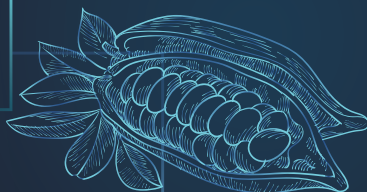
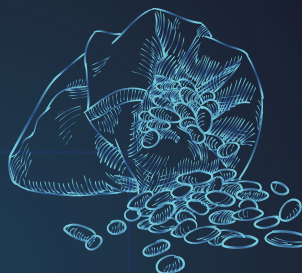


Carmelo Peralta, Adela Copa, Alfredo Rousseau, Heidy Teco

# Caracterización morfoagronómica e identificación de genotipos promisorios de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado

“Una contribución para el desarrollo productivo de la Amazonía boliviana”



Centro de Investigación y Promoción del Campesinado

Cuaderno de  
Investigación **96**



Carmelo Peralta, Adela Copa, Alfredo Rousseau, Heidy Teco

# CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONÓMICA E IDENTIFICACIÓN DE GENOTIPOS PROMISORIOS DE CACAO NATIVO AMAZÓNICO SILVESTRE Y CULTIVADO

Colaboradores:

Beatriz Molle, Sonia Mamani, Pamela Cartagena, Carlos Tonore, Olver Vaca, Hernán Aguilar,  
Rosario Flores, Soledad Enríquez, Majin Guarena, Marcelo Valdez y Daniel Sánchez

La Paz, diciembre de 2022



Cuaderno de  
Investigación **96**

Peralta, Carmelo; Copa Adela; Rousseau, Alfredo; Teco, Heydi  
Caracterización morfoagronómica e identificación de genotipos promisorios de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado. Una contribución para el desarrollo productivo de la Amazonía boliviana / Carmelo Peralta; Adela Copa; Alfredo Rousseau; Heydi Teco. - La Paz: Centro de Investigación y Promoción del Campesinado, 2022

124 p.- il.; fots. 16 x 21. – (Cuaderno de Investigación; N° 96)

Colaboradores: Beatriz Molle, Sonia Mamani, Pamela Cartagena, Carlos Tonore, Olver Vaca, Hernán Aguilar, Rosario Flores, Soledad Enríquez, Majin Guarena, Marcelo Valdez, Daniel Sánchez.

Comité científico de revisión de la obra:

MSc. Oscar Basoberry Chali – Instituto Para el Desarrollo Rural de Sudamérica, Bolivia;  
PhD. José Mauricio Peñarrieta Loria– Instituto de Investigaciones Químicas, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia

**D.L.: 4-1-4608-2022**

**ISBN: 978-9917-603-30-6**

/ CACAO / CULTIVOS TROPICALES / GENÉTICA VEGETAL / GENOTIPOS DE CACAO SILVESTRE / BAURES – BENI / SAN IGNACIO DE MOXOS – BENI / RIBERALTA –BENI / PUERTO GONZALO MORENO – PANDO / AMAZONÍA / BOLIVIA /

Esta publicación cuenta con el apoyo de Secours Catholique, la Agencia Francesa de Desarrollo y el Fondo Frances para el Medio Ambiente Mundial.

© 2022, Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA).

Casilla 5854, La Paz, Bolivia

Teléfono: (591-2)2910797 – Fax (591-2) 2910796

Calle Claudio Peñaranda N° 2706, esquina Vincenti, Sopocachi

Correo electrónico: [cipca@cipca.org.bo](mailto:cipca@cipca.org.bo)

Página web: [www.cipca.org.bo](http://www.cipca.org.bo)

La Paz, Bolivia

Impreso en Bolivia

Impresión 500 ejemplares

Supervisión: Pamela Cartagena y Fabio Terceros

Edición: CIPCA

Diagramación: Karem Rivera

Foto de portada: CIPCA

Impresión: EGUIVAR

Producción: CIPCA

Año 2022



# Índice general

<b>Agradecimientos</b>	<b>13</b>
<b>Presentación</b>	<b>15</b>
<b>Resumen ejecutivo</b>	<b>17</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>19</b>
1.1. Contextualización	21
1.2. Problemática y justificación	24
1.3. Objetivos	26
1.4. Hipótesis	26
<b>2. Marco teórico conceptual</b>	<b>29</b>
2.1. Características del cacao nativo	31
2.2. Caracterización agronómica y morfoagronómica	36
2.3. Parámetros de rendimiento	38
<b>3. Materiales y métodos</b>	<b>39</b>
3.1. Área de estudio y selección de genotipos de cacao	41
3.2. Caracterización morfoagronómica	45
3.3. Determinación de índices de productividad agronómicos	52
3.4. Análisis estadístico de las variables agronómicas y morfológicas	52
<b>4. Resultados y discusión</b>	<b>55</b>
4.1. Caracterización morfológica de variables cualitativas de genotipos de cacao	57
4.2. Caracterización morfológica y agronómica de variables cuantitativas de genotipos de cacao	61
4.3. Criterios para la selección de plantas madres elite de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado	84

4.4. Comparación de variables agronómicas y morfológicas cuantitativas entre 2017 y 2019	86
<b>5. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>91</b>
5.1. Conclusiones	93
5.2. Recomendaciones	96
<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>98</b>
<b>Anexo</b>	<b>105</b>
Anexo 1: Base de datos sobre caracterización morfológica y agronómica del cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en municipios del Beni y Pando, gestión 2017	107
Anexo 2: Base de datos sobre caracterización morfológica y agronómica del cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en municipios del Beni y Pando, gestión 2019	107
Anexo 3: Color de brotes terminales de las hojas de cacao en municipios amazónicos de Beni y Pando	107
Anexo 4: Resultados del análisis cualitativo de variables de cacao de los años 2017 y 2019	108
Anexo 5: Tablas de frecuencias de variables cuantitativas de flores de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado	116
Anexo 6: Base de datos sobre caracterización morfológica de las flores de 45 genotipos del cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en municipios del Beni y Pando	119
Anexo 7: Autovalores y autovectores de la caracterización de los 90 genotipos de cacao del 2017 evaluados – Análisis de competentes principales	119
Anexo 8: Representación espacial de análisis de componentes principales de 90 genotipos de cacao del año 2017	120
Anexo 9: Representación espacial de análisis de componentes principales de 56 genotipos de cacao del año 2019	123

## Índice de figuras

Figura 1	Relación de la producción y los rendimientos de cacao en Bolivia, periodo 1980-2018)	25
Figura 2	Superficie cosechada y producción de cacao en Bolivia, periodo 1980-2018	33
Figura 3	Área de estudio en la Amazonía boliviana	42
Figura 4	Productor Mario Guari de Miraflores accediendo en tiempos de inundación a su sistema agroforestal localizado cerca del margen del río Beni, gestión 2017.	45
Figura 5	Forma de los frutos (lado izquierdo) y rugosidad de la cáscara de cacao (lado derecho)	46
Figura 6	Forma de los ápices (parte superior) y forma de la constricción basal (parte inferior) en frutos de cacao	46
Figura 7	Descripción de variables morfológicas cuantitativas para frutos de cacao	46
Figura 8	Color del cotiledón (parte superior), forma de la semilla y corte transversal (parte inferior)	47
Figura 9	Descripción de variables cuantitativas	48
Figura 10	Cojines florales y estructura floral del cacao	49
Figura 11	Descripción de las variables cuantitativas de las hojas	50
Figura 12	Descripción de la forma basal (parte superior) y de la forma del ápice de las hojas de cacao (parte inferior)	50
Figura 13	Posición de la copa en relación a la luz solar	51
Figura 14	Características predominantes de las flores de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado	60
Figura 15	Representación espacial de análisis de componentes principales de 90 genotipos de cacao del 2017	67

Figura 16	Representación espacial de análisis de componentes principales de 56 genotipos de cacao del 2019	68
Figura 17	Dendograma obtenido por el agrupamiento jerárquico de WARD de los 90 genotipos de cacao, basado en distancias euclidianas	69
Figura 18	Dendograma obtenido por el agrupamiento jerárquico de WARD de los 56 genotipos de cacao, basado en distancias euclidianas	73
Figura 19	Dendrograma de 90 genotipos de cacao en función al índice de semilla evaluado para el 2017	77
Figura 20	Dendrograma de 56 genotipos de cacao en función al índice de semilla evaluado para el 2019	78
Figura 21	Dendrograma de 90 genotipos de cacao en función al índice de mazorca evaluado para el 2017	80
Figura 22	Dendrograma de 56 genotipos de cacao en función al índice de mazorca evaluado para el 2019	81
Figura 23	Relación del IS e IM de genotipos de cacao evaluados durante 2017 y 2019	83
Figura 24	Comparación de variables morfológicas asociadas al fruto entre 2017 y 2019	87
Figura 25	Comparación del largo de las semillas del cacao nativo amazónico entre 2017 y 2019	88
Figura 26	Comparación entre el número de semillas y peso fresco de semillas por fruto entre 2017 y 2019	88
Figura 27	Comparación del peso seco de 100 semillas de cacao entre 2017 y 2019	89
Figura 28	Comparación del IS e IM entre 2017 y 2019	90

## Índice de tablas

Tabla 1	Premios internacionales recibidos por productores de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en el Salon du chocolat de Francia	32
Tabla 2	Superficie de cacao silvestre y cultivado por departamento	33
Tabla 3	Fenología, ciclo reproductivo según calendario agrícola del cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en la Amazonía	35
Tabla 4	Estacionalidad de la producción del cacao silvestre amazónico, según municipios	35
Tabla 5	Área de estudio en la Amazonía boliviana	43
Tabla 6	Descriptores morfológicos y estado de descriptores para las características evaluadas en frutos de cacao	47
Tabla 7	Variables morfológicas cuantitativos utilizados para la caracterización en semillas	48
Tabla 8	Lista de descriptores de la flor de cacao	49
Tabla 9	Descriptores morfológicos para la caracterización de hojas	50
Tabla 10	Variables complementarias analizadas	51
Tabla 11	Determinación de índice de semilla e índice de mazorca de cacao	52
Tabla 12	Resultados de variables cualitativas de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado de la Amazonía boliviana	58
Tabla 13	Distribución de frecuencias de descriptores cualitativos de 45 genotipos de cacao	59
Tabla 14	Resultados estadísticos de variables cuantitativas de flores de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado	61

Tabla 15	Coefficientes de correlación de Pearson de las variables cuantitativas evaluadas – 90 individuos del 2017	63
Tabla 16	Coefficientes de correlación de Pearson de las variables cuantitativas evaluadas – 56 individuos del 2019	64
Tabla 17	Autovalores de la caracterización de los genotipos de cacao entre 2017 y 2019	65
Tabla 18	Autovectores de los cuatro componentes principales de la caracterización de los 90 genotipos de cacao del 2017 y 56 del 2019	66
Tabla 19	Características de los grupos de cacao generados a partir de 90 genotipos del 2017	71
Tabla 20	Análisis de varianza para 14 variables de los cuatro grupos de conglomerados de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en la Amazonía boliviana -2017	72
Tabla 21	Características de los grupos de cacao generados a partir de 56 genotipos del 2019	74
Tabla 22	Análisis de varianza para 14 variables de los cuatro grupos de conglomerados de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en la Amazonía boliviana -2019	75
Tabla 23	Descripción del índice de semilla con base al análisis de conglomerados para 90 genotipos en 2017	77
Tabla 24	Descripción del índice de semilla con base al análisis de conglomerados para 56 genotipos en 2019	78
Tabla 25	Descripción del índice de mazorca con base al análisis de conglomerados para 90 genotipos en 2017	80
Tabla 26	Descripción del índice de mazorca con base al análisis de conglomerados para 56 genotipos en 2019	81

Tabla 27	Criterios de selección para plantas elites de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en la Amazonía boliviana	84
Tabla 28	Número de semillas por fruto para la selección de plantas elites de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado	85
Tabla 29	Número de semillas por fruto para la selección de plantas elites de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado	85
Tabla 30	Resultados de la prueba de normalidad de datos de las variables analizadas	86
Tabla 31	Medias y desviación típica de variables peso seco de 100 semillas, IS e IM entre 2017 y 2019	90





# Agradecimientos

Nuestro especial agradecimiento a todas las y los productores campesinos e indígenas, asociaciones de productores y comunidades que se mencionan en este documento y que nos permitieron trabajar en conjunto y nos brindaron información valiosa tanto de sus sistemas productivos como de sus conocimientos adquiridos por muchos años sobre el maravilloso cacao nativo amazónico silvestre y cultivado de la Amazonía boliviana.

Agradecemos a todas las personas que han contribuido de manera directa e indirecta en esta obra, así como personal del Centro de Investigación y Promoción del Campesinado, sobre todo a todos los técnicos y directores/as del CIPCA y CIPCA Norte Amazónico y la Oficina Nacional por la colaboración y aporte con información valiosa que permitieron la concreción del presente trabajo de investigación.

También expresamos nuestra gratitud a todas las instituciones que facilitaron información y contribuyeron con sus sugerencias para mejorar el estudio. Este estudio no hubiera sido posible sin el respaldo de Secours Catholique Caritas France, el Fondo Francés para el Medio Ambiente Mundial y la Agencia Francesa de Desarrollo que apoyan diversos proyectos y la realización de esta investigación.



# Presentación

El cacao es uno de los rubros que mayores esfuerzos ha recibido en materia de promoción e investigación en CIPCA, la importancia de este fruto amazónico no sólo es económica y alimenticia, sino también cultural para las familias y comunidades campesino indígenas que habitan las tierras bajas del país. En ese marco, el CIPCA desde hace dos décadas ha impulsado el manejo y recolección de cacao silvestre en los bosques amazónicos, pero también la producción de cacao cultivado en sistemas agroforestales con material genético local, esto es, con semillas de cacao nativo amazónico -silvestre y cultivado- todo ello en el marco de la Propuesta Económica Productiva impulsada por nuestra institución.

La producción de cacao ha dado muchas satisfacciones a los productores y productoras amazónicos, en diversas ocasiones las muestras de cacao en grano enviadas a concursos nacionales e internacionales han recibido el reconocimiento por su calidad organoléptica revelada principalmente por el aroma y sabor característico de este fruto silvestre. Pero también, la baja producción y productividad del cacao silvestre, afectada aún más por las variaciones climáticas y las intensas sequías de los últimos años, ha sido motivo de preocupación de los productores y de los equipos técnicos, encarando diversas acciones e investigaciones.

En ese marco, en los últimos diez años se han efectuado varios estudios y sistematizaciones sobre el cacao y se ha elaborado también material de capacitación para los productores. Se han efectuado diversas investigaciones sobre la distribución y producción de cacao en el país, las características química y genética del cacao, así como la caracterización morfoagronómica, entre otros. La intención sin duda ha sido aportar a la mejora de procesos productivos, pero también estas investigaciones se orientaron a llamar la atención de los tomadores de decisiones para impulsar políticas públicas favorables a la producción de cacao nativo amazónico.

En ese marco, ponemos a su consideración el Cuaderno de Investigación No 96 “Caracterización morfo agronómica e identificación de genotipos promisorios de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado” desarrollado en cuatro municipios de la Amazonía boliviana, que además de aportar con información valiosa sobre el rubro, esta siendo base de la mejora de procesos productivos en las áreas de cobertura de CIPCA a partir de la implementación de jardines clonales y mejora de plantas madre en parcelas productivas campesinas e indígenas.

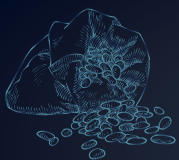
**Pamela Cartagena**  
**Directora General del CIPCA**



# Resumen ejecutivo

El cacao nativo amazónico silvestre y cultivado de la Amazonía boliviana cada vez cobra mayor importancia tanto a nivel nacional como internacional que le ha permitido posicionarse como uno de los mejores del mundo en varias ocasiones en el Internacional en el ‘Salón du Chocolat’ – Francia. No obstante, aumentar la productividad y producción del cacao no es tarea fácil, en ese marco, el Centro de Investigación y Promoción del Campesinado que viene apoyando la producción del cacao nativo amazónico en sistemas agroforestales y bajo manejo de bosque nativo hace más de dos décadas, y dado que este es un rubro estratégico para la economía de las familias campesinas indígenas, identificó que es necesario recabar mayor información técnica científica y especializada para dar respuesta a esta problemática. De esta forma, se planteó como objetivo general evaluar e identificar morfoagronómicamente genotipos de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado con alto potencial genético en el aspecto productivo en los municipios de Baures, San Ignacio de Mojos, Riberalta y Puerto Gonzalo Moreno, Amazonía Boliviana con el fin de fomentar su propagación a través de Sistemas Agroforestales u otros sistemas de cultivos y asegurar la conservación del material genético de la especie. Se evaluaron 90 genotipos de cacao entre el 2017 y 2019, para lo cual se utilizaron variables morfológicas, agronómicas y del contexto ambiental de los diferentes individuos. Utilizamos estadística descriptiva, correlación de Pearson, análisis de componentes principales, análisis de conglomerados, análisis de varianza, medidas de resumen y tablas de frecuencia para el análisis de 58 variables cualitativas y cuantitativas. Asimismo, utilizamos pruebas paramétricas y no paramétricas para comparar y determinar diferencias estadísticas significativas de los genotipos de cacao entre el 2017 y 2019. Los genotipos de cacao sobresalientes según sus cualidades productivas en torno a las 14 variables cuantitativas representativas fueron 26 genotipos que representan el 28,88% de la población evaluada: PMIR-17, PRV-21, PRV-23, PCV-31, PCV-28, MKM5-5, MKM5-4, MKM5-2, MKM5-1, MKM5-7, MSRA-9, MSRA-6, MSRA-5, MSRA-4, MSRA-3, MSRA-1, RSJ-11, RSJ-10, RSJ-9, RNAZ-8, RNAZ-6, BSF-31, BITV-27, BCT-21, BCT-19 y BCT-18. Los criterios para la selección de plantas madres en función de los hallazgos en el presente trabajo se propone: que el peso promedio de los frutos sea mayor a 214 gramos, el número de semillas por mazorca debería ser mayor a 27, el peso fresco de las semillas también debería ser mayor a 48 gramos; en cuanto al índice de semilla, este tendría que ser mayor a 0,71 gramos con un índice de mazorca

entre 30 a 60 mazorcas. Asimismo, la relación IS e IM debería ser sobresaliente en ambos o al menos en uno de los índices. Por otro lado, no existieron diferencias estadísticas significativas entre los genotipos de cacao nativo en dos años diferentes de evaluación para las variables peso, largo y ancho de fruto, número de semillas por fruto, peso fresco de las semillas por fruto, longitud de la semilla, peso seco de 100 semillas, IS e IM, las cuales son las variables más representativas en el ámbito productivo y con aparente estabilidad; esto a excepción de la variable del grosor de cáscara sí presentó diferencias estadísticas significativas, situación que requiere profundización en su evaluación. De esta forma, se recomienda la utilización de la información con fines de desarrollo productivo para la Amazonía boliviana.



# 1. INTRODUCCIÓN







## 1.1. Contextualización

El árbol de chocolate o cacao (*Theobroma cacao L.*) ha sido domesticado hace más de 3.600 años atrás (CI: 2.481-13.806 años) siendo la variedad del cacao Criollo, la principal en ser llevada a la región mesoamericana y principalmente a México desde latitudes de la Amazonía norte ecuatoriana y Amazonía sur colombiana, esto según análisis genómico de diferentes germoplasmas de cacao llevado a cabo por Cornejo et al. (2018) en el que sustentan que el origen de la especie está localizada al Oeste de la Amazonía continental, tal como lo propusieron Clemnet et al. (2010).

Además, Zarrillo et al. (2018) reportó por primera vez a través de muestras arqueológicas en donde se analizó el DNA de granos de almidón junto con teobromina para una prueba de cacao en un contexto arqueológico, que el cacao fue utilizado en la Amazonía ecuatoriana entre 5.450-5.300 años antes de presente indicando que el cacao es originario de esta región siendo uno de los primeros centros de domesticación lo cual coincide con estudios genómicos de Cornejo et al. (2018), pero también con la alta diversidad genética del cacao que existe en la cuenca superior del Amazonas reportadas por Tomas et al. (2012) y Motamayor et al. (2002).

Generalmente, a nivel internacional se habla de tres grandes grupos de germoplasmas de cacao entre los que figuran el Criollo, Forastero y Trinitario, éste último es un híbrido entre el Criollo y Forastero. Sin embargo, en la Amazonía continental existen otros grupos de germoplasma genéticamente diferentes entre los cuales destacan al menos diez grupos tales como el Amelonado, Contamana, Criollo, Curaray, Guianna, Iquitos, Marañon, Nacional, Nanay y Purús (Cornejo et al., 2018), ninguno de ellos reportado en estado nativo para Bolivia. No obstante, todos estos germoplasmas en estado silvestre o cultivado son aprovechados y contribuyen desde hace décadas significativamente a la economía de los países productores de la Amazonía (Quintero & Díaz, 2004).

