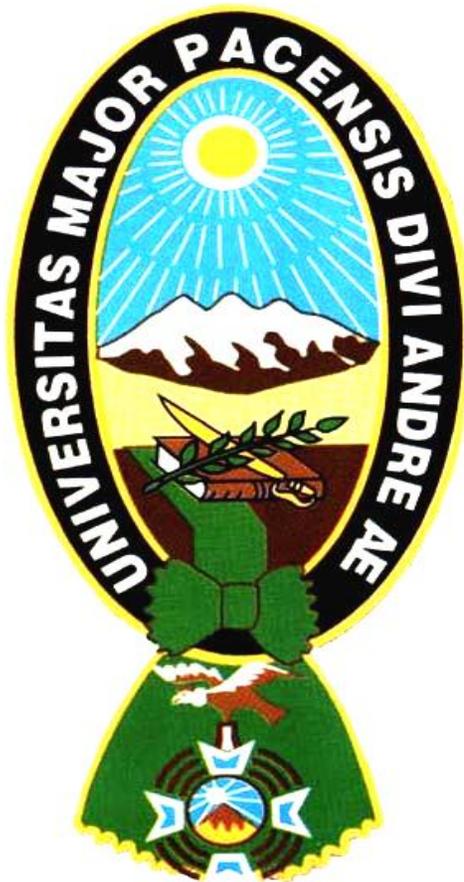


**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE SEIS GENOTIPOS DE CACAO
(*Theobroma cacao* L.) INSTALADAS EN CINCO SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN
EL ENSAYO EXPERIMENTAL DE SARA ANA**

Erick E. Lohse Duarte

**La Paz – Bolivia
2018**

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE SEIS GENOTIPOS DE CACAO
(*Theobroma cacao L.*) INSTALADAS EN CINCO SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN
EL ENSAYO EXPERIMENTAL DE SARA ANA

*Tesis de Grado presentado como requisito
parcial para optar el título de
Ingeniero Agrónomo*

ERICK E. LOHSE DUARTE

Asesor:

Ing. Agr. Casto Maldonado Fuentes

Revisores:

Ing. Johnny Ticona Aliaga

Ing. M.Sc. Fernando Manzaneda Delgado

Ing. Lorenzo Quelali Mamani

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador.....

La Paz – Bolivia
2018

CONTENIDO GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	I
Agradecimientos.....	II
Índice General.....	III
Índice de Anexos.....	V
Índice de Cuadros.....	VI
Índice de Figuras	VII
Resumen.....	VIII
Summary.....	X

Dedicatoria

***“Dedicado a mis Padres,
agradecido por su apoyo
incondicional y los valores
que me transmiten”***

AGRADECIMIENTOS

Agradecido con Dios, que me permite todas las cosas y me dio la gracia de tomar la carrera de Ingeniería Agronómica y desarrollar el presente trabajo.

Agradecido con mis padres Edgar A. Lohse P. y Silvia S. Duarte V., que siempre me brindan su apoyo junto a mi familia.

Un agradecimiento especial a mi tío el Ingeniero Luis W. Lohse P. que siempre me brindó una mano de ayuda y es un mentor en el campo de la profesión para mí.

Agradecimiento a mi casa superior de Estudios, la Universidad Mayor de San Andrés por la oportunidad y la formación profesional que me brindaron.

Un agradecimiento especial a mi Asesor de Tesis, Ing. Casto Maldonado por su guía y tiempo en el presente proyecto.

Muy agradecido con ECOTOP y el Proyecto Internacional FiBL, por brindarme la oportunidad de formar parte de su trabajo con la realización de la Tesis en su proyecto.

INDICE GENERAL

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	X
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo General.....	2
2.2. Objetivos Específicos	2
2.3. Hipótesis	2
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
3.1. Origen del cacao	3
3.2. Historia del Cacao en Bolivia.....	3
3.3. El cacao boliviano.....	4
3.4. El cacao en Alto Beni	5
3.5. Extensión del cacao en Bolivia	5
3.6. Clasificación Taxonómica del Cacao	7
3.7. Factores ambientales y requerimientos ecológicos del cacao	7
3.7.1. Temperatura.....	8
3.7.2. Precipitación.....	9
3.7.3. Humedad relativa	9
3.7.4. Luz y sombra	9
3.7.5. Altitud.....	10
3.7.5. Características edafológicas del cacao.....	10
3.8. El Cacao en Sistemas Agroforestales.	11
3.9. Genotipos de Cacao	11
3.9.1. Selecciones locales.....	11
3.9.2. Criollo.....	11
3.9.2. Clones.....	12
3.9.3. Híbridos	12
3.10. Característica de los Sistemas de Producción.....	13
3.10.1. Monocultivo Orgánico	13

3.10.2. Monocultivo Convencional.....	14
3.10.3. Agroforestal Orgánico.....	14
3.10.4. Agroforestal Convencional.....	14
3.10.5. Sistema Agroforestal Sucesional	14
4. LOCALIZACIÓN.....	15
4.1. Características Climática.....	16
4.2. Características de la Vegetación.	16
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
5.1. Materiales.....	17
5.1.1. Material de campo.....	17
5.1.2. Material Biológico	17
5.1.3. Material de gabinete.....	18
5.2. Metodología.....	18
5.2.1. Procedimiento de investigación	18
5.2.2. Diseño experimental	22
5.2.3. Factores de estudio.....	23
5.3. Croquis de la investigación	24
5.3.1. Croquis del experimento o cartografía del trabajo	24
5.3.2. Croquis de la unidad experimental	25
5.4. Variables de Respuesta.....	26
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
6.1. Evaluación del Número de Frutos Cosechados	29
6.1.2. Evaluación del Rendimiento en Peso Húmedo	36
7.1. Conclusiones	49
7.2. Recomendaciones	51
8. BIBLIOGRAFIA.....	52
ANEXOS	

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fotografías del etiquetado de las plantas de cacao del ensayo

Anexo 2. Fotografías de identificación de frutos maduros listos para la cosecha

Anexo 3. Fotografías de la cosecha de mazorcas, selección de frutos sanos para el estudio y conteo de frutos cosechados

Anexo 4. Fotografías de frutos descartados para el estudio con presencia de enfermedades típicas del cacao

Anexo 5. Fotografías del desconchado y despulpado de las mazorcas para el proceso de pesado en húmedo

Anexo 6. Fotografías de toma de muestras y datos para el cálculo del índice de correlación peso húmedo - seco

ÍNDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1: Cruzas de cacao en Alto Beni	13
Cuadro 2: Análisis de la Varianza del Rendimiento en Número de Frutos cosechados	29
Cuadro 3: Prueba de Medias Duncan al 95% de confianza para el efecto de los genotipos para Número de Frutos cosechados	30
Cuadro 4: Prueba de Medias Duncan al 95% de confianza para el efecto de los sistemas para Número de Frutos cosechados.	32
Cuadro 5: Análisis de la Varianza del Rendimiento en Peso Húmedo.	36
Cuadro 6: Prueba de Medias Duncan al 95%, para el efecto de los genotipos para el Peso Húmedo.	37
Cuadro 7: Prueba de Medias Duncan al 95%, para el efecto de los sistemas para el Peso Húmedo.	39
Cuadro 8: Índices de correlación peso húmedo – seco calculados.	42
Cuadro 9. Análisis de Varianza del índice de correlación peso húmedo-seco calculado.	42
Cuadro 10: Análisis de la Varianza del Rendimiento en Peso Seco.	43

Cuadro 11: Prueba de Medias Duncan al 95%, para el efecto de los genotipos para el Peso Seco	44
Cuadro 12: Prueba de Medias Duncan al 95%, para el efecto de los sistemas para el Peso Seco	46

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura.1: Ubicación de <i>Theobroma cacao</i> en Bolivia (Relevamiento de campo, entrevistas y reuniones. CIPCA, 2007. Proyectos parientes silvestres del cacao en Bolivia, Herbario Nacional de Bolivia. 2008.	6
Figura 2. Ubicación del Área de Trabajo.	15
Figura 3. Cartografía del Trabajo.	24
Figura 4. Unidad Experimental.	25
Figura 5. Prueba de Medias Duncan al 95% de confianza para el efecto de los genotipos para Número de Frutos cosechados.	31
Figura 6. Prueba de Medias Duncan al 95% de confianza para el efecto de los sistemas para Número de Frutos cosechados.	33
Figura 7. Prueba de Medias Duncan al 95% de confianza para el efecto de los genotipos para el Peso Húmedo.	38
Figura 8. Prueba de Medias Duncan al 95% de confianza para el efecto de los sistemas para el Peso Húmedo.	40
Figura 9. Prueba de Medias Duncan al 95% de confianza para el efecto de los genotipos para el Peso Seco.	45
Figura 10. Prueba de Medias Duncan al 95% de confianza para el efecto de los sistemas para el Peso Seco.	47

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tuvo como objetivo Evaluar el rendimiento de seis genotipos de cacao (*Theobroma cacao L.*) instaladas en cinco sistemas de producción en el ensayo experimental de Sara Ana. Entre las variables de respuesta evaluadas se tiene el rendimiento en peso húmedo de las pepas, así como el peso seco ponderado y el número de frutos cosechados sanos y maduros. El ensayo fue establecido bajo el diseño experimental completamente al azar DCA, con un arreglo de dos factores (bi factorial) para la comparación de datos por genotipos versus sistemas productivos, se encontraron diferencias significativas para el efecto de los genotipos y los sistemas productivos y no así en la interacción de los mismos, donde las selecciones locales III-06 y IIA-22 son las que presentaron de manera significativa mayor cantidad de frutos cosechados y por el contrario la variedad introducida ICS-6 y el híbrido TSH-565 X IMC 67 presentaron los rendimientos más bajos. Estas diferencias son atribuibles a la calidad genética de los genotipos y la auto-compatibilidad de los mismos. Para el caso del rendimiento en pepa se obtuvo que los Genotipos III 06, Ila22 y ICS.1 con medias superiores en cuanto al rendimiento en peso húmedo y peso seco calculado y el segundo grupo formado por el genotipo TSH 565 X IMC 67 corresponde al rendimiento más bajo. El Sistema de Producción en Monocultivo Convencional presenta el rendimiento más alto entre los sistemas y el más bajo correspondiente al Sistema Agroforestal Sucesional, habiendo destacado el Monocultivo Convencional, estas diferencias altamente significativas, son atribuibles al manejo asistido con agroquímicos en el caso del monocultivo convencional y a la dinámica sucesional en el caso de los sistemas agroforestales sucesionales

Palabras clave: Genotipos, Sistemas de Producción, Agroforestal, Monocultivo

SUMMARY

The objective of this research work was to evaluate the performance of six cocoa genotypes (*Theobroma cacao* L.) installed in five production systems in the Sara Ana experimental trial. Among the evaluated response variables, the wet weight yield is obtained of the seeds, as well as the weighted dry weight and the number of fruits harvested healthy and mature. The trial was established under the completely randomized experimental design DCA, with a two-factor arrangement (bi factorial) for the comparison of data by genotypes versus production systems, significant differences were found for the effect of genotypes and productive systems and not thus in the interaction of the same, where the local selections III-06 and IIA-22 are those that presented significantly more quantity of harvested fruits and on the contrary the variety introduced ICS-6 and the hybrid TSH-565 X IMC 67 presented the lowest yields. These differences are attributable to the genetic quality of the genotypes and their self-compatibility. In the case of seed yield, it was obtained that Genotypes III 06, Ila22 and ICS.1 with higher means in terms of wet weight and calculated dry weight and the second group formed by the TSH 565 X IMC 67 genotype correspond to the yield lower. The System of Production in Conventional Monoculture presents the highest yield among the systems and the lowest corresponding to the Suicide Agroforestry System, having highlighted the Conventional Monoculture, these highly significant differences are attributable to the assisted handling with agrochemicals in the case of conventional monoculture and successional dynamics in the case of successional agroforestry systems.

Keywords: Genotypes, Production Systems, Agroforestry, Monoculture.

1. INTRODUCCIÓN

La eco región tropical y amazónica de Bolivia, compone aproximadamente un 70% del territorio nacional, en esta región la producción de cacao constituye una actividad económica importante y estratégica para el desarrollo de las comunidades rurales (Segundo congreso nacional de cacao en Bolivia, 2010).

El departamento de La Paz presenta las zonas de mayor producción. En la región de Alto Beni, donde se encuentra la mayor parte de los cultivos de cacaos foráneos introducidos (híbridos y clonales) a Bolivia (July, 2014).

En el Municipio de Palos Blancos, se podría afirmar, que la producción de cacao es imprescindible para la economía de las familias, a su vez el cacao representa una quinta parte de los ingresos familiares agropecuarios, en grado similar de diversificación con el café, los cítricos, los platanales y los cultivos anuales de arroz y maíz (Bazoberry y Salazar, 2008).

En la región se cultivan más de veinte selecciones locales, más de doce plantas clones y un abanico de variedades híbridas producto de la fecundación artificial en la localidad, esto con el fin de buscar variedades resistentes a factores externos y mejores rendimientos. En Alto Beni, el cacao se produce bajo distintos sistemas, siendo los más recomendados los sistemas orgánicos por la exigencia del mercado de cacao orgánico característico de la región, siendo los sistemas más empleados podemos mencionar monocultivo convencional, agroforestal convencional y agroforestal orgánico. Actualmente se desconoce una caracterización detallada de sistemas de producción de cacao en la región de Alto Beni, así como información adecuada de los rendimientos productivos de los genotipos empleados para la producción de cacao (July, 2014).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar el rendimiento de seis genotipos de cacao (*Theobroma cacao L.*) instalados en cinco sistemas de producción en el ensayo experimental de Sara Ana.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la influencia de los tratamientos en el rendimiento de seis genotipos en estudio, instalados en el ensayo experimental de Sara Ana.
- Identificar el genotipo de mayor rendimiento en los tratamientos en estudio
- Evaluar la diferencia productiva, a siete años de instalación, de cinco sistemas de producción de cacao (*Theobroma cacao L.*), en el ensayo experimental de Sara Ana.

