pruebas de Tukey las cuales nos permitieron conocer entre que sistemas específicamente existen diferencias significativas.

Figura 21

Tasa fotosintética en los diferentes sistemas de producción



NOTA: Abreviaciones: SAFS: Sistema agroforestal sucesional, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional.

Fuente: Elaboración propia

La prueba de Tukey mostró diferencias significativas entre MO-AO y SAFS-MO, esto se observa en la Tabla 2. Estas parejas de sistemas nos muestran los sistemas de producción donde la tasa fotosintética es completamente diferente entre ambas.

Tabla 2

Resultados de la prueba de Tukey en la tasa fotosintética en los diferentes sistemas de producción

Tipo de sistema	diferencia	nivel inferior	nivel superior	P adj
-----------------	------------	----------------	----------------	-------

AO-AC	-0.16106799	-0.41716633	0.09503036	0.4094484
MC-AC	0.07318369	-0.18291465	0.32928203	0.9315674
MO-AC	0.23217550	-0.02392284	0.48827385	0.0945127
SAFS-AC	-0.12264233	-0.37874068	0.13345601	0.6722344
MC-AO	0.23425168	-0.02184667	0.49035002	0.0896696
MO-AO	0.39324349	0.13714515	0.64934184	0.0004375
SAFS-AO	0.03842565	-0.21767269	0.29452400	0.9935535
MO-MC	0.15899181	-0.09710653	0.41509016	0.4229058
SAFS-MC	-0.19582602	-0.45192437	0.06027232	0.2175922
SAFS-MO	-0.35481784	-0.61091618	-0.09871949	0.0019405

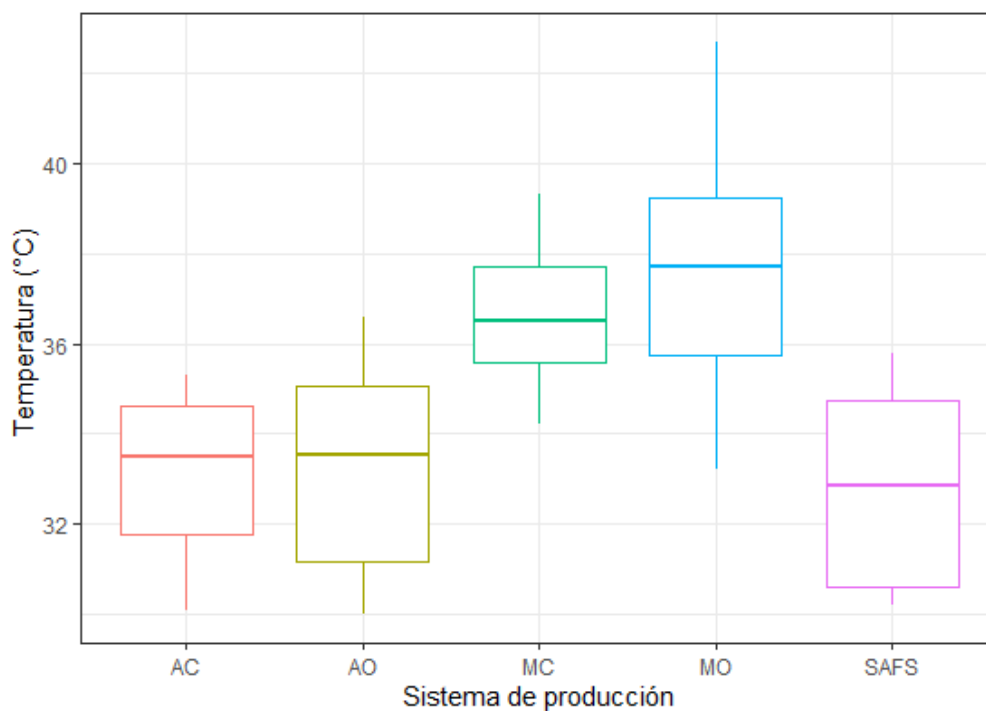
NOTA. Los valores en negritas son los pares de sistemas que mostraron diferencias significativas en las pruebas de Tukey. Abreviaciones: SAFS: Sistema agroforestal sucesional, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional.

7.1.2 Variables microclimáticas en los cinco sistemas de producción

Se encontró diferencias significativas en la temperatura de los diferentes sistemas ($D_f = 4, F = 23.32, p < 0.001$), es decir, las temperaturas de los sistemas de producción son diferentes. En la Figura 22 se observa que la temperatura fue mayor en los monocultivos que en los agroforestales y SAFS. Con el análisis de anova se determinó que los análisis son significativos por lo cual se realizaron las pruebas de Tukey, las cuales nos permitieron conocer entre que sistemas de producción específicamente existen diferencias significativas.

Figura 22

Temperatura en los diferentes sistemas de producción



NOTA: Abreviaciones: SAFS: Sistema agroforestal sucesional, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional.

Fuente: Elaboración propia

La prueba de Tukey (Tabla 3) muestra que existe diferencia significativa en MC-AC, MO-AC, MC-AO, MO-AO, SAFS-MC y SAFS-MO. Estas parejas nos muestran los sistemas de producción donde la temperatura es completamente diferente entre ambas.

Tabla 3

Resultados de la prueba de Tukey de la temperatura en los diferentes sistemas de producción