El origen del cacao en Bolivia aún no es claro, Bazoberry & Salazar (2008) indican que el cultivo comercial de esta especie data del siglo XVIII cuando fue introducido a las tierras bajas en las misiones jesuitas como un componente importante en las actividades económicas de la vida de las Reducciones. Al respecto, Patiño (2002) indica que el cacao en su estado silvestre ya estaba presente en los ríos Beni y Mamoré

en la etapa prehispánica (Patiño, 2002). Gumiel et al. (2021) a través de un estudio genómico con muestras colectadas en la Amazonía revelaron que éstas forman un único grupo de cacao nativo en función al árbol filogenético del cacao construido con genomas de cloroplastos, diferente de aquellas ya bien caracterizadas reportadas en múltiples estudios en otras regiones, sin embargo, aún es necesario profundizar y ampliar el análisis con muestras para toda la Amazonía boliviana.

Por su parte, July (2007) realizó uno de los primeros estudios sobre caracterización morfológica y molecular en cacao nacional boliviano de selecciones élites del Alto Beni, en el primero se llegó a caracterizar Cacao Nacional Boliviano (CNB) de tres regiones, Alto Beni, norte de La Paz, y río Beni (Carmen del Emero). Los resultados mostraron que la variabilidad genética del cacao silvestre es alta, ya que el cacao CNB tiene un perfil genético único que es significativamente diferente de los grupos de germoplasma de cacao conocidos en América del Sur (Zhang et al. 2012), pero también, existen características morfológicas y moleculares similares entre el cacao silvestre del sur del río Beni y aquel del norte de La Paz, en relación con algunos genotipos cacao cultivados de Alto Beni.

A nivel de la Amazonía boliviana, el municipio de Baures, Provincia Itenez, es conocido y declarado como la “Capital del Cacao Silvestre” del Departamento del Beni, en virtud a que el municipio cuenta con la mayor extensión de rodales de cacao silvestre existentes en Bolivia. De las aproximadamente 12.115 hectáreas de cacao silvestre cuantificadas en el país, en Baures, existen al menos 5.227 hectáreas lo que significan un 64% del total de las 8.145 hectáreas reportadas para el departamento del Beni (Bazoberry & Salazar, 2008). Asimismo, IPDRS, OXFAM, ICCO, CIPCA (2019) han documentado que tanto en Beni como en el departamento Pando, existe un potencial considerable de superficie de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado, cuya procedencia u origen es aún desconocido.

Por esta razón, es de relevancia generar mayor conocimiento de las características agronómicas, morfológicas, fenológicas, genómicas y otras que lo diferencian de los demás tipos de cacao y con ello poder sugerir acciones que permitan actualizar hallazgos de la diversidad genética del cacao nativo amazónico silvestre en una región estratégica de preservación y conservación como es la Amazonía.

Entendemos por caracterización a la descripción de la variación que existe en una colección de germoplasmas y que permite diferenciar a las accesiones de una especie (de árboles de cacao, por ejemplo), sea en términos de características morfológicas y fenológicas de alta heredabilidad o características cuya expresión es poco influenciada por el ambiente; esta acción se la realiza mediante el uso de descriptores definidos y rigurosamente probados (Abadie y Barretta, 2001).

En ese sentido, la caracterización sirve para múltiples usos, y para el presente estudio, para un mayor conocimiento de germoplasmas de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado. Este tipo de evaluación permite determinar el grado de similitud entre las accesiones por medio de su apariencia morfológica o fenotipo de variabilidad en una colección (Ligarreto, 2003), de la misma manera, ayuda a documentar genotipos exclusivos que representarían patrimonio de un lugar, ejemplo el cacao de Baures, Riberalta, San Ignacio de Mojos o Puerto Gonzalo Moreno, sugiriendo la posibilidad de promover una denominación de origen como una medida de protección tanto para el recurso biológico como para la materia prima de elaboración del chocolate con una delimitación geográfica.

Por todo lo mencionado, el presente estudio describe las características morfoagronómicas de 90 genotipos de cacao silvestre ubicados en seis islas del municipio de Baures del departamento de Beni, asimismo, en bosques de cacao silvestre y en sistemas agroforestales de los municipios de San Ignacio de Mojos y Riberalta (Beni), así como en el municipio de Puerto Gonzalo Moreno (Pando).

Igualmente, de esta población evaluada, se identificaron entre los años 2017 y 2019, los genotipos más sobresalientes en torno a la productividad, pero también, se obtuvo información necesaria para identificar similitudes o distanciamiento fenotípico presente en cada uno de ellos por medio de su apariencia morfológica. Igualmente, se diferenció morfológicamente los grupos de genotipos de cacao silvestre y cultivados, obteniendo de esta manera información relevante del material genético estudiado que sirve para su preservación, conservación y replica para mejorar la producción y productividad principalmente por parte de los colectores y productores amazónicos del cacao nativo.

En ese sentido, a continuación, presentamos las preguntas abordadas en la presente investigación:

- ¿Cuáles son las características morfoagronómicas y diferencias de los genotipos de cacao silvestre y cultivado en los municipios de Baures, San Ignacio de Mojos, Riberalta y Puerto Gonzalo Moreno de la Amazonía Boliviana?
- ¿Cuáles son las variables más significativas en el aspecto productivo que diferencian a los diversos genotipos de cacao silvestre y cultivado?
- ¿Qué genotipos de cacao presentan mayores índices de semilla y mazorca en relación a sus cualidades productivas?
- ¿Cuáles son los genotipos más sobresalientes en cuanto a características de alta productividad?

## 1.2. Problemática y justificación

Una de las principales limitaciones naturales del cacao es el incremento de la endogamia que se da por la relación genética estrecha entre individuos como consecuencia de la domesticación de la especie en diferentes regiones tropicales lo que puede generar reducción de la población en el ámbito genético (Cornejo et al., 2018) y por consiguiente inferimos que largo plazo podría afectar los rendimientos o producción del mismo.

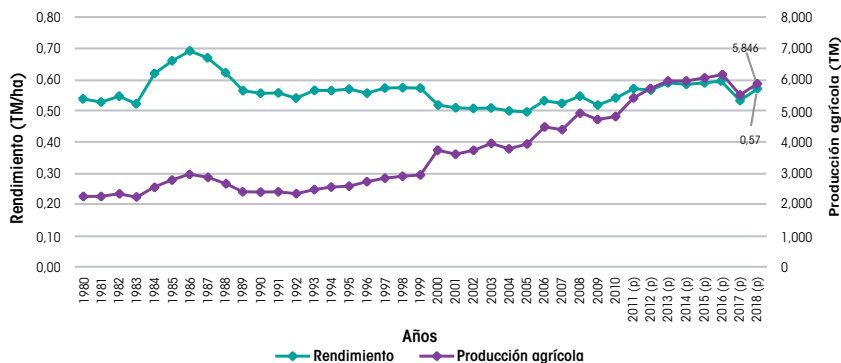
Por otro lado, en la Amazonía boliviana los procesos de deforestación y otros tipos de conversión del uso de la tierra a otras actividades no forestales causan la pérdida de cientos de hectáreas con cacao silvestre (Bazoberry y Salazar, 2008). Al respecto, Bazoberry et al. (2017) indican que otros factores de pérdidas de cacaotales silvestres, en los municipios tales como Baures, San Ignacio de Mojos y Puerto Gonzalo Moreno tienen que ver principalmente con quemas y chaqueos para la habilitación del terreno para cultivo por parte de productores indígenas y campesinos, y ampliación de pastizales por los medianos y grandes ganaderos.

Igualmente, el aprovechamiento del cacao silvestre en la región amazónica con prácticas de manejo y conservación aún son limitadas, es decir, son pocas las iniciativas que fomentan a nivel comunitario e individual el uso racional con visión integral del recurso, por lo general este es aprovechado con fines económicos desconociendo el valor intrínseco o los beneficios múltiples que genera.

En Bolivia, el cacao es muy importante para la economía nacional y según el IBCE (2016), entre el 2006 y 2015, las exportaciones de cacao y sus derivados acumularon más de 22 millones de dólares por la venta de 5 mil toneladas; en diez años, el valor creció 40%, registrándose el valor más alto en el 2010. Asimismo, a nivel interno, existe un mercado importante ya que inclusive el precio del cacao en grano tiene precios más altos a nivel nacional que el internacional (Bazoberry & Salazar, 2008) y genera una dinámica económica importante a nivel local (Bazoberry et al., 2017).

No obstante, aumentar la productividad del cacao no es tarea fácil. Generalmente, monocultivos de cacao o el cacao en sistemas agroforestales (SAF) presentan problemas frecuentes de baja productividad y producción. En la Figura 1 se puede apreciar que, pese a que la producción se incrementó en los últimos años por el aumento de áreas cultivadas o bajo manejo, los rendimientos del cacao en Bolivia, inclusive sin considerar el factor de la calidad obtenida, se mantienen relativamente en parecidas circunstancias año tras año.

**Figura 1: Relación de la producción y los rendimientos de cacao en Bolivia, periodo 1980-2018**



Fuente: elaboración propia con base en UDAPE-MDRyT (2021).

Los rendimientos encontrados para el cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en Bolivia, de acuerdo con Bazoberry et al. (2017) son de 0,26 TM/ha a nivel de Unidad de Producción Agropecuaria (UPA) según Censo Agropecuario 2012-2013, siendo las de Pando las que mayor productividad reportan con 0,40 TM/ha. No obstante, de acuerdo con los mismos autores según a la encuesta IPDRS (2017), los rendimientos suelen ser menores a los reportados, y los principales problemas técnicos y de otra índole en la etapa de producción, según la percepción de los productores, las atribuyen a: sequías (33%), animales (23%), enfermedades y plagas (15%), cambio climático (9%), altitud del terreno (4%), polinización (2%), fertilidad del suelo (2%) y otros (2%).

Al respecto, Aguilar et al. (2018) indica que la productividad y producción del cacao amazónico pueden estar determinadas por la genética del germoplasma, así como por la ecología y el manejo que se le da al mismo. Por su parte, Enríquez y Peralta-Rivero (2020) indican que la productividad y producción del cacao en SAF de Baures, San Javier, San Andrés y San Ignacio de Mojos de la Amazonía sur, está determinada principalmente según la composición de especies combinadas con el cacao, la densidad y estructura definitiva de los SAF, edad de los SAF, prácticas y manejo del suelo y prácticas de poda estos.

En este marco, el Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA) que viene apoyando la producción de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en sistemas agroforestales y bajo manejo de bosque nativo hace más de dos décadas, y dado que este es un rubro estratégico para la economía de las familias campesinas indígenas, identificó que es necesario recabar mayor información técnica científica y especializada sobre el cacao, por ello con este estudio se contribuye en la caracterización e identificación de genotipos fenotípicamente sobresalientes en el

ámbito productivo para fomentar su propagación a través de SAF u otros sistemas de cultivos y asegurar la conservación del material genético de la especie.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar e identificar morfoagronómicamente genotipos de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado con alto potencial genético en el aspecto productivo en los municipios de Baures, San Ignacio de Mojos, Riberalta y Puerto Gonzalo Moreno, Amazonía Boliviana.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- i. Evaluar las características morfoagronómicas de 90 genotipos seleccionados de cacao silvestre y cultivados.
- ii. Determinar las variables más significativas en el aspecto productivo de los genotipos de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado.
- iii. Identificar los genotipos sobresalientes en cuanto a características de alta productividad.
- iv. Determinar los índices de semilla y mazorca para cada genotipo de cacao nativo amazónico silvestre y cultivados seleccionados.
- v. Comparar y determinar deferencias estadísticas significativas entre los genotipos de cacao nativo amazónico silvestre y cultivados en dos años diferentes considerando las variables más representativas en el ámbito productivo.

### **1.4. Hipótesis**

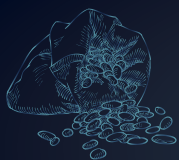
Con base en los objetivos y el marco teórico conceptual planteado se establecen las siguientes hipótesis:

- i. No existen diferencias significativas en las características morfoagronómicas de los genotipos de cacao seleccionados de las diferentes áreas evaluadas de la Amazonía boliviana.
- ii. Todas las variables morfoagronómicas de cacao son igual de significativas estadísticamente en el aspecto productivo para todos los genotipos seleccionados.

- iii. Todos los árboles de cacao silvestre y cultivado son genotipos sobresalientes según sus características productivas.
- iv. Los índices de semilla y mazorca para todos los genotipos de cacao seleccionados no difieren entre sí.
- v. No hay diferencias estadísticas significativas entre los genotipos de cacao nativo en dos años diferentes considerando las variables más representativas en el ámbito productivo.







## 2. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL





## **2.1. Características del cacao nativo**

### **2.1.1. Relevancia del cacao nativo amazónico silvestre y cultivado**

La vegetación nativa de los cacaotales naturales de la Amazonía, sobre todo localizadas en islas o en rodales, incluye un sin número de especies forestales como el cedro, el achachairú, la picana, la sangre de toro entre otros, sin mencionar a las especies de fauna silvestre asociadas a esta vegetación. En este sentido, el conservar y manejar de manera sostenible los cacaotales silvestres, se contribuye a la conservación de diversidad genética y de la biodiversidad del cacao nativo amazónico silvestre, para el cual se requiere de mayor investigación.

Asimismo, el cacao silvestre que es llevado e incorporado en la estructura poblacional de los sistemas agroforestales, también genera una dinámica ecológica interesante puesto que en muchos casos se combinan más de 20 especies de importancia comercial con otras especies funcionales de importancia para la conservación que permiten mejorar las condiciones de vida de productores campesinos e indígenas de la Amazonía fomentando la seguridad alimentaria y su economía por la venta de excedentes (Enríquez y Peralta-Rivero, 2020).

Por otro lado, productores que trabajan con el cacao amazónico silvestre y cultivado ganaron por quinta vez en 2021 un premio Internacional en el ‘Salón du Chocolat’ – Francia (Tabla 1). Esta situación ha llamado la atención para avanzar en investigaciones que permitan conocer lo que hace diferentes a otros tipos de cacao. Al respecto, Ortiz et al. (2019) indica que el aroma y sabor del cacao amazónico silvestre y cultivado están directamente relacionadas con el contenido de compuestos químicos tales como los polifenoles y metilxantinas. En ese marco, determinaron que el contenido de polifenoles, la capacidad antioxidante total y la concentración de teobromina, son factores directamente relacionados con la calidad, aroma y sabor del cacao nativo amazónico.

**Tabla 1: Premios internacionales recibidos por productores de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en el Salon du chocolat de Francia**

Año	Productor/es	Puesto a nivel mundial y Sudamérica*	Municipio/región	Asociación
2013	Mario Guari Cartagena	Entre los mejores 15 (primer lugar en Sudamérica)	Comunidad Miraflores, Puerto Gonzalo Moreno	Asociación de Productores Agroforestales de la Región Amazónica de Bolivia
2015	Angel Tapia	Entre los mejores de 17 (primer lugar en Sudamérica)	Comunidad Nazareth, Riberalta	Asociación de Productores Agroforestales de la Región Amazónica de Bolivia
	Productores de Cacao Silvestre de Carmen del Emero del Madidi	Entre los mejores de 50 (primer lugar en Sudamérica)	Mapiri	Asociación de Productores de Cacao Silvestre de Carmen del Emero del Madidi
2017	Productores de Cacao del Pueblo Leco Larecaja	Entre los mejores de 18 (primer lugar en Sudamérica)	Guanay	Asociación de Productores de Cacao del Pueblo Leco Larecaja
2019	Abraham Noza Mosua	Entre los mejores 50 (medalla de plata a nivel Sudamérica)	Comunidad Santa Rosa del Apere, Ignacio de Mojos	Asociación de Agroforestales Indígenas de la Amazonia Sur
2021	Barbarita Ayala Chao	Entre los mejores 14 (número uno de Sudamérica-medalla de oro)	Comunidad San Juan del Urucú, Riberalta	Asociación de Jóvenes Reforestadores en Acción
	Recolectores de Cacao Silvestre Yuracaré	Entre los mejores 50 (medalla de plata a nivel Sudamérica)	Comunidad Santa Anita - Yuracaré, D8/ Cochabamba, TCO - Yuracaré	Asociación de Recolectores de Cacao Silvestre Yuracaré

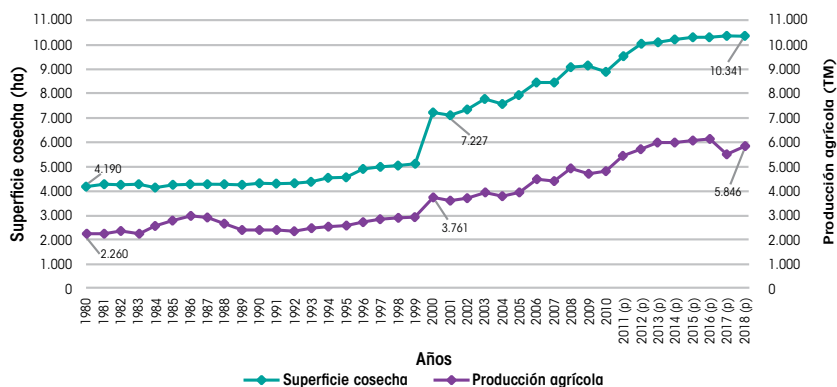
Fuente: elaboración propia con base en Cocoa of Excellence–International Cocoa Award, disponible en <http://www.cocoaofexcellence.org/>. Nota: (\*) en cada versión participan por lo general más de 50 países y hasta más de 200 muestras.

Siendo el cacao silvestre un producto con características únicas de sabor y aroma, actualmente está situado en el grupo de los cacaos más finos del mundo, y su producción está orientada a la demanda de mercados especiales, cuyos precios son superiores debido a su escasez. Bolivia es uno de los pocos países que cuenta con este recurso, constituyéndose en una riqueza genética nativa del país cuya explotación adecuada debe partir de la obtención de su correspondiente denominación de origen y el diseño de un plan de manejo para su protección, conservación y aprovechamiento (PIAF CEIBO, 2009).

El cacao amazónico se ha convertido en un recurso que es valorado como parte de la estrategia de gestión territorial de varios pueblos indígenas tales como los Tacanas y Lecos al norte de La Paz, pueblos indígenas del Territorio Indígena Multiétnico y del Territorio Indígena Mojeño Ignaciano al sur del Beni, los Baure y Joaquinianos al sureste del Beni, los Cavineños y Esse Ejja al sur de Pando y norte del Beni, etc.

En los últimos años, la producción y aumento en la superficie cosechada a nivel nacional viene incrementándose exponencialmente sobre todo desde el año 2000 demostrando que el producto es cada vez más comercializado y de importancia para cientos de familias (Figura 2). De 4.190 hectáreas cosechadas de cacao en 1980, en 2018 ésta llegó a alcanzar las 10.341 hectáreas.

**Figura 2: Superficie cosechada y producción de cacao en Bolivia, periodo 1980-2018**



Fuente: elaboración propia con base en UDAPE-MDRyT (2021).

### 2.1.2. Origen del cacao silvestre y su distribución en Bolivia

El cacao nativo amazónico silvestre se encuentra diseminado y extendido en los márgenes de los ríos de la cuenca de la Amazonía de Bolivia, que incluye a los departamentos de Santa Cruz, La Paz, Pando, Beni y Cochabamba, así mismo, se encuentran extendidos en grandes manchas o islas en las llanuras boscosas de la llanura beniana (Bazoberry & Salazar, 2008) y a partir de los cuales se han extendido a través de plantaciones y sistemas agroforestales por toda la región (Tabla 2).

**Tabla 2: Superficie de cacao silvestre y cultivado por departamento**

Departamento	Superficie Total Cacao Silvestre (ha)		Superficie Total Cacao cultivado (Ha)		
	El Cacao en Bolivia, 2008	Programa de fortalecimiento de la producción de cacao en Bolivia, 2016	El Cacao en Bolivia, 2008	Censo agropecuario 2013	Programa fortalecimiento de la producción de cacao en Bolivia, 2016
<b>Beni</b>	8.145	8.258	1.654	976	778
<b>Cochabamba</b>	150	150	787	898	937
<b>La Paz</b>	653	511	5.573	7.992	6.366
<b>Pando</b>	225	225	330	167	315
<b>Santa Cruz</b>	2.942	2.400	291	91	88
<b>Total</b>	<b>12.115</b>	<b>11.544</b>	<b>8.635</b>	<b>10.126</b>	<b>8.484</b>

Fuente: IPDRS (2017).

El cacao ha existido en Bolivia en condiciones silvestres desde antes del siglo XVI. Reportes de las expediciones del capitán español Penranzures del año 1538 mencionan observaciones de cacao en las cuencas del río Beni y Mamore (Patiño, 2002 en July, 2016). Este fruto fue cultivado en Bolivia por los nativos por más de 240 años y fue fomentado por las misiones franciscanas y jesuitas a lo largo del río Beni y por otras poblaciones del Beni (July, 2007, Cortés, 1997).

Por otro lado, Arteaga-Voigt et al. (2016) a través de un análisis de la filogenia o historia evolutiva de las 19 poblaciones de cacao (nacional) nativo amazónico silvestre y cultivado del norte paceño boliviano, a través de la secuenciación del gen inhibidor de la tripsina, muestra las relaciones existentes entre ellas, destacando que las poblaciones cultivadas provienen de las poblaciones de cacao silvestre como resultado del proceso tradicional de domesticación del cacao silvestre por los pueblos indígenas desde tiempos prehispánicos. Asimismo, destacaron según las relaciones filogenéticas que un individuo de la población de cacao “El Camba” es ancestral y diferente al de otras poblaciones de cacao en el mundo.