2.3. Hipótesis

H₀ = No existe diferencia en rendimiento entre los seis genotipos de cacao en los cinco sistemas de producción.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Origen del cacao

Mejía y Arguello (2000) indica que el origen del cultivo de cacao se extiende desde las regiones del Orinoco, Amazonas hasta México, fue cultivado por los indígenas antes de la llegada de los españoles a América. La producción de este cultivo, aparte de ser rentable, mencionando que las tribus nativas utilizaban las semillas como moneda en sus transacciones.

Los españoles encontraron en México el cacao, antiguamente lo usaban para hacer bebidas y de alimento para mezclar con el maíz (Enríquez, 2004), lo mayas en la agricultura fueron los primeros en cultivar el cacao (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2008).

3.2. Historia del Cacao en Bolivia

El cacao boliviano fue cultivado por los Mosestenes por más de 200 años, y fue fomentado por las misiones franciscanas y jesuitas a lo largo del río Beni (Cortez 1997; Villegas 2004; ambos citados por July 2007).

El cultivo fue promovido por el gobierno boliviano en 1960, como principal fuente de economía para los colonizadores de la región amazónica de Alto Beni (Zeballos y Terrazas 1970, citados por July 2007).

Antes de 1950, la mayoría de la producción de cacao en Bolivia provenía de plantas silvestres provenientes del Beni y Alto Beni (Pérez 1957, citado por July 2007).

Según el Centro de Investigación y Producción del Campesinado (2009), la historia oficial de la presencia del cacao data del siglo XVIII, donde los misioneros jesuitas la introducen por primera vez, pero fue perdiendo importancia en la economía nacional y departamental; es a mitad del siglo XX.

Es a través del Instituto Nacional de Colonización y las corporaciones de desarrollo se recupera la producción de cacao, quienes importaron material genético de Ecuador, Trinidad y Tobago y otros países, en Beni y Santa Cruz la importación fue perjudicial porque se introdujeron enfermedades que desmotivaron la producción, lo cual se mantuvo la tradición de la recolección de cacao silvestre, propia de estos departamentos.

El cultivo del cacao actualmente en Bolivia se presenta en Pando, Beni, Santa Cruz y la zona tropical de La Paz y Cochabamba, económicamente con un mercado tanto nacional como internacional para la fabricación de diferentes productos, este es altamente energético (Centro de Investigación y Producción del Campesinado, 2006).

3.3. El cacao boliviano

El CNB (Cacao nacional boliviano) es el más antiguo presente en Alto Beni, sin embargo, aproximadamente hace unos 50 años se inició la introducción de material foráneo, donde Somarriba y Trujillo, (2005) describe la siguiente historia: El CNB (Cacao nacional boliviano) fue introducido por los jesuitas entre 1739 a 1809 Cortés, (1997) citado por Trujillo (2005) y fue cultivado por los nativos Mosevenes desde hace más de 240 años con la ayuda de misioneros franciscanos. El cultivo del cacao se mantuvo sin cambios hasta el inicio de la colonización (1960 a 1980), donde la CBF y la INC introdujeron en 1962 semilla híbrida procedente de Perú y Ecuador; consistía un germoplasma de su colección internacional, por el cual se produjo semilla híbrida y se estableció las primeras colecciones de germoplasma en la Estación Experimental de Sapecho de Alto Beni.

En la Amazonia boliviana las áreas aptas para este cultivo, se ve a la presencia de cacao silvestre (PMCO-CICAP, 2005). Davies (1986), citado por July (2007), menciona que el CNB se clasifica en dos grupos:

- a) Cacao silvestre**, son árboles que no han sido plantados por el hombre y se reproducen vegetativa y sexualmente luego son dispersados por animales.

- b) Cacao criollo**, son poblaciones que han sido plantados por el hombre y que tienen alta variabilidad genética y posiblemente deriven del cacao silvestre.

3.4. El cacao en Alto Beni

En 1977 se creó la Central de Cooperativas El Ceibo con el propósito de mejorar los precios pagados al productor y también inició la producción de cacao híbrido. En 1993, el Ceibo inició la producción y distribución de cacao injertado a sus asociados y entre 1996 y 1998 promovió el uso de sistemas agroforestales sucesionales multiestrato como sombra para el cacao (Somarriba y Trujillo 2005, citado por July 2007).

El interés en cultivar cacao resurgió a partir del año 2000 debido al aumento en los precios, a partir del 2002, se inició una nueva fase de cambio tecnológico en el cultivo del cacao en Alto Beni, basado en el uso masivo de plantas de cacao injertado, plantadas en diseños agroforestales para la producción de cacao, fruta y madera (Somarriba y Trujillo 2005, citado por July 2007).

Sin embargo, en la región de Alto Beni fue un caso distinto, donde el apoyo a este rubro fue constante desde los años 60, llegando a convertirse en la región con mayor capacidad productiva de cacao cultivado en Bolivia, con el mayor volumen cosechado y un récord de exportación. Una institución sobresaliente es la Central de Cooperativas “El Ceibo”, y fue un factor importante en esta zona y que le dio continuidad técnica y económica del cacao (Centro de Investigación y Promoción del Campesino, 2009).

En la Región de Alto Beni, el cacao es una de las principales actividades agrícolas, con una producción de 1000 t/año y constituye el 13 % de los ingresos de los hogares de las familias de Alto Beni (Somarriba y Trujillo 2005).

3.5. Extensión del cacao en Bolivia

Herrera (2009), asevera que el cacao boliviano cultivado abarca 8000 ha de los cuales La Paz y Beni poseen la mayor cantidad, aunque ya existen cultivos en Santa Cruz, Cochabamba y Pando.

El Centro de Investigación y Promoción del Campesino (2009), señala que en Bolivia existen 12.115 ha de cacao silvestre y el 67% se encuentra en el Beni, pero de las cuales el 40% (4.846 ha) es aprovechada. En cacao cultivado existen 8.635 ha y el 65% se encuentra en La Paz, donde el municipio de Palos Blancos tiene la mayor extensión, en la figura 1 se observa la ubicación del cacao en el Estado Plurinacional de Bolivia.

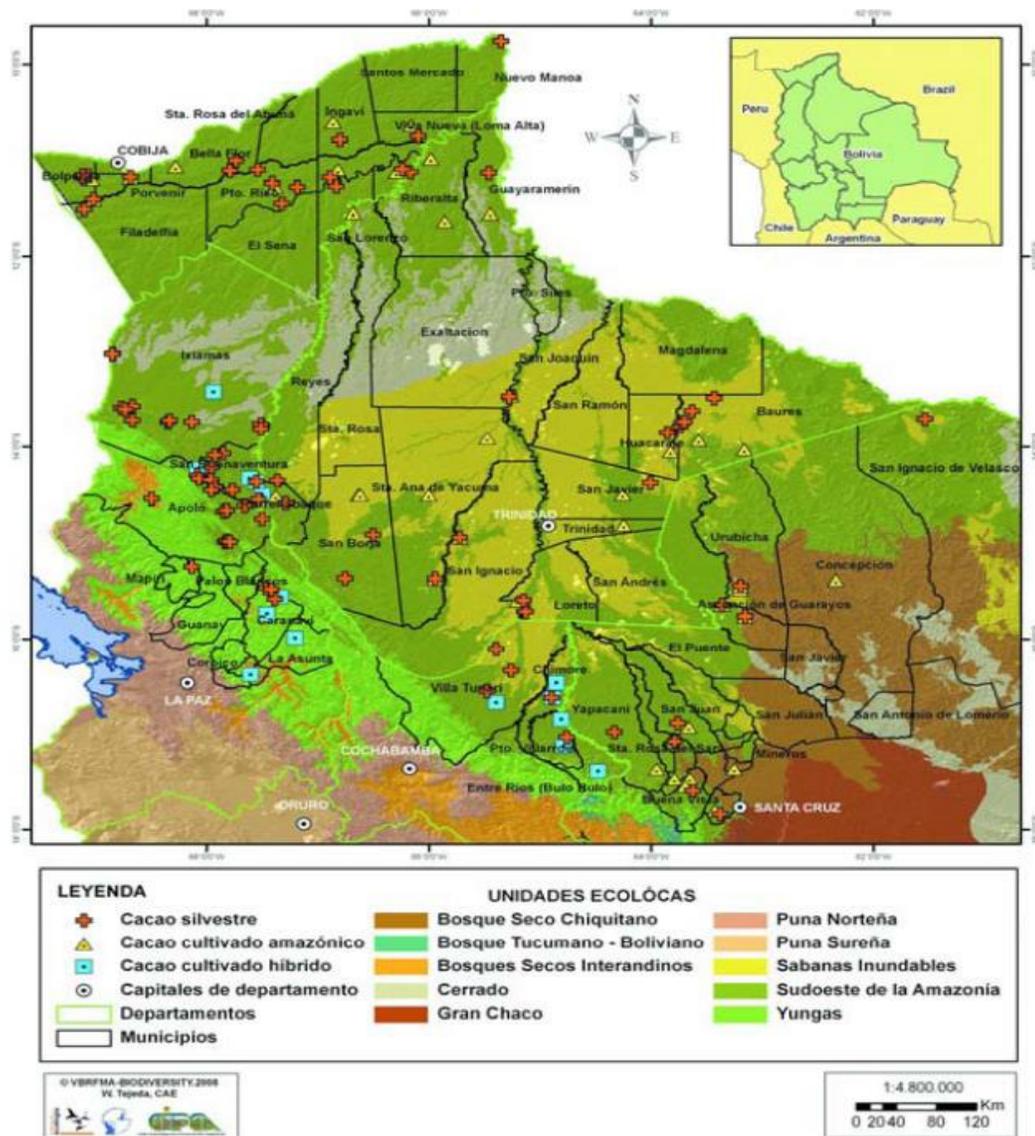


Figura.1: Ubicación de *Theobroma cacao* en Bolivia (Relevamiento de campo, entrevistas y reuniones. CIPCA, 2007. Proyecto parientes silvestres del cacao en Bolivia, Herbario Nacional de Bolivia. 2008)

3.6. Clasificación Taxonómica del Cacao

IICA. (2009), señala que el cacao es una de las 22 especies del género *Theobroma*, con un número de cromosómico de $2n = 20$. Su taxonomía que presenta el cacao es:

División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Dilleniidae
Orden	Malvales
Familia	Malvácea
Género	<i>Theobroma</i>
Nombre Científico	<i>Theobroma cacao L.</i>

El cacao es una planta de tronco vertical y puede desarrollarse de diversas formas dependiendo de sus condiciones ambientales, comienza su producción a los dos años, después de haber sido establecido en campo si es por semilla, mientras si es por injerto donde estas crecen en forma vertical y no emite horqueta (Enríquez, 1987, citado por Arciniegas, 2005)

3.7. Factores ambientales y requerimientos ecológicos del cacao

El cacao en su habitat natural se desarrolla bajo sombra, pero bajo condiciones especiales de luminosidad y distribución de agua, puede ser cultivado bajo exposición solar (IICA, 2009). El requerimiento de sombra del cultivo en etapa de desarrollo es de 70 % (CEIBO, 2007).

Enríquez y Paredes (1989), citado por (IICA, 2009), indican que en los lugares donde mejor se produce cacao, las temperaturas medias fluctúan entre 25 y 26 °C, donde el límite mínimo medio anual para la producción óptima de cacao es de 21°C.

Enríquez (1985) y Alvin (1987) citados por (Arragán, 2012) afirman que el cacao se cultiva en regiones donde el clima presenta variaciones relativamente pequeñas

durante el año, los factores más importantes que influyen, llegando a ser limitantes en algunas zonas, son la temperatura, la lluvia, el viento, radiación solar y longitud de día, concentrando el cultivo de cacao en un área específica.

La humedad relativa también es importante, de ella depende la propagación de algunas enfermedades, principalmente las que afectan a la mazorca. El mínimo anual de precipitación requerida está alrededor de los 1250 mm, bien distribuidos durante el año; sin embargo, es preferible un promedio superior a 1500 mm (IICA, 2009).

Enríquez (1985) y la CNCH (1985), citados por (Arragán, 2012), indican que para la formación de flores, maduración de frutos y brotes abundantes, la temperatura media anual debe estar entre 25 y 28 °C, las variaciones amplias de este factor entre el día y la noche son desfavorables, temperaturas menores a 13°C afecta a la fisiología de la planta e incrementa el ataque de enfermedades como la *Phytophthora palmivora*.

La acción de la temperatura sobre la floración es notoria, la floración es mayor a temperaturas que promedian entre 26 y 30 grados centígrados que cuando la temperatura media baja a los 25°C, esto hace que en algunos lugares la formación de mazorcas sea estacional (Enríquez 1985, Alvin 1987) citados por (Arragán, 2012).

3.7.1. Temperatura

IICA, 2009 cita a Enríquez y Paredes (1989) quienes aseveran que en lugares donde mejor se produce cacao, la temperatura media fluctúa entre 25 y 25 °C, pero se pueden encontrar plantaciones comerciales, con buenos rendimientos, en lugares cuyo promedio es de 23°C. El límite medio anual de temperatura es de 21°C ya que es difícil cultivar cacao por debajo de esta. Las temperaturas máximas y mínimas estudiadas por Ernehlm (1948) citado por IICA, 2009, nos indica que el cacao se desarrolla entre un máximo de 30 a 32 °C y un mínimo de 18 a 21 °C.

En la región del Alto Beni, la temperatura promedio fluctúa entre 23 a 26°C, en el Chapare 24°C; condiciones adecuadas para el buen comportamiento del cacao (IICA, 2009).

3.7.2. Precipitación

El mínimo anual de precipitación requerida está alrededor de los 1.250 mm, bien distribuidos durante el año. Sin embargo, es preferible un promedio superior a los 1.500 mm (IICA, 2009).

La precipitación anual en la zona de Alto Beni oscila entre 1.600 y 1.800 mm, comportándose el cacao de manera óptima (IICA, 2009).