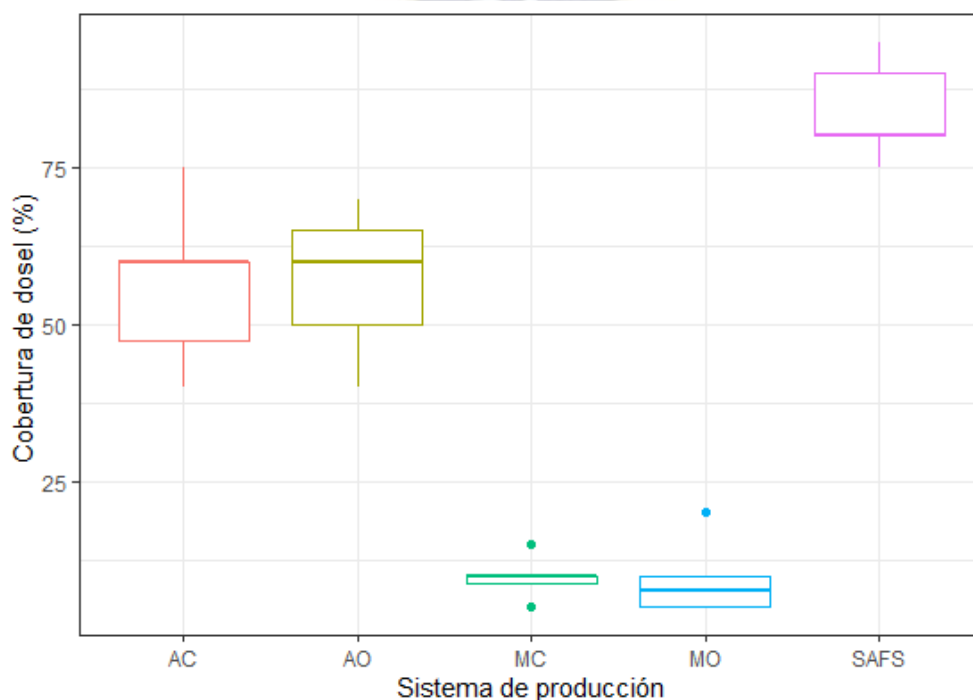
Tipo de sistema	diferencia	nivel inferior	nivel superior	P adj
AO-AC	0.001255752	- 0.020855791	0.02336730	0.9998578
MC-AC	0.039914807	0.017803264	0.06202635	0.0000235
MO-AC	0.053057749	0.030946206	0.07516929	< 0.001
SAFS-AC	-0.007228116	-0.029339659	0.01488343	0.8927779
MC-AO	0.038659054	0.016547511	0.06077060	0.0000445
MO-AO	0.051801996	0.029690453	0.07391354	< 0.001
SAFS-AO	-0.008483868	-0.030595411	0.01362767	0.8229140
MO-MC	0.013142942	-0.008968601	0.03525449	0.4678834
SAFS-MC	-0.047142922	-0.069254465	-0.02503138	< 0.001
SAFS-MO	-0.060285865	-0.082397408	-0.03817432	< 0.001

NOTA. Los valores en negritas son los pares de sistemas que mostraron diferencia significativa en las pruebas de Tukey. Abreviaciones: SAFS: Sistema agroforestal sucesional, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional.

Por su parte, la cobertura de dosel entre los sistemas de producción mostró una diferencia significativa ($D_f = 4$, $F = 315.8$, $p < 0.001$), es decir que, la cobertura de dosel de más de tres de los cinco sistemas de producción analizados son diferentes. En la Figura 23, se observa que los SAFS presentan mayor cobertura de dosel seguidos de los agroforestales y finalmente los monocultivos.

Figura 23

Cobertura de dosel en los diferentes sistemas de producción



NOTA. Abreviaciones: SAFS: Sistema agroforestal sucesional, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional.

Fuente: Elaboración propia

La prueba de Tukey (Tabla 4) muestra que la diferencia significativa se encuentra entre MC-AC, MO-AC, SAFS-AC, MC-AO, MO-AO, SAFS-AO, SAFS-MC y SAFS-MO. Estas parejas de sistemas de producción nos muestran donde la cobertura de dosel es completamente diferente entre ambas.

Tabla 4

Resultados de la prueba de Tukey en la cobertura de dosel en los diferentes sistemas de producción

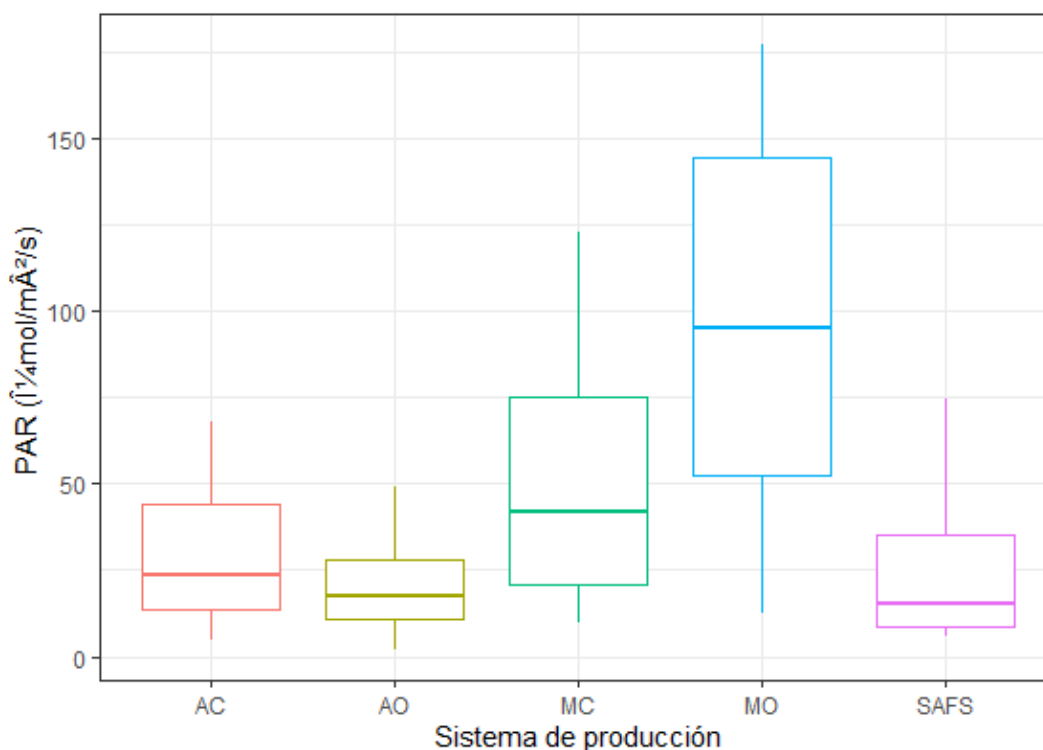
Tipo de sistema	diferencia	nivel inferior	nivel superior	P adj
AO-AC	0.01005982	-0.09961021	0.11972984	0.9990510
MC-AC	-0.78113708	-0.89080710	-0.67146705	< 0.001
MO-AC	-0.87656133	-0.98623135	-0.76689131	< 0.001
SAFS-AC	0.18207367	0.07240365	0.29174369	0.0001174
MC-AO	-0.79119689	-0.90086692	-0.68152687	< 0.001
MO-AO	-0.88662114	-0.99629117	-0.77695112	< 0.001
SAFS-AO	0.17201385	0.06234383	0.28168388	0.0003110
MO-MC	-0.09542425	-0.20509427	0.01424577	0.1189850
SAFS-MC	0.96321075	0.85354073	1.07288077	< 0.001
SAFS-MO	1.05863500	0.94896498	1.16830502	< 0.001

NOTA. Los valores en negritas son los pares de sistemas que mostraron diferencia significativa en las pruebas de Tukey. Abreviaciones: SAFS: Sistema agroforestal sucesional, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional.