En esa línea, Gumiel et al. (2021) analizaron muestras de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado (ganaderos de premios internacionales del Salon du chocolat de Francia), genotipos provenientes de Puerto Gonzalo Moreno (Pando) y Riberalta (Beni), y demostraron que genéticamente, el cacao evaluado es diferente a otras poblaciones reportadas hasta hoy en día para la Amazonía boliviana y el mundo. Esta situación hace inferir que el cacao amazónico silvestre y aquellos cultivados como monocultivos y asociados en SAF tienen una alta variabilidad y es imprescindible llevar adelante una investigación con mayor número de muestras para la Amazonía boliviana y así completar el acervo de recursos genéticos del cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en Bolivia.

Por otro lado, Bolivia es uno de los países que cuenta con bioclima adecuado para la existencia de cacao amazónico silvestre y la adaptación de variedades introducidas. El cacao se encuentra de manera silvestre en la región amazónica boliviana en los departamentos de La Paz, Beni, Pando, Santa Cruz y Cochabamba. A este cacao se le conoce como “Cacao Nacional Boliviano”. En la Amazonía sur del Beni los pobladores le llaman chocolate en el estado que se encuentre al árbol, es decir: árbol de chocolate, mazorca de chocolate, grano de chocolate, pasta de chocolate. Asimismo, en el norte amazónico es común denominarlo como chocolate y cacao.

### **2.1.3. Fenología, botánica y calendario agrícola del cacao en la Amazonía**

La biología del cacao silvestre en su etapa de producción florece dos veces al año: en junio y en septiembre. Las flores de junio abortan debido a la época invernal, donde los fríos del sur (surazo) impiden su desarrollo biológico. Las flores de septiembre llegan a fecundarse (o cuajan), fructifican hasta llegar a la madurez de los frutos. Las mazorcas están aptas para su cosecha a partir de mediados de diciembre hasta abril, en ocasiones incluye mayo (Aguilar, 2016). En ese marco, en la Tabla 3 detallamos la fenología y el ciclo reproductivo del cacao nativo amazónico silvestre y cultivado de cuatro municipios productores de cacao de la Amazonía en donde se desarrolló el presente trabajo.

**Tabla 3: Fenología, ciclo reproductivo según calendario agrícola del cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en la Amazonía**

Cacao nativo amazónico silvestre	Municipios: Puerto Gonzalo Moreno y Riberalta											
	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Floración	■											
Cuajado		■										
Fructificación y maduración			■									
Cosecha				■								
Manejo										■		
Cacao amazónico cultivado en SAF	Municipios: San Ignacio de Mojos y Baures											
	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Floración	■											
Cuajado		■										
Fructificación y maduración			■									
Cosecha				■								
Manejo										■		

Fuente: elaboración propia con base en Aguilar (2016) y entrevistas a productores de cacao de Puerto Gonzalo Moreno (Pando), San Ignacio de Mojos, Baures y Riberalta (Beni).

El calendario agrícola del cacao silvestre amazónico en el departamento del Beni tiene rasgos propios, según su localización geográfica, debido a su latitud y longitud (Tabla 4). Asimismo, las estructuras productivas difieren en cada municipio, sea Manejo de Bosque (MAB) o Sistema Agroforestal (SAF) en torno al producto estratégico del cacao con genética silvestre. El cacao silvestre existe en rodales (islas) por propagación natural endémica (Aguilar, 2016).

**Tabla 4: Estacionalidad de la producción del cacao silvestre amazónico, según municipios**

Municipio y Organización Económica Campesina Indígena	Sistema agrícola	%	Meses											
			Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Baures	SAF	5				■	■	■	■	■				
	MAB	95							■					
San Ignacio de Mojos	SAF	40					■	■	■	■	■	■		
	MAB	60												
Riberalta	SAF	40								■	■	■		
	MAB	60				■	■	■						
Puerto Gonzalo Moreno	SAF	60						■	■	■	■	■		
	MAB	40						■	■					

Fuente: elaboración propia con base en Aguilar (2016) y entrevistas a productores de cacao de Puerto Gonzalo Moreno (Pando), San Ignacio de Mojos, Baures y Riberalta (Beni).

Nota: cosecha principal del cacao (verde) y meses de cosecha secundaria (color amarillo).

#### 2.1.4. Taxonomía y material genético

El cacao nativo amazónico silvestre y en estado cultivado en la Amazonía boliviana pertenece a la familia de las esterculiáceas y es originaria de los bosques tropicales de la cuenca del Amazonas. Su nombre científico es *Theobroma cacao L.*, del reino

Plantae, clase de las Angiospermas; orden Malvales y de la familia Sterculiaceae; género Theobroma y especie T. Cacao L. (Angiosperm Phylogeny Group, 2003).

Por lo general se habla de tres grandes variedades como el cacao criollo, forastero y trinitario, pero a través de diferentes estudios científicos del genoma y relacionados se descubrieron más de 10 grupos genéticos las cuales evolucionaron a partir del cacao amazónico (Fins et al, 2013). Clasificaciones recientes del germoplasma de cacao reconoce la presencia de las siguientes poblaciones mayores: Amelonado (Brasil); Contamana (Perú); Criollo (Países de centro América, Venezuela Colombia y Ecuador); Curaray (Ecuador); Guianna (Brasil); Huallaga (Perú); Iquitos, Marañon y Nanay (Brasil y Perú); Nacional (Ecuador); Purus (Brasil); Ucayali (Perú) (Motamayor et al. 2088; Cornejo et al. 2018; Zhang et al., 2012), y Beni (Bolivia) según July, (2007).

## **2.2. Caracterización agronómica y morfoagronómica**

La caracterización agronómica se refiere al conjunto de datos que muestran las características de las accesiones de un cultivo como por ejemplo el del cacao. Este método permite seleccionar materiales vegetales con características sobresalientes en cuanto a productividad tales como tamaño de mazorca, número de semillas por mazorca, tamaño de la semilla, rendimiento por árbol, sanidad vinculada a la reacción a enfermedades, etc. (Copa, 2017).

En ese marco, en la caracterización morfoagronómica se muestran las características del germoplasma que se está estudiando (características morfológicas: hojas, frutos, flores, semillas, etc.) en donde se extraen una serie de características cualitativas y cuantitativa que permiten la selección de materiales sobresalientes para su utilización por ejemplo en programas de bancos de germoplasma, jardines clonales de cacao, propagación en SAF u otras iniciativas en torno a la investigación aplicada y de acción con productores.

### **2.2.1. Caracterización morfológica del cacao**

Para conocer la variabilidad de los caracteres dentro y entre plantas se han realizado varios estudios de los descriptores y se ha seleccionado aquellas características cuantitativas y cualitativas que han resultado ser más útiles para la descripción.

Al respecto, Abadie y Barreta (2001) mencionan que los descriptores que se utilizan para la caracterización morfológica del cacao deben reunir las siguientes características:



- Ser fácilmente observables.
- Tener alta acción discriminante y baja influencia ambiental, lo que permite registrar la información en los sitios de colecta.
- Ser uniformes, debido a que la uniformidad de los descriptores hace que la caracterización tenga un valor universal. Por eso es que se emplea listas de descriptores bien definidos y rigurosamente probados que simplifican considerablemente todas las preparaciones de registro de datos, actualización, modificación, recuperación de información, intercambio y análisis y transformación de datos.

Varios autores han propuesto listas de descriptores morfológicos para la identificación y evaluación del germoplasma de cacao. Por ejemplo, Phillips y Enríquez (1988), propusieron una lista de 26 descriptores morfológicos y el Centre de Cooperation Internationale en Recherche Agronomique pour le Developpement (CIRAD) emplea 24 descriptores para la caracterización. Otras investigaciones demuestran la utilización de un número variable de descriptores que van inclusive a más de 50 según el objetivo o las preguntas que se plantearon.

Por su parte, Villegas (2004) y Enríquez (1966), indican que las características principales de la planta y las más usadas en la clasificación de tipos y variedades de cacao son: frutos, semillas y flores los cuales están menos influenciados por el ambiente y le siguen en importancia las hojas, el tronco y las ramas. Por ejemplo, en el caso de las hojas las características que se deben tener en cuenta son: relación larga/ancho, ángulo basal, ángulo apical, además, la segunda hoja de la rama es la mejor para el muestreo (Enríquez y Soria, 1967).

La caracterización morfológica cuantifica la variabilidad del primer nivel, la cual se fundamenta en la descripción básica de las accesiones, a partir de la observación de rasgos morfológicos, que pueden expresarse de forma consistente en cualquier ambiente, permitiendo identificar semejanzas o diferencias entre ellas, con el fin de determinar diversidad intra e interespecífica (Franco & Hidalgo, 2003; Guarino et al., 1999). Este tipo de caracterización muestra atributos que diferencian o relacionan las plantas evaluadas o cualquier otro tipo de organismo (Primot et al., 2005). Estos se basan en variables cualitativas de alta heredabilidad y características cuantitativas de media a baja heredabilidad (Medina y Lobo, 2000).

En ese marco, el objeto de este tipo de caracterización es medir la variabilidad genética de una colección mediante el uso de descriptores definidos (Hernández, 2013). De

igual manera, este es el primer paso para obtener información básica relacionada a caracteres de importancia para el mejoramiento genético (Santos et al., 2012).

### **2.3. Parámetros de rendimiento**

Los parámetros más utilizados para estimar el rendimiento de genotipos de cacao son el índice de mazorca y el índice de semilla. Por lo general, en acciones enfocadas en la identificación de genotipos élitos se seleccionan materiales representativos en relación a su rendimiento, número de frutos sanos producidos por árbol, número de semillas y peso seco de las mismas por mazorca.

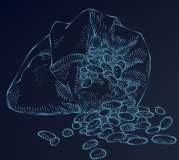
#### **2.3.1. Índice de semilla**

Está definido como el peso de cada semilla fermentada y seca (Ayestas, 2009), y generalmente se calcula promediando 100 semillas fermentadas y secas (Copa, 2017). Se espera que ese peso sea lo mayor posible, lo que da garantía para un buen índice de mazorca.

Con respecto al peso seco de semilla en el cacao silvestre, presenta un promedio de 0,69 gramos peso seco, teniendo esta característica la que más se asemejan a los cacaos silvestres (Surco, 2010). Por su parte, Estivarez (2020) indica que existe una alta variabilidad entre genotipos con relación al índice de semilla; por ejemplo, los tipos de cacao de la rama de los Trinitario presenta un índice de semilla bajo con relación a los cacaos forasteros.

#### **2.3.2. Índice de mazorca**

Se define como el número de frutos o mazorcas de cacao necesarias para obtener un kilogramo de cacao fermentado y seco (Ayestas, 2009). Según Estivarez (2020), el resultado de este índice tiene una influencia directa por factores genéticos ambientales y de la edad de las plantas, y es muy importante obtenerlo para desarrollar estrategias para aumentar la producción de los agricultores con bajos índices, lo cual implica menos mazorcas para mejorar la cosecha con mayor rendimiento por unidad.



# 3. MATERIALES Y MÉTODOS





### **3.1. Área de estudio y selección de genotipos de cacao**

La investigación se la realizó en cuatro municipios de la Amazonía boliviana: Riberalta, San Ignacio de Mojos y Baures en el departamento Beni y en Puerto Gonzalo Moreno del departamento Pando (Figura 3).

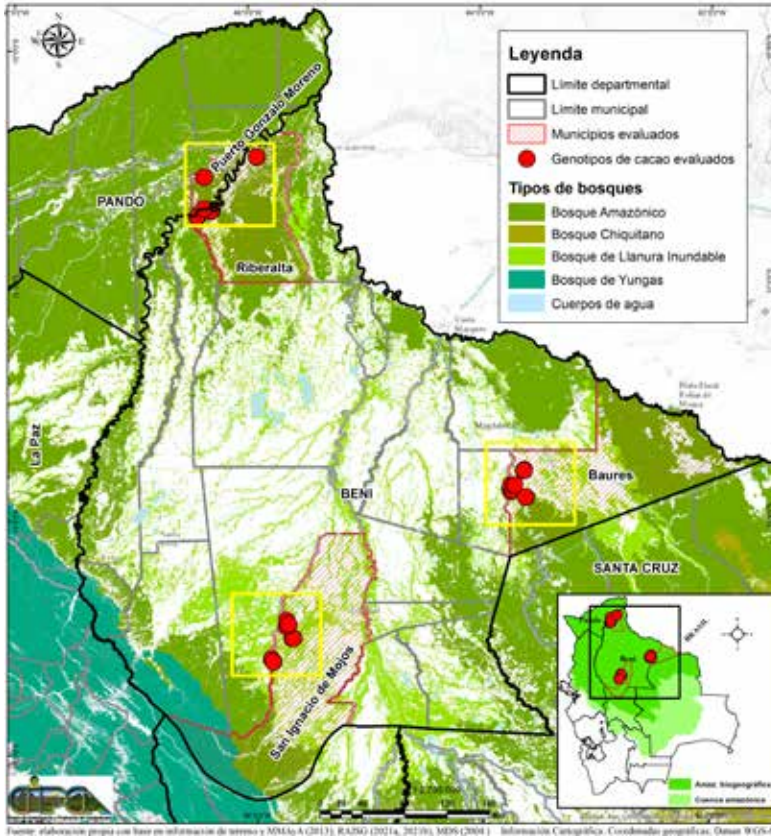
Para el caso de Baures, se identificaron árboles de cacao en seis islas boscosas: Veremos, San Carlos, San Francisco, Catiyene, Itauval, y San Pablo. En total se estudiaron 20 árboles denominados “Plantas Madre” por considerarse potenciales para la obtención de material genético de alta productividad según la experiencia de productores de cacao de las comunidades y técnicos del CIPCA que trabajan en la zona. Del total de árboles, también se seleccionaron al azar 10 plantas de cacao de las islas Catiyene y Veremos. De esta manera un total de 30 genotipos fueron estudiados. Estos están localizados principalmente en islas cuya vegetación corresponde a bosque chiquitano transicional a la Amazonía sobre suelos oligotróficos bien drenados y solo una muestra está localizada en curichis y yomomales del Beni norte según Navarro y Ferreira (2007).

Para el caso del municipio de San Ignacio de Mojos, se seleccionaron 30 genotipos “plantas madre” de cacao silvestre y cultivado manejadas por productores de diferentes comunidades (Tabla 5). Varios de los genotipos seleccionados corresponden a la familia del productor Abraham Noza (ganador del premio del cacao en París, ver la Tabla 1 y Tabla 4). La vegetación en la zona cacaotera estudiada según Ferreira y Navarro (2007) corresponden a bosques de várzea y vegetación ripiaría de aguas blancas de los ríos Mamoré, Ibare y Bajo Aperé, así como de bosques de semialtura. Los genotipos de los SAF están localizados en vegetación sucesional como barbechos y vegetación antrópica.

Para el caso de los municipios de Riberalta y Puerto Gonzalo Moreno, también fueron 30 genotipos “Plantas Madre” silvestres y cultivadas de comunidades campesinas e indígenas. Varios genotipos corresponden a dos ganadores del premio del cacao en París: Mario Guari (Figura 4) de la comunidad Miraflores (Puerto Gonzalo Moreno) y Ángel Tapia de la Comunidad Nazareth (Riberalta) (Tabla 1, Tabla 5). De acuerdo a las unidades de vegetación descrita por Navarro y Ferreira (2007), la vegetación en estas zonas en donde se localizaron las plantas estudiadas de cacao nativo amazónico corresponde a bosques de varzea flúvica del río Beni, así como selvas inmaduras de várzea de aguas fluyentes; complejo de vegetación sucesional ripiaría de aguas blancas

de la Amazonía, vegetación que se desarrollan en terrazas y márgenes recientes de ríos que pueden desbordar e inundar estos ecosistemas. Un pequeño grupo de muestras en donde están localizados los SAF también se incluye a bosques en etapas antiguas de sucesión vegetal (bosques secundarios, barbechos).

**Figura 3: Área de estudio en la Amazonía boliviana**



Fuente: elaboración propia con base en información de terreno y MMAyA (2013), RAISG (2021a, 2021b), MDP (2004).

**Tabla 5: Área de estudio en la Amazonía boliviana**

Municipio	Ubicación	Estatus de genotipos de cacao	Códigos de los genotipos de cacao
Puerto Gonzalo Moreno	Comunidad Indígena Miraflores	En el sistema agroforestal del productor Mario Guari, Ganador premio Cacao 2013 en Paris	PMIR-16 PMIR-17 PMIR-18 PMIR-19 PMIR-20
	Comunidad Campesina Contravaricia "lugar río verde"	En el sistema agroforestal de la familia productora de los Rodriguez desde los años 1970s	PRV-21 PRV-22 PRV-23 PRV-24 PRV-25
	Comunidad Campesina Contravaricia "cerca de asentamiento principal y meandro"	Silvestre	PCV-28 PCV-29 PCV-30 PCV-31 PCV-32
Riberalta	Comunidad campesina Nazareth "lugar del bajo"	Silvestre	RNAZ-1 RNAZ-2 RNAZ-3 RNAZ-4 RNAZ-5
	Comunidad campesina Nazareth "cerca del asentamiento principal"	Del SAF de Don Ángel Tapia, Ganador premio del Cacao 2015 en Paris	RNAZ-6 RNAZ-7 RNAZ-8
	Comunidad Campesina Siete de Julio	En el sistema agroforestal del productor Jaime Álvarez	RSJ-9 RSJ-10
	Comunidad Campesina Siete de Julio "cerca del asentamiento principal"	Silvestre	RSJ-11 RSJ-13 RSJ-12 RSJ-14 RSJ-15
	Isla Catiyene	Silvestre	BCT-16 BCT-18 BCT-17 BCT-19 BCT-20 BCT-21 BCT-13 BCT-14 BCT-15
Baures	Isla Itauval	Silvestre	BITV-26 BITV-27 BITV-24 BITV-25 BITV-23 BITV-22
	Isla San Carlos	Silvestre	BSC-11 BSC-12 BSC-9 BSC-8
	Isla San Francisco	Silvestre	BSF-31
	Isla San Pablo	Silvestre	BSP-30
		Silvestre	BSP-32 BSP-33 BSP-29

	Silvestre	BVER-1 BVER-6 BVER-3 BVER-2 BVER-4 BVER-5
Isla Veremos		
Comunidad Montegrande Km 5	SAF de don Mamerto Salvatierra	MKM5-1 MKM5-2
	Silvestre	MKM5-3 MKM5-4 MKM5-5 MKM5-6 MKM5-7 MKM5-8 MKM5-9
	Silvestre	MSMM-01 MSMM-02 MSMM-3 MSMM-4 MSMM-5
Comunidad San Miguel del Mátire		
San Ignacio de Mojos	SAF de don Nicolas Masa	MSMM-6 MSMM-7
	SAF de don Alejandro Muiba	MSMM-8 MSMM-9
	SAF de don Abraham Noza (premio cacao 2019)	MSRA-1 MSRA-2 MSRA-3 MSRA-4
	Silvestre	MSRA-5 MSRA-6 MSRA-7 MSRA-8 MSRA-9 MSRA-10 MSRA-11 MSRA-12
Comunidad Santa Rosa del Apere		

Fuente: elaboración propia



**Figura 4: Productor Mario Guari de Miraflores accediendo en tiempos de inundación a su sistema agroforestal localizado cerca del margen del río Beni, gestión 2017**



Fuente: CIPCA.

## **3.2. Caracterización morfoagronómica**

La caracterización de los 90 genotipos se la realizó inicialmente en el año 2017. Durante el año 2019 se volvieron a medir solamente las características de frutos y semillas logrando alcanzar solo datos de 56 de los 90 árboles evaluados inicialmente dado factores de cosecha temprana por productores y variación de la producción entre un año y el otro no permitieron realizar la medición de todas las plantas de cacao.

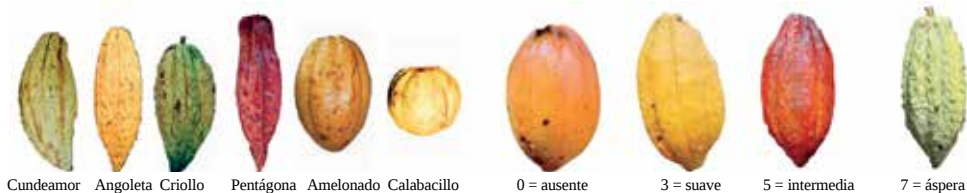
### **3.2.1. Variables morfológicas y del contexto ambiental caracterizadas**

Se caracterizaron y obtuvo información de los frutos, semillas, flores, hojas. También se obtuvo adicional de cada árbol relacionada al diámetro de copa, tallo, pH y humedad del suelo, porcentaje de cobertura y otros.