3.7.3. Humedad relativa

IICA, (2009) citando a Hernández (1983) indica que en función de la temperatura y estrechamente relacionada con las lluvias, se halla la humedad relativa, que para el cacao debe ser elevada, dada sus exigencias hídricas. Sin embargo, esta condición, aunque favorece al desarrollo del cultivo, crea también el ambiente propicio para la aparición de enfermedades fungosas.

La humedad relativa en la zona de Alto Beni oscila entre 75 a 80%, siendo los parámetros óptimos entre 70 a 80%, para evitar condiciones favorables al ataque de plagas y enfermedades (IICA, 2009).

3.7.4. Luz y sombra

Pero en la etapa de establecimiento es recomendable la sombra, ya que las plantaciones jóvenes son afectadas por los rayos solares (PROAMAZONIA, 2004).

Señalan que el árbol de cacao en su estado natural se encuentra conviviendo bajo la influencia de una vegetación más alta, vale decir que prospera al amparo de la sombra, por lo que se agrupa entre las plantas umbrófilas IICA (2009), citando a Moreno y Sánchez (1990).

Es importante señalar que la luz es importante para el proceso de fotosíntesis, es por eso que a una luminosidad menor a 50 % limita los rendimientos, y por lo tanto si es mayor los rendimientos aumentan (Gardini *et al*, 2004).

3.7.5. Altitud

El cacao se puede cultivar desde el nivel del mar hasta alturas como 2500 m.s.n.m., puesto que pasanto estos límites el cultivo del cacao sufre alteraciones fisiológicas (Gardini *et al*, 2004)

Pero Gómez (2005) indica que el cacao presenta un mejor desarrollo a una altitud de 0 a 1000 m.s.n.m., presentado mejor desarrollo en la floración y los frutos.

3.7.5. Características edafológicas del cacao

Suelo: La selección de un suelo apropiado es fundamental para obtener cultivos de cacao de alta productividad. Si este no cumple los requisitos mínimos para el desarrollo adecuado de la planta, el cultivo no funcionará, aunque se utilicen materiales élite de alto rendimiento (E. Leiva, 2012).

Amores, (2005) selecciona a los suelos aluviales, de textura franco-arcillosa, franco-limosa y franco-arenosa, suelto y profunda, que le permitan la raíz principal penetrar de 80 a 150 centímetros, como las condiciones idóneas. El pH debe estar en el rango de 6.0 a 7.5 en la capa superficial, sin ser excesivamente ácido (pH menor a 4.0) o alcalino (pH mayor a 8.0), hasta una profundidad de un metro (E. Leiva, 2012).

Además, el suelo debe tener materia orgánica que incrementa la habilidad del suelo para retener nutrientes y disminuir la compactación, entre otros beneficios. La descomposición de la materia orgánica produce la liberación de N y S, como única abastecedora natural de ambos nutrientes, además de su importante contribución al P al suelo. Los agregados particularmente los más grandes, imparten una estructura conveniente a las capas superiores de los suelos con alta productividad. La estructura se mantiene estable por los compuestos orgánicos y residuos secretados por la micro fauna y micro flora que habita el suelo (E. Leiva, 2012).

3.8. El Cacao en Sistemas Agroforestales.

Boulay *et al.* (2000) mencionan que el cultivo de cacao bajo sombra permanente de árboles es un sistema agroforestal tradicional en zonas tropicales, estos sistemas forman un gradiente que va desde el manejo rústico hasta la utilización de sombra comercial con frutales y maderables, la mayor parte de las plantaciones están en manos de pequeños y medianos productores.

3.9. Genotipos de Cacao

A partir de la década del 70 la Estación Experimental Sapecho (IBTA) inicia con la producción de semillas híbridas a partir de diferentes clones introducidos. La Central de Cooperativas EL CEIBO desde 1987 inicia con la producción de plantines de cacao injerto de clones foráneos, estos platines se establecieron en varias parcelas del Alto Beni. Con el transcurrir de los años desde 1994 ya se producen injertos de clones y selecciones locales (plantas Superiores de diferentes áreas) hoy en día se producen platines injertos 50 % de clones y selecciones locales (CEIBO, 2007).

3.9.1. Selecciones locales

La Central de Cooperativas PIAF EL CEIBO Ltda. recomienda las siguientes selecciones locales (plantas superiores de cacao híbrido) de diferentes áreas de Alto Beni. I – 34, IIa- 00, II- 02, IIa- 06, IIa- 17, IIa- 22, IIa- 58, IIa- 63, IIa- 75, IIa- 84, IIa- 88, IIIa- 63, IIa 70, III0 6, III A, III 12, III 13, III 17, III 82, III 11 (CEIBO, 2007).

3.9.2. Criollo

Quispe, (2010) menciona que el cacao criollo es caracterizado por tener estaminodios rosados, mazorcas verdes y rojas, con una superficie rugosa y de surcos profundo, el cual presenta de 20 a 30 semillas de color blanco o crema, contiene un alto contenido de grasa y de un fuerte aroma, usados principalmente para los cosméticos, esta es una planta bastante vigorosa susceptible a enfermedades y plagas, es por eso que fueron remplazados por el cacao pentágono, cacao real y cacao porcelana.

3.9.2. Clones

Mejia y Palencia (2000), indican que el clon presenta un material genético uniforme, de otro individuo propagado, pero esto no significa que fenotípicamente sean idénticas, varían de acuerdo al clima, el suelo, y otras condiciones.

Los mismos autores indican que los clones tienen una gran importancia ya que se adaptan a diferentes zonas agroecológicas.

Los clones foráneos que han sido evaluados y recomendados por EL CEIBO son los siguientes: ICS 1, ICS 6, ICS 8, ICS 60, ICS 95, ICS 111, TSH 565, Playa Alta 2, PA 121, EET 19, EET 95, EET 96, IMC 67. Estos clones han demostrado mayor adaptabilidad a las condiciones de la zona del Alto Beni (CEIBO, 2007).

3.9.3. Híbridos

En el cacao se presentan plantas o clones autoincompatibles, autocompatibles, e incompatibles, donde muchos de estos clones autoincompatibles generalmente presentan menor número de frutos que no justifica su permanencia en condiciones de polinización natural, sin embargo gran número de estas plantas tiene buen tamaño y número de pepas que la intervención del hombre a través de la polinización artificial justifica para incrementar la producción por superficie (Mejia y Palencia, 2000). En la producción de semilla híbrida Interclonal se realizan cruzas entre clones con características genéticas conocida que garantizan al productor de su buen comportamiento. Sin embargo, EL CEIBO realiza la polinización para incrementar la producción de plantas elites. También se puede destacar las selecciones locales que se están haciendo seguimiento de evaluación (CEIBO, 2007). En el cuadro 2 se puede observar las cruzas que se realizan en la región del Alto Beni.

Cuadro 1. Cruzas de cacao en Alto Beni

MADRE	PADRE
ICS – 1	IMC – 67
ICS – 6	IMC – 67
ICS – 8	IMC – 67
ICS – 60	IMC – 67
ICS – 95	IMC – 67
ICS – 111	IMC – 67
PA – 121	IMC – 67
TSH – 565	IMC – 67
TSH – 565	ICS – 6
TSH – 565	ICS – 8
TJ – 1	IMC – 67
EET – 19	ICS – 8
EET – 95	PI. ALTA – 2
EET – 96	PI. ALTA – 2

Fuente: Elaboración propia

3.10. Característica de los Sistemas de Producción

3.10.1. Monocultivo Orgánico

El cacao es cultivado sin sombra permanente, con cobertura de glicine (*Neonotonia wightii*), una leguminosa rastrera para el control de malezas y aporte de nitrógeno al suelo. Además, se aplica compost para la fertilización del suelo.

El control de plagas y enfermedades es realizado con productos permitidos en agricultura orgánica. No se aplican agroquímicos. (Así se lo maneja dentro del ensayo).

3.10.2. Monocultivo Convencional

Cacao sin sombreadamiento, donde se aplica herbicidas para el control de malezas y fertilizantes químicos y en caso de presentarse problemas por enfermedades o plagas, se aplica fungicidas e insecticidas bajo el concepto de un manejo integral, *et al* (2013).

3.10.3. Agroforestal Orgánico

Es un sistema practicado por muchos pequeños productores en el Alto Beni y otros países cacaoteros. El sombreadamiento consiste en bananos, árboles de sombra, que aportan nutrientes al suelo con la hojarasca y por la poda, frutales y maderables. Durante la fase juvenil se implementó también la cobertura glicine. El manejo es orgánico con aplicaciones de compost, no se aplica agroquímicos, *et al* (2013).

3.10.4. Agroforestal Convencional

Sistema que emplea bananos y árboles de sombra con manejo de poda, así también se emplea la hojarasca como aporte de materia orgánica al suelo, pero se aplican fertilizantes químicos, el control de malezas es mediante aplicaciones de herbicida y en caso necesario se aplica también insecticidas y fungicidas para el control de plagas y enfermedades, *et al* (2013).

3.10.5. Sistema Agroforestal Sucesional

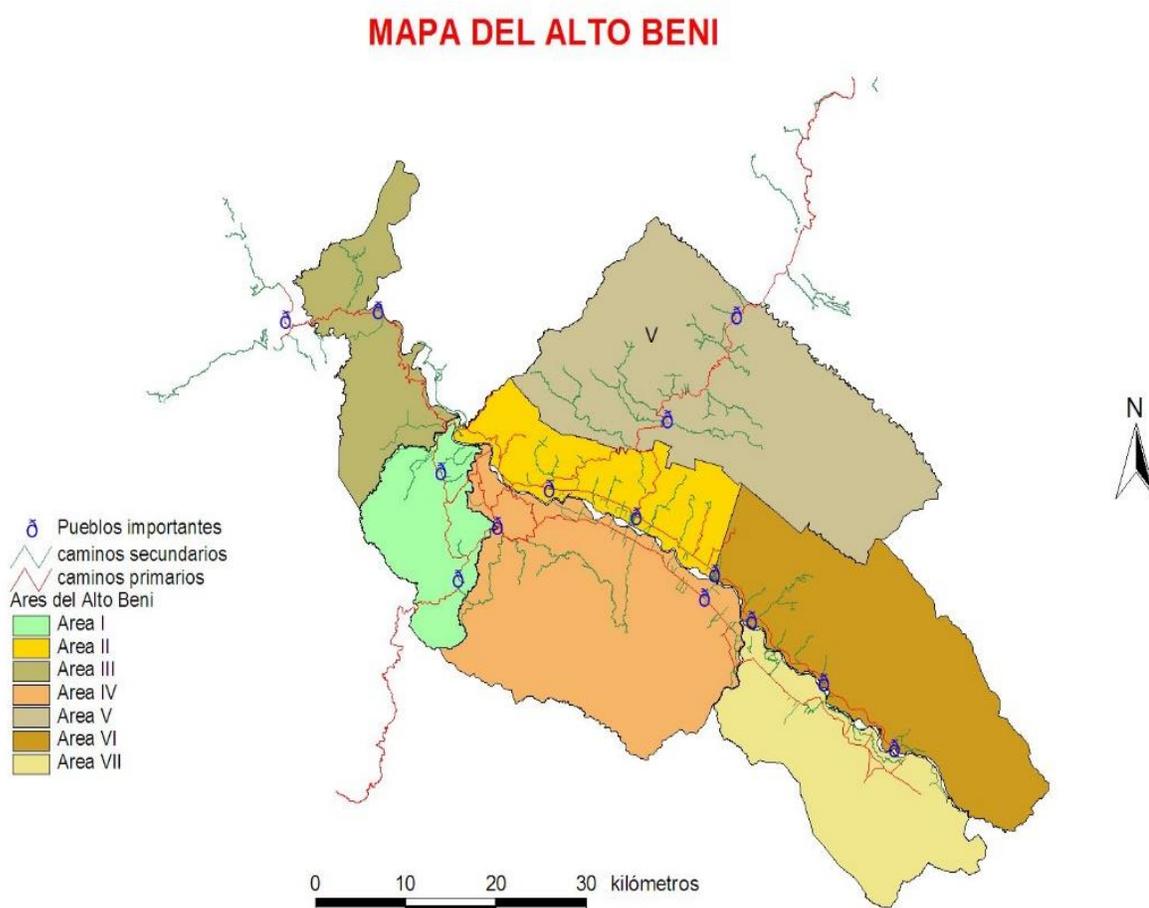
Las plantaciones de cacao son establecidas bajo un bosque natural raleado y con abundantes especies de regeneración, establecidas estratégicamente y respetando también la regeneración natural de las especies presentes. Estos sistemas podrían parecer un bosque natural, por ello son ideales para proteger el suelo, conservar el agua y mantener una alta biodiversidad (Boscán y Escalante 1998, Sánchez 1999).

Los sistemas agroforestales con cacao son técnicas de cultivo que surge por la necesidad de restaurar el déficit de energía de los suelos, a través de la incorporación de plantaciones densas con especies de distintos ciclos de vida, que aportan biomasa en forma de tallos, ramas, hojas y frutos que a través de los microorganismos disponen de nutrientes en los suelos y, que serán aprovechados por el cacao (ECOTOP 2010).

4. LOCALIZACIÓN

El presente estudio de investigación se realizó en el Centro Experimental de Comparación de Sistemas de Producción con cacao a largo plazo Sara Ana, cantón San Juan Suapi, kilómetro 73, del área III, del Gobierno municipal del Alto Beni, Provincia Caranavi del departamento de La Paz del Estado Plurinacional de Bolivia.

Geográficamente se encuentra en las coordenadas 15° 27' 30.4'' Latitud Sur y 67° 28' 38.6'' Longitud Oeste a 400 m.s.n.m.



Fuente. Google Earth.2017

Figura 2. Ubicación del Área de Trabajo

4.1. Características Climática

El clima es cálido y lluvioso la mayor parte del año, desde julio a agosto, se presenta la época de heladas o “surazos” con temperaturas que varían entre los 15 °C hasta 27 °C con temperatura máxima promedio de 37 °C y un promedio mínimo de 10 °C.

La humedad relativa anual es de 70 a 80%, la precipitación media anual es de 1600 milímetros por año (CIEBO 1995; Villegas 2004).