Finalmente, la radiación fotosintética activa (PAR), también muestra diferencia significativa ($D_f = 4$, $F = 14.84$, $p < 0.001$), es decir, el PAR de los diferentes sistemas de producción son diferentes. En la figura 24, los valores de PAR fueron mayores en los monocultivos que en el resto de sistemas. Con el análisis de anova se determinó que los análisis son significativos por lo cual se realizaron las pruebas de Tukey, las cuales nos permitieron conocer entre que sistemas de producción específicamente existen diferencias significativas.

Figura 24

El PAR en los diferentes sistemas de producción



NOTA. Abreviaciones: SAFS: Sistema agroforestal sucesional, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional.

Fuente: Elaboración propia

En la prueba de Tukey (Tabla 5) se observa que existe diferencia significativa entre MO-AC, MC-AO, MO-AO, SAFS-MC y SAFS-MO. Estas parejas nos muestran los sistemas de producción donde la tasa fotosintéticamente activa es completamente diferente entre ambas.

Tabla 5

Resultados de la prueba de Tukey del PAR en los diferentes sistemas de producción

Tipo de sistema	diferencia	nivel inferior	nivel superior	P adj
AO-AC	-0.16216056	-0.47000742	0.14568629	0.5876594
MC-AC	0.26627284	-0.04157401	0.57411970	0.1228105
MO-AC	0.55373143	0.24588458	0.86157829	0.00000253
SAFS-AC	-0.12752318	-0.43537004	0.18032367	0.7783603
MC-AO	0.42843340	0.12058655	0.73628026	0.0018281
MO-AO	0.71589200	0.40804514	1.02373885	< 0.001
SAFS-AO	0.03463738	-0.27320947	0.34248424	0.9978855
MO-MC	0.28745859	-0.02038826	0.59530545	0.0790689
SAFS-MC	-0.39379602	-0.70164288	-0.08594917	0.0051978
SAFS-MO	-0.68125462	-0.98910147	-0.37340776	< 0.001

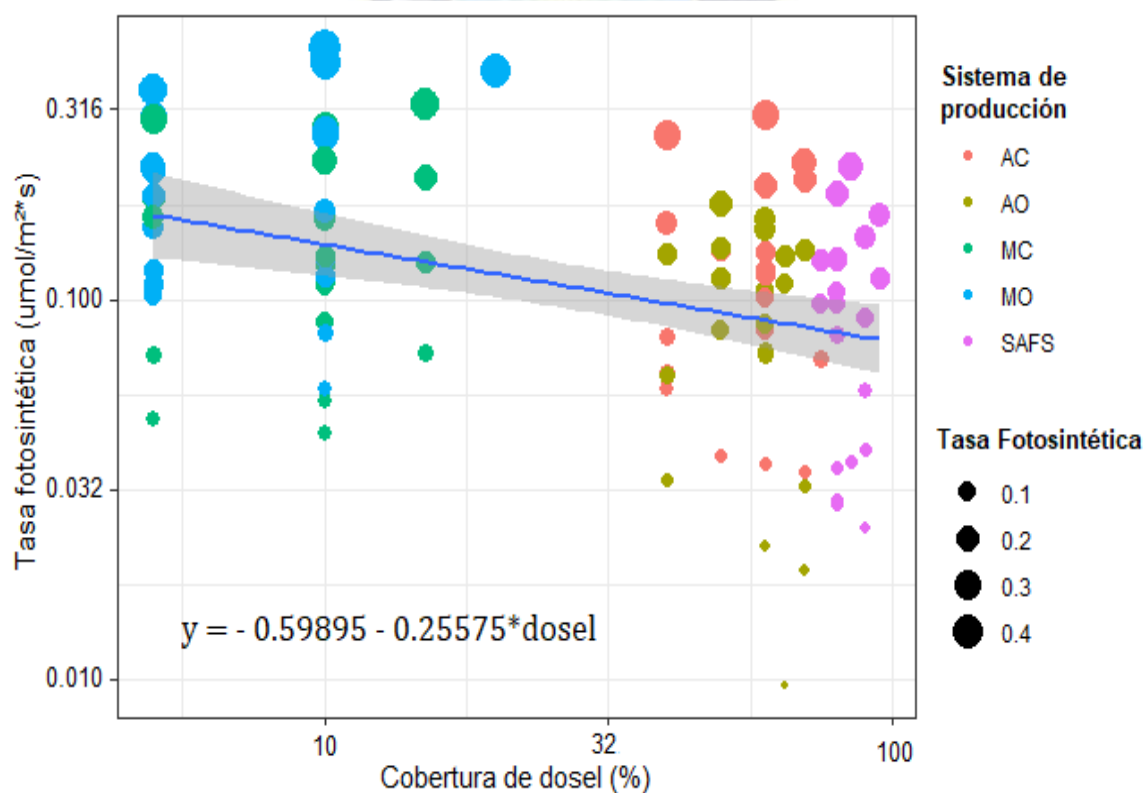
NOTA. Los valores en negritas son los pares de sistemas que mostraron diferencia significativa en las pruebas de Tukey. Abreviaciones: SAFS: Sistema agroforestal sucesional, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional.

7.1.3 Efecto de la tasa fotosintética de cacao con las variables microclimáticas en los sistemas de producción

Se encontró que la tasa fotosintética es influenciada por las variables microclimáticas. La tasa fotosintética presenta una asociación inversamente proporcional a la cobertura de dosel, en la Figura 25, la asociación tiene una pendiente negativa, la misma nos muestra que cuando hay aumento de la cobertura de dosel existe una disminución de la tasa fotosintética.

Figura 25

Asociación de la tasa fotosintética respecto la cobertura de dosel en los sistemas de producción