#### **3.2.1.1. Caracterización de frutos**

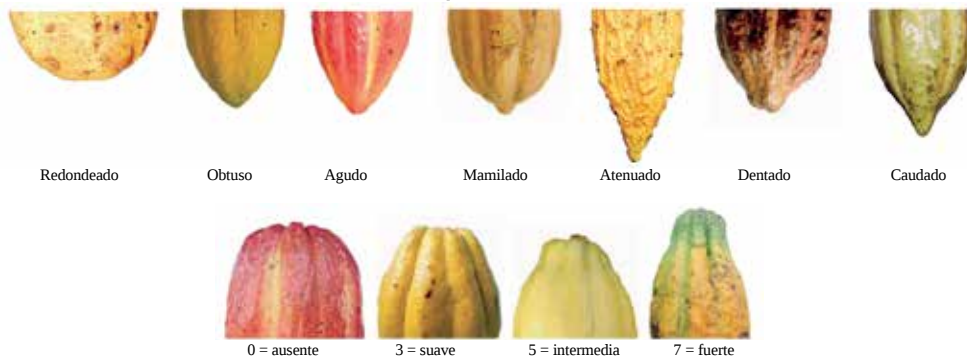
Para la descripción de las características del fruto se evaluaron en total 900 frutos (en 2017) y 560 frutos en 2019, 10 por cada árbol (genotipo) de cacao silvestre y cultivado en SAF, clasificados por su tamaño: Tres frutos pequeños, cuatro medianos y tres grandes en su madurez fisiológica. De acuerdo a Catie (2012) y García (2010) se tomaron en cuenta cuatro descriptores cualitativos: forma y rugosidad de frutos (Figura 5), forma constricción basal, forma del ápice (Figura 6); y siete cuantitativas tales como el peso, diámetro, espesor de mesocarpio, grosor de cáscara, profundidad de surco, número de semillas por fruto y peso de semillas por fruto (Figura 7) (Tabla 6).

**Figura 5: Forma de los frutos (lado izquierdo) y rugosidad de la cáscara de cacao (lado derecho)**



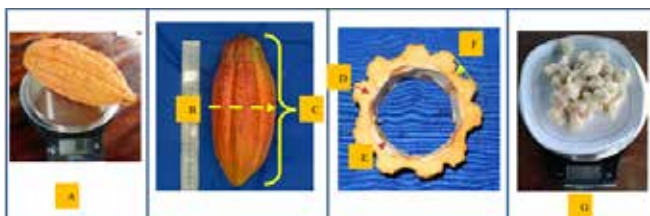
Fuente: Catie (2012).

**Figura 6: Forma de los ápices (parte superior) y forma de la constricción basal (parte inferior) en frutos de cacao**



Fuente: Catie (2012).

**Figura 7: Descripción de variables morfológicas cuantitativas para frutos de cacao**



Fuente: Copa (2017), adaptado de Catie (2012)

Nota: A= Peso del fruto; B= Diámetro; C=Longitud; D= Grosor de cáscara; E= Grosor de mesocarpio; F= Profundidad de surco; G= Peso fresco de semillas por fruto.

**Tabla 6: Descriptores morfológicos y estado de descriptores para las características evaluadas en frutos de cacao**

Descriptores morfológicos	Criterios de medición
Peso del fruto (g)	Peso promedio de la mazorca cosechada.
Largo del fruto (cm)	Distancia lineal entre los extremos del fruto
Diámetro del fruto (cm)	Se midió en la parte intermedia de la mazorca
Espesor del mesocarpio (mm)	Se midió en la parte más sobresaliente de uno de sus mesocarpios
Grosor de cascara (cm)	Se midió la parte más gruesa de la cascara
Profundidad del surco (mm)	Se midió en la parte más profunda de uno de sus lóbulos
Número de semillas	Se contabiliza la cantidad de semillas por fruto excepto vanas
Peso de semillas (g)	Se determino el peso de todas las semillas contenidas en un fruto
Forma de fruto	A= Cundeamor, B= Angoleta, C= Criollo, D= Pentágona, E= Amelonado y F= Calabacillo
Forma de Ápice	A= Redondeado; B= Obtuso, C= Agudo, D= Mamilado, E= Atenuado, F= Dentado, G= Caudado.
Forma de Constricción Basal	0= Ausente, 3= Suave, 5= Intermedia, 7= Fuerte
Rugosidad de fruto	0= Ausente, 3= Suave, 5= Intermedia, 7= Fuerte

Fuente: elaboración propia con base en Catie (2012).

### 3.2.1.2. Caracterización de semillas

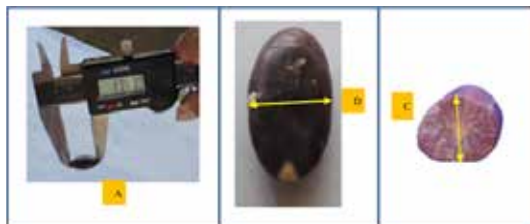
Se caracterizaron las semillas de las 10 muestras de fruto por árbol de cacao silvestre y cultivado y se contabilizó individualmente la cantidad de semillas (tanto en 2017: 90 árboles, como en 2019: 56 árboles). Asimismo, de acuerdo a Catie (2012) y García (2010) se evaluaron 10 semillas (1 semilla por fruto) al azar sin mucilago para lo cual se utilizó tres descriptores cualitativos: color de cotiledón, forma de la semilla y forma de corte transversal (Figura 8); y tres variables cuantitativas: longitud, ancho y espesor (Figura 9), además del peso del peso seco de las semillas de cacao (Tabla 7).

**Figura 8: Color del cotiledón (parte superior), forma de la semilla y corte transversal (parte inferior)**



Fuente: Copa (2017) y Catie (2012).

**Figura 9: Descripción de variables cuantitativas**



Fuente: Copa (2017), adaptado de Catie (2012)

Nota: A= Longitud; B= Ancho; C= Espesor.

**Tabla 7: Variables morfológicas cuantitativos utilizados para la caracterización en semillas**

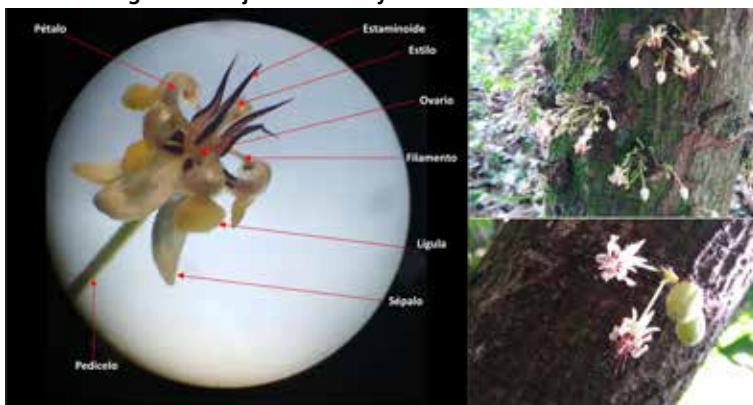
Descriptores morfológicos	Criterios de medición
Peso fresco de semillas (g)	Se pesaron las semillas integra sin placenta.
Ancho de la semilla (cm)	Se midió en la parte más ancha de la semilla
Largo de la semilla (cm)	Se midió desde la base del embrión hasta el ápice
Espesor de la semilla (cm)	Se midió sobre la parte más sobresaliente y gruesa de la semilla.
Forma de semilla	A=Oblonga, B= Elíptica, C=Ovalada, D= Irregular
Color de cotiledón	1=Morado 3=Violeta 5=Moteado 7=Blanco
Forma de corte transversal	A= Aplanada B= Intermedia C= Redondeada
Peso seco de la pepa de cacao	Se pesó 100 semillas de las mazorcas evaluadas en seco

Fuente: elaboración propia con base en Catie (2012).

### 3.2.1.3. Caracterización de flores

Se recolectaron 10 flores (Figura 10) recién abiertas en las primeras horas de la mañana en frasco cerrado con papel absorbente húmedo evitando su deshidratación. La cual se trasladó a fase de laboratorio para su respectiva evaluación tomando en cuenta 15 descriptores cuantitativos y 7 cualitativos según Tabla 8.

**Figura 10: Cojines florales y estructura floral del cacao**



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 8: Lista de descriptores de la flor de cacao**

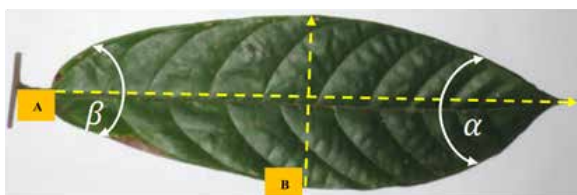
Descriptores morfológicos	Criterios de medición
Longitud pedicelo (mm)	Desde borde del cojín floral hasta el ovario
Ancho pedicelo (mm)	Diámetro del pedicelo
Longitud sépalo (mm)	Del punto de unión con el ovario hasta la terminal del ápice
Ancho sépalo (mm)	El punto más ancho
Longitud lígula (mm)	A partir del punto de inserción del ribete de la cogulla hasta el ápice
Ancho lígula (mm)	Se mide la parte más ancha
Longitud filamento (mm)	Distancia entre los bordes laterales en la parte más ancha
Ancho filamento (mm)	Distancia entre los bordes
Longitud estaminoides (mm)	Distancia desde punto de inserción con el ovario hasta el ápice
Ancho estaminodio (mm)	Distancia entre los bordes laterales en la parte más ancha
Longitud estilo (mm)	Distancia desde punto de inserción con el ovario hasta el estigma
Ancho estilo (mm)	Distancia entre los bordes laterales en la parte más ancha
Longitud ovario (mm)	Del punto de soldadura con el estilo hasta el punto de inserción con el pedúnculo
Ancho ovario (mm)	Diámetro del ovario
Número de óvulos por ovario	Cantidad de óvulos presentes en un Ovario
Antocianina lígula	Para todas estas variables cualitativas se describió los niveles de antocianina (pigmentos hidrosolubles que se hallan en las vacuolas de las células vegetales y que otorgan el color a las flores). Las categorías de las intensidades fueron las siguientes categorías: 0= Ausente; 3= Suave; 5= Intermedia; 7= Intenso.
Antocianina pedicelo	
Antocianina sépalo	
Antocianina filamento	
Antocianina estaminoides	
Antocianina ovario	
Antocianina estilo	

Fuente: elaboración propia con base en Catie (2012) y Copa (2017).

### 3.2.1.4. Caracterización de hojas

Siguiendo las recomendaciones de Catie (2012), la caracterización se realizó sobre la base de 10 hojas secundarias maduras de la segunda posición de la copa (Figura 13). Las mismas se trasladaron en bolsas plásticas para su medición respectiva y se evaluaron tres variables cuantitativas: longitud, ancho y relación largo/ancho, así como tres variables cualitativas (forma basal, forma del ápice) (Figura 11 y 12) además de color de brotes terminales (Tabla 9).

**Figura 11: Descripción de las variables cuantitativas de las hojas**



Fuente: Copa (2017)

Nota: A= Longitud; B= Ancho;  $\beta$ = Ángulo basal;  $\alpha$ = Ángulo apical.

**Figura 12: Descripción de la forma basal (parte superior) y de la forma del ápice de las hojas de cacao (parte inferior)**



Fuente: Copa (2017). Nota: A= Longitud; B= Ancho;  $\beta$ = Ángulo basal;  $\alpha$ = Ángulo apical.

**Tabla 9: Descriptores morfológicos para la caracterización de hojas**

Descriptores morfológicos	Criterios de medición
Longitud de hoja (cm)	Distancia desde el punto de inserción del peciolo en la base del limbo hasta el ápice
Ancho de hoja (cm)	Considerando tangentes trazadas en ambos bordes laterales paralelo a la línea larga
Relación L/A	Se obtuvo dividiendo el largo por el ancho de las hojas
Forma basal de la hoja	A=Agudo, B=Redondeado, C=Obtusos
Forma del ápice de la hoja	A=Agudo, B= Acuminado corto, C=Acuminado largo
Color de brotes terminales (hojas jóvenes)	Se registraron diversas categorías tales como las de color rosado, rosado intenso, rojo intenso, rojo intermedio, etc.

Fuente: elaboración propia con base en Catie (2012).

### 3.2.1.5. Otras características analizadas

Otras variables que están más influenciadas por el ambiente, pero que son de importancia para la caracterización fueron el diámetro de copa del árbol, diámetro del tallo, pH y humedad del suelo, así como el grado de sombra, etc. (Tabla 10).

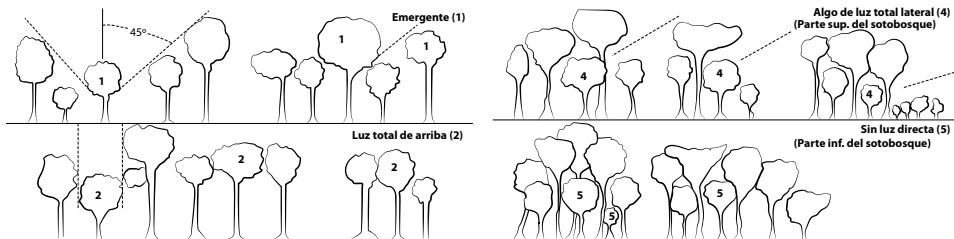
**Tabla 10: Variables complementarias analizadas**

Descriptor morfológico	Criterios de medición
Altura de la planta	Se midió la distancia vertical desde el suelo hasta el ápice
Diámetro de copa del árbol	Con una cinta métrica se midió el diámetro más ancho y más delgado de la copa y se dividió entre dos
Diámetro del tallo	Con una cinta diamétrica se midió a la altura del pecho
pH del suelo	Con un medidor de pH y humedad del suelo se tomó información de tres puntos alrededor del tronco del árbol y se reportó el promedio
Porcentaje de humedad del suelo	Con un medidor de pH y humedad del suelo se tomó información de tres puntos alrededor del tronco del árbol y se reportó el promedio
% de cobertura follaje de copas	Con la aplicación HabitApp se tomó el porcentaje de cobertura del follaje proporcionada por la copa de los genotipos de cacao
Posición de la copa en relación a la luz solar	Con base en BOLFOR y PROMABOSQUE (1999), se establecieron cuatro categorías: 1) Emergente: La parte superior de la copa totalmente expuesta a la luz vertical y libre de competencia lateral, al menos en un cono invertido de 90° con el vértice en el punto de la base de la copa; 2) Plena iluminación superior: La parte superior de la copa está plenamente expuesta a la luz vertical, pero está adyacente a otras copas de igual o mayor tamaño dentro del cono de 90°; 3) Alguna iluminación superior: La parte superior de la copa está expuesta a la luz vertical, o parcialmente sombreada por otras copas; 4) Alguna luz lateral: La parte superior de la copa enteramente sombreada de luz vertical, pero expuesta a alguna luz directa lateral debido a un claro o borde del dosel superior; 5) Ausencia de luz: La parte superior de la copa enteramente sombreada tanto de luz vertical como lateral (Figura 12)
Estatus del genotipo de cacao	Se diferenciaron dos categorías: 1) Cacao silvestre; 2) Cacao cultivado

Fuente: elaboración propia.

\*Nota: el cacao nativo amazónico silvestre y cultivado son del mismo grupo genético.

**Figura 13: Posición de la copa en relación a la luz solar**



Fuente: BOLFOR y PROMABOSQUE (1999)

### 3.3. Determinación de índices de productividad agronómicos

#### 3.3.1. Proceso de fermentación y secado

Se recolectaron de 10 mazorcas maduras por árbol o genotipo para conformar muestras de cacao empleadas en ensayos de cajas de madera el cual se realizó la fermentación de las muestras de cacao de 90 genotipos evaluados en el año 2017 y 56 en el año 2019.

Las muestras contenían de 400 - 600 gramos y se colocaron en “mallas de sarán” de 42 x 27 cm y se depositaron en caja de madera (80 x 60 x 60 cm) para su fermentación durante 5 días, el cual se cubrió con hojas de musáceas (*Musa spp.*) para generar calor en el proceso de fermentación con la activación de bacterias y se realizaron remociones cada 24 horas.

Se hizo el corte de 10 semillas seleccionadas al azar de la masa de fermento con el objetivo de evaluar el proceso de fermentación. Finalmente, las muestras fueron secadas al sol por 5 días logrando obtener máximo entre 6 y 7 % de humedad, situación que es idónea para el pesado y posterior cálculo de los índices de productividad: índice de semilla e índice de mazorca.

#### 3.3.1. Determinación del índice de semilla e índice de mazorca

Se determinaron los índices de semilla y mazorca aplicando ecuaciones matemáticas de acuerdo a datos generados a través de las mediciones para cada genotipo (Tabla 11).

**Tabla 11: Determinación de índice de semilla e índice de mazorca de cacao**

Ecuación del índice de semilla	Ecuación del índice de mazorca
$IS = Ps100sem / 100$	$IM = (1000 / IS) / NSF$
<b>Donde:</b> IS = Índice de semilla Ps100sem = Peso seco de 100 semillas 100 = Cantidad de semillas pesadas	<b>Donde:</b> IM = Índice de mazorca 1000 = 1000 gramos conforman un kg IS = Índice de semilla NSF = Número de semillas por fruto

Fuente: con base en Solís (2015).

### 3.4. Análisis estadístico de las variables agronómicas y morfológicas

Para el análisis estadístico de la información registrada del 2017 y 2019 a partir de la caracterización de 90 y 56 genotipos de cacao silvestre y cultivado respectivamente, se utilizó estadística paramétrica y no paramétrica y los datos fueron normalizados según el tipo de prueba realizada. Para el manejo de datos, se construyeron matrices básicas que consistieron en una tabla compuesta por filas (genotipos de cacao) y columnas (descriptores morfológicos, de contexto ambiental y agronómicos) (Anexos 1 y 2).



A los datos de descriptores cuantitativos, se realizaron estadísticas descriptivas por genotipo evaluado y se utilizaron para los diferentes análisis los datos promedios. Inicialmente, el análisis de la información generada se realizó mediante un análisis multivariado denominado Análisis de Componentes Principales (ACP) que consistió en seleccionar las variables que mayor aportan a seleccionar genotipos por su productividad. Inicialmente se analizaron 58 variables: 48 morfológicas, dos agronómicas (IS e IM) y 8 de contexto ambiental de los genotipos (ver tablas anteriores). De todas ellas, 22 descriptores de flores fueron excluidos del ACP dado que no aportaban significativamente en identificar características productivas de los genotipos estudiados, así como identificar los genotipos sobresalientes de alta productividad por lo que se procedió a caracterizar las flores de manera separada (tanto cualitativa como cuantitativamente). De esta manera, de 36 variables priorizadas, 24 fueron analizadas cuantitativamente a través del ACP y 12 fueron analizadas cualitativamente a través de tablas de frecuencia.

El ACP fue realizado una vez que se obtuvieron los coeficientes de *Correlación de Pearson* los cuales nos indicaron niveles nulos, muy bajos, bajos, moderados, altos y muy altos entre las 24 variables analizadas cuantitativamente, esto según la escala de correlación propuesta por Suárez (2011). Es decir, se identificó el grado de relación existente entre pares de variables, ejercicio que nos ayudó a identificar a las variables potenciales para el ACP.

El *Análisis de Componentes Principales* consistió en identificar las variables o descriptores de mayor peso o aporte a la variabilidad entre genotipos de cacao según la conformación de las observaciones. Es decir, se identificó las variables que pueden ser descritas con el mínimo de componentes que tienen influencia en seleccionar las variables que mayor aportan a seleccionar genotipos por su productividad.

Posteriormente, apartir de la matriz de datos establecida y variables seleccionadas, se efectuó un *Análisis de Conglomerados* (AC) en cual radicó en generar un dendrograma a través de la técnica de agrupamiento aglomerativo de Ward, en donde cada observación forma un conglomerado y en pasos sucesivos se unen hasta que todos los genotipos de cacao logran estar en un único conglomerado. Para este caso, se eligió la distancia euclidiana como medida de asociación para que los grupos formados tengan individuos parecidos, logrando así que la distancia entre ellos sea pequeña.

Una vez conformados los diferentes conglomerados con los diferentes genotipos de cacao, se realizó un *Análisis de Varianza* para la comparación de medias a través de la prueba de Duncan, la cual separa conjuntos o grupos con menos tratamiento en relación a otras pruebas parecidas (García-Villapando, 2001). Esto permitió contrastar las diferencias entre los grupos de conglomerados generados según variables

analizadas. Subsiguientemente se realizó un análisis de las *Medidas de Resumen* para ver diferencias entre grupos con estadísticas promedios, coeficiente de variación, mínimos, máximos, etc., lo cual ayudó a determinar que conglomerado de genotipos de cacao posee las mejores características en cuanto a productividad.

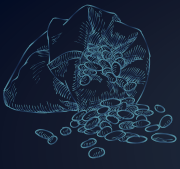
Finalmente, se realizó un análisis cualitativo de las 12 variables a través del análisis de *Tablas de Frecuencia* de una muestra promedio por genotipo evaluado, lo cual permitió identificar y contrastar la diversidad de material genético que existe en la Amazonía. Todos los análisis anteriormente descritos fueron realizados utilizando el programa estadístico Infostat versión 2020 profesional.

### **3.4.1. Análisis comparativo de variables cuantitativas agronómicas y morfológicas del 2017 y 2019**

Una vez realizados los análisis estadísticos de las variables medidas en terreno, tanto para la gestión 2017 y 2019, se realizaron pruebas signos de Wilcoxon y t de Student para determinar si algunas variables como el peso del fruto, largo y ancho del fruto, grosor de cascara, longitud de semillas, peso fresco de las semillas por fruto, número de semillas por fruto, peso seco de 100 semillas así como índices de productividad como el índice de semilla e índice de mazorca variaban entre una gestión a otra.