4.2. Características de la Vegetación.

La región se caracteriza por tener un bosque muy alto (30 a 40 metros), denso. Bien estratificado, siempre verde, una región que posee gran diversidad de especies forestales como: Ajo Ajo, Cedro, Cedrillo, Ceibo, Mara, Laurel, Nogal, Quina Quina, Pino, Roble, Chima, Toco colorado, entre otros. Además de tener una amplia diversidad de especies forestales es una zona productora de Cacao y Frutales (Velásquez, 2016).

4.3. Características del Suelo.

La región de Alto Beni se caracteriza por tener suelos muy superficiales a profundos; drenaje de bueno a excesivo; erosión hídrica de tipo laminar y en surcos de leve a moderado, en algunos sectores presenta cárcavas y reacción ácida. Las características físicas más importantes son: profundidad relativa de 10 a 150 cm., textura franco arcilloso y franco limoso en los horizontes superiores. Apto para forstales maderables y cultivos tropicales (Velásquez, 2016).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales

5.1.1. Material de campo

- Tijeras de poda
- Cuatro recipientes
- Bolsas plásticas de 2 y 20 Kg
- Bandejas
- Caja fermentadora
- Secadoras de cacao
- Báscula romana digital
- Higrómetro

5.1.2. Material Biológico

Seis genotipos de cacao (establecidos a siete años):

Clon	ICS-1	ICS-6
Selección local	Ila-22	III-06
Híbrido	ICS-1 x IMC 67	TSH-565 x IMC 67

5.1.3. Material de gabinete

- Planillas
- Formularios
- Lápiz
- Borrador
- Cámara digital
- Computadora
- Portátil
- Tablero.

5.2. Metodología

5.2.1. Procedimiento de investigación

El presente trabajo tuvo lugar en el centro de Investigación Internacional Sara Ana, la cual cuenta con cinco hectáreas de parcelas investigativas de producción de cacao, las cuales están instaladas en cinco sistemas productivos diferentes para la evaluación, que en interacción en seis genotipos en estudio, corresponden a los tratamientos propuestos en el presente documento.

En cada parcela investigativa de una superficie de 2,304 metros cuadrados (un cató 48m. x 48m.) se pueden encontrar doce genotipos de cacao, 144 plantas dispuestas al azar a una densidad de siembra de 4 x 4 metros, de las cuales se reservan 48 plantas al centro de la parcela, en un área de 24 x 24 metros, para la toma de datos, con el fin de descartar el efecto de borde. Para efectos del presente trabajo de investigación se tomó en cuenta dentro de estas parcelas ya descritas, seis genotipos ya mencionados (dos selecciones locales, dos híbridos y dos foráneos) contando con 24 plantas por parcela de investigación.

Los sistemas productivos dispuestos en las parcelas de experimentación y objeto de estudio, se describen a continuación.

Mono Cultivo Orgánico.

Las parcelas instaladas con este sistema disponen a las plantas de cacao como la única especie cultivable, sin presencia de sombra ni semisombra, el manejo de las parcelas es totalmente cultural, prescindiendo del uso de agroquímicos, para la fertilización se aplica compost y posee una cobertura vegetal de na especie fabácea, (Glicyne sp), la cual recubre el suelo y cumple la función de control de malezas como la retención de humedad.

Mono Cultivo Convencional.

Las parcelas con este sistema productivo poseen las plantas de cacao sin cobertura de ningún tipo (sin sombra ni semisombra), además que no están acompañadas con ninguna otra especie vegetal y el manejo del sistema es a través de agroinsumos, tanto para fertilización química como para control de malezas y plagas.

Agroforestal Convencional.

Las parcelas instaladas con este sistema poseen un manejo mixto convencional orgánico, ya que las parcelas poseen especies acompañantes, así como cobertura vegetal, pero estas mismas son asistidas con agroinsumos tanto para su fertilización como para el control de plagas y enfermedades, posee un manejo cultural de las especies acompañantes como el ceibo o bananos y las plantas de cacao se benefician de semisombra de otras especies.

Agroforestal Orgánico.

El sistema Agroforestal orgánico, es el más empleado por los productores de la región, siendo este una referencia importante en la investigación, el sistema prescinde de agroinsumos, y su control, fertilización y manejo, depende del control cultural de los cacaotales y las especies acompañantes, para la fertilización se aplica compost y posee cobertura vegetal (Glicyne sp).

Sistema Agroforestal Sucesional SAF.

Las parcelas pertenecientes a este tratamiento, posee un manejo cultural sistemático de podas y de gran diversidad de especies, simulando un bosque natural y buscando la sucesión natural de las especies conforme a sus respectivos consorcios, no se emplea uso de agroquímicos ni agroinsumos, y el cacao se encuentra en un sistema de semisombra, y es acompañado en su desarrollo con especies tanto forestales como frutales.

5.2.1.1. Prácticas culturales realizadas durante el ensayo.

Cada parcela posee un manejo distinguido como se describió anteriormente, sin embargo, se coincidían las fechas de aplicación de compost, esto en los sistemas de manejo orgánico, podas de especies acompañantes, fertilización química, una poda de despeje y raleo de ramas y chupones en el cacao, control cultural de enfermedades y plagas y finalmente la cosecha, que se realizaba cada 15 días de forma sistemática con fines del estudio.

5.2.1.2. Toma de muestras de campo, cosecha y conteo de frutos maduros y toma de peso húmedo de pepas.

Cada 15 días se realizaba la práctica de la cosecha de los frutos maduros por cada árbol en estudio en el área de muestreo por genotipo en cada sistema. Para ello se empleaba una tijera de poda, cortando con cuidado el pedicelo sin dañar el cojín floral.

Para no olvidar ningún registro se ingresaba a la parcela por la parte norte y se cosechaba el área de muestreo primero y luego el borde, pasando planta por planta haciendo un recorrido en "S", como se indica en el croquis N°2 (con la flecha roja), donde las mazorcas cosechadas se las depositaba al pie de cada árbol, para una mejor clasificación de frutos sanos y enfermos, así como su respectivo conteo. La cosecha se realizaba cada 15 días, a fin de evitar que las pepas comiencen a germinar dentro de la mazorca si se cosechaban demasiado tarde.

Una vez registrados los frutos cosechados maduros y separados los frutos dañados por alguna enfermedad o lesión, se procedía al desconchado de los mismos. Se seleccionaron las semillas de primera calidad (semillas sanas), las semillas de segunda calidad (semillas dañadas por enfermedades presentes en la mazorca u otros daños o desperfectos como ser semillas pre germinadas), para el estudio solamente se tomó el peso húmedo de las semillas de primera calidad.

Se procedía al pesaje de las semillas, se empleó como recipiente bolsas plásticas de dos kilos por árbol y bolsas plásticas de 20 kilos para los sistemas, dicho recipiente permitía contar con datos más precisos, al desprejar el peso del recipiente; para fines prácticos se utilizó una báscula romana digital, registrando estos datos por árbol de cada genotipo en cada sistema, así también el peso total de los sistemas productivos en cada repetición.

Cabe resaltar que la toma de los datos de cosecha se realizó desde el mes de febrero hasta el mes de noviembre, con el fin de abarcar un año productivo del cultivo de cacao y reducir la influencia de época de producción de mazorcas entre genotipos.

5.2.1.3. Toma de muestras para determinar la constante de correlación peso húmedo – seco, por tratamiento.

Una vez pesadas las semillas en húmedo en cada cosecha, se tomó dos repeticiones de cada sistema. 500 gramos de muestra que irían al proceso de fermentado y secado individualmente, para determinar la constante de correlación peso húmedo - seco de cada sistema, para efectos de conversión.

Para ello se separaba las muestras en redes de nylon, se pesaban con ayuda de una báscula digital de tres dígitos para un registro más preciso y se las etiquetaba correspondientemente, estas muestras luego pasaban a la caja de fermentado con las demás, separando el fermentado entre sistemas convencionales y orgánicos respectivamente. Posteriormente las mismas pasarían al proceso de secado separadas del resto pero bajo las mismas condiciones de secado.

Una vez secas pasaban a un segundo pesaje en seco en la balanza digital para posterior análisis y comparación. Con ayuda de un Higrómetro, se realizó el control de humedad, para garantizar un secado uniforme de las muestras.

Esta fase de toma de datos se dio lugar a partir del mes de Mayo hasta la primera cosecha del mes de agosto, esto para poder colocar las muestras en los meses de más alto rendimiento y obtener un fermentado uniforme, con los mismos datos, se propuso el análisis del rendimiento en peso seco de los genotipos y sistemas en estudio.

5.2.2. Diseño experimental

Para el análisis de los datos del presente estudio se empleó el diseño experimental completamente al azar DCA, con un arreglo de dos factores (bi factorial) para la comparación de datos por genotipos versus sistemas productivos.

5.2.2.1. Modelo lineal

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_j + \beta_k + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Puntuación del i sujeto bajo la combinación del j valor del factor A y el k valor del factor B.

μ = Media común a todos los datos del experimento.

α_j = Efecto o impacto de j nivel de la variable de tratamiento A.

β_k = Efecto del k valor de la variable de tratamiento B.

$(\alpha\beta)_{jk}$ = Efecto de la interacción entre el i valor de A y el k valor de B.

ε_{ij} = Error experimental o efecto aleatorio de muestreo.

5.2.3. Factores de estudio

5.2.3.1. FACTOR A: Sistemas de Producción

El presente estudio contó con cinco sistemas productivos y cuatro repeticiones por cada sistema detallados a continuación:

- **Sistema 1:** Monocultivo orgánico
Repeticiones: parcelas N° 6, N° 10, N° 19, N° 23.
- **Sistema 2:** Monocultivo convencional
Repeticiones: parcelas N° 2, N° 7, N° 18, N° 24.
- **Sistema 3:** Agroforestal orgánico
Repeticiones: parcelas N° 5, N° 8, N° 11, N° 20.
- **Sistema 4:** Agroforestal convencional
Repeticiones: parcelas N° 3, N° 4, N° 14, N° 15.
- **Sistema 5:** Agroforestal sucesional
Repeticiones: parcelas N° 1, N° 9, N° 16, N° 17.

5.2.2.2. FACTOR B: Genotipos

Para el presente estudio se dispuso de seis genotipos de cacao establecidos de acuerdo a una distribución al azar en cada tratamiento, a una densidad de siembra de 4 x 4 metros, de los cuales, dos genotipos son clones, dos genotipos son selecciones locales y dos genotipos son híbridos.

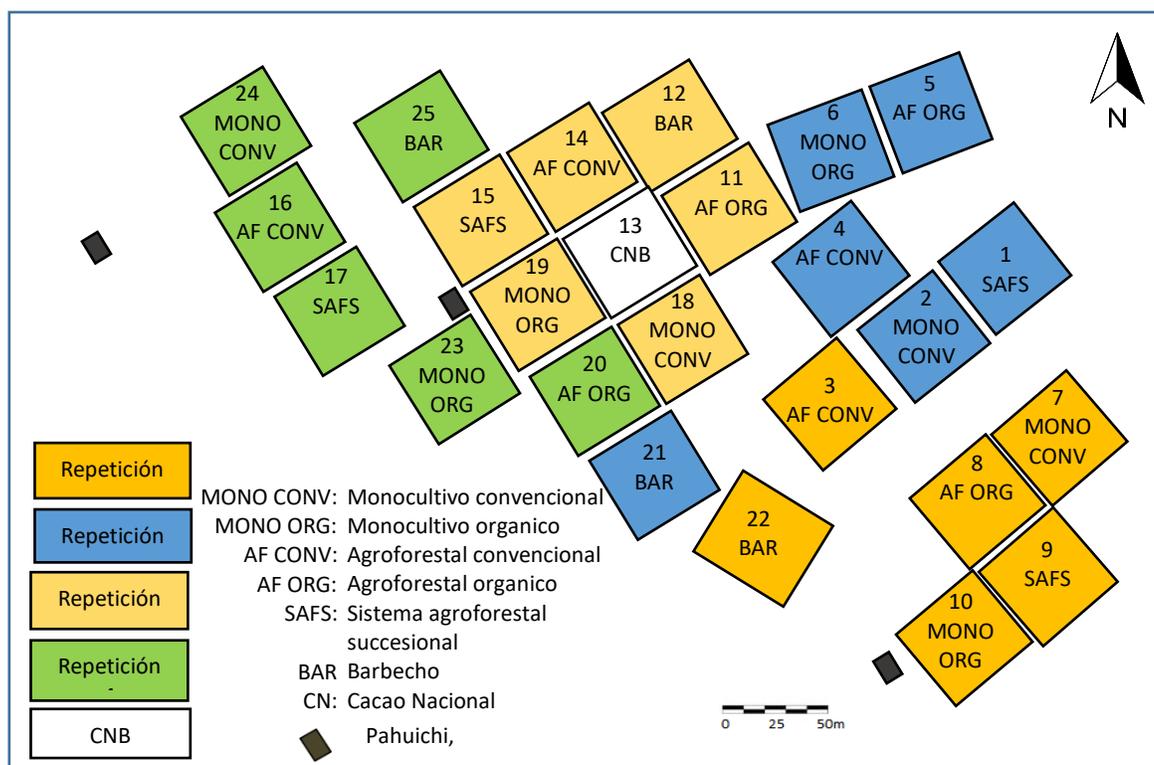
Genotipo	1	2
Clon	ICS-1	ICS-6
Selección local	Ila-22	III-06
Híbrido	ICS-1 x IMC 67	TSH-565 x IMC 67

5.3. Croquis de la investigación

5.3.1. Croquis del experimento o cartografía del trabajo

En el cuadro 3 se puede ver la cartografía del donde se realizó el trabajo de investigación tratamiento por tratamiento.

Figura 3. Cartografía del Trabajo



Fuente: FiBL, 2014

5.3.2. Croquis de la unidad experimental

Se puede ver en el cuadro 4 las unidades experimentales que se utilizaron en la investigación realizada.