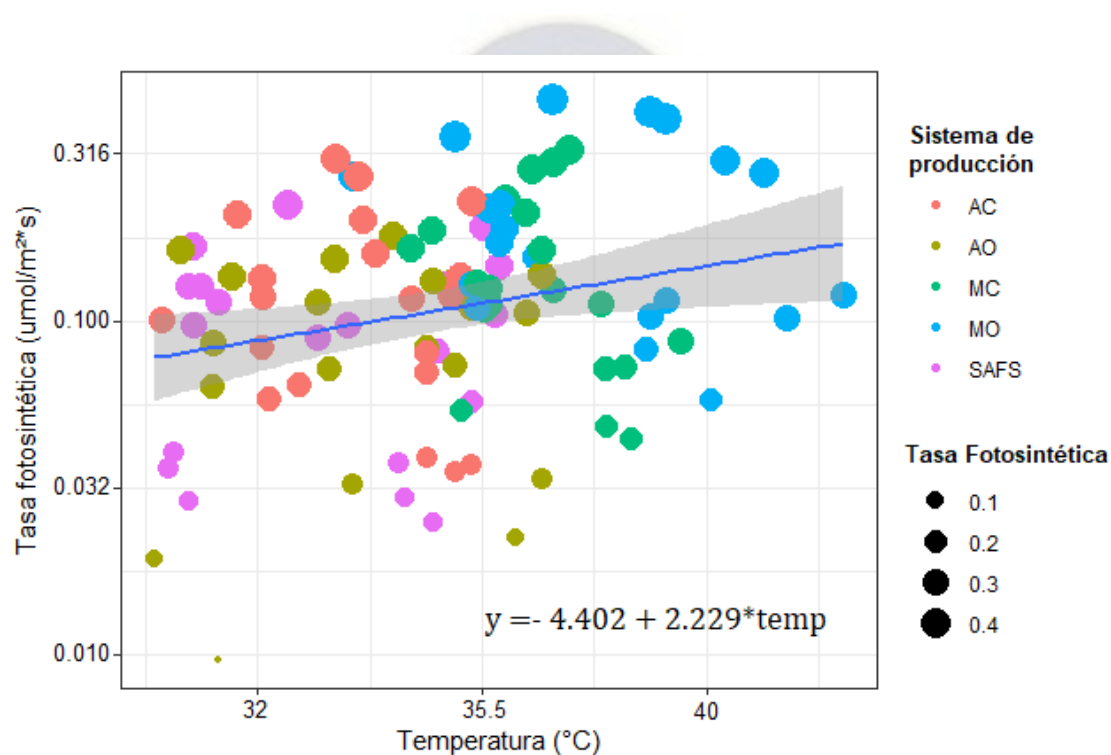
NOTA. Abreviaciones: SAFS: Sistema agroforestal sucesional, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la tasa fotosintética tuvo una asociación proporcional con la temperatura, en la Figura 26, la asociación muestra una pendiente positiva. Esta asociación nos señala que la aumentar la temperatura también aumenta la tasa fotosintética en los sistemas de producción.

Figura 26

Asociación de la tasa fotosintética con la temperatura en los diferentes sistemas de producción



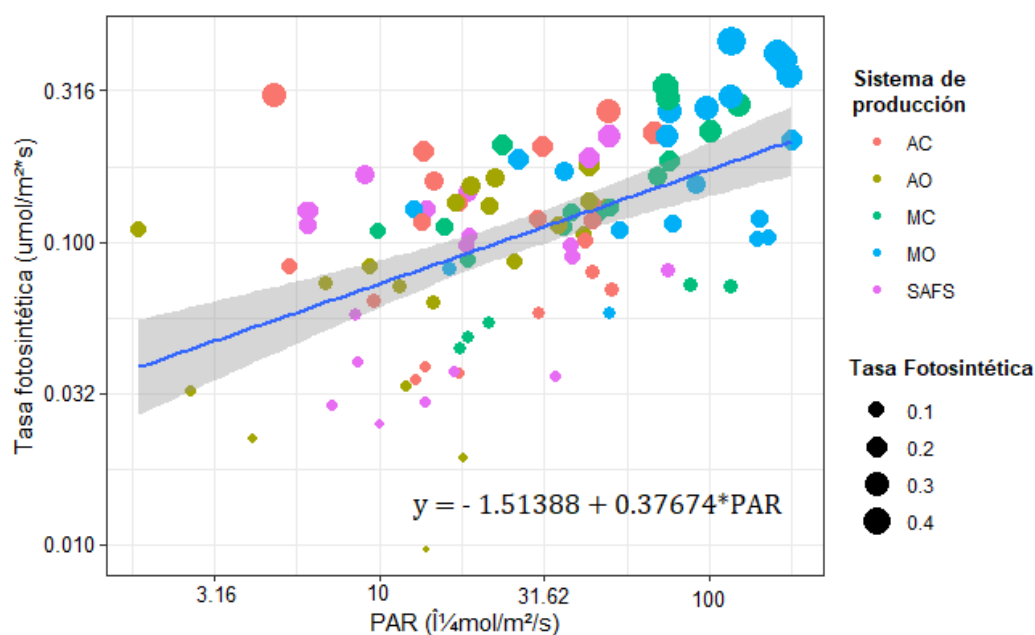
NOTA. Abreviaciones: SAFS: Sistema agroforestal sucesional, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la tasa fotosintética también muestra una asociación proporcional con la radiación fotosintéticamente activa (PAR), la pendiente positiva de la Figura 27 muestra que a mayor PAR se obtendrá mayor tasa fotosintética.

Figura 27

Asociación de la tasa fotosintética con el PAR en los diferentes sistemas de producción



NOTA. Abreviaciones: SAFS: Sistema agroforestal sucesional, AO: Agroforestal orgánico, AC: Agroforestal convencional, MO: Monocultivo orgánico, MC: Monocultivo convencional.

Fuente: Elaboración propia

7.2 DISCUSIÓN

Los resultados muestran que la tasa fotosintética, temperatura, cobertura de dosel y fracción de PAR que llega a la superficie de las hojas varían entre los diferentes sistemas de producción. Se identificó una mayor tasa fotosintética en los monocultivos en comparación de los sistemas agroforestales, la temperatura y el PAR fue mayor en los sistemas de monocultivo que en resto de sistemas. Por el contrario, la cobertura de dosel fue menor en los sistemas de monocultivo comparado con los sistemas agroforestales y los SAFS. Las variables microclimáticas tuvieron efectos sobre la tasa fotosintética. La temperatura y PAR influyen de manera positiva y la cobertura de dosel negativamente sobre la fotosíntesis. Estos hallazgos apoyan nuestra hipótesis, que afirma que en los sistemas de monocultivo la tasa fotosintética será mayor debido a un mayor nivel de PAR, temperatura y menor cobertura de dosel comparado con sistemas agroforestales. Esto se debe

a que las plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en los monocultivos pueden absorber mayor radiación PAR debido a la poca o ninguna cobertura de dosel (Baligar, et al.,2008).