La prueba de Wilcoxon, en sí es una prueba no paramétrica que permite comparar dos muestras relacionadas, para este caso las medias de los genotipos evaluados entre 2017 y 2019. Este análisis es la contraparte de una prueba paramétrica de t de Student para dos muestras relacionadas que presentan datos con una distribución normal, que, para este caso, cuatro de las variables cumplieron con este requisito. Por otro lado, se optó por Wilcoxon dado que los datos de seis de las diez variables analizadas no presentaron una distribución normal según la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

Tanto la prueba de signos de Wilcoxon como de t de Student nos permitieron determinar si hubo diferencias entre las variables de productividad priorizadas entre los genotipos de cacao entre una gestión a otra. Todos los análisis fueron realizados con la herramienta XLSTAT, un complemento estadístico completo para Microsoft Excel de uso abierto, así como con Infostat, Argentina, Córdoba.



# 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN





#### 4.1. Caracterización morfológica de variables cualitativas de genotipos de cacao

De los 90 genotipos analizados desde el 2017, el 72% (65 genotipos) correspondieron a cacao en su estado silvestre mientras el 28% (25 genotipos) fueron de cacao cultivado en sistemas agroforestales. La posición de la copa de los genotipos dentro de la vegetación en su mayoría corresponde a una posición número dos (50%), dato confirmado para la medición del 2019, es decir, la parte superior de la copa de los genotipos de cacao están expuestas a la luz vertical, pero está adyacente a otras copas de igual o mayor tamaño (Tabla 12).

Al respecto, Somarriba (2004) quien evaluó el dosel de sombra de cacaotales recomienda la importancia de manejo de doseles de cacaotales para mejorar la productividad de los mismos, pero sobre todo puede ayudar a la implementación de nuevos ciclos de diversificación productiva, situación que podría ayudar a los productores que trabajan en los cacaotales silvestres estudiados.

En cuanto a la forma de los frutos, estos tienen predominancia angoleta (Baures y San Ignacio de Mojos) seguido de aquellos amelonados (Puerto Gonzalo Moreno y Riberalta), cuyos ápices son generalmente obtuso y agudo con la forma de constricción basal suave e intermedia preponderantemente. La rugosidad de los frutos es mayoritariamente suave e intermedia. Las formas de las semillas son principalmente elípticas y oblongas de color morado con predominancia en el corte transversal, intermedia (52%), redondeadas (34%) y aplanadas (9%), tendencia que se repite en función a la medición del 2019 (Tabla 12).

Con respecto a los brotes terminales de las hojas, predominan los del color rojo intermedio, rojo intenso y rosado claro (Anexo 3). Las hojas en general son elípticas con un 38 % de genotipos que tienen las hojas con forma basal redondeada como forma predominante; asimismo, el 48% de las hojas tienen predominancia de la forma del ápice acuminado corto.

En este trabajo, todas las características cualitativas descritas para los 90 genotipos analizados en el 2017, se reconfirmaron las tendencias con la segunda remediación de 56 individuos para el 2019, lo cual nos da una confiabilidad de la buena aplicación de la metodología y de la fiabilidad del análisis comparativo de sus variables entre un periodo y otro (Anexo 4).

Asimismo, este primer análisis cualitativo nos permite acercarnos a responder parcialmente la *hipótesis I* del presente trabajo indicando en que las características

morfológicas en este caso, tienen una tendencia general de sus descriptores para estos genotipos de cacao, pero presentan diferencias entre las variables cualitativas de los cuatro municipios, rechazando de esta manera que todos los genotipos tienen similares características cualitativas. De esta forma vemos que existe una riqueza del material genético analizado que varía dentro de la misma Amazonía boliviana.

Al respecto, Villegas y Astorga (2005) quienes evaluaron al azar 73 genotipos de este tipo de cacao en el norte de La Paz, reportaron características cualitativas con tendencias similares al presente trabajo e indican estas variables contribuyeron a explicar la variabilidad entre grupos de cacao.

**Tabla 12: Resultados de variables cualitativas de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado de la Amazonía boliviana**

Variable	Clase	Categorías	General (90 genotipos 2017)		General (56 genotipos 2019)		Resultados de 90 genotipos del 2017					
			FA	FR	FA	FR	Baures		San Ignacio de Mojos		Puerto Gonzalo Moreno y Riberalta	
			FA	FR	FA	FR	FA	FR	FA	FR	FA	FR
Estatus del genotipo	1	Cultivado	25	0,28	13	0,23			10	0,33	15	0,50
	2	Silvestre	65	0,72	43	0,77	30	1,00	20	0,67	15	0,50
	3	Cuatro	2	0,02	1	0,02			1	0,03	1	0,03
Posición de copa	1	Dos	45	0,50	30	0,54	16	0,53	11	0,37	18	0,60
	2	Tres	29	0,32	19	0,34	13	0,43	9	0,30	7	0,23
	3	Uno	14	0,16	6	0,11	1	0,03	9	0,30	4	0,13
	4	Amelonado	42	0,47	21	0,38	7	0,23	5	0,17	30	1,00
Forma fruto	1	Angoleta	46	0,51	33	0,59	23	0,77	23	0,77		
	2	Cundeamor	2	0,02	2	0,04			2	0,07		
	3	Agudo	19	0,21	11	0,20	9	0,30	7	0,23	3	0,10
Forma ápice fruto	1	Atenuado	5	0,06	3	0,05	1	0,03	4	0,13		
	2	Caudado	17	0,19	7	0,13	6	0,20	10	0,33	1	0,03
	3	Mamilado	13	0,14	10	0,18	4	0,13	8	0,27	1	0,03
	4	Obtuso	36	0,40	25	0,45	10	0,33	1	0,03	25	0,83
	5	Fuerte	4	0,04							4	0,13
Forma constricción basal fruto	1	Intermedia	30	0,33	18	0,32	9	0,30	8	0,27	13	0,43
	2	Suave	56	0,62	38	0,68	21	0,70	22	0,73	13	0,43
	3	Ausente	2	0,02							2	0,07
Rugosidad fruto	1	Fuerte	4	0,04	3	0,05	1	0,03	3	0,10	3	0,10
	2	Intermedia	28	0,31	30	0,54	9	0,30	16	0,53	25	0,83
	3	Suave	56	0,62	23	0,41	20	0,67	11	0,37		
	4	Eliptica	64	0,71	34	0,61	16	0,53	25	0,83	23	0,77
Forma semilla	1	Irregular	5	0,06	1	0,02				0,17	5	0,17
	2	Oblonga	18	0,20	16	0,29	12	0,40	5		1	0,03
	3	Ovalada	3	0,03	5	0,09	2	0,07			1	0,03
	4	Aplanada	9	0,10	5	0,09	4	0,13	5	0,17		
Forma corte transversal semilla	1	Intermedia	47	0,52	30	0,54	12	0,40	16	0,53	19	0,63
	2	Redondeada	34	0,38	21	0,38	14	0,47	9	0,30	11	0,37
	3											

<b>Color cotiledón semilla</b>	<b>1</b>	<b>Morado</b>	90	1,00	56	1,00	30	1,00	30	1,00	30	1,00
	<b>1</b>	<b>Agudo</b>	27	0,30	20	0,36	14	0,47	10	0,33	3	0,10
<b>Forma basal de la hoja</b>	<b>2</b>	<b>Atenuado</b>	2	0,02	1	0,02					2	0,07
	<b>3</b>	<b>Obtuso</b>	27	0,30	16	0,29	7	0,23	6	0,20	14	0,47
	<b>4</b>	<b>Redondeado</b>	34	0,38	19	0,34	9	0,30	14	0,47	11	0,37
<b>Forma ápice de la hoja</b>	<b>1</b>	<b>Acuminado corto</b>	43	0,48	31	0,55	13	0,43	14	0,47	16	0,53
	<b>2</b>	<b>Acuminado largo</b>	39	0,43	19	0,34	9	0,30	16	0,53	14	0,47
	<b>3</b>	<b>Agudo</b>	8	0,09	6	0,11	8	0,27				

Fuente: elaboración propia.

Nota: ver los resultados con todas las variables de los años 2017 y 2019 y por municipios en Anexo 4

### 4.1.1 Evaluación de variables cualitativas y cuantitativas de flores de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado

La evaluación de las características de las flores se las realizó solo para 45 genotipos de los cuatros municipios evaluados. Se pudo constatar que las flores del cacao nativo amazónico presentan baja variabilidad en los recursos genéticos respecto de caracteres como intensidad de antocianina en el pedicelo, sépalo, lígula, filamento y ovario. Asimismo, la antocianina de los estaminoides no presentó variación y son 100% de nivel intermedio, y la antocianina en el estilo es prácticamente ausente en el 100% de las flores (Tabla 13).

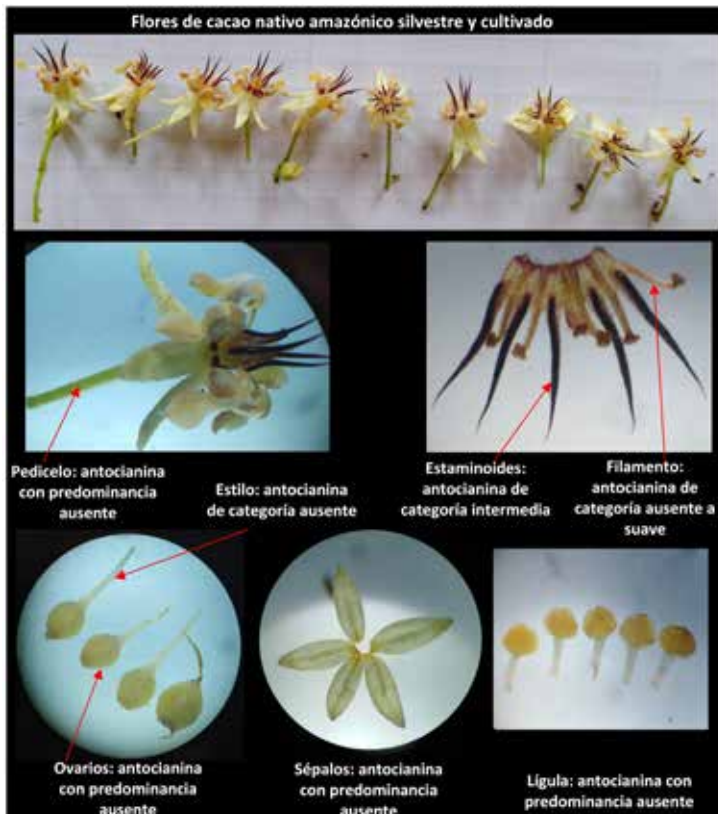
**Tabla 13: Distribución de frecuencias de descriptores cualitativos de 45 genotipos de cacao**

Variable	Clase	Categorías	FA	%
Antocianina pedicelo	1	Ausente	89	66,90
	2	Intermedia	11	8,30
	3	Suave	33	24,80
Antocianina sépalo	1	Ausente	656	98,90
	2	Suave	7	1,10
Antocianina lígula	1	Ausente	631	93,50
	2	Intermedia	13	1,90
	3	Suave	31	4,60
Antocianina filamento	1	Ausente	471	69,90
	2	Intermedia	50	7,40
	3	Suave	153	22,70
Antocianina estaminoide	1	Intermedia	675	100,00
Antocianina estilo	1	Ausente	135	100,00
Antocianina ovario	1	Ausente	131	97,00
	2	Suave	4	5,30

Fuente: elaboración propia.

De esta manera, podemos afirmar que las características cualitativas de las flores de este tipo de cacao son particulares tendiendo a que la mayoría de los genotipos posee ausencia de antocianina en el pedicelo (66%), sépalo (98,90%), lígula (93,50%), filamento (69,90%) y ovario (97%), mientras que la antocianina de los estaminoides es en todos los casos del nivel intermedio y el estilo carece de este elemento (Figura 14).

Figura 14: Características predominantes de las flores de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado



Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, los resultados de variables morfológicas cuantitativas de las flores recopiladas para 45 genotipos de cacao nativo amazónico presentados en la Tabla 14, muestran que existe un coeficiente de variación igual y menor al 20% a este valor lo que indica baja variabilidad entre las selecciones de las variables de flores evaluadas, es decir, las desviaciones de los datos registrados con respecto a la media y entre sí con bajos y tienden a la homogenización.

Respecto a la desviación estándar, ésta también nos indica que la distribución de datos tiene baja dispersión ya que todas las variables presentan valores con tendencias al valor cero, lo que indican que los valores de las selecciones de las variables evaluadas están cerca de la media (Tabla 14).



Una vez realizado este análisis cualitativo y cuantitativo, este nos permite inferir totalmente en la hipótesis I revelando que sus características morfológicas poseen una tendencia general para este tipo de genotipos de cacao, pero no todos tienen iguales características según las diversas variables evaluadas, pudiendo variar entre zonas dentro de la Amazonía boliviana lo que nos permite ratificar la diversidad genética existente.

**Tabla 14: Resultados estadísticos de variables cuantitativas de flores de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado**

Variables	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)	Mínimo	Máximo
Longitud de pedicelo (mm)	14,87	2,98	20,04	6,63	26,00
Ancho de pedicelo (mm)	0,78	0,15	19,42	0,46	1,95
Longitud de sépalo (mm)	7,28	0,75	10,28	5,00	9,81
Ancho de sépalo (mm)	2,22	0,34	15,17	1,16	5,52
Longitud de lígula (mm)	4,81	0,69	14,43	3,02	6,90
Ancho de lígula (mm)	2,23	0,37	16,64	1,06	3,89
Longitud de filamento (mm)	3,17	0,37	11,73	2,05	5,41
Ancho de filamento (mm)	0,34	0,07	19,29	0,11	0,72
Longitud de estaminoide (mm)	6,74	0,68	10,08	3,12	8,66
Ancho de estaminoide (mm)	0,48	0,08	17,43	0,23	0,98
Longitud de estilo (mm)	2,21	0,33	14,73	1,33	3,04
Ancho de estilo (mm)	0,31	0,05	17,33	0,18	0,50
Longitud de ovario (mm)	1,70	0,23	13,29	1,25	2,40
Ancho de ovario (mm)	1,29	0,14	11,09	0,96	1,89
Número de óvulos por ovario	34,14	4,70	13,77	24,00	48,00

Fuente: elaboración propia.

Nota: los valores de cada variable por categorías de clasificación pueden ser consultados en el Anexo 5 y la base de datos en el Anexo 6.

## **4.2. Caracterización morfológica y agronómica de variables cuantitativas de genotipos de cacao**

Para esta evaluación se realizaron Análisis de Correlación de Pearson, Análisis de Componentes Principales, Análisis de Conglomerados, Análisis de Varianza y Medidas de Resumen para las variables cuantitativas, a excepción de las variables de las flores que fueron analizadas separadamente. Estos procedimientos se realizaron tanto para los 90 genotipos del 2017 y para la segunda evaluación de 56 de los 90 genotipos en 2019.

### **4.2.1. Análisis de Correlación de Pearson para variables cuantitativas**

Para los 90 genotipos evaluados en 2017, se pudo detectar que las variables que están alta y muy altamente correlacionadas son aquellas morfológicas de las dimensiones del fruto como el peso, largo, ancho, con aquellas de las semillas como espesor y diámetro de las mismas. Asimismo, éstas muestran cierta relación con el DAP, DC y el pH del suelo (Tabla 15), situación que se repite con el DS, DC y pH del suelo en el análisis

con 56 genotipos de cacao para el año 2019 (Tabla 16).

Un caso particular de correlación moderada, alta y muy alta entre variables fueron las del GM y GC, las mismas que mostraron coeficientes positivos con casi todas las variables a excepción de aquellas relacionadas a las dimensiones del fruto, humedad del suelo y las variables de semillas: PFS/F, NS/F, NSV/F y ES, situación que fue mayormente notoria en el análisis de correlación para el año 2019 (Tabla 15 y 16).

Para el 2017, las variables morfológicas de las semillas mostraron baja correlación con las variables de los frutos, pero moderada, alta y muy alta correlación con variables tales como AP, DC, pHS, %HS y con las variables de hojas: LH y AH. Para el 2019 la correlación entre variables de semillas y frutos aumentó a moderada en algunos casos: LS-PF, ES-LF y LS-AF.

En cuanto a los índices agronómicos como IM e IS, éstos mostraron coeficientes de correlación moderados con variables morfológicas de los frutos: tales como PF, LF, AF, PFS/F, NS/F y la LS. Sobre todo, el IS fue el que mostró alta y muy alta correlación con el PS100S, AP, DC y pHS situación que se reafirmó solo para el PS100S para el 2019. Por otro lado, las variables del contexto más ambiental tales como AP, %C, DAP, DC, pHS y %HS muestran por lo general baja correlación con las variables morfológicas y agronómicas evaluadas.

De esta manera, el análisis de coeficientes de correlación tanto para la evaluación de los genotipos de cacao del 2017 y su remediación en 2019 nos indican que las variables morfológicas de frutos y semillas, seguido de las variables agronómicas como el IS e IM son de primer orden para el ACP (siguiente paso), seguida de las variables de contexto ambiental y de las hojas. Asimismo, nos permitió identificar variables de alta y muy altamente correlacionadas, pero también aquellas con baja correlación.

Al respecto, existen diversos trabajos que afirman que las variables de frutos y semillas, están menos influenciadas por el ambiente y le siguen en importancia otras variables de las hojas, el tronco y las ramas (Villegas y Astorga, 2005; Villegas, 2004; Soria, 1969; Enríquez y Soria, 1967; Enríquez, 1966) tal cómo se pudo establecer en este trabajo.

Tabla 15: Coeficientes de correlación de Pearson de las variables cuantitativas evaluadas – 90 individuos del 2017

Variables	PF	LF	AF	GM	GC	PS	PFS/F	NS/F	NSV/F	LS	DS	ES	LH	AH	R(L/A)	PS100S	IS	IM	AP	%C	DAP	DC	pHS	%HS
PF	1,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,14	0,00	0,00	0,91	0,00	0,69	0,57	0,89	0,06	0,06	0,00	0,00	0,00	0,42	0,01	0,33	0,79	0,66	0,00
LF	0,73	1,00	0,00	0,03	0,00	0,37	0,00	0,00	0,63	0,05	0,86	0,31	0,67	0,04	0,00	0,02	0,03	0,00	0,66	0,00	0,07	0,72	0,76	0,01
AF	0,89	0,55	1,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,98	0,00	0,48	0,95	0,63	0,06	0,66	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,88	0,37	0,39	0,00
GM	0,21	0,24	0,33	1,00	0,20	0,54	0,15	0,16	0,07	0,62	0,84	0,21	0,56	0,55	0,75	0,90	0,97	0,82	0,93	0,90	0,77	0,81	0,82	0,14
GC	0,47	0,35	0,54	0,14	1,00	0,00	0,80	0,92	0,66	0,10	0,12	0,33	0,19	0,40	0,00	0,99	0,93	0,06	0,00	0,56	0,03	0,31	0,44	0,00
PS	0,16	0,09	0,29	0,06	0,76	1,00	0,18	0,29	0,32	0,00	0,05	0,19	0,22	0,87	0,00	0,06	0,06	0,32	0,00	0,89	0,00	0,60	0,28	0,00
PFS/F	0,69	0,46	0,50	-0,15	0,03	-0,14	1,00	0,00	0,04	0,00	0,44	0,51	0,79	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,03	0,08	0,98	0,60	0,21
NS/F	0,56	0,47	0,42	-0,15	0,01	-0,11	0,76	1,00	0,04	0,09	0,22	0,85	0,87	0,42	0,00	0,30	0,24	0,00	0,75	0,01	0,03	0,13	0,24	0,03
NSV/F	-0,01	-0,05	0,00	0,19	0,05	0,11	-0,21	-0,22	1,00	0,30	0,47	0,74	0,17	0,29	0,06	0,75	0,73	0,04	0,77	0,79	0,32	0,12	0,95	0,88
LS	0,33	0,20	0,31	0,05	-0,18	-0,43	0,38	0,18	-0,11	1,00	0,87	0,53	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,14	0,08	0,03	0,81	0,39	0,72
DS	0,04	-0,02	0,08	-0,02	0,16	0,21	-0,08	-0,13	0,08	-0,02	1,00	0,00	0,94	0,79	0,03	0,04	0,05	0,06	0,10	0,22	0,20	0,91	0,12	0,11
ES	-0,06	-0,11	-0,01	-0,13	0,10	0,14	-0,07	-0,02	-0,04	-0,07	0,37	1,00	0,35	0,95	0,33	0,52	0,48	0,69	0,82	0,32	0,49	0,77	0,54	0,44
LH	0,01	0,05	-0,05	0,06	-0,14	-0,13	0,03	0,02	-0,14	0,19	-0,01	0,10	1,00	0,00	0,00	0,19	0,29	0,52	0,32	0,50	0,05	0,23	0,39	0,73
AH	0,20	0,21	0,20	0,06	0,09	-0,02	0,13	0,09	-0,11	0,32	0,03	-0,01	0,55	1,00	0,09	0,00	0,01	0,02	0,31	0,10	0,06	0,59	0,77	0,18
R(L/A)	0,20	0,30	0,05	-0,03	-0,44	-0,66	0,35	0,41	-0,20	0,49	-0,23	-0,10	0,31	0,18	1,00	0,08	0,09	0,02	0,00	0,31	0,00	0,85	0,98	0,51
PS100S	0,45	0,24	0,39	-0,01	0,00	-0,20	0,48	0,11	-0,03	0,54	0,21	-0,07	0,14	0,31	0,19	1,00	0,00	0,00	0,79	0,05	0,60	0,63	0,87	0,67
IS	0,44	0,22	0,39	0,00	-0,01	-0,20	0,49	0,13	-0,04	0,53	0,21	-0,08	0,11	0,28	0,18	0,97	1,00	0,00	0,93	0,05	0,62	0,77	0,87	0,63
IM	-0,59	-0,46	-0,57	0,02	-0,20	-0,11	-0,60	-0,79	0,22	-0,21	-0,20	-0,04	-0,07	-0,24	-0,24	-0,32	-0,34	1,00	0,66	0,01	0,19	0,02	0,64	0,00
AP	0,09	-0,05	0,21	0,01	0,36	0,34	-0,05	-0,03	-0,03	-0,16	0,18	0,02	-0,11	-0,11	-0,43	-0,03	0,01	-0,05	1,00	0,82	0,14	0,24	0,44	0,96
%C	0,29	0,32	0,26	0,01	0,06	0,01	0,23	0,27	0,03	0,18	0,13	-0,11	-0,07	0,18	0,11	0,20	0,21	-0,28	0,02	1,00	0,34	0,39	0,13	0,40
DAP	0,10	0,19	0,02	0,03	-0,23	-0,34	0,18	0,22	-0,11	0,23	-0,14	-0,07	0,21	0,20	0,50	0,06	0,05	-0,14	-0,16	0,10	1,00	0,00	0,80	0,01
DC	-0,03	-0,04	-0,10	0,03	-0,11	-0,06	0,00	-0,16	0,16	0,03	-0,01	-0,03	0,13	0,06	-0,02	0,05	0,03	0,25	0,12	0,09	0,50	1,00	0,33	0,40
pHS	-0,05	-0,03	-0,09	0,02	-0,08	-0,11	0,06	0,12	-0,01	-0,09	-0,17	-0,07	-0,09	0,03	0,00	-0,02	-0,02	0,05	0,08	0,16	0,03	0,10	1,00	0,04
%HS	0,32	0,29	0,42	0,16	0,35	0,38	0,13	0,23	0,02	-0,04	0,17	0,08	0,04	0,14	0,07	0,04	0,05	-0,47	0,01	0,09	0,29	0,09	-0,22	1,00

Fuente: elaboración propia.