Figura 4. Unidad Experimental

C	G	K	D	H	L	A	E	I	B	F	J
A	E	I	B	F	J	C	G	K	D	H	L
C	G	K	R7	R8	R9	R10	R11	R12	B	F	J
A	E	I	31	32	33	34	35	36	D	H	L
C	G	K	30	29	28	27	26	25	B	F	J
A	E	I	19	20	21	22	23	24	D	H	L
C	G	K	18	17	16	15	14	13	B	F	J
A	E	I	7	8	9	10	11	12	D	H	L
C	G	K	6	5	4	3	2	1	B	F	J
A	E	I	R6	R5	R4	R3	R2	R1	D	H	L
C	G	K	D	H	L	A	E	I	B	F	J
A	E	I	B	F	J	C	G	K	D	H	L

Fuente: FiBL 2014

5.4. Variables de Respuesta

5.4.1. Numero de mazorcas maduras y sanas, cosechadas por planta, por genotipo, por sistema y por repetición.

Para el estudio, se contaron los frutos que no presentaban signos de enfermedad, ni daños que comprometan el rendimiento de la semilla.

Esto se hizo con el fin de determinar si la intervención de cada sistema y su manejo, producía una merma o un incremento en la producción de frutos por factores de inducción floral, manejo de sombra, incidencia de enfermedades, entre otros.

La selección de cada fruto contado para el muestreo se hacía bajo parámetros cualitativos; observado primeramente si estos se encontraban maduros, viendo en la coloración de la corteza de la mazorca, así también empleando un método tradicional por los operadores de campo, golpeando levemente la mazorca para escuchar un vacío que indica la madurez, ya que las semillas se han separado del pericarpio en un fruto maduro.

Seguidamente se colocaban los frutos cosechados maduros al pie de cada árbol, pasando por una segunda clasificación a través de la observación de signos externos, perceptibles y evidentes a la vista del fruto sin desconchar, de síntomas de enfermedades como escoba de bruja, mazorca negra y monilliasis, que eran descartados para el estudio.

Finalmente, después de contados todos los frutos, se descontaban aquellos que presentaran síntomas de enfermedades internamente evidentes después del desconchado, esto debido a que en el caso de algunas enfermedades como la monilliasis, muchas veces no presentan signos externos en los frutos enfermos ya internamente dañados (semillas cristalizadas por el hongo).

Cabe destacar que la cosecha se realizaba cada 15 días con el fin de no perder frutos para este estudio por pregerminación de las semillas dentro del fruto.

5.4.2. Peso húmedo de las pepas de cacao, de primera calidad, por planta, por genotipo, por sistema y por repetición.

La segunda variable de respuesta de la presente investigación es el peso húmedo de las pepas de cacao tomados en campo. El fin de este muestreo era el de tener con precisión la producción de cada árbol del presente trabajo.

Ya que no se podía, por fines prácticos y de manejo, fermentar y secar las pepas de cacao por cada genotipo y sistema de cuatro repeticiones, se optó por la opción de pesar el rendimiento de la semilla in situ, después del desconchado de todos los frutos sanos y maduros preseleccionados de cada árbol en estudio, así poder tener un registro de rendimiento en húmedo y calcular el rendimiento en seco de cada genotipo, instalado en los cinco sistemas de producción.

Esta variable se tomaba bajo parámetros cualitativos, clasificando las pepas en primera y segunda calidad (tomando para el estudio las pepas de primera calidad), tomando en cuenta los siguientes parámetros: que las semillas procedan de un fruto sano y maduro, que no presente patologías, que las semillas no estén pregerminadas dentro del fruto, que no presente daños mecánicos por efecto de cortes u otros que comprometan la integridad del grano de cacao, y finalmente, que posea un tamaño razonable, no se optó por fines prácticos evaluaciones cuantitativas ni de granulometría.

Esta variable se la expresó de manera escalar con medidas de peso, empleando para su registro una romana digital.

5.4.3. Peso seco calculado por planta, por genotipo, por sistema y por repetición.

Para la presente variable de respuesta se determinó una constante de correlación de peso húmedo a seco por sistema de producción, tomando para ello una muestra de 500 gramos de peso húmedo de dos repeticiones de los cinco sistemas, fermentando y secando la misma por separado, para finalmente pesar el cacao ya seco y por una división determinar la constante que representa el porcentaje de cacao seco, permitiendo con esta relación determinar de un kilo de cacao húmedo cuanto de cacao seco obtenemos.

$$\mathbf{B = \text{peso seco de muestra} / 500 \text{ gramos de peso húmedo}}$$

Donde B es la constante de conversión.

Este procedimiento se lo realizó durante la mayor parte del año productivo, para determinar la variación del mismo en las épocas del año (presentados en el Cuadro 9).

Una vez realizadas las pruebas estadísticas de las muestras por sistema en el transcurso del año productivo (presentadas en el Cuadro 10), y determinando una diferencia entre ellas estadísticamente no significativas, se extrajo un promedio que vino a ser la constante de cálculo con la que se procedió a la determinación del peso seco por planta, por genotipo, por sistema, a partir de la siguiente relación.

$$\mathbf{\text{Peso seco} = \text{peso húmedo} * B}$$

Siendo B la constante determinada del estudio.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los objetivos planteados, se presentan los resultados obtenidos.

6.1. Evaluación del Número de Frutos Cosechados

A continuación, se realizaron los análisis de varianza para el diseño completamente al azar bifactorial del estudio y prueba de medias (Duncan al 95%), para el Número de Frutos cosechados

Cuadro 2. Análisis de la Varianza del Rendimiento de número de Frutos

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Transformación					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	281,441a	29	9,705	6,148	,000
Interceptación	3952,647	1	3952,647	2503,921	,000
sistemas	205,206	4	51,301	32,498	,000
genotipos	25,365	5	5,073	3,214	,010
sistemas * genotipos	50,870	20	2,544	1,611	,067
Error	142,072	90	1,579		
Total	4376,160	120			
Total corregido	423,513	119			

El cuadro tres, muestra diferencias significativas entre genotipos y diferencias altamente significativas entre los sistemas, además indica que la interacción no muestra diferencias estadísticamente significativas.

Las diferencias productivas en cantidad de frutos se pueden deber a condiciones de sombreado directamente relacionados con fertilización como indica (Beer, 1987) citado por (Somarriba 2004) que el rendimiento de una planta de cacao es

influenciado proporcionalmente entre el nivel de radiación solar que recibe y la fertilidad, en este sentido, los altos rendimientos del cultivo principal demandan altos niveles de radiación solar y fertilidad de los suelos, para mantener un rango óptimo de una buena productividad.

Cuadro 3. Prueba de Medias Duncan al 95% de confianza para el efecto de los genotipos para Número de Frutos Cosechados

GENOTIPOS	Medias	N	E.E.
Ila22	160,4	20	A
III 06	180	20	A
ICS 6	129,2	20	A B
TSH 565 X IMC 67	139,8	20	A B
ICS 1 X IMC 67	116,4	20	B
ICS 1	125,6	20	B

La prueba de Duncan, indica que se han formado tres grupos para genotipos, donde las selecciones locales III-06 y IIA-22 son las que presentaron de manera significativa mayor cantidad de frutos cosechados en promedio con 180 y 160,4 frutos sanos y maduros cosechados respectivamente, seguidos de los genotipos ICS-6 y el híbrido TSH-565 X IMC 67 que durante el año productivo registraron un promedio de 139,8 y 129,2 frutos maduros y sanos cosechados, finalmente el grupo que presentó la cantidad de frutos cosechados más bajas en promedio tenemos al ICS-1 y ICS-1xIMC67 con 125,6 y 116,4 frutos respectivamente.

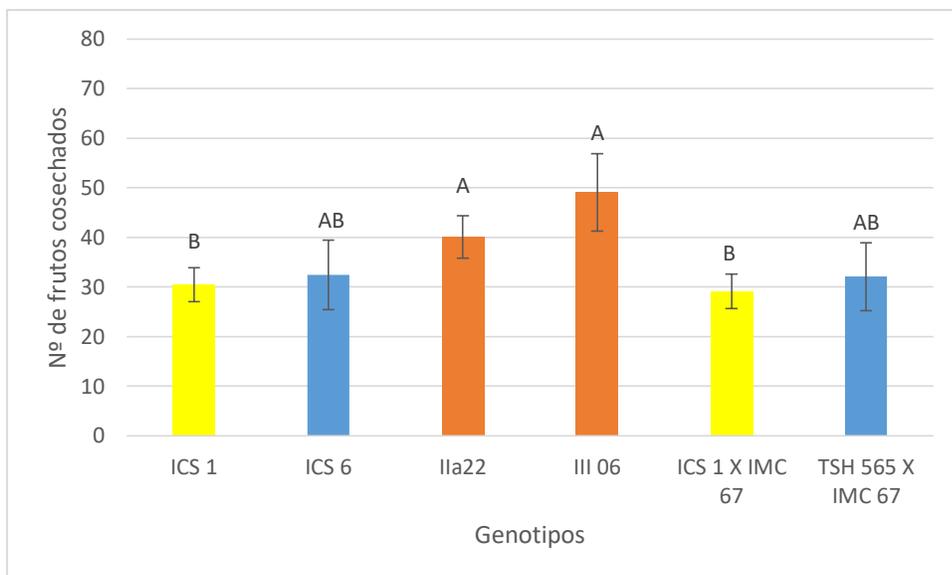


Figura 5. Prueba de Medias Duncan al 95% de confianza para el efecto de los genotipos para Número de Frutos cosechados.

Las diferencias significativas de los genotipos de cacao, se puede atribuir a la variabilidad genética del mismo, puesto que Huanca y Wenseslao, (2014), indican que el cacao es sumamente variable, y que es una planta de cultivo muy antiguo, donde los diferentes tipos y grados de la incompatibilidad y las mutaciones son factores de variación natural, a los que suma la acción del hombre al introducir poblaciones foráneas; donde se evidencia el aporte de las características de la variabilidad morfológica y el grado de afinidad en producción que existen entre las selecciones locales con los complejos genéticos forastero y trinitario.

A demás se confirma que el primer grupo, que los clones predominantes son del Área II, que además se agrupan los individuos trinitarios ICS-6 y el ICS – 1, se puede deducir que este grupo es el que mejores índices de rendimiento tienen resultados similares Trujillo (2007). El mismo autor indica que el material introducido al Alto Beni, fue material híbrido que se distribuyó de manera indistinta en las 7 Áreas de Alto Beni, siendo muchas de ellas similares que en la actualidad unas tienen mejor comportamiento que otras, sin embargo, son de la misma progenie.

La variabilidad genética de los genotipos puede afectar a la cantidad de frutos producidos durante un año productivo como indican los ya mencionados autores, sin embargo la cantidad de frutos producidos no son una determinante del rendimiento, solamente nos indican la expresión de variabilidad genética en la producción de frutos de los individuos.

Cuadro 4. Prueba de Medias Duncan al 95% de confianza para el efecto de los Sistemas para Número de Frutos cosechados

SISTEMAS	Medias	N	E.E.
MONO CONV	1752,5	21	A
MONO ORG	1327,7	23	B
AF CONV	963	22	B
AF ORG	954,25	24	B
SAF	572,5	22	C

La prueba de Duncan para tratamientos, nos muestra tres grupos; donde el Sistema Monocultivo Convencional, es el tratamiento con más frutos cosechados con un promedio de 1752,5 frutos maduros y sanos cosechados, el Sistema Agroforestal Sucesional presentó el rendimiento más bajo de 572,5 frutos cosechados en promedio.

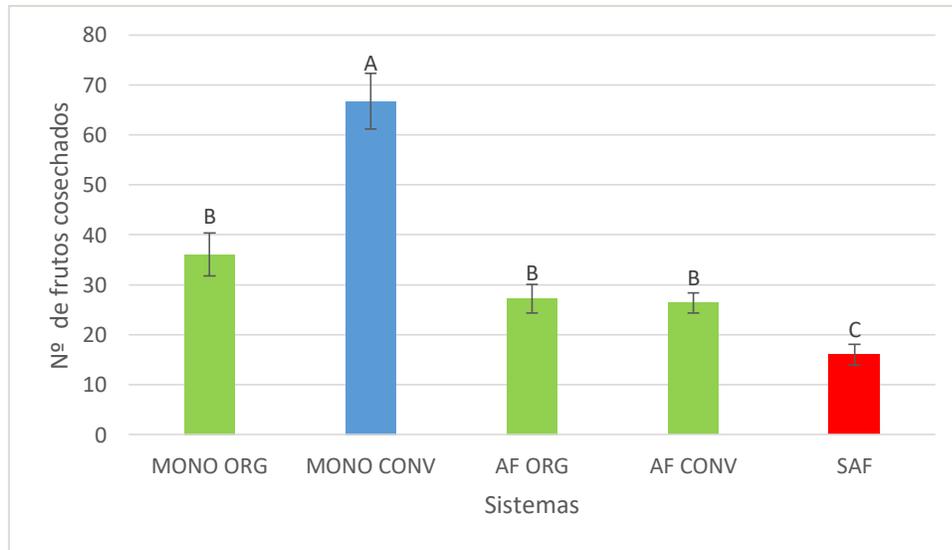


Figura 6. Prueba de Medias Duncan al 95% de confianza para el efecto de los tratamientos para Número de Frutos.

Las diferencias altamente significativas con respecto a los sistemas de producción, sobresaliendo el Monocultivo Convencional, se puede atribuir en parte a que según Tancara & Ariel, (2014), el rendimiento máximo de un cacaotal solo puede obtenerse en una exposición total a la luz y con todos los elementos minerales disponibles en cantidades suficientes así como un correcto abastecimiento de agua, es el caso del Monocultivo Convencional, donde la competencia por agua y nutrientes es mínima, produciendo rendimientos superiores en contraste a otros sistemas de producción, además que se pueden adicionar fertilizantes y controlar mejor plagas y enfermedades con plaguicidas.

La sombra generada por el dosel en las plantaciones de cacao modifica el microclima interno y la actividad fotosintética de los árboles formando un ambiente local, por lo que, el manejo adecuado de los niveles de sombreado repercute sobre la vitalidad y la productividad del cacao a lo largo del tiempo (Mejía, 2000) citado por (Ortiz 2006).