7.2.1 Tasa fotosintética y variables microclimáticas del cacao en cinco diferentes sistemas de producción.

La tasa fotosintética, temperatura, cobertura de dosel y fracción de PAR es diferente entre los sistemas de producción lo cual comprueba sus efectos sobre las variables de estudio. La producción de cacao en sistema de monocultivo es más efectiva desde un punto de vista técnico ya que presenta un mejor rendimiento que se traduce en una mayor producción de mazorcas (SysCom Bolivia, 2021). Esto se debe a que las condiciones ambientales en sistemas de monocultivo facilitan el proceso de fotosíntesis al producir mayor cantidad de energía química (Taiz & Zeiger, 2002). A largo plazo, los sistemas de monocultivo no son sostenibles para los productores debido a la rápida absorción de nutrientes que desgastan los suelos y ponen en riesgo oportunidades comerciales competitivas (Niether, et al. 2018)

Los sistemas de producción del cacao varían desde monocultivos a pleno sol hasta sistemas agroforestales de múltiples estratos, donde los árboles de cacao se plantan junto con árboles frutales, maderables y leguminosas (Niether, et al., 2018). Esto tiene diferentes efectos sobre el microclima que se genera y los procesos bioquímicos dentro de cada uno de los sistemas. Salazar et al., (2018) analizó diferentes sistemas agroforestales y encontró que la tasa fotosintética varía dentro de los mismos debido a los niveles de PAR que llega a los sistemas y esta variación de PAR se debe a la cantidad de barreras que atraviesa la radiación solar antes de llegar a los árboles de cacao. Estos resultados concuerdan con los resultados encontrados en este estudio, donde, los sistemas agroforestales mostraron una menor tasa fotosintética comparada con los monocultivos.

Numerosos estudios sugieren que los sistemas agroforestales amortiguan los eventos climáticos extremos, como las fluctuaciones de temperatura, en comparación con los monocultivos, pero reducen el flujo de luz y de las precipitaciones (Niether et al., 2018). Los resultados encontrados apoyan los registrados por Niether et al., (2018), quien halló que la temperatura es mayor en los monocultivos. En línea con estos resultados se observó que la temperatura varía entre los diferentes sistemas de producción, donde la temperatura es mayor en los monocultivos, comparando con los agroforestales. Esto sugiere que la cobertura del dosel es importante al momento de modificar las

variables microclimáticas. Baez et al., (2021) asegura que el aumento de la temperatura ambiente es un factor crítico para el crecimiento y desarrollo de las plantas, el cual puede reducir el rendimiento de los árboles.

Como lo menciona Baligar et al., (2021) los árboles de cacao son usualmente producidos a pleno sol, pero son tolerantes a la sombra, debido a su plasticidad fenotípica para la aclimatación a diferentes condiciones de cultivo. Las variables microclimáticas que se generan a largo plazo, como la cobertura de dosel es mayor en los sistemas agroforestales (Somarriba & Beer, 2011) y poca o nula en los monocultivos de estudio. Los resultados obtenidos coinciden con los resultados de estos autores. La cobertura de dosel se encontró en mayor porcentaje en el sistema agroforestal sucesional, debido a que posee una sombra permanente de múltiples sustratos de especies agroforestales como leñosas, maderables y frutales (Naoki et al., 2017). Los sistemas agroforestales también mostraron una cantidad considerable de cobertura de dosel, pero en estos sistemas solo se consideran dos diferentes sustratos. Por el contrario, los monocultivos muestran un porcentaje bajo del mismo. En Bolivia, los sistemas agroforestales y orgánicos están entre los más utilizados en la región de Alto Beni (Andres et al., 2016).

Los resultados obtenidos muestran que la fracción de radiación fotosintéticamente activa (PAR) tiende a variar dentro y entre cada sistema de producción, lo cual está determinado por la cobertura de dosel. Recordemos que ésta es la barrera más próxima a los árboles de cacao, pero no es la única, también se considera la nubosidad y el viento como factores que evitan la llegada del PAR provenientes de la fuente de luz, en este caso el sol. Los resultados obtenidos en este estudio apoyan los reportados por Salazar et al., (2018), quienes sugieren que la estructura (distribución espacial) y la composición espacial de los sistemas de cacao deben ajustarse para generar un nivel adecuado de sombra para el cultivo de cacao, debido a su sensibilidad a la radiación solar. Los resultados muestran que existe mayor fracción de PAR en los monocultivos, que en los otros sistemas, lo cual concuerda con Baligar y sus colaboradores (2008) quienes aseveran que los árboles de sotobosque de los bosques tropicales reciben una densidad de flujo de fotones fotosintética (PPFD) de entre 5 y 25 [$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$] que representa el 1 o 2 % de la radiación emitida por el sol y los árboles que se encuentran en el dosel reciben entre un 30 y 100%.

7.2.2 Evaluación de la asociación de la tasa fotosintética con las variables microclimáticas en los sistemas de producción

La cobertura de dosel, temperatura y fracción de PAR tienen efecto sobre la tasa fotosintética de los árboles de cacao. No solo existe una asociación de causa-efecto entre las condiciones microclimáticas y la tasa fotosintética; si no también existe una interasociación entre las mismas variables microclimáticas, es decir, la temperatura dentro de los sistemas y la fracción de PAR que llega a los árboles de cacao se ven influenciados por la cobertura de dosel.

La calidad de la sombra dentro de los sistemas, en términos, de la diversidad de árboles de sombra y los servicios ecosistémicos que ofrecen los árboles agroforestales son tan importantes como la cantidad de sombra, la cual está representada por el porcentaje de cobertura de dosel (Clough et al., 2011). Existe un efecto de los árboles de sombra en la reducción de la luz (Niether et al., 2018) lo cual guarda relación con los resultados obtenidos y muestran que la cobertura de dosel es la variable principal, pero no la única, que determina la tasa fotosintética del cacao dentro de los sistemas. Arévalo-Gardini et al., (2021) y (Hatfield & Dold, 2019) afirman que el exceso de sombra reduce aún más la irradiación y que la interferencia entre las hojas se convierten en factores dominantes para determinar la tasa de cambio en la fotosíntesis, lo cual concuerda con lo encontrado en este estudio.

En este estudio, se encontró que el incremento de la temperatura aumenta la tasa fotosintética, lo cual concuerda con lo que menciona Baez et al., (2021) quien afirma que la temperatura tiene efectos positivos y significativos sobre la fotosíntesis. Las plantas tienen una temperatura óptima, por encima o por debajo de la cual, la fotosíntesis puede llegar a ser inhibida casi en su totalidad (Yepes & Silveira, 2011). En este estudio no se encontraron temperaturas altas que pudieran dañar los componentes fotosintéticos de las hojas, ya que los resultados muestran una pendiente positiva de la tasa fotosintética con las temperaturas en los sistemas

La disponibilidad de luz se puede medir en términos de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) o el flujo de fotones fotosintéticos (PPFD) (Keeling & Phillips, 2007). Los hallazgos corroboran lo que encontraron Arévalo-Gardini et al., (2021) y Baligar et al., (2021) quienes afirman que un aumento en el PPFD implica un aumento en la tasa fotosintética. Pero Da Silva Branco, et al. 2017 contradice lo encontrado en este estudio, ellos encontraron que la tasa

fotosintética disminuye con el aumento de irradiación, por lo cual demuestran que las hojas de cacao sufren fotoinhibición al exponerlas a mayor irradiación solar, mientras que nuestros resultados no mostraron un proceso de fotoinhibición ni siquiera en los monocultivos donde los mismos se encuentran completamente expuestos. Los resultados de esta investigación determinaron que un PAR más alto está asociado a una mayor tasa fotosintética de los árboles de cacao y muestra que es importante monitorear el PAR para garantizar que las plantas estén recibiendo la luz adecuada.