Nota 1: PF=Peso del fruto; LF=Longitud del fruto; AF=Ancho del fruto; GM=Grosor del mesocarpio; GC= Grosor de cáscara; PS=Profundidad de surco; PFS/F=Peso fresco de semillas por fruto; NS/F=Número de semillas por fruto; NSV/F=Número de semillas vanas por fruto; LS=Longitud de semilla; DS=Diámetro de semilla; ES=Espesor de semilla; LH= Longitud de hoja; AH= Ancho de hoja; R(L/A)=Relación largo/ancho de hoja; PS100S= Peso seco de 100 semillas; IS=Índice de semilla; IM=Índice de mazorca; AP=Altura de la planta; %C= % cobertura de follaje de copas; DAP=Diámetro a la altura del pecho; DC=Diámetro de copa; pHS=pH del suelo; HS= Porcentaje de humedad del suelo.

Nota 2: Coeficientes en color verde=correlación alta y muy alta entre variables; coeficientes en color anaranjado=correlación moderada entre variables; coeficientes en color blanco= correlación nula, muy baja, baja.

Tabla 16: Coeficientes de correlación de Pearson de las variables cuantitativas evaluadas – 56 individuos del 2019

Variables	PF	LF	AF	GM	GC	PS	PFS/F	NS/F	NSV/F	LS	DS	ES	LH	AH	R(L/A)	PS100S	IS	IM	AP	%C	DAP	DC	pHS	%HS
PF	1,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,15	0,28	0,00	0,80	0,00	0,73	0,33	0,20	0,00	0,01	0,01	0,63	0,06	0,11	0,61	0,32	0,25
LF	0,85	1,00	0,00	0,36	0,00	0,00	0,00	0,06	0,77	0,04	0,99	0,00	0,84	0,55	0,28	0,03	0,09	0,01	0,38	0,09	0,10	0,88	0,27	0,87
AF	0,91	0,64	1,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,34	0,21	0,00	0,91	0,04	0,91	0,22	0,08	0,00	0,01	0,07	0,39	0,07	0,10	0,24	0,38	0,17
GM	0,31	0,12	0,37	1,00	0,00	0,10	0,03	0,01	0,61	0,10	0,38	0,15	0,39	0,37	0,09	0,22	0,48	0,02	1,00	0,94	0,03	0,56	0,80	0,02
GC	0,75	0,53	0,75	0,55	1,00	0,00	0,69	0,05	0,46	0,01	0,41	0,00	0,29	0,08	0,84	0,00	0,02	0,26	0,84	0,15	0,43	0,30	0,66	0,00
PS	0,52	0,46		0,23	0,74	1,00	0,96	0,12	0,55	0,86	0,02	0,00	0,25	0,25	0,00	0,01	0,47	0,17	0,62	0,33	0,53	0,95	0,51	0,00
PFS/F	0,56	0,52	0,46	-0,29	0,05	-0,01	1,00	0,00	0,05	0,12	0,55	0,56	0,12	0,54	0,43	0,39	0,45	0,00	0,48	0,03	0,61	0,70	0,21	0,04
NS/F	0,20	0,25	0,13	-0,36	-0,26	-0,21	0,78	1,00	0,05	0,64	0,13	0,00	0,04	0,03	0,36	0,02	0,02	0,00	0,98	0,17	0,93	0,48	0,04	0,01
NSV/F	-0,15	-0,04	-0,17	-0,07	-0,10	0,08	-0,27	-0,27	1,00	0,05	0,01	0,42	0,65	0,93	0,09	0,30	0,54	0,00	0,66	0,77	0,23	0,01	0,32	0,09
LS	0,42	0,27	0,52	0,22	0,33	-0,02	0,21	-0,06	-0,26	1,00	0,82	0,00	0,67	0,08	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,23	0,11	0,00	0,18	0,83
DS	0,04	0,00	0,02	-0,12	0,11	0,31	-0,08	-0,20	0,33	0,03	1,00	0,08	0,02	0,10	0,31	0,02	0,03	0,60	0,67	0,31	0,48	0,56	0,82	0,90
ES	0,37	0,41	0,27	0,20	0,53	0,38	-0,08	-0,41	-0,11	0,38	0,23	1,00	0,37	0,07	0,29	0,00	0,00	0,29	0,79	0,58	0,50	0,36	0,74	0,01
LH	0,05	0,03	-0,02	0,12	0,14	0,16	-0,21	-0,28	0,06	0,06	0,30	0,12	1,00	0,00	0,05	0,06	0,12	0,30	0,62	0,74	0,01	0,22	0,39	0,37
AH	0,13	0,08	0,17	0,12	0,23	0,16	-0,08	-0,30	0,01	0,23	0,22	0,25	0,50	1,00	0,47	0,00	0,00	0,59	0,79	0,07	0,01	0,49	0,84	0,17
R(L/A)	0,17	0,15	0,24	0,23	0,03	-0,38	0,11	0,12	-0,23	0,67	-0,14	0,14	0,26	0,10	1,00	0,25	0,13	0,03	0,00	0,54	0,01	0,01	0,98	0,21
PS100S	0,47	0,29	0,48	0,17	0,50	0,35	0,12	-0,31	-0,14	0,55	0,32	0,56	0,26	0,46	0,16	1,00	0,00	0,44	0,37	0,13	0,22	0,14	0,19	0,01
IS	0,33	0,23	0,36	0,10	0,32	0,10	0,10	-0,31	-0,08	0,53	0,29	0,50	0,21	0,51	0,20	0,87	1,00	0,31	0,28	0,07	0,18	0,22	0,40	0,08
IM	-0,33	-0,37	-0,24	0,32	0,15	0,18	-0,79	-0,82	0,38	-0,21	0,07	0,14	0,14	0,07	-0,28	-0,11	-0,14	1,00	0,44	0,16	0,60	0,14	0,20	0,03
AP	-0,07	-0,12	-0,12	0,00	0,03	0,07	0,10	0,00	-0,06	-0,39	-0,06	-0,04	-0,07	-0,04	-0,39	-0,12	-0,15	0,11	1,00	0,73	0,86	0,10	0,53	0,26
%C	0,26	0,23	0,24	0,01	0,20	0,13	0,29	0,19	0,04	0,16	0,14	0,07	-0,05	0,24	0,08	0,21	0,25	-0,19	-0,05	1,00	0,82	0,97	0,07	0,95
DAP	0,21	0,22	0,22	0,30	0,11	-0,09	0,07	0,01	-0,16	0,21	-0,10	0,09	0,35	0,34	0,37	0,17	0,18	-0,07	0,02	0,03	1,00	0,42	0,61	0,26
DC	-0,07	0,02	-0,16	-0,08	-0,14	0,01	-0,05	-0,10	0,35	-0,38	0,08	-0,13	0,17	0,09	-0,35	-0,20	-0,17	0,20	0,22	0,01	0,11	1,00	0,55	0,96
pHS	0,14	0,15	0,12	0,03	0,06	-0,09	0,17	0,28	0,14	-0,18	0,03	-0,05	-0,12	0,03	0,00	-0,18	-0,11	-0,17	0,08	0,24	0,07	0,08	1,00	0,30
%HS	0,16	0,02	0,18	0,32	0,50	0,50	-0,27	-0,36	-0,23	0,03	0,02	0,34	0,12	0,19	-0,17	0,34	0,24	0,29	0,15	-0,01	0,15	0,01	-0,14	1,00

Fuente: elaboración propia.

Nota 1: PF=Peso del fruto; LF=Longitud del fruto; AF=Ancho del fruto; GM=Grosor del mesocarpio; GC= Grosor de cáscara; PS=Profundidad de surco; PFS/F=Peso fresco de semillas por fruto; NS/F=Número de semillas por fruto; NSV/F=Número de semillas vanas por fruto; LS=Longitud de semilla; DS=Diámetro de semilla; ES=Espesor de semilla; LH= Longitud de hoja; AH= Ancho de hoja; R(L/A)=Relación largo/ancho de hoja; PS100S= Peso seco de 100 semillas; IS=Índice de semilla; IM=Índice de mazorca; AP=Altura de la planta; %C= % cobertura de follaje de copas; DAP=Diámetro a la altura del pecho; DC=Diámetro de copa; pHS=pH del suelo; HS= Porcentaje de humedad del suelo.

Nota 2: Coeficientes en color verde=correlación alta y muy alta entre variables; coeficientes en color anaranjado=correlación moderada entre variables; coeficientes en color blanco= correlación nula, muy baja, baja.

## 4.2.2. Análisis de Componentes Principales

De los 36 descriptores cuantitativos iniciales seleccionadas para esta caracterización, en función del Análisis de Correlación, 24 de ellos fueron utilizados para el ACP cuya mayoría son variables morfológicas, del contexto ambiental de los genotipos y otros dos agronómicos como el IM e IS.

En el ACP del 2017 y del 2019, cuatro componentes principales fueron necesarios (retenidos) para representar el 72% y 75% de la varianza total de las variables respectivamente (Tabla 17). Es decir, de las 24 variables analizadas, 14 de ellas fueron identificadas como aquellas que pueden ser descritas con el mínimo de componentes principales que tienen mayor influencia para seleccionar genotipos por su alta productividad.

**Tabla 17: Autovalores de la caracterización de los genotipos de cacao entre 2017 y 2019**

n	2017 (90 genotipos)			2019 (56 genotipos)		
	Valor	Proporción	Proporción acumulada	Valor	Proporción	Proporción acumulada
1	5,05	0,36	0,36	4,66	0,33	0,33
2	2,15	0,15	0,51	3,09	0,22	0,55
3	1,80	0,13	0,64	1,60	0,11	0,67
4	1,15	0,08	<b>0,72*</b>	1,13	0,08	<b>0,75*</b>
5	0,99	0,07	0,80	1,06	0,08	0,82
6	0,81	0,06	0,85	0,76	0,05	0,88
7	0,58	0,04	0,89	0,59	0,04	0,92
8	0,51	0,04	0,93	0,45	0,03	0,95
9	0,33	0,02	0,95	0,25	0,02	0,97
10	0,26	0,02	0,97	0,15	0,01	0,98
11	0,24	0,02	0,99	0,11	0,01	0,99
12	0,06	4,20E-03	1,00	0,09	0,01	1,00
13	0,04	2,90E-03	1,00	0,05	0,00	1,00
14	0,03	2,00E-03	1,00	0,02	0,00	1,00

Fuente: elaboración propia.

Nota: (\*) la proporción acumulada  $\geq 0,70$  o 70% es aceptable para la explicación de la varianza de las variables evaluadas.

Para el ACP del 2017, del primer componente, aportó con el 36,10% a la explicación de la varianza y está claramente asociada a las variables del fruto tales como el peso, largo y ancho del fruto, asimismo, el peso fresco de las semillas por fruto, pero también a una variable agronómica que es el índice de mazorca. Por otro lado, el segundo componente contribuyó con el 15,40% de explicación de la varianza y la representan variables relacionadas a la semilla tales como: grosor de la cascara del fruto, la longitud de semilla, el peso seco de 100 semillas y índice de semilla (Figura 15) (Tabla 18).

En la misma línea, el tercer componente principal representó el 12,8% en la cual las variables como el número de semillas por fruto y la altura de la planta tienen un mayor

peso. En cuarto componente que representa el 8,2% tiene como variables influyentes al diámetro de la semilla, el DAP y el porcentaje de humedad del suelo.

El ACP para el 2019 muestra la misma tendencia en donde el primer componente contribuyó con 33,30%, el segundo, con 22,00%, el tercero con 11,40% y el cuarto con 8,00%. Todas las variables recayeron en alguno de los cuatro componentes con mayor o menor peso en cada uno de ellos, sin embargo, las que no cambiaron de localización fueron por ejemplo el peso, largo y ancho del fruto, además del diámetro de semilla y DAP (Tabla 18).

El Análisis de Componentes Principales según Franco e Hidalgo (2003), ayudan a sintetizar la información en torno al número de variables y que la interpretación de los autovectores y la correlación entre variables y los componentes principales deben centrarse en los coeficientes los cuales mientras mayor valor obtengan independientemente del signo positivo o negativo, más eficientes serán en la discriminación en este caso de los genotipos evaluados.

**Tabla 18: Autovectores de los cuatro componentes principales de la caracterización de los 90 genotipos de cacao del 2017 y 56 del 2019**

Variables	2017				2019			
	e1	e2	e3	e4	e1	e2	e3	e4
Peso fruto (g)	<b>0,40</b>	0,13	0,01	-0,17	<b>0,43</b>	0,06	0,22	-0,01
Largo fruto (cm)	<b>0,31</b>	0,14	-0,14	-0,08	<b>0,36</b>	0,13	0,19	-0,05
Ancho fruto (cm)	<b>0,37</b>	0,21	0,11	-0,10	<b>0,41</b>	1,40E-03	0,17	-0,09
Grosor cascara (cm)	0,15	<b>0,50</b>	0,25	-0,09	0,33	-0,24	<b>0,34</b>	<b>0,01</b>
N° Semilla/Fruto	0,30	0,04	<b>-0,40</b>	-0,13	0,07	<b>0,53</b>	0,01	0,07
Peso fresco semillas/fruto	<b>0,36</b>	-0,14	-0,17	-0,21	0,26	<b>0,42</b>	-0,01	0,21
Long semilla (cm)	0,21	<b>-0,41</b>	0,07	-0,01	0,29	-0,08	<b>-0,35</b>	-0,33
Diámetro semilla (cm)	0,05	0,09	0,42	<b>0,49</b>	0,05	-0,17	-0,29	<b>0,57</b>
PS 100 semillas (g)	0,28	<b>-0,37</b>	0,36	0,05	<b>0,32</b>	-0,26	-0,27	0,21
IS	0,28	<b>-0,36</b>	0,36	0,05	0,28	-0,24	<b>-0,38</b>	0,19
IM	<b>-0,35</b>	-0,10	0,13	-0,17	-0,19	<b>-0,43</b>	0,22	-0,14
Altura de planta (m)	0,02	0,30	<b>0,31</b>	-0,16	-0,08	0,01	0,44	<b>0,54</b>
DAP (cm)	0,09	-0,16	-0,38	<b>0,47</b>	0,14	-0,03	0,08	<b>-0,33</b>
Humedad suelo (%)	0,19	0,29	-0,10	<b>0,60</b>	0,10	<b>-0,33</b>	0,32	0,07

Fuente: elaboración propia.

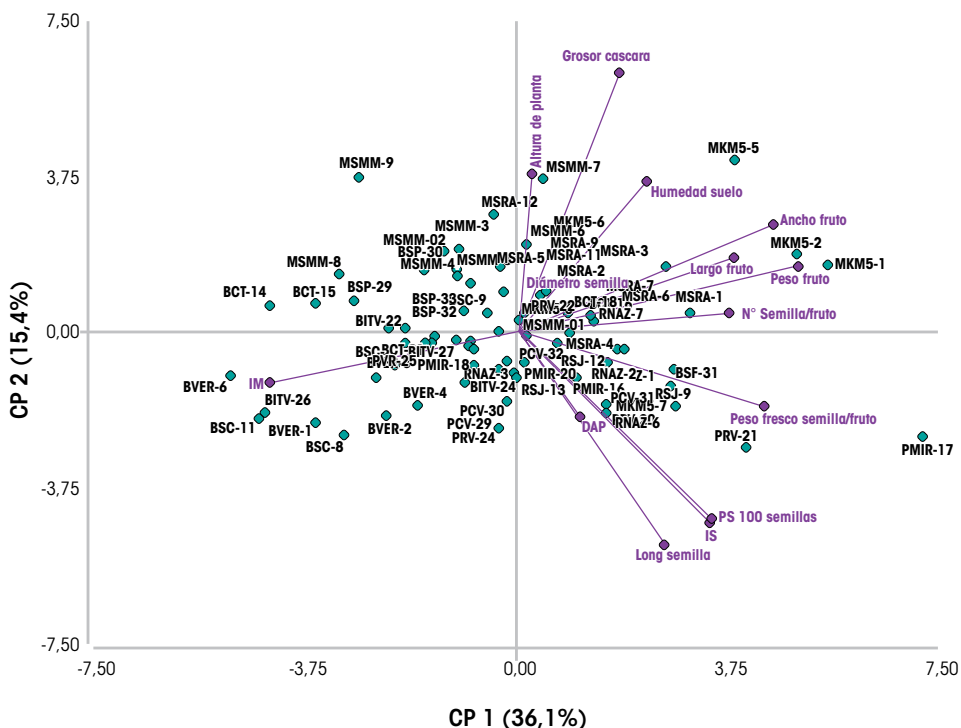
Estás 14 variables identificadas como influyentes en el ámbito de la productividad de los genotipos de cacao fueron utilizadas para desarrollar en análisis de conglomerados para la segregación y conformación de grupos de los 90 genotipos de cacao para el 2017 y 56 para el 2019.

Por otra parte, durante el ACP pudimos estimar que un menor número de variables pueden ser utilizadas para este acometido pudiendo ser representadas en tan solo dos componentes principales, entre ellas destacaron: el peso, largo y ancho de fruto, número de semillas por fruto, peso fresco de semillas por fruto, longitud de semilla, peso seco de 100 semillas, el IS e IM (Anexo 7).

Respecto a la representación espacial de las variables con mayor aporte a la varianza total en el plano principal del ACP para los 90 genotipos del 2017, el Componente Principal uno (CP1) que está claramente relacionado con las variables del fruto, se destacan los genotipos como por ejemplo el MKM5-1, BCT-18, PMIR-17, RNAZ-7 entre algunos. El CP2 que está representado principalmente por el IS, PS 100 semillas, longitud de semillas y grosor de cascara, se resaltan a los genotipos tales como PCV-31, RNAZ-6, BCT-13 y MKM5-7 entre los principales (Figura 15).

Para el caso de los 56 genotipos de cacao el 2019, en la Figura 15 podemos observar que el Componente Principal uno (CP1), al igual que en 2017, está relacionado con las variables del fruto, se destacan nuevamente por ejemplo el PMIR-17, RNAZ-7. El CP2 que está representado principalmente por el número de semillas por fruto, peso fresco de semillas por fruto, IM, y humedad del suelo, se resaltan a los genotipos tales como PMIR-18, RSJ-10, BITV-27, MKM5-7 entre los principales (Figura 16).