Paredes (2004) indica que el equilibrio de los niveles de sombra del dosel en las plantaciones debe ser regulado en función al grado de autosombreamiento de las plantaciones y a partir de la adaptabilidad de los genotipos cultivados. Por lo que se compone diferentes asociaciones de especies en los cultivares de cacao generando sistemas de manejo integrado del cultivo.

Existen plantaciones instaladas a pleno sol ya sea de forma experimental o productiva, logrando escenarios de monocultivo de cacao, los cuales requieren de una fertilización continua de la plantación para garantizar la producción (Paredes 2004; Batista 2009). Las plantaciones de cacao en este sistema fueron establecidas de manera tradicional con prácticas de roza, tumba y quema (Orozco, 2005). Este modelo que los productores adoptaron influenciados por el tamaño de los árboles y la forma de su copa genera suficiente autosombra dentro de su área de cobertura lo que hace que no requiera de más especies en el dosel.

Cabe destacar que los bajos rendimientos del cultivo de cacao se deben a una serie de factores relacionados a la planta y al ecosistema, entre los principales factores podemos citar: la edad de la planta, la variabilidad del clima, la disminución de la fertilidad del suelo, presencia de plagas y enfermedades, falta de manejo y abandono de las parcelas (Trujillo, 2007).

Por otra parte, el rendimiento en frutos cosechados más bajo corresponde al Sistema Agroforestal Sucesional, que según Götsch (1995), se caracterizan por su gran variedad de plantas agrícolas aprovechables, árboles y otras plantas del consorcio natural local y por el aprovechamiento según la sucesión natural y en diferentes estratos, donde no necesariamente un cultivo incrementa su rendimiento, sino la productividad esta medida por el rendimiento acumulado de la suma de cultivos del sistema, incrementando la productividad total, en disminución de la productividad de un cultivo específico.

Un factor que considerar para el comportamiento del cultivo en el sistema agroforestal sucesional, es que los rendimientos bajo condiciones de sombra extrema son bajos (300 a 400 Kg ha/año) en comparación de una sola especie o sombra manejada (700 Kg ha/año), sin embargo, los rendimientos aumentan hasta un 200 % en plantaciones a pleno sol con remoción de sombra y fertilización (1500 a 2000 Kg ha⁻¹ año⁻¹). Además, la intensidad lumínica menor a 50% limita los rendimientos mientras que una intensidad lumínica ligeramente superior al 50% lo incrementa.

En algunos países se reportan incrementos relativos del rendimiento superior al 180% después de haber suprimido la sombra, sin embargo, para esto es necesario complementar con otras labores agronómicas como la fertilización con tenores altos de nutrientes y con la regulación de sistemas de riego (Arévalo *et, al.*, 2004), citado por García, (2012).

Cabe destacar, que el rendimiento de mazorcas aumentara progresivamente en las plantaciones de cacao bajo los SAFs, a medida que se recuperen por la apertura de sombra de Arboles con la poda-raleo (Tancara & Ariel, 2014).

Para la producción de frutos en un cacaotal, el manejo de la sombra y la disposición de nutrientes son determinante, factores que en los sistemas en estudio a siete años de instalación se manejan bajo criterios diferentes y propios.

6.1.2. Evaluación del Rendimiento en Peso Húmedo

Para la variable de respuesta del rendimiento en peso húmedo de los granos de cacao, se tiene:

Cuadro 5. Análisis de la Varianza del Rendimiento en Peso Húmedo.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	700962368,254 ^a	29	24171116,147	4,737	,000
Interceptación	3027581438,120	1	3027581438,120	593,359	,000
Sistemas	460816761,572	4	115204190,393	22,578	,000
Genotipos	123139996,847	5	24627999,369	4,827	,001
Sistemas * Genotipos	117005609,835	20	5850280,492	1,147	,320
Error	459219679,467	90	5102440,883		
Total	4187763485,841	120			
Total corregido	1160182047,721	119			

El análisis de varianza muestra que existe diferencias altamente significativas entre sistemas de producción y diferencias significativas entre los genotipos en estudio, además nos indica que entre la interrelación de los genotipos en estudio y los sistemas del ensayo no presentan una diferencia significativa.

Puentes et.al. (2014) indica que el rendimiento en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) están, en parte, relacionados con factores físicos y químicos del suelo, manejo del cultivo y el potencial genético de los materiales cultivados.

Cuadro 6. Prueba de Medias Duncan al 95% para el efecto de los genotipos para Peso Húmedo.

GENOTIPOS	Medias	n	E.E.
III 06	6,42	20	A
Ila22	6,6	20	AB
ICS 6	5,72	20	AB
ICS 1	4,87	20	B
ICS 1 X IMC 67	4,09	20	B
TSH 565 X IMC 67	3,44	20	B

La prueba Duncan para el efecto de los genotipos, indica la formación de tres grupos estadísticamente similares, el primero formado por el genotipo III 06 con un peso húmedo promedio de 6,42 Kg, con el promedio en rendimiento en peso húmedo más alto, en cuanto al rendimiento en peso húmedo más bajo, se tiene al grupo formado los genotipos ICS 1, ICS 1 X IMC 67 y TSH 565 X IMC 67, con producciones medias de 4,87, 4,09 y 3,44 Kg de peso húmedo respectivo.

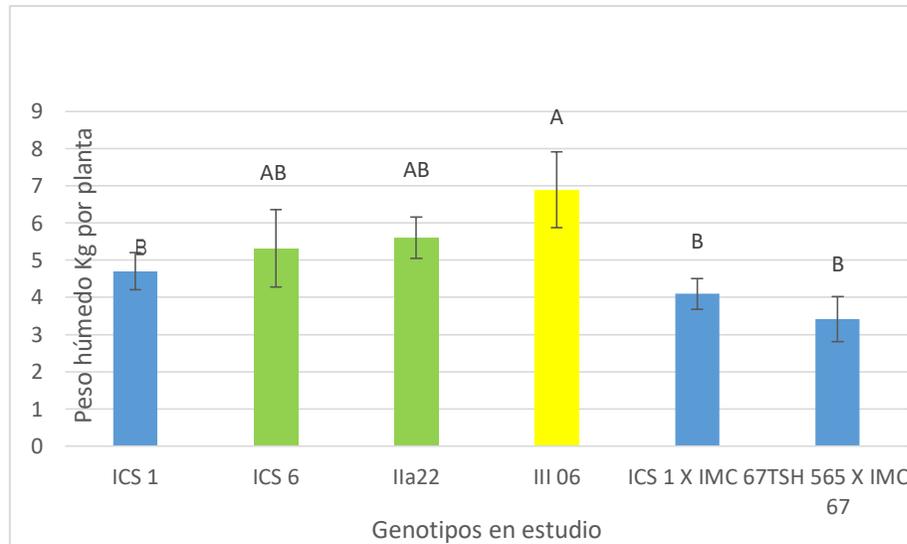


Figura 7. Prueba de Medias Duncan al 95% de confianza para el efecto de los genotipos para Peso Húmedo.

Los altos rendimientos del ICS-6, Ila-22 e III-06, pueden atribuirse a que es un material autocompatible lo cual incrementa el porcentaje de polinización; (Ruales et.al. 2011).

Si bien existen diferencias significativas, estas no son muy notorias, probablemente a que son caracteres de baja heredabilidad, puesto que López (1984) citado por Arciniegas (2005), determinó que el número de óvulos por ovario, el peso seco de la almendra y el ancho de la semilla son caracteres altamente heredables mientras que el número y peso fresco de las semillas por fruto son de baja heredabilidad. Arciniegas (2005), concluye que todas las características de la mazorca, excepto el grosor de la cáscara es altamente heredable, lo que concuerda con lo encontrado.

Sustentando los resultados del ensayo, se puede advertir que las selecciones élites locales presentaron mayor número de frutos cosechados; este comportamiento es corroborado con Huanca y Wenceslao, (2014), que encontraron en variables de medición cuantitativa de semilla, que las selecciones locales del área Ila, son las que mejor producción tienen por las dimensiones de la semilla y son muy similares a las variedades del complejo genético trinitario ICS-1 y ICS -6, que puede que la progenie de estas selecciones provenga de estos clones trinitarios.

Según Huanca y Wenceslao (2014) las selecciones élite locales, tienen características similares y pertenecen a área IIa, a este grupo se suman dos individuos trinitarios ICS-6 y el ICS-1, con características morfológicas similares, pudiendo inferir que la posible progenie de la mayoría de los individuos del área II son los clones ICS – 6 y el ICS -1; estos resultados concuerdan con lo establecido por el PIAF – CEIBO, que registra entre los clones introducidos en la época de los 60, de países como Ecuador, Costa Rica materiales híbridos con progenie de los clones ICS-6 y ICS-1.

Además, las selecciones locales del área IIa, se destacan con la mejor producción en cuanto a semillas y son muy similares a las variedades del complejo genético trinitario ICS-1 y ICS -6, puede que la progenie de estas selecciones provenga de estos clones trinitarios. El grupo de individuos del grupo II selecciones élite locales, con variables como peso de semilla y largo y ancho, es el que mejores índices de rendimiento tienen (Trujillo (2007)).

Cuadro 7. Prueba de Medias Duncan al 95% de confianza para el efecto de los sistemas para Peso Húmedo.

SISTEMAS	Medias	N	E.E.
MONO CONV	115,52	21	A
MONO ORG	92,58	23	B
AF CONV	70,61	22	B
AF ORG	68	24	B
SAF	49,28	22	C

La prueba de Duncan para los sistemas de producción, indica que se tiene tres grupos, de los cuales el primer grupo, corresponde al ensayo es el Sistema de Producción de Monocultivo Convencional con el rendimiento en peso húmedo promedio más alto de 115,52 Kg, el segundo grupo formado por Monocultivo Orgánico, Agroforestal Convencional y Agroforestal Orgánico, que presentan una media en rendimiento en peso húmedo de pepas de 92,58, 70,61 y 68 Kg, y por último el ensayo es el Sistema Agroforestal Sucesional con el rendimiento en peso húmedo promedio de 49,28 Kg

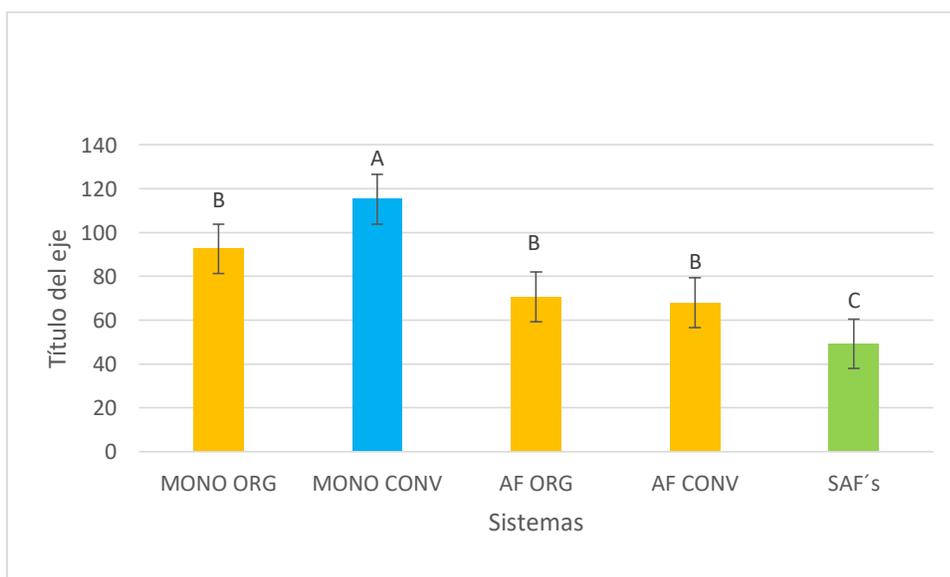


Figura 8. Prueba de Medias Duncan al 95% de confianza para el efecto de los sistemas para Peso Húmedo

Habiendo destacado el Monocultivo Convencional, se puede sustentar este comportamiento, puesto que López-Lefebre *et al.* (2002), consideran que la disponibilidad, la absorción y la distribución de nutrientes esenciales en la planta, así como la absorción de estos están relacionados con su tasa de crecimiento y son los factores que ejercen mayor influencia sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo, puesto que el monocultivo convencional percibe un aporte nutricional con fertilizante químico, rico en nitrógeno y fosforo especialmente.

(Mohotti y Lawlor, 2002). Mejía y Palencia (2000) aseguran que es necesaria la aplicación de fertilizantes químicos para obtener mejores rendimientos en el cultivo del cacao, ya que la fertilización deficiente es uno de los factores limitantes en la producción de cacao, ya que la aplicación de NPK en cultivo de cacao a plena exposición solar; se evita la fotoinhibición que produce el sombrío.

Las especies que llegan al marchitamiento y deprimen el desarrollo del cacao son manejadas como dinamizadores del sistema, pero tienen un efecto en el desarrollo fisiológico de plantas de sistemas más abundantes que se encuentran en desarrollo, (Milz, 1997). Este argumento nos permite entender que en el caso de los sistemas agroforestales orgánico y convencional, el rendimiento queda estancado en un nivel medio, si bien se manejan especies frutales y forestales acompañantes, estas no se dinamizan ni se encuentran en un estrato ni consorcio adecuado de manejo de especies, afectando el desarrollo fisiológico del cacao.

En el caso del Sistema Agroforestal Sucesional, se puede así observar que el desarrollo fisiológico de las plantas de cacao son influenciadas por el desarrollo del sistema, es así que a los siete años de producción, según Götsch (1995), citado por Milz (1997), el sistema agroforestal del estudio, es un sistema de lignina, que se caracteriza por ser un sistema de acumulación de energía, ya que sus especies poseen una relación carbono/nitrógeno muy amplia, el componente de lignina en la biomasa es elevada y por ello el proceso de descomposición es lento, funcionando como un reservorio de carbono.

Es así que es una posible explicación al desarrollo lento del cacaotal dentro de este sistema que influye al rendimiento en pepa del mismo, esto a corto plazo, ya que el sistema se encuentra en constante cambio.