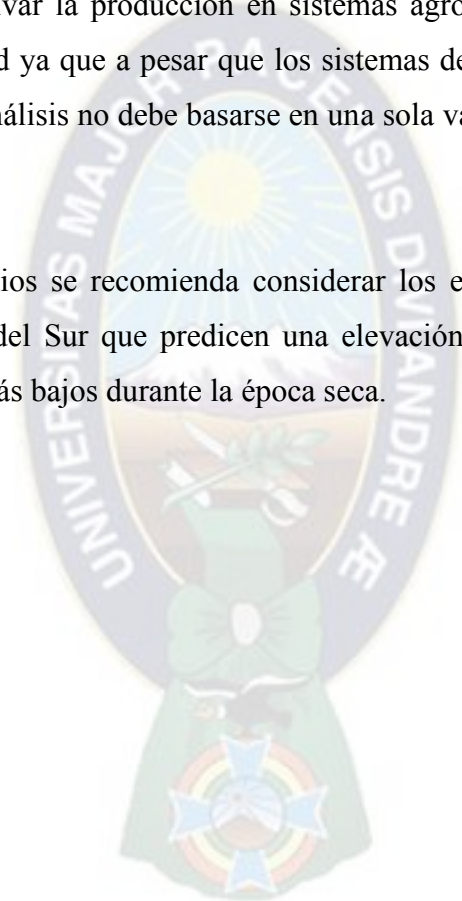
8 CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

8.1 Conclusiones

- ✓ Los resultados obtenidos en este estudio, muestran que la tasa fotosintética del cacao varía entre los cinco sistemas de producción debido a las diferentes variables microclimáticas que se generan en cada uno de ellas.
- ✓ Con el análisis estadístico se determinó que existe una diferencia significativa con un $p < 0.001$, dando a entender que es importante el análisis del tipo de sistema de producción para conocer el funcionamiento de la fotosíntesis en cada uno de los sistemas de producción.
- ✓ Al analizar las variables microclimáticas en los cinco sistemas de producción, cada una presenta diferentes características, lo cual indica que las variables microclimáticas dentro de cada sistema de producción son específicas para cada sistema de producción de cacao.
- ✓ Las variables ambientales de los sistemas de producción (temperatura, cobertura de dosel, radiación fotosintéticamente activa) presentaron diferencias significativas con un $p < 0.001$, dando a entender las variables microclimáticas determinan claramente el microclima dentro de cada una de las parcelas analizadas.
- ✓ Al asociar la temperatura y la radiación fotosintéticamente activa con la tasa fotosintética se observó una tendencia positiva por parte de estas, lo cual indica que al aumentar temperatura y PAR aumenta la tasa fotosintética. Por otra parte, el análisis de la influencia de la cobertura de dosel respecto a la tasa fotosintética muestra una asociación negativa, es decir que al aumentar la cobertura de dosel disminuye la tasa fotosintética.

8.2 Recomendaciones

- ✓ Se recomienda que para futuros estudios se analice la influencia de las condiciones microclimáticas de forma individual en cada uno de los sistemas de producción.
- ✓ Se recomienda tener cuidado en el registro de los datos y tomar en cuenta la calibración de los sensores.
- ✓ Se recomienda incentivar la producción en sistemas agroforestales analizados desde un punto de sostenibilidad ya que a pesar que los sistemas de monocultivo presentan mayor tasa fotosintética, el análisis no debe basarse en una sola variable sino en la interacción de múltiples variables.
- ✓ Para posteriores estudios se recomienda considerar los escenarios de cambio climático global para América del Sur que predicen una elevación de la temperatura ambiente y promedios de lluvia más bajos durante la época seca.



9 BIBLIOGRAFIA

- (IICA), I. I. de C. para la A. (2008). Informe anual 2008. La contribución del IICA al desarrollo de la agricultura y las comunidades rurales en Ecuador. Retrieved from <https://repositorio.iica.int/handle/11324/19052>
- Adela, C. C. B. (2016). *GENOTIPOS DE CACAO EN ALTO BENI - BOLIVIA*.
- Agroforestales, A. e I. sobre el M. S. del C. de C. en S. (2013). ¿Cuáles son los requerimientos de clima y altitud para el cultivo del cacao? Retrieved from [https://cacaomovil.com/site/guide/disenio-y-establecimiento-del-cacao/16/seleccion-de-sitios-para-la-produccion-del-cacao-en-un-sistema-agroforestal#:~:text=El cacao se desarrolla en,vegetativo y dar cosechas abundantes.](https://cacaomovil.com/site/guide/disenio-y-establecimiento-del-cacao/16/seleccion-de-sitios-para-la-produccion-del-cacao-en-un-sistema-agroforestal#:~:text=El+cacao+se+desarrolla+en,+vegetativo+y+dar+ cosechas+abundantes.)
- Agudelo Castañeda, G. A., Palencia Calderón, G. E., Antolinez Sandoval, E. Y., & Báez Daza, E. Y. (2017). Nuevas variedades de cacao TCS (Theobroma Corpoica La Suiza) 13 y 19., 16 páginas. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12324/11536>
- Amat Rodrigo, J. (2016, January). ANOVA análisis de varianza para comparar múltiples medias. Retrieved from https://www.cienciadedatos.net/documentos/19_anova.html
- Andres, C., Comoé, H., Beerli, A., Schneider, M., Rist, S., & Jacobi, J. (2016). *Cocoa in Monoculture and Dynamic Agroforestry*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26777-7_3
- Arévalo-Gardini, E., Farfán, A., Barraza, F., Arévalo-Hernández, C. O., Zúñiga-Cernades, L. B., Alegre, J., & Baligar, V. C. (2021). Shade-Tolerance Responses of Cacao Genotypes under Different Shades. *Agronomy, 11*.
- Arvelo, M. A., González León, D., Maroto Arce, S., Delgado López, T., & Montoya López, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao. Prácticas Latinoamericanas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)*. Retrieved from <https://repositorio.iica.int/handle/11324/6181>
- Baez, A., Castro, S., Mireles, E., & Girón, J. M. (2021). TASA FOTOSINTÉTICA DE GENOTIPOS DE CAÑA DE AZÚCAR BAJO CONDICIONES DE SECANO DURANTE

DOS ÉPOCAS DEL AÑO. *Asociación Interciencia Venezuela*, 46, 26–31.