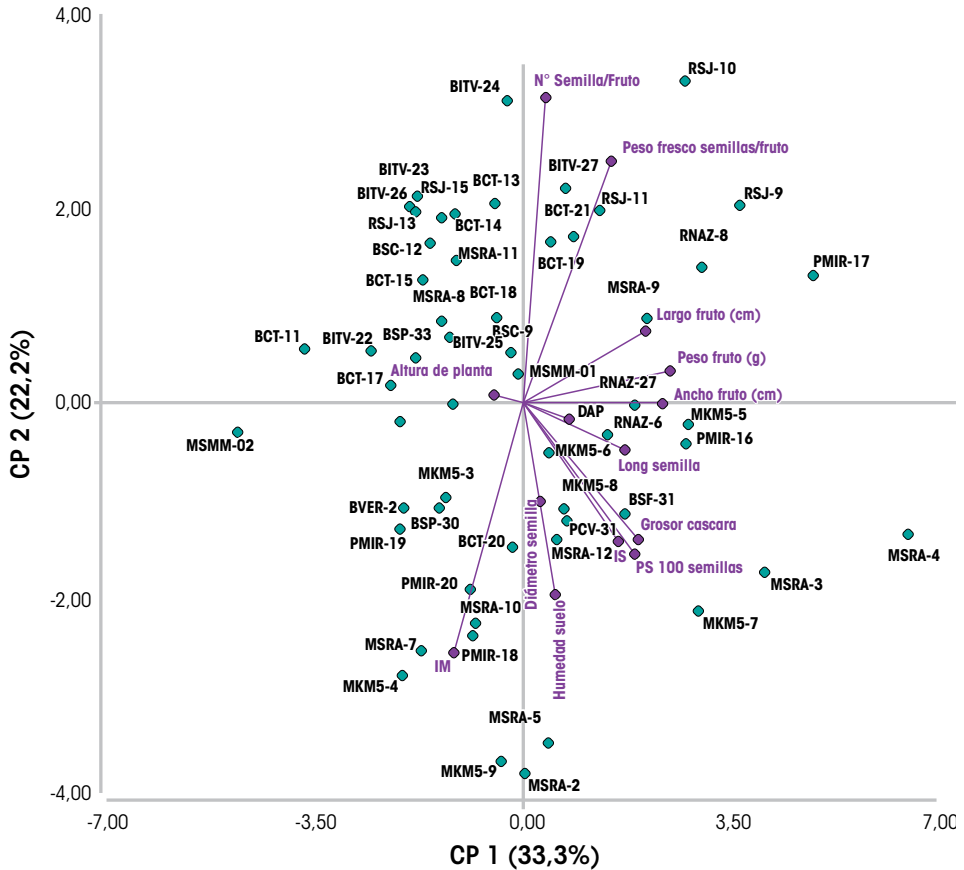
Figura 15: Representación espacial de análisis de componentes principales de 90 genotipos de cacao del 2017



Fuente: elaboración propia.

Nota: La representación espacial de los CP3 y CP4 pueden verificarse en el Anexo 8.

Figura 16: Representación espacial de análisis de componentes principales de 56 genotipos de cacao del 2019



Fuente: elaboración propia.

Nota: La representación espacial de los CP3 y CP4 pueden verificarse en el Anexo 8.

#### 4.2.3. Análisis de conglomerados y análisis de varianza

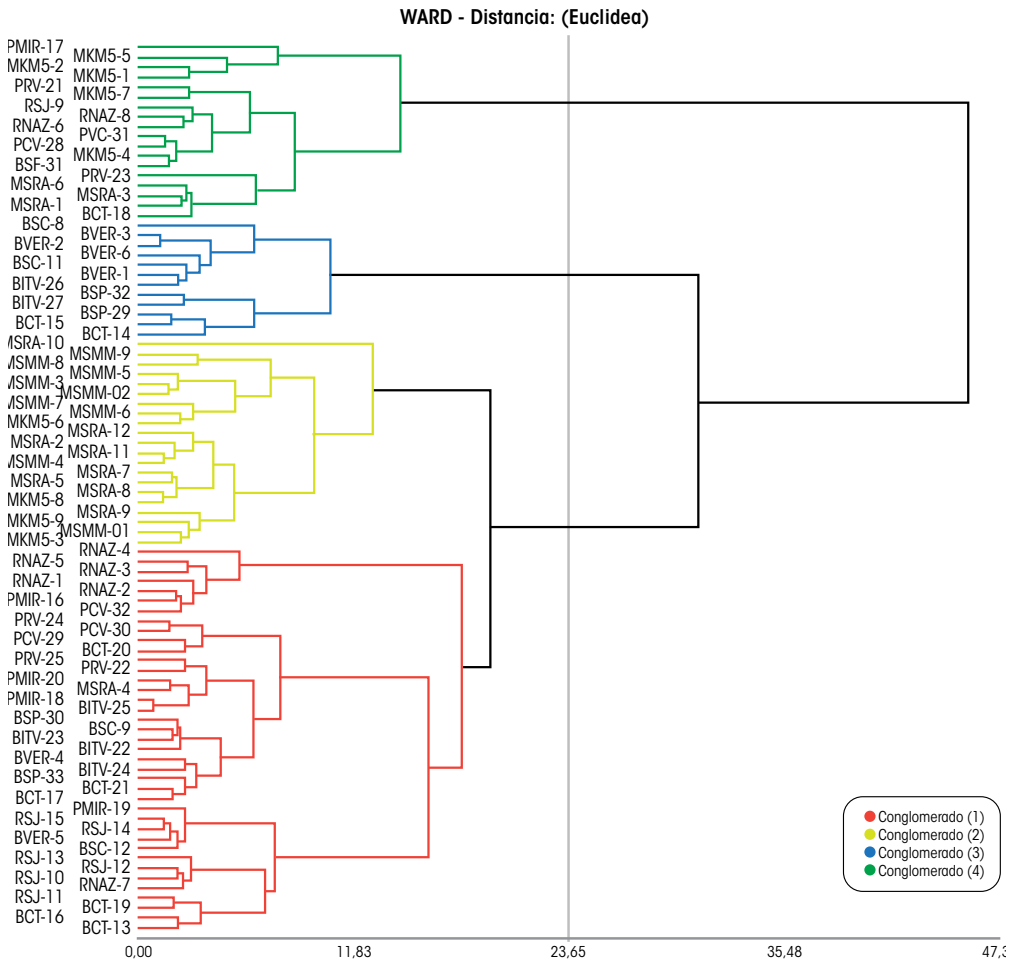
##### a) Conglomerados de 90 genotipos del 2017

Conformamos cuatro grupos de conglomerados utilizando 14 variables entre morfológicas, agronómicas y del contexto ambiental identificadas como potenciales en el ámbito productivo, y el criterio de clasificación fue la identificación de cada genotipo según su codificación (Figura 17). Los conglomerados establecidos fueron el producto de la relación fenotípica (variables observadas y medidas) que presentaron los



diversos genotipos de cacao nativo silvestre y cultivado evaluados.

**Figura 17: Dendograma obtenido por el agrupamiento jerárquico de WARD de los 90 genotipos de cacao, basado en distancias euclidianas**



Fuente: elaboración propia.

El grupo que presentó mayores promedios en torno en peso, largo y ancho del fruto, al igual que el número de semillas por frutos, peso fresco de semillas por frutos, longitud de semilla, peso seco de 100 semillas e índice de semilla, así como menor índice de mazorca conveniente para mayor productividad, fue el conglomerado cuatro (color verde) (Tabla 19).

Este grupo está conformado por 18 genotipos de cacao nativo tanto en su estado silvestre como cultivado en sistemas agroforestales y serían aquellos con mayor potencial en el aspecto productivo y más sobresalientes en cuanto a características de alta productividad, entre los que se puede destacar a PMIR-17 del municipio de Puerto Gonzalo Moreno, MKM5-5 de San Ignacio de Mojos, RSJ-9 de Riberalta, BSF-31 de Baures, entre algunos de los más representativos de cada municipio.

Por otro lado, el conglomerado uno (color rojo) que aglutina a 39 individuos de los cuatro municipios, presenta promedios por debajo de conglomerado cuatro, pero son el segundo grupo en cuanto a presentar variables relacionadas a una alta productividad anteriormente descritas (Tabla 19). Además, en este grupo se encuentran los genotipos de menor altura (7,5 m en promedio), lo cual puede ser una ventaja a la hora de realizar prácticas de manejo y cosecha de los frutos.

Igualmente, este conglomerado agrupó a los individuos con mayor promedio en DAP y está conformado por 19 genotipos silvestres (74,36%) localizados principalmente de Baures y Riberalta, y 10 plantas cultivadas (25,64%) ubicadas en sistemas agroforestales en Puerto Gonzalo Moreno y Riberalta.

El conglomerado tres (color amarillo) de genotipos de cacao, tienen promedios inferiores al conglomerado cuatro y uno, y está conformado por 16 plantas silvestres y 5 cultivadas situadas exclusivamente en el municipio de San Ignacio de Mojos. En sí, este conglomerado derivó de una separación con genotipos del conglomerado uno, es decir, la línea de corte vertical al centro de la Figura 17 muestra la intersección con tres líneas de grupos, no obstante, se pudo realizar la separación con el grupo uno, dado que los valores promedios de la mayoría de las variables del grupo tres son menores (Tabla 19).

Por su parte, el conglomerado dos conformado por 12 genotipos en estado silvestre que se encuentran en las islas de Baures, presentaron promedios muy bajos en relación a los otros tres grupos de conglomerados, sobre todo en cuanto a variables del ámbito productivo. Asimismo, el porcentaje de humedad del suelo donde están ubicados los genotipos de este grupo fue menor con gran diferencia en relación a los demás conglomerados.

Asimismo, este conglomerado de plantas coincide con el grupo de 10 genotipos seleccionados al azar en las islas Catiyene y Veremos del municipio de Baures que no necesariamente son plantas madres y, este análisis, nos permite ratificar la fiabilidad del análisis de conglomerados al separar a seis de estos genotipos con baja productividad (BVER-1, BVER-2, BVER-3, BVER-6, BCT-14, BCT-15).

Este hallazgo, nos permite indicar que, a la hora de seleccionar individuos de alta productividad para monitorear este aspecto, el procedimiento de elección no pudo realizarse al azar, menos aún si es silvestre, porque existe la probabilidad de que no respondan al objetivo que es seleccionar genotipos de alta productividad, tal como lo demostramos en este trabajo.

Este Análisis de Conglomerado o clúster, permitió agrupar individuos con la máxima homogeneidad posible y la mayor diferencia viable. En ese marco, De la Fuente (2011) indica que el agrupamiento depende de las variables utilizadas lo que tendrá un impacto sustancial en la conformación de los conglomerados resultantes, en ese sentido, tanto para el análisis del 2017 como del 2019, estos se realizaron en función de los resultados del análisis de correlación y el ACP, lo que permitió identificar las variables potenciales en el ámbito productivo, agregando las más representativas y excluyendo a las que poco aportaron a este proceso.

**Tabla 19: Características de los grupos de cacao generados a partir de 90 genotipos del 2017**

Conglomerado	Variables	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
1	Peso fruto (g)	39	208,94	33,38	15,97	138,90	267,40
	Largo fruto (cm)	39	12,44	1,38	11,05	9,33	15,19
	Ancho fruto (cm)	39	6,39	0,34	5,33	5,59	6,99
	Grosor cascara (cm)	39	0,67	0,12	17,46	0,48	1,01
	N° Semilla/fruto	39	23,10	6,27	27,13	12,80	38,70
	Peso fresco semillas/fruto	39	46,15	12,15	26,34	24,60	73,10
	Long semilla (cm)	39	1,91	0,12	6,31	1,69	2,20
	Diámetro semilla (cm)	39	0,96	0,06	6,69	0,85	1,16
	PS 100 semillas (g)	39	64,67	5,28	8,16	55,00	74,00
	IS	39	0,65	0,05	8,16	0,55	0,74
	IM	39	73,15	22,21	30,36	45,00	118,00
	Altura de planta (m)	39	7,75	1,59	20,55	4,50	11,00
	DAP (cm)	39	27,46	26,54	96,65	8,00	132,00
	Humedad suelo (%)	39	57,04	12,90	22,62	30,00	78,67
	2	Peso fruto (g)	12	139,94	48,62	34,74	71,40
Largo fruto (cm)		12	10,00	1,63	16,28	6,88	12,44
Ancho fruto (cm)		12	5,76	0,69	12,05	4,77	6,94
Grosor cascara (cm)		12	0,66	0,11	17,11	0,46	0,81
N° Semilla/fruto		12	13,36	1,77	13,28	10,40	16,00
Peso fresco semillas/fruto		12	30,98	17,43	56,28	18,10	82,80
Long semilla (cm)		12	1,86	0,17	9,08	1,51	2,20
Diámetro semilla (cm)		12	0,95	0,10	10,26	0,83	1,15
PS 100 semillas (g)		12	63,08	7,38	11,70	52,00	72,00
IS		12	0,63	0,07	11,70	0,52	0,72
IM		12	125,75	18,29	14,55	91,00	152,00
Altura de planta (m)		12	8,78	2,20	25,05	5,00	12,00
DAP (cm)		12	12,96	4,20	32,38	6,68	21,60
Humedad suelo (%)		12	35,17	12,32	35,03	20,00	57,33
3		Peso fruto (g)	21	201,70	35,44	17,57	147,70
	Largo fruto (cm)	21	12,20	1,66	13,62	9,30	16,11
	Ancho fruto (cm)	21	6,51	0,43	6,58	5,83	7,06
	Grosor cascara (cm)	21	0,87	0,12	13,93	0,71	1,19
	N° Semilla/fruto	21	22,15	4,07	18,36	13,90	28,70
	Peso fresco semillas/fruto	21	39,35	8,37	21,26	23,70	57,80
	Long semilla (cm)	21	1,78	0,13	7,03	1,51	2,02

	Diámetro semilla (cm)	21	1,05	0,25	23,48	0,83	2,09
	PS 100 semillas (g)	21	59,57	7,43	12,47	43,00	71,00
	IS	21	0,60	0,08	13,54	0,43	0,74
	IM	21	58,76	19,71	33,55	36,00	111,00
	Altura de planta (m)	21	9,19	1,83	19,90	5,50	12,50
	DAP (cm)	21	14,13	5,25	37,13	7,90	27,63
	Humedad suelo (%)	21	74,01	6,91	9,33	64,00	88,00
4	Peso fruto (g)	18	300,43	61,09	20,34	221,30	435,70
	Largo fruto (cm)	18	14,53	2,41	16,59	11,73	22,14
	Ancho fruto (cm)	18	7,25	0,42	5,77	6,52	7,96
	Grosor cascara (cm)	18	0,90	0,30	33,79	0,61	1,83
	N° Semilla/fruto	18	25,19	6,39	25,36	15,90	38,40
	Peso fresco semillas/fruto	18	60,71	17,24	28,40	36,30	110,00
	Long semilla (cm)	18	2,03	0,15	7,38	1,85	2,36
	Diámetro semilla (cm)	18	1,02	0,07	6,75	0,93	1,15
	PS 100 semillas (g)	18	78,67	7,78	9,89	67,00	98,00
	IS	18	0,79	0,08	9,89	0,67	0,98
	IM	18	49,39	14,40	29,15	30,00	83,00
	Altura de planta (m)	18	8,18	2,31	28,20	4,50	12,00
	DAP (cm)	18	18,11	5,39	29,77	12,22	31,51
	Humedad suelo (%)	18	64,32	8,04	12,51	46,00	80,00

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, según el análisis de varianza realizado, las 14 variables seleccionadas contribuyeron a la diferenciación y separación de grupos de individuos en conglomerados. Es decir, en análisis de varianza utilizando la prueba de Duncan al nivel de significancia del 0,05 permitió separar a los genotipos según grupos con características parecidas (Tabla 20). Por ejemplo, la variable peso de frutos permitió separar a los conglomerados dos y cuatro, pero no a los conglomerados uno y tres, no obstante, estos fueron separados según las variables del índice de semilla e índice de mazorca.

**Tabla 20: Análisis de varianza para 14 variables de los cuatro grupos de conglomerados de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en la Amazonía boliviana -2017**

Variables	Medias				p-valor
	Conglomerado 1	Conglomerado 2	Conglomerado 3	Conglomerado 4	
Peso fruto (g)	208,94 b	139,94 a	201,7 b	300,43 c	0,0001
Largo fruto (cm)	12,44 b	10,00 a	12,20 b	14,53 c	0,0001
Ancho fruto (cm)	6,39 b	5,76 a	6,51 b	7,25 c	0,0001
Grosor cascara (cm)	0,67 a	0,66 a	0,87 b	0,90 b	0,0001
N° Semilla/fruto	23,10 b	13,36 a	22,15 b	25,19 b	0,0001
Peso fresco semillas/fruto	46,15 b	30,98 a	39,35 a, b	60,71 c	
Long semilla (cm)	1,91 b	1,86 a, b	1,78 a	2,03 c	0,0001
Diámetro semilla (cm)	0,96 a, b	0,95 a	1,05 b	1,02 a, b	0,0455
PS 100 semillas (g)	64,67 b	63,08 a, b	59,57 a	78,67 c	0,0001
IS	0,65 b	0,63 a, b	0,60 a	0,79 c	0,0001
IM	73,15 b	125,75 c	58,76 a	49,39 a	0,0001
Altura de planta (m)	7,75 a	8,78 a, b	9,19 b	8,18 a, b	0,0382
DAP (cm)	27,46 b	12,96 a	14,13 a	18,11 a, b	0,0165
Humedad suelo (%)	57,04 b	35,17 a	74,01 c	64,32 d	0,0001

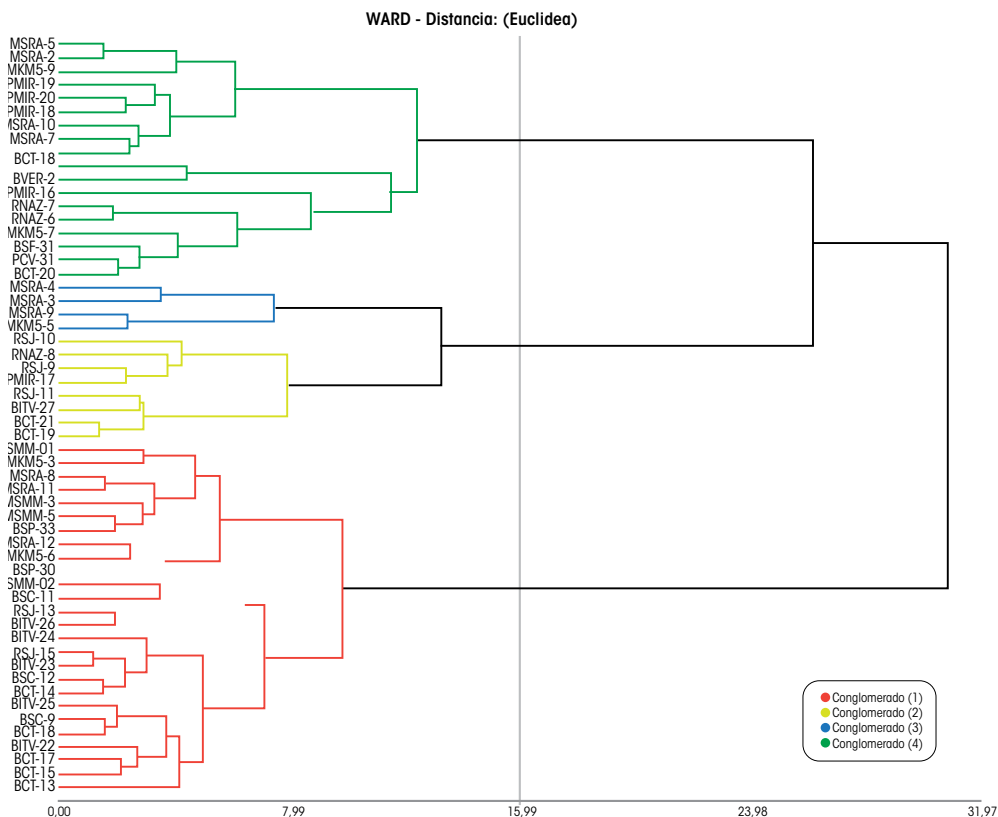
Fuente: elaboración propia.

Nota: medias con letras distintas en una fila, son significativamente diferentes (Duncan,  $p \leq 0,05$ ).

### b) Conglomerados de 56 genotipos del 2019

El análisis de conglomerados con 56 genotipos del año 2019 nos permitió establecer también cuatro conglomerados utilizando las 14 variables utilizadas anteriormente para el análisis del 2017 y son el producto de la relación fenotípica que presentaron los diversos genotipos de cacao nativo silvestre y cultivado (Figura 18). El conglomerado dos y tres podría haber sido un solo conglomerado según la línea de corte, pero para fines de diferenciación de lagunas variables se decidió separarlos.

**Figura 18: Dendograma obtenido por el agrupamiento jerárquico de WARD de los 56 genotipos de cacao, basado en distancias euclidianas**



Fuente: elaboración propia.

El conglomerado que posee las mejores características relacionado al ámbito productivo es el *conglomerado dos* (color azul) que aglomera a cuatro individuos MSRA-9, MSRA-

4,MSRA-3 y KM5-5, estos dos últimos también estuvieron en el grupo de mejores características productivas de los genotipos de cacao para el año 2017, y el *conglomerado tres* (color amarillo), el cual agrupa a ocho individuos (Figura 18).

Estos 12 genotipos poseen características del ámbito productivo que sobresalen en cuanto a peso, largo y ancho de fruto, así como en el PS de 100 semillas (*conglomerado dos*), al igual que en número de semillas por fruto, peso fresco de semillas por fruto, longitud de la semilla e índice de mazorca (*conglomerado tres*). En relación al AC del año 2017, son 10 de estos 12 genotipos que también estuvieron en este grupo selecto de genotipos con características de alta productividad, con lo cual podemos inferir que el AC para el 2019 ratifica las cualidades productivas que poseen los mismo y que su selección es la adecuada (Tabla 21).