Cuadro 8. Índices de correlación peso húmedo – seco calculados.

SISTEMAS	Constante de correlación de peso húmedo-seco determinado por tratamiento							Promedios
MONO CONV	0,33	0,37	0,42	0,42	0,34	0,35	0,37	0,362
	0,36	0,35	0,38	0,40	0,31	0,31	0,35	
MONO ORG	0,32	0,30	0,40	0,34	0,33	0,34	0,34	0,338
	0,32	0,30	0,35	0,36	0,31	0,39	0,34	
AF CONV	0,33	0,28	0,35	0,38	0,30	0,34	0,33	0,351
	0,33	0,37	0,42	0,42	0,34	0,35	0,37	
AF ORG	0,32	0,36	0,36	0,40	0,36	0,35	0,36	0,368
	0,36	0,40	0,36	0,39	0,33	0,42	0,38	
SAF's	0,32	0,36	0,37	0,39	0,30	0,40	0,35	0,357
	0,33	0,34	0,42	0,38	0,32	0,37	0,36	

En el proceso de secado por exposición solar, se reduce la humedad interna del grano a un contenido de humedad del 30%, al finalizar el proceso de secado, el grano de cacao deberá contener entre un 6% a un 7% de humedad interna aproximadamente para su almacenaje et al (2013).

Cuadro 9. Análisis de varianza del índice de correlación peso húmedo-seco calculado

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
SISTEMAS	Entre grupos	104,167	48	2,170	1,272	,279
	Dentro de grupos	35,833	21	1,706		
	Total	140,000	69			

El análisis de varianza descrito a continuación, pertenece al estudio realizado del muestreo por sistemas productivos, para determinar si existía o no una diferencia en el índice de correlación, relación de pérdida de humedad y mucílago en el proceso de secado del cacao, el resultado estadístico nos indica que no existe una diferencia significativa.

Cuadro 10. Análisis de la Varianza del Rendimiento en Peso Seco.

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Peso Seco					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	84897998,6 85 ^a	29	2927517,19 6	4,672	,000
Interceptación	364204297,201	1	364204297,201	581,26 5	,000
sistemas	55960196,380	4	13990049,095	22,328	,000
genotipos	13377259,089	5	2675451,818	4,270	,002
sistemas * genotipos	15560543,217	20	778027,161	1,242	,241
Error	56391493,269	90	626572,147		
Total	505493789,155	120			
Total corregido	141289491,955	119			

En el siguiente análisis de varianza podemos apreciar, que en el caso del peso seco solamente existen diferencias significativas entre el rendimiento de los sistemas y una

diferencia significativa en rendimiento en peso seco de los genotipos, y que en la interacción de los sistemas con los genotipos no existe una diferencia significativa.

Cuadro 11. Prueba de Medias Duncan al 95% para el efecto de los genotipos para Peso Seco.

GENOTIPOS	Medias	n	E.E.
III 06	2150,1	20	A
ICS 6	2002,9	20	A
Ila-22	1960,1	20	A
ICS 1	1703,4	20	AB
ICS 1 X IMC 67	1432,2	20	B
TSH 565 X IMC 67	1204,2	20	B

Mediante la prueba de medias podemos observar, que los genotipos locales III-06 y Ila-22, juntamente a la selección foránea ICS-6, presentan un rendimiento en peso seco similar y más alto entre los genotipos en estudio, siendo el III-06 con el promedio productivo más alto de 2150,1 gramos seguido del genotipo ICS-6 y el genotipo Ila-22 con promedios de 2002,9 y 1960,1 gramos de cacao seco, respectivamente.

La prueba de medias, también nos indica que los genotipos híbridos ICS 1 X IMC 67 y TSH 565 X IMC 67 presentaron los rendimientos en peso seco similares más bajos del estudio con medias de 1432,2 y 1204,2 gramos de cacao seco, respectivamente.

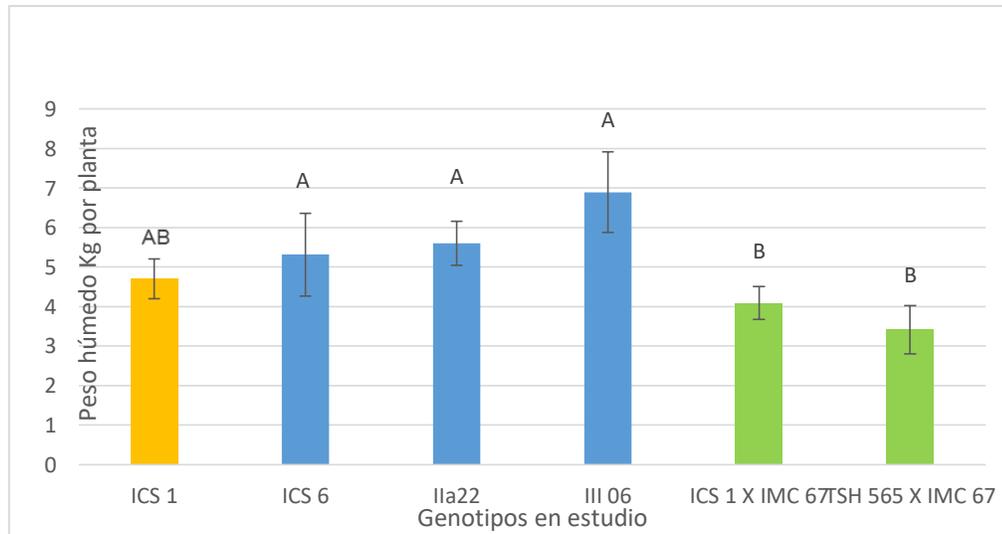


Figura 9: Prueba de Medias Duncan al 95% para el efecto de los sistemas para Peso Seco.

Según Lopez Baez O. (1984), El peso seco de la almendra resultó un carácter altamente heredable y gobernado por genes dominante. Es así que los genotipos conocidos por un gran tamaño de fruto y almendras grandes, pueden en este caso expresar un mejor rendimiento promedio en cuanto al peso seco de producción de cacao.

Es así que según el INIAF (2018) empleó como indicadores productivos de los genotipos los cálculos de Índice Mazorca e Índice de Semilla.

El Índice Mazorca se define como el número de mazorcas necesarias para obtener un kilo de cacao seco y el Índice de Semilla se define como el peso promedio en gramos de 100 semillas secas de cacao INIAF (2018).

Según INIAF (2018), las selecciones locales III-06 y Ila-22 presentan tanto en Índice Mazorca como en Índice de Semilla, datos favorables colocándolos entre las

selecciones más productivas, juntamente a la selección foránea ICS-6, evaluadas en este estudio, los mismos que describimos a continuación.

- III-06 presenta un Índice Mazorca de 18 mazorcas para un Kilo de cacao seco y un Índice de semilla de 1,53 gramos promedio de 100 semillas secas de cacao.
- Ila-22 presenta un Índice Mazorca de 21 mazorcas para un Kilo de cacao seco y un Índice de semilla de 1,5 gramos promedio de 100 semillas secas de cacao.
- ICS-6 presenta un Índice Mazorca de 15 mazorcas para un Kilo de cacao seco y un Índice de semilla de 1,6 gramos promedio de 100 semillas secas de cacao.

Mediante los presentes datos presentados por INIAF (2018), podemos observar que los genotipos del presente estudio presentan datos en los índices productivos mencionados similares y favorables en cuanto a rendimiento, respaldando el comportamiento estadístico de los mismos en cuanto a peso seco de semillas de cacao.

Cuadro 12. Prueba de Medias Duncan al 95%, para el efecto de los sistemas para el Peso Seco

SISTEMAS	Medias	N	E.E.
MONO CONV	3587,7402	17	A
MONO ORG	2152,0811	11	AB
AF CONV	1872,5000	2	BC
AF ORG	1490,2125	4	BC
SAF	376,4444	6	C

El resultado de la comparación de medias entre los tratamientos, nos muestran que el Sistema de Mono Cultivo Convencional con el mayor promedio en rendimiento en peso seco, distanciado del rendimiento más bajo lo presenta el Sistema Agroforestal Sucesional.

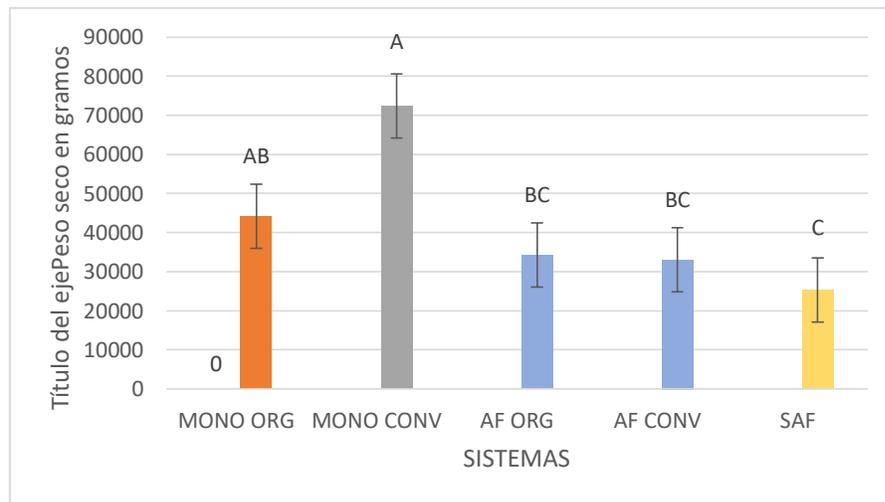


Figura 10. Prueba de Medias Duncan al 95% de confianza para el efecto de los sistemas para Peso Seco.

Nacayama, 2010). Almeida (2007) y Osei-Bunsu *et al.* (2002) señalan que entre los parámetros más importantes que determinan el rendimiento en este cultivo se pueden citar la intercepción de luz, la tasa de fotosíntesis, la respiración, la morfología del fruto, el proceso de fermentación de las semillas y la disponibilidad hídrica.

Los principales efectos de la luz sobre la fisiología de las plantas en el cacao aparentemente no presentan características de una planta de "sombra", puesto que los beneficios de la sombra parecen ser de carácter puramente agronómico, puesto que, al intensificar las prácticas agronómicas, se obtiene mayor rendimiento al sol que a la sombra, es así que debemos considerar que la sombra no es un asunto de interés fisiológico o agronómico solamente, sino también económico.

Siendo así que una posible situación de sombra cero, influya directamente en el rendimiento mismo de las plantas de cacao en un Monocultivo Convencional a siete años de instalación y de forma inversa, mermando el rendimiento en sistema con más sombreado como es el caso de un sistema Agroforestal o Agroforestal Sucesional influyendo de forma directa en el rendimiento final en peso seco de semilla de cacao.

Tenada W. (2016), añade que la deficiencia de agua y nutrientes en el suelo, trae como consecuencia una reducción en el tamaño de las mazorcas y de las almendras. Además, origina variaciones el metabolismo del Nitrógeno en la planta de cacao es sensible al medio ambiente, dando lugar a entender, que en los diferentes sistemas en estudio, existe una diferencia en calidad de suelo y en disponibilidad de nutrientes, que pueden influir directamente en el desarrollo del cacaotal, y a su vez a la expresión del rendimiento en peso seco.

En el caso del rendimiento más bajo en los sistemas agroforestales sucesionales, podemos mencionar en cuanto al desarrollo fisiológico de las plantas de cacao que según Milz (1997), En un sistema sucesional, el grado de desarrollo de cada sistema puede estar caracterizado por la etapa y sus respectivas especies que predominan dentro de la sucesión natural.

Así cada sistema posee sus propios consorcios de pioneros, secundarios I, II, III y primarios característicos, que además varían según las características ecológicas del lugar, cuando hablamos de sistema, el autor nos menciona que tiene un proceso natural llamado "Dinámica de la sucesión natural", esta consiste en que el sistema tiene un comportamiento por etapas de desarrollo, determinado por las especies presentes en el mismo. Este desarrollo en conjunto de todas las especies pertenecientes a un sistema sucesional, influyen en el desarrollo de cada especie y en el caso de este estudio en el desarrollo fisiológico del cacao.

Cada especie tiene un proceso de maduración y de resorción (porque su materia orgánica se reintegra al sistema) propio que dinamiza el sistema, el autor nos explica

que cuando una especie de un consorcio pionero o secundario se encuentra en su etapa de maduración máxima, llegando al punto de su marchitamiento, deprime el desarrollo de especies de consorcios mayores como primarios (un efecto de flujo de energía en el sistema que influye en el comportamiento fisiológico de otras especies).

Es así que es una posible explicación al desarrollo lento del cacaotal dentro de este sistema influye en el desarrollo fisiológico de las plantas y como consecuente al rendimiento en peso seco del mismo, esto por la etapa de las especies presentes en el sistema que conformarían un consorcio secundario y de acumulación, así como el sombreado en su manejo a siete años de instalación del sistema, Situación que cambiará en el transcurso de los años, ya que el manejo en un sistema Agroforestal Sucesional es dinámico en su manejo y desarrollo.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Los resultados analizados en el estudio, de número de frutos sanos y maduros producidos, peso húmedo y peso seco de pepas de cacao, nos mostraron que la influencia de los sistemas, por sus distinto manejo y acondicionamiento del medio de desarrollo del cacaotal, no tiene una diferencia significativa, dándonos a entender que a siete años del presente estudio podría ser que no se presente una directa relación entre las condiciones de manejo ni ambientales con la mejora o diferencia de la expresión de caracteres productivos de las plantas de cacao, sin embargo se puede esperar que esta diferencia se haga presente y se acentúe con el paso del tiempo, ya que cada tratamiento modificara las condiciones ambientales del cacaotal, afectando de manera segura el rendimiento de los mismos.