- Baligar, V. C., Bunce, J. A., Machado, R. C. R., & Elson, M. K. (2008). Photosynthetic photon flux density, carbon dioxide concentration, and vapor pressure deficit effects on photosynthesis in cacao seedlings. *Photosynthetica*, 46(2), 216–221.
<https://doi.org/10.1007/s11099-008-0035-7>
- Baligar, Virupax C., Elson, M. K., Almeida, A.-A. F., de Araujo, Q. R., Ahnert, D., & He, Z. (2021). The Impact of Carbon Dioxide Concentrations and Low to Adequate Photosynthetic Photon Flux Density on Growth, Physiology and Nutrient Use Efficiency of Juvenile Cacao Genotypes. *Agronomy*, 11(2), 397. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020397>
- Cacao Móvil. (2021). Selección de sitios para la producción del cacao en un sistema agroforestal. Retrieved from <https://cacaomovil.com/site/guide/disen-y-establecimiento-del-cacao/16/seleccion-de-sitios-para-la-produccion-del-cacao-en-un-sistema-agroforestal#:~:text=El grado adecuado de humedad,monilia y la mazorca negra.>
- Carruthers, T. J. B., Longstaff, B. J., Dennison, W. C., Abal, E. G., & Aioi, K. (2001). Measurement of light penetration in relation to seagrass. *Global Seagrass Research Methods*, 369–392. <https://doi.org/10.1016/b978-044450891-1/50020-7>
- Clough Y, Barkmann J, Juhbandt J, KesslerM, Wanger TC, A. A., Buchori D, Cicuzza D, Darras K, Putra DD, Erasmi S, P. R., Schmidt C, Schulze CH, Seidel D, Steffan-Dewenter I, S. K., & Vidal S, Weist M, Wielgoss AC, T. T. (2011). Combining high biodiversity with high yields in tropical agroforests. *Proc Natl Acad Sci U S A* 108, 8311–8316.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1073/pnas.1016799108>
- da Silva Branco, M. C., de Almeida, A. A. F., Dalmolin, Â. C., Ahnert, D., & Baligar, V. C. (2017). Influence of low light intensity and soil flooding on cacao physiology. *Scientia Horticulturae*, 217(October), 243–257. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.01.038>
- De Almeida, A. A., & Valle, R. R. (2008). Ecophysiology of the cacao tree . *Braz J Plant Physiol* Ecophysiology of the cacao tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(December), 425–448.

- Doster, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M., & Weigend, M. (2012). Hoja botánica: Cacao. *Botconsult GmbH*, 20.
- Dumble. (2013). CACAO MORFOLOGÍA Y TAXONOMÍA. Retrieved from <http://fiapie.blogspot.com/2013/11/cacao-morfologia-y-taxonomia.html>
- Farfán-Valencia, F. (2019). Descripción de la estructura del dosel arbóreo al interior de un sistema agroforestal con café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 501(Figura 1), 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0501>
- Hatfield, J. L., & Dold, C. (2019). Water-use efficiency: Advances and challenges in a changing climate. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00103>
- I. Aspiazú, T. Sedyama, J.I. Ribeiro Jr., A.A. Silva, G. Concenco, L. Galon, ... W.F. Araujo. (2010). Eficiencia fotosintética y de uso del agua por malezas. *Planta Daninha*, 28(1), 87–92.
- Jacobi, J., Schneider, M., Bottazzi, P., Pillco, M., Calizaya, P., & Rist, S. (2015). Agroecosystem resilience and farmers' perceptions of climate change impacts on cocoa farms in Alto Beni, Bolivia. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 30(2), 170–183. <https://doi.org/10.1017/S174217051300029X>
- Jacobi, J., Schneider, M., Isabel, M., Mariscal, P., Weidmann, S., Rist, S., ... Berna, U. De. (2014). 2013. Jacobi et al. La contribución de la producción del cacao orgánico a la resiliencia socio-ecológica en el contexto del cambio climático en el Alto Beni – La Paz, 6, 351–383.
- Keeling, H. C., & Phillips, O. L. (2007). A calibration method for the crown illumination index for assessing forest light environments. *Forest Ecology and Management*, 242(2–3), 431–437. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.01.060>
- Kunik, D. (2014). Introducción al programa ImageJ, 1–9. Retrieved from <http://rsbweb.nih.gov/ij/docs/install/linux.html>
- Lohse Duarte, E. E. (2017). Evaluación del rendimiento de seis genotipos de cacao (*Theobroma*

- cacao l.) instaladas en cinco sistemas de producción en el ensayo experimental de Sara Ana.
- Lopez, J. C. (PRO-M. (2023). La influencia de la luz en el crecimiento del cultivo. Retrieved from <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-influencia-de-la-luz-en-el-crecimiento-del-cultivo/>
- Menacho, L. (2009). Cacao Silvestre boliviano : Oportunidad para el desarrollo. *Instituto Boliviano de Comercio Exterior*, 20.
- Miranda, C. M. (2005). EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO AGRONOMICO DE LAS PLANTACIONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L .) INJERTADAS Y ESTABLECIDAS POR LA COOPERATIVA EL CEIBO EN ALTO BENI, 112. Retrieved from <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/10872/T-971.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Naoki, K., Gómez, M., & Schneider, M. (2017). Selección de diferentes sistemas de producción de cacao (‘*Theobroma cacao*’, Malvaceae) por aves en Alto Beni, Bolivia - una prueba de cafetería en el campo. *Ecología En Bolivia*, 52(2), 100–115.
- Niether, W., Armengot, L., Andres, C., Schneider, M., & Gerold, G. (2018). Shade trees and tree pruning alter throughfall and microclimate in cocoa (*Theobroma cacao* L.) production systems. *Annals of Forest Science*, 75(2). <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0723-9>
- PASCO. (2007). Science & Technology. *PASCO Science Technology. Biology, Chemistry, Environmental & Physics.*, 85(5), 42. <https://doi.org/10.1021/cen-v085n005.p042>
- R Core team. (2016). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R foundation for statistical computing. Retrieved from https://scholar.google.com.pk/citations?view_op=view_citation&hl=th&user=yvS1QUEAAA&AJ&citation_for_view=yvS1QUEAAAAJ:8dzOF9BpDQoC
- Ripa, M., & Naoki, K. (Eds.). (2021). *Historia natural de Sara Ana: Estación Experimental Agroecológica de Alto Beni, Bolivia* (Primera ed). La Paz, Bolivia.
- Saavedra, F., Jordan Peña, E., Schneider, M., & Naoki, K. (2020). Effects of environmental

- variables and foliar traits on the transpiration rate of cocoa (*Theobroma cacao* L.) under different cultivation systems. *Agroforestry Systems*, 94(5), 2021–2031.
<https://doi.org/10.1007/s10457-020-00522-5>
- Salazar, J. C. S., Melgarejo, L. M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A., DaMatta, F. M., & Armas, C. (2018). Photosynthesis limitations in cacao leaves under different agroforestry systems in the Colombian Amazon. *PLoS ONE*, 13(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206149>
- Schneider, M., Andres, C., Trujillo, G., Alcon, F., Amurrio, P., Perez, E., ... Milz, J. (2017). COCOA and TOTAL SYSTEM YIELDS of ORGANIC and CONVENTIONAL AGROFORESTRY VS. MONOCULTURE SYSTEMS in A LONG-TERM FIELD TRIAL in BOLIVIA. *Experimental Agriculture*, 53(3), 351–374.
<https://doi.org/10.1017/S0014479716000417>
- Somarriba, E., & Beer, J. (2011). Productivity of *Theobroma cacao* agroforestry systems with timber or legume service shade trees. *Agroforestry Systems*, 109–121.
<https://doi.org/10.1007/s10457-010-9364-1>
- SysCom Bolivia. (2021). *Comparación de sistemas de producción de cacao a largo plazo*. Alto Beni, Bolivia.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant Physiology*. BMJ (tercera, Vol. 1).
<https://doi.org/10.1093/aob/mcg079>
- Velazquez, F. (2016). *Investigación del Ciclo Biológico de la Monilliasis delcacao (Monilliophthora roreri), foráneas, y el efecto de buenas prácticas agrícolas en Alto Beni*.
- Yepes, A., & Silveira, M. (2011). Plant responses to meteorological events related to climate change. *Colombia Forestal*, 14(0120–0739), 213–232. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423939616005>

NOMBRE DEL AUTOR: Jhovanna Susana Quispe Nina

CORREO ELECTRONICO: susanadbsk02gmail.com

CELULAR: 68066331

ESTADO PLURINACIONAL DE
BOLIVIAMINISTERIO DE DESARROLLO
PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL

2024-TTES-34-D-1

DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-104/2024
La Paz, 24 de Enero del 2024

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **16 de enero del 2024**, por **JHOVANNA SUSANA QUISPE NINA** con C.I. N° **10065668 LP**, con número de trámite **DA 55/2024**, señala la pretensión de inscripción del Proyecto de Grado titulado: "**EVALUACIÓN DE LA TASA FOTOSINTÉTICA Y CONDICIONES MICROCLIMÁTICAS EN DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CACAO**", cuyos/datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el "*Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma descentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración*".

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece "*Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión*". En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: "*la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios*".

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina

**"2023 AÑO DE LA JUVENTUD HACIA EL BICENTENARIO"**

Oficina Central - La Paz
Av. Montes, N° 595,
entre Esq. Uruguaay y
C. Batallón Illimani.
Telfs.: 2195700
2192976 - 2193951

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguaay, Calle
prolongación Quijarro,
N° 29, Edif. Bicentenario.
Telfs.: 3121152 - 72042936

Oficina - Cochabamba
Calle Bolívar, N° 737,
entre 16 de Julio y Antezana.
Telfs.: 0444403 - 72042937

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2560
Edif. Multicentro El Ceibo
Lda. Piso 2, Of. 58,
Zona 16 de Julio.
Telfs.: 2140101 - 72043029




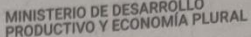
Oficina - Chuquisaca
Calle Kilómetro 7, N° 366
casi esq. Orítagoñita,
Zona Parque Bolívar.
Telf.: 72095873

Oficina - Tarija
Av. La Paz, entre
Calles Oro Trigo y Arana
Edif. Santa Clara, N° 263.
Telf.: 72093286

Oficina - Oruro
Calle 6 de Octubre N° 5837
entre Ayacucho y Junín,
Galería Central, Of. 14.
Telf.: 62202288

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alba y San Alberto,
Edif. AM. Salinas N° 262,
Primer Piso, Of. 17.
Telf.: 72028160

www.senapi.gob.bo

que: "...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial".

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: "... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ...", por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

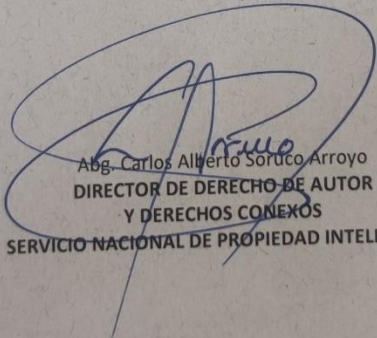
POR TANTO

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas





RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, del Proyecto de Grado titulado: "EVALUACIÓN DE LA TASA FOTOSINTÉTICA Y CONDICIONES MICROCLIMÁTICAS EN DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CACAO", a favor de la autora y titular: JHOVANNA SUSANA QUISPE NINA con C.I. N° 10065668 LP, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.


 Abg. Carlos Alberto Soruco Arroyo
**DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR
 Y DERECHOS CONEXOS**
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL

CASA/myb
c.c.Arch.

"2023 AÑO DE LA JUVENTUD HACIA EL BICENTENARIO"

Oficina Central - La Paz Av. Montes, N° 515, entre Esq. Uruguay y C. Batallón Illimani. Telf.: 2115700 2119276 - 2119251	Oficina - Santa Cruz Av. Uruguay, Calle prolongación Quijarro, N° 29, Edif. Bicentenario. Telf.: 312751 - 7206936	Oficina - Cochabamba Calle Bolívar, N° 737, entre 16 de Julio y Antezana. Telf.: 444949 - 7206957	Oficina - El Alto Av. Juan Pablo II, N° 2560 Edif. Multicentro El Ceibo Lda. Piso 2, Of. 58, Zona 16 de Julio. Telf.: 7141001 - 72043009	Oficina - Chuquisaca Calle Kilómetro 7, N° 366 casi esq. Uriolagobia, Zona Parque Bolívar. Telf.: 72005873	Oficina - Tarija Av. La Paz, entre Calles Oro Trigo y Avaroa Edif. Santa Clara, N° 263. Telf.: 72015286	Oficina - Oruro Calle 6 de Octubre N° 5837 entre Ayacucho y Junín, Galería Central, Of. 16. Telf.: 67201288	Oficina - Potosí Av. Villazón entre calles Wenceslao Alba y San Alberto, Edif. A.M. Salinas N° 262, Primer Piso, Of. 17. Telf.: 7201860
--	--	---	--	---	--	--	---

www.senapi.gob.bo