- El rendimiento en número de frutos cosechados sanos y maduros, presentaron diferencias significativas, atribuibles al genotipo, sobresaliendo las selecciones élite locales Ila-22 y III-06 y el complejo trinitario ICS-6, en el sistema de monocultivo convencional presentando rendimientos superiores, atribuibles al manejo de sombra y fertilización química.
- El rendimiento en peso número de las pepas, mostró diferencias significativas para genotipos, sobresaliendo el Ila-22, III-06 y ICS-1, atribuibles a la calidad genética del grupo de selección élite local y su posible parentesco con el complejo trinitario ICS, los cuales se comportaron mejor en su rendimiento en el sistema de monocultivo convencional,
- En el caso de los sistemas en estudio, en todos las pruebas y análisis realizados en el presente trabajo, mostraron diferencia altamente significativa en la expresión de caracteres de rendimiento, siendo los Sistemas de Mono Cultivo Convencional y el Monocultivo Orgánico los que presentan mayor rendimiento en peso seco de pepas de cacao con 72,32 y 44,13 kg respectivamente, seguidos de los sistemas agroforestal orgánico y agroforestal convencional con 34,27 y 33,03 Kg., y el Sistema Agroforestal sucesional como el sistema con menor rendimiento con 25,3 Kg de pepas de cacao seco, esto atribuido a factores de sombreado, fertilización y asistencia con agro insumos, que son factores cruciales para la inducción floral, reducción de impactos por plagas y enfermedades y el vigor de las plantas, que pueden traducirse en un rendimiento mayor en el caso de los sistemas convencionales y en monocultivos.

Sin embargo, el estudio plantea que en el caso de bajo rendimiento en los sistemas agroforestales sucesionales, se puede deber a la etapa del consorcio y desarrollo del sistema mismo, ya que se encuentra en una etapa de acumulación de energía o de lignina, con una dominante presencia de plantas secundarias I Y II, que producen sombra al sistema y limitan el desarrollo del cacaotal ya que

este espera ocupar su lugar en el sistema más adelante, además de cambiar sus situaciones de sombreado e inyección de materia orgánica al cacaotal.

7.2. Recomendaciones

- Se recomienda incentivar el cultivo de genotipos locales como los Ila-22, III-06, debido a sus rendimientos superiores con respecto a los otros genotipos en la región, así como genotipos cuyo progenitor se conozca sea del grupo foráneo ICS.
- Es recomendable analizar la sostenibilidad productiva del sistema de monocultivo convencional a mediano y largo plazo.
- Se recomienda analizar el efecto de la sombra en la productividad de las parcelas de cacao en la localidad de Sara Ana.
- Es recomendable para estudios futuros tomar en cuenta la edad del cacaotal.
- Se recomienda en el caso de análisis de sistemas tomar en cuenta el desarrollo íntegro de las parcelas, tanto en etapa productiva, como la influencia de factores ambientales y de relación entre especies presentes en los sistemas.
- Se recomienda cuantificar los daños por plagas y enfermedades y su efecto sobre el rendimiento.
- Se recomienda realizar un análisis beneficio costo, en los diferentes sistemas de producción, para poder analizar la rentabilidad de estos.

8. BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, A. A. Y VALLE, R. 2007. Ecophysiology of the cocoa tree. Braz. J. Plant Physiol. 19(4):425 - 448.
- ARCINIEGAS, A., 2005. Caracterización de árboles superiores de cacao (*Theobroma cacao L*) seleccionados por el programa de mejoramiento genético del Catie. (Tesis posgrado). Costa Rica: CATIE. Pp. 125.
- ARÉVALO, E; ZUÑIGA, L; ARÉVALO, C; ADRIAZOLA, J. 2004. Cacao: Manejo integrado del cultivo y transferencia de tecnologías en la amazonia peruana. Edits. R Garcia, R. Reyes, A. Ram, L Vela, M Vitteri. Editorial Castillo S.A. San Martin, Perú. 1 67p.
- BAZOBERRY, O.; SALAZAR, C., 2008, El cacao en Bolivia una alternativa económica de base campesina indígena. Grupo Desing, La Paz-Bolivia Pp. 129.
- BAZOBERRY O.; SALAZAR C. 2008. El cacao en Bolivia; importancia del cacao cultivado en la economía campesina indígena. Centro de investigación y promoción del campesinado (CIPCA). La Paz-Bolivia, Grupo Desing. Pp. 101.
- CEIBO 2001. Modernización de la cacaocultura organica del alto beni, Bolivia.: informe final costa rica: s/e.
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PRODUCCIÓN DEL CAMPESINADO (CIPCA). 2006. Germoplasma el Cacao. Bolivia: Salazar Coraly. Pp. 8.
- CERDA, R; VARGAS, V; QUISPE, J. 2010. Manual para la producción orgánica de cacao en Bolivia: enfermedades y plagas del cacao. Ed. W July. La Paz, Bolivia. p. 63-78.
- COMITÉ NACIONAL DEL CACAO. 2010. Segundo Congreso Nacional de Cacao en Bolivia: Memoria. La Paz-Bolivia Pp. 82.
- EL CEIBO-BOLIVIA; USAID. 2007. Guía metodológica para el manejo de cacao orgánico. Sapecho - Alto Beni. BO. Pp. 60.
- ENRIQUEZ, G., 2004. Cacao Orgánico, Guía Para Producción Ecuatorianos instituto nacional Autónomo de Investigación Agropecuarias. Manual 54. Quito:EC.Pp. 360.

- FiBL, ECOTOP, IE, PIAF, AOPEB, PROIMPA. 2013. ¿Qué contribuye la agricultura orgánica al desarrollo sostenible? Proyecto: Comparaciones de sistemas de producción de cacao a largo plazo. Edición Zoe Heuschkeel. La Paz:BO. 18p
- Gardini, E., Cernades, Arevalo, & Aguila, J. (2004). Manejo Integrado del Cultivo y Transferencia de Tecnología en la Amazonía Peruana. Peru. Pp. 167.
- Gomez, B. (2005). Cacao Aspecto Agronómicos para su Cultivo. San Cristóbal. Pp. 44.
- GOOGLE EARTH. 2017. Google Maps. Image NASA. Tele Atlas. Mapas/El Mercurio. Consultado el 22 de Abril de 2017. Disponible en: <http://earth.google.com>
- HUANCA, H., WENCESLAO, F. (2014). *Caracterización morfológica de selecciones locales de cacao (Theobroma cacao L.) identificadas por la Central de Cooperativas El "CEIBO"* (No. CIDAB-T-SB267-H6c). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz (Bolivia). Facultad de Agronomía.
- INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGROPECUARIA Y FORESTAL (INIAF), 2018. Genotipos de Cacao en Alto Beni – Bolivia. La Paz – Bolivia, Estación Experimental de Sapecho.140 P.
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA (IICA), 2009. Tecnologías de producción del cacao en Bolivia. La Paz-Bolivia, grupo Desing. Pp. 113.
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA (IICA), 2009. Sistema Sostenible en Cacao y Metodos de Transferencia de Practicas Tecnologicas. “El Cultivo de Cacao en Agricultura sostenible”. IICA, San Jose-Costa Rica. 9. P.
- JULY, W., 2007. Caracterización morfológica y molecular del Cacao Nacional Boliviano y de selecciones élites del Alto Beni. (Tesis posgrado). Bolivia. CATIE. Pp. 88.
- LÓPEZ-LEFEBRE, L.; RIVERO, R.; GARCÍA, R.; SÁNCHEZ, E.; RUIZ, J.; Y ROMERO, L. 2002. Boron effect on mineral nutrients of tobacco. J. Plant Nutr. 25(3):509 - 522.

- MEJÍA, L.; Arguello, O. 2000. Tecnología para el Mejoramiento del Sistema de Producción de Cacao. CORPOICA (Corporación Colombiana de Agricultura y Ganadería). Bucaramanga. CO. 144 p.
- MEJIA, L. (2000). Aspectos Ecofisiológicos relacionados con el cultivo del cacao. CORPOICA. En: Tecnología para el mejoramiento del Sistema de producción del cacao. Com. L.A. Mejia; O. Argüello. Bucaramanga, Colombia. p 26-32.
- MILZ, J. (1997). Guía para el Establecimiento de Sistemas Agroforestales. 1 ed. DED (Servicio Alemán de cooperación Social-Técnica), La Paz, BO. P 28-65
- MOHOTTI, A. Y LAWLOR, D. 2002. Diurnal variation of photosynthesis and photoinhibition in tea: effects of irradiance and nitrogen supply during grown in the field. J. Exp. Bot. 53:313 - 322.
- NAKAYAMA, L. H. 2010. Avaliação do estado nutricional das combinações híbridas de cacauero cultivado no Latossolo Amarelo Distrofico Típico. Agrotropica 22(1):5 - 10.
- OSEI-BONSU, K.; OPOKU-AMEYAW, K.; AMOAH, F. M. Y OPPONG, F. K. 2002. Cacao-coconut intercropping in Ghana: agronomic and economic perspectives. Agrof. Syst. 55:1 - 8.
- PIAF-EL CEIBO. 2007. Cultivo de cacao baj Sistemas Agroforestales implementando técnicas adecuadas enmarcadas en la producción Orgánica. Sapecho - Alto Beni, Bolivia. Pp. 30.
- PEREZ, P., 2009. Evaluación y caracterización de selecciones clonales de cacao (*Theobroma cacao* L.) del Programa de Mejoramiento del CATIE. (Tesis posgrado). Costa Rica: CATIE. 149 p.
- PMCO-CICAP/OEA-CATIE., 2005. Manual de Capacitación a producción y técnicos. Bolivia. Pp. 45.
- PROGRAMA PARA EL DESARROLLO DE LA AMAZONIA (PROAMAZONIA). 2004. Manual del cultivo de cacao. Perú. Pp. 105.
- QUISPE, J., 2010. El cultivo de Cacao en un Sistema Agroforestal Local. Bolivia: EL CEIBO. Pp. 50.

- RUALES, J. L., BURBANO, H., & BALLESTEROS, W. (2011). Efecto de la fertilización con diversas fuentes sobre el rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Rev. Cienc. Agríc*, 28(2), 81-94.
- PARRA, D.; SÁNCHEZ L. 2005. El control de la moniliasis en el cacao. INIA – Divulga 6: 23-26.
- PUENTES-PÁRAMO, Y. J., MENJIVAR-FLORES, J. C., GÓMEZ-CARABALÍ, A., & ARANZAZU-HERNÁNDEZ, F. (2014). Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agronómica*, 63(2), 145-152.
- SOMARRIBA E. 2004. Cacao-Platano-Madera: la Diversificación Agroforestal como Herramienta para Mejorar Variabilidad en Productos Agrícolas. Memorias de la semana, 8 - 10 diciembre, 2004, V.1.CATIE. Pp. 51.
- SOMARRIBA, E.; Harvey. G. 2003. Origen de los Sistemas Agroforestales Multiestratos en el Alto Beni (Entrevistas) PIAF- EL CEIBO, Sapecho, Alto Beni.
- TAGUASI, M., & JUNIOR, E. (2014). Caracterización agromorfológica del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la parcela internacional de la estación experimental de Sapepcho Aalto Beni La Paz.
- TANCARA, A., & ARIEL, L. (2014). *Efecto de la poda y raleo de árboles en un sistema agroforestal sucesional en la producción de cacao (Theobroma cacao) del Alto Beni* (No. CIDAB-T-SB267-A71e). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz (Bolivia). Facultad de Agronomía.
- TENEDA, W., 2016. Mejoramiento del proceso de fermentación del Cacao, Universidad Internacional de Andalucía. Isla de Cartuja. Pp 34.
- TRUJILLO, G., 2007. Estudio de Evaluación de Clones Foraneos, Selección y Características De Plantas Superiores De Cacao. Bolivia.: Topaz 93 p.
- VELAZQUEZ, F., 2016. Investigación del Ciclo Biológico de la Monilliasis del cacao (*Monilliophthora roreri*), foráneas, y el efecto de buenas prácticas agrícolas en Alto Beni, Informe consultoría ECOTOP – FiBL. Pp. 14-16.
- ZUIDEMA, P. A.; LEFFELAAR, P. A.; GERRITSMA, W.; MOMMER, L.; Y ANTEN, N. P. 2005. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. *Agric. Syst.* 84:195 – 225.

- LOPEZ BAEZ, O. Herencia de ciertos caracteres de la semilla de Cacao (Theobroma cacao L.), resumen disponible en <http://opac.bibliotecaorton.catie.ac.cr/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=489993>

ANEXOS

Anexo 1. Fotografías del etiquetado de las plantas de cacao del ensayo



El número de planta o código "R" (para plantas de reserva en caso de faltar un individuo de estudio en la parcela de muestreo), etiquetas de colores para la identificación de cada genotipo de cacao.

Anexo 2. Fotografías de identificación de frutos maduros listos para la cosecha



Según el genotipo se podía identificar de forma visible o poco visible la madurez del fruto, para ello a veces se recurría al conocimiento local de los trabajadores.

Anexo 3. Fotografías de la cosecha de mazorcas, selección de frutos sanos para el estudio y conteo de frutos cosechados



Una vez cosechados los frutos se los depositaba al pie de cada árbol de muestreo para su posterior evaluación y conteo.



Se separaban los frutos con presencia de alguna enfermedad y se los contabilizaba por separado de los frutos maduros sanos en estudio.

Anexo 4. Fotografías de frutos descartados para el estudio con presencia de enfermedades típicas del cacao



Síntomas internos y externos de presencia de Monilliasis (*Monillia roreri*)



Fruto dañado por escoba de bruja (*Monillia perniciosa*)

Anexo 5. Fotografías del desconchado y despulpado de las mazorcas para el proceso de pesado en húmedo



Proceso de desconchado o partido de cacao con machete.



Despepitado o despulpado de los frutos cosechados por árbol en cada parcela de muestreo en una bolsa para su posterior pesado.





Pesado de las muestras por árbol con el uso de una romana digital.

Anexo 6. Fotografías de toma de muestras y datos para el cálculo del índice de correlación peso húmedo - seco



Muestras de 500 gramos de peso húmedo ingresando al fermentado diferenciado.



Muestras en el proceso de secado por separado.



Uso del Higrómetro para control del secado en la pepa de cacao al 6%.



Pesado de muestras secas en balanza de precisión digital de tres dígitos.