Del *conglomerado cuatro* (color verde) solo resaltamos el índice de semilla, mientras que del *conglomerado uno* (color rojo) que posee 26 individuos, sus características del ámbito productivo son menos influyentes y coincide con el AC del 2017 al mostrar que genotipos de las islas de Baures y aquel nativo de Mojos, específicamente los de San Miguel del Mátire, presentan parámetros menos atractivos en este contexto.

**Tabla 21: Características de los grupos de cacao generados a partir de 56 genotipos del 2019**

Conglomerado	Variables	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
1	Peso fruto (g)	26	188,90	33,74	17,86	99,30	245,30
	Largo fruto (cm)	26	12,14	1,40	11,56	9,25	14,31
	Ancho fruto (cm)	26	6,09	0,37	6,12	5,01	6,87
	Grosor cascara (cm)	26	0,63	0,09	13,58	0,53	0,84
	N° Semilla/fruto	26	25,37	3,47	13,66	18,60	33,60
	Peso fresco semillas/fruto	26	46,37	9,28	20,01	25,45	66,70
	Long semilla (cm)	26	1,72	0,10	6,06	1,48	1,93
	Diámetro semilla (cm)	26	0,92	0,06	6,84	0,80	1,05
	PS 100 semillas (g)	26	62,42	5,64	9,04	55,00	77,00
	IS	26	0,61	0,05	7,51	0,55	0,72
	IM	26	65,50	9,66	14,74	49,00	91,00
	Altura de planta (m)	26	8,89	1,68	18,94	5,00	12,00
	DAP (cm)	26	13,64	4,16	30,52	6,68	23,71
	Humedad suelo (%)	26	56,17	16,38	29,17	20,00	88,00
2	Peso fruto (g)	4	358,63	65,46	18,25	298,50	435,10
	Largo fruto (cm)	4	15,85	1,74	10,97	13,68	17,64
	Ancho fruto (cm)	4	7,62	0,56	7,38	7,13	8,17
	Grosor cascara (cm)	4	1,00	0,10	9,89	0,89	1,13
	N° Semilla/fruto	4	23,13	4,55	19,68	17,60	28,70
	Peso fresco semillas/fruto	4	55,25	9,23	16,70	44,20	66,70
	Long semilla (cm)	4	1,87	0,07	3,63	1,82	1,97
	Diámetro semilla (cm)	4	1,03	0,03	2,63	1,01	1,07
	PS 100 semillas (g)	4	79,00	12,70	16,08	72,00	98,00
	IS	4	0,68	0,05	7,96	0,60	0,72
	IM	4	65,25	9,39	14,40	58,00	79,00
	Altura de planta (m)	4	9,38	3,37	36,00	5,80	12,50
	DAP (cm)	4	14,56	1,58	10,84	12,30	15,93
	Humedad suelo (%)	4	74,42	5,37	7,21	69,33	81,67

3	Peso fruto (g)	8	265,78	48,19	18,13	214,00	337,70	
	Largo fruto (cm)	8	13,69	1,63	11,91	11,69	16,22	
	Ancho fruto (cm)	8	6,91	0,33	4,82	6,44	7,39	
	Grosor cascara (cm)	8	0,67	0,08	12,05	0,60	0,80	
	N° Semilla/fruto	8	30,30	1,94	6,39	27,50	33,90	
	Peso fresco semillas/fruto	8	67,80	4,93	7,27	62,10	74,00	
	Long semilla (cm)	8	1,98	0,17	8,55	1,78	2,30	
	Diámetro semilla (cm)	8	0,97	0,06	6,43	0,87	1,06	
	PS 100 semillas (g)	8	76,00	7,58	9,97	63,00	88,00	
	IS	8	0,72	0,05	7,57	0,63	0,80	
	IM	8	45,88	2,59	5,64	42,00	49,00	
	Altura de planta (m)	8	8,91	2,20	24,70	4,50	12,00	
	DAP (cm)	8	17,89	5,96	33,31	13,00	30,50	
	Humedad suelo (%)	8	49,42	9,35	18,91	35,00	59,67	
	4	Peso fruto (g)	18	197,31	36,40	18,45	131,80	260,00
		Largo fruto (cm)	18	11,88	1,32	11,15	9,83	14,44
		Ancho fruto (cm)	18	6,35	0,47	7,34	5,23	7,04
Grosor cascara (cm)		18	0,72	0,10	14,47	0,55	0,95	
N° Semilla/fruto		18	18,75	4,15	22,15	11,60	25,90	
Peso fresco semillas/fruto		18	37,05	7,94	21,44	23,20	49,80	
Long semilla (cm)		18	1,94	0,13	6,79	1,70	2,18	
Diámetro semilla (cm)		18	1,12	0,31	27,51	0,86	1,94	
PS 100 semillas (g)		18	76,72	6,99	9,11	65,00	96,00	
IS		18	0,73	0,07	9,39	0,60	0,92	
IM		18	74,39	15,18	20,41	53,00	99,00	
Altura de planta (m)		18	7,88	1,72	21,78	4,50	12,00	
DAP (cm)		18	16,89	11,62	68,82	8,57	60,30	
Humedad suelo (%)		18	63,72	13,46	21,12	25,00	86,67	

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, la Tabla 22 muestra los resultados del análisis de varianza realizado en función a las 14 variables seleccionadas contribuyeron a la diferenciación y separación de grupos de individuos en conglomerados. La prueba de medias de Duncan delevó que no hubo separación tan solo en las variables altura de planta y DAP, en el resto de las variables se pudo hacer una disociación entre conglomerados.

**Tabla 22: Análisis de varianza para 14 variables de los cuatro grupos de conglomerados de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en la Amazonía boliviana - 2019**

Variables	Medias				p-valor
	Conglomerado 1	Conglomerado 2	Conglomerado 3	Conglomerado 4	
Peso fruto (g)	188,90 a	358,63 c	265,78 b	197,31 a	0,0001
Largo fruto (cm)	12,14 a	15,85 c	13,69 b	11,88 a	0,0001
Ancho fruto (cm)	6,09 a	7,62 c	6,91 b	6,35 a	0,0001
Grosor cascara (cm)	0,63 a	1,00 b	0,67 a	0,72 a	0,0001
N° Semilla/fruto	25,37 b	23,13 b	30,30 c	18,75 a	0,0001
Peso fresco semillas/fruto	46,37 b	55,25 c	67,80 d	37,05 a	0,0001
Long semilla (cm)	1,72 a	1,87 b	1,98 b	1,94 b	0,0001
Diámetro semilla (cm)	0,92 a	1,03 a, b	0,97 a, b	1,12 a	0,0100
PS 100 semillas (g)	62,42 a	79,00 b	76,00 b	76,72 b	0,0001
IS	0,61 a	0,68 b	0,72 b	0,73 b	0,0001

IM	65,50 b	65,25 b	45,88 a	74,39 b	0,0001
Altura de planta (m)	8,89 a	9,38 a	8,91 a	7,88 a	0,2679
DAP (cm)	13,64 a	14,56 a	17,89 a	16,89 a	0,4000
Humedad suelo (%)	56,17 a	74,42 b	49,42 a	63,72 a, b	0,0155

Fuente:elaboración propia.

Nota: medias con letras distintas en una fila, son significativamente diferentes (Duncan,  $p \leq 0,05$ ).

Tanto el Análisis de Componentes Principales, el Análisis de Conglomerados y el Análisis de Varianza nos permiten inferir tanto en la *hipótesis I*, *hipótesis II* e *hipótesis III* planteadas en este trabajo. Con respecto a la primera, es evidente que existen diferencias estadísticas significativas entre las variables de los diferentes genotipos de cacao en los diferentes municipios tanto del ámbito morfológico como del agronómico los que nos lleva a rechazar esta hipótesis que indicaba lo contrario.

Respecto a la segunda hipótesis, la cual plantea que todas las variables morfoagronómicas son igual de significativas estadísticamente e influyentes en las cualidades del aspecto productivo, la rechazamos dado que podemos afirmar que son 14 las variables que tienen una relación fuerte en determinar genotipos de alta calidad productiva y que se diferencian en grupos de conglomerados.

Concerniente a la tercera hipótesis que planteó que todos los genotipos de cacao silvestre y cultivado son genotipos sobresalientes según sus características productivas, la rechazamos y podemos indicar que, de la población de 90 genotipos en grupos de conglomerados, un grupo de hasta 26 genotipos son sobresalientes y otro de hasta 39 genotipos es secundariamente sobresaliente, siendo el resto de los genotipos menos atractivo según sus cualidades productivas.

#### 4.2.4. Índices agronómicos de semilla y de mazorca

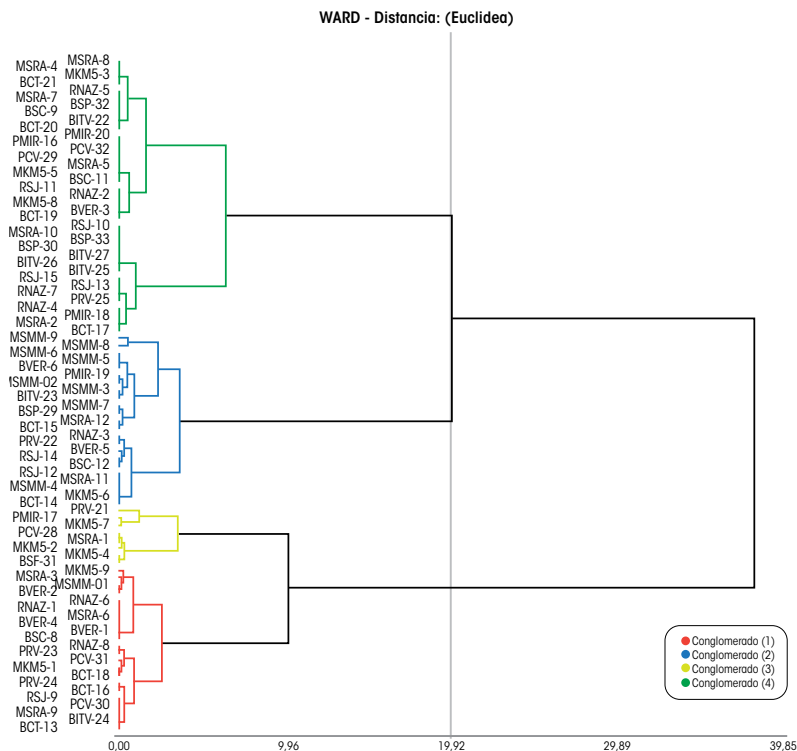
El índice de semilla y el índice de mazorca variaron en una y otra medida según los genotipos evaluados.

##### a) Índice de semilla

De acuerdo al análisis de conglomerados utilizando el método de Ward se pueden describir cuatro grupos de individuos que están diferenciados por los valores de índice de semilla. Los conglomerados generados están separados por una distancia euclidiana de 9,96. Según la línea de corte a una distancia de 19,92 el conglomerado uno y tres podrían conformar uno solo (Figura 19).



**Figura 19: Dendrograma de 90 genotipos de cacao en función al índice de semilla evaluado para el 2017**



Fuente: elaboración propia

Para este análisis del año 2017, determinamos que el conglomerado tres (color amarillo) conformados por ocho individuos presentan un IM promedio de 0,85 gramos, seguido del conglomerado uno (color rojo) que aglomera 22 individuos con una media de 0,73 gramos. Los conglomerados dos y cuatro son los que menor IS en promedio alcanzaron, 0,55 y 0,65 respectivamente, y entre ambos abarcan 60 de los genotipos evaluados. En general, todos los conglomerados presentaron bajos coeficientes de variación que dan más fiabilidad al análisis realizado (Tabla 23).

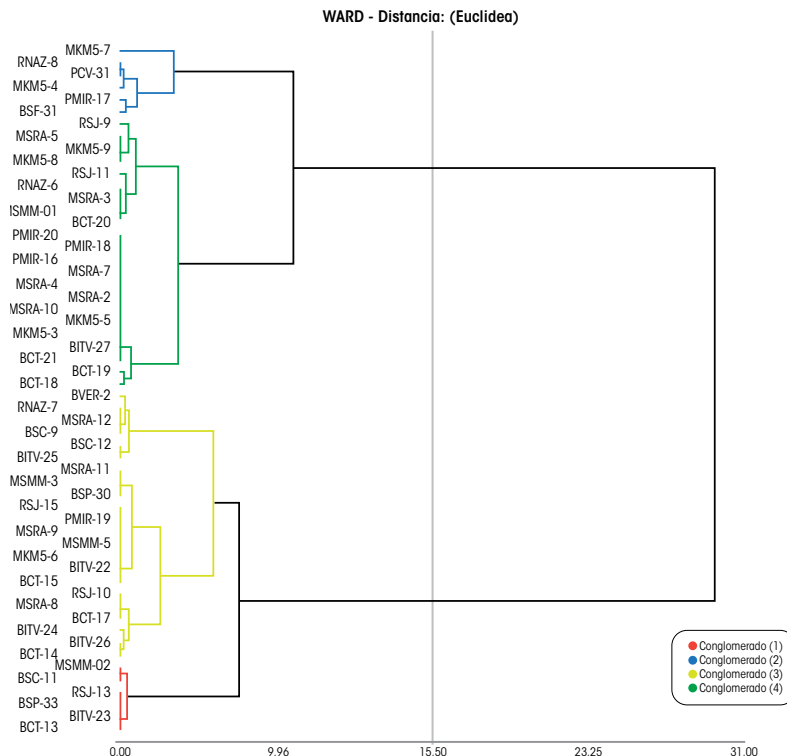
**Tabla 23: Descripción del índice de semilla con base al análisis de conglomerados para 90 genotipos en 2017**

Conglomerado	Variabes	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
1	IS	22	0,73	0,02	2,85	0,69	0,77
2	IS	23	0,55	0,04	6,93	0,43	0,60
3	IS	8	0,85	0,06	7,46	0,80	0,98
4	IS	37	0,65	0,02	3,69	0,61	0,68

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, en el análisis de conglomerado del año 2019 con solo 56 genotipos de cacao, se pudo conformar cuatro grupos de individuos. Al igual que en el análisis del 2017, se conformaron dos grupos con mayores índices de semilla, el conglomerado dos con seis individuos con una media de 0,81 gramos y el conglomerado cuatro con 22 individuos con media de 0,71 gramos de IS (Figura 20) (Tabla 24).

**Figura 20: Dendrograma de 56 genotipos de cacao en función al índice de semilla evaluado para el 2019**



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 24: Descripción del índice de semilla con base al análisis de conglomerados para 56 genotipos en 2019**

Conglomerado	Variabes	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
1	IS	6	0,56	0,01	0,93	0,55	0,56
2	IS	6	0,81	0,06	6,9	0,77	0,92
3	IS	22	0,62	0,03	4,3	0,59	0,67
4	IS	22	0,71	0,02	2,3	0,68	0,75

Fuente: elaboración propia.

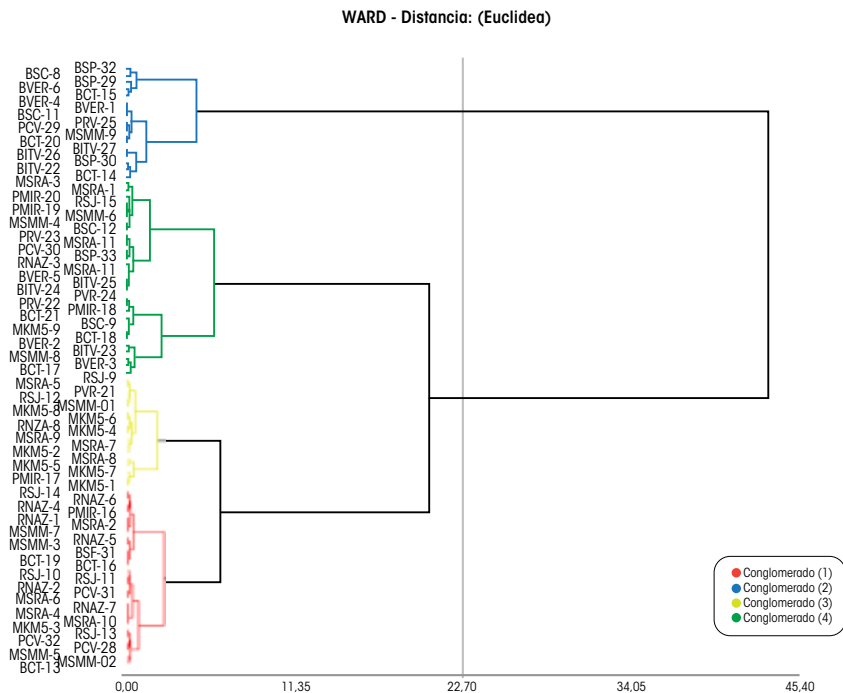
Tanto en el análisis del 2017 y 2019, se conformaron dos conglomerados principales con los mayores índices de semilla, y aunque no se pudo repetir la evaluación para todos los individuos entre un año y otro, es notable el número de genotipos que repiten su características de poseer un alto nivel de IS en relación a los demás entre los que destacan entre un año y otro: BCT-18, BSF-31, MSRA-3, MKM5-7, MKM5-9, MSMM-01, RNAZ-6, RNAZ-8, RSJ-9, PMIR-17 y PCV-31 entre algunos los cuales se pueden verificar en los conglomerados generados de las Figuras 20 y 21.

Por lo general, el cacao nativo amazónico silvestre y cultivado presentan semillas pequeñas y tienen un efecto en la obtención del IS, en relación por ejemplo a otros tipos de cacao híbridos. Al respecto, Estivarez (2020) y Estivarez y Maldonado (2019), utilizando el AC reportaron un IS con promedio de 0,91 gramos para el mejor conglomerado identificado, con un rango de aceptabilidad de 0,83 a 1,10 gramos para árboles élites, valores que tienen relación con el IS de 0,85 en promedio para el mejor conglomerado de presente estudio. No obstante, hay que tomar en cuenta que el estudio de Estivarez y Maldonado fue realizado en la estación experimental de Sapecho, bajo condiciones más controladas que, por ejemplo, el cacao en estado silvestre del presente trabajo.

#### **b) Índice de mazorca**

En análisis de conglomerados permitió generar cuatro grupos con base en el índice de mazorca con una distancia euclidiana de 11,35. El conglomerado tres (17 individuos) y el conglomerado uno (27 individuos) son aquellos que menores índices de mazorca presentan (Figura 21) (Tabla 25).

**Figura 21: Dendrograma de 90 genotipos de cacao en función al índice de mazorca evaluado para el 2017**



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 25: Descripción del índice de mazorca con base al análisis de conglomerados para 90 genotipos en 2017**

Conglomerado	Variables	n	Media	D.E.	CV	Mín	Má
1	IM	27	53,96	4,09	7,58	48	60
2	IM	17	124,18	13,59	10,94	111	152
3	IM	17	39,82	5,29	13,29	30	46
4	IM	29	77,24	11,99	15,53	62	105

Fuente: elaboración propia.

Sobre todo, el conglomerado tres reporta los índices de mazorca con individuos que necesitan entre 30 y 46 mazorcas de cacao necesarias para obtener un kilogramo de granos de cacao fermentado y seco; seguidamente el conglomerado uno reporta el menor coeficiente de variación entre los grupos y requiere entre 48 y 60 mazorcas para un kilogramo seco.

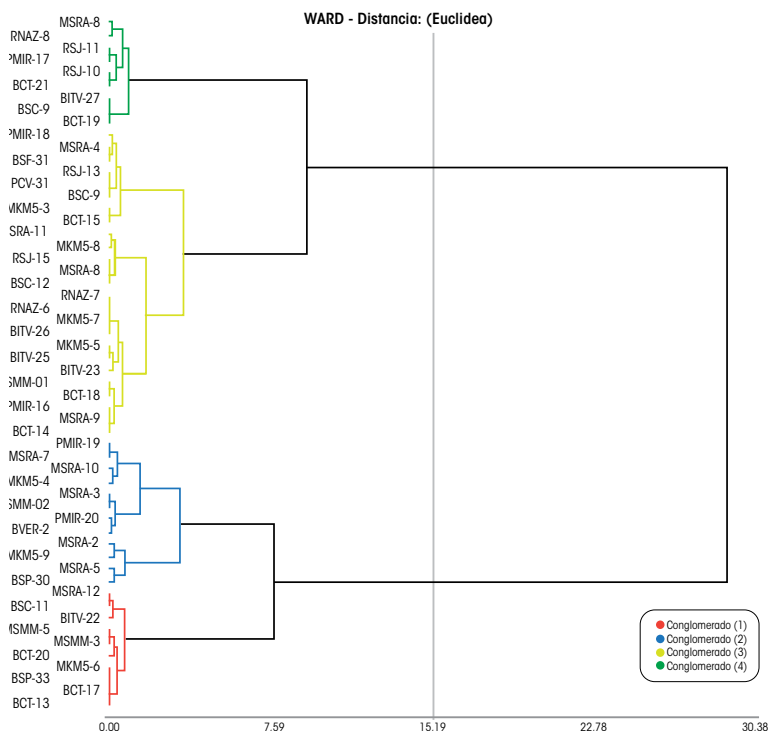
Por otro lado, el análisis de conglomerado para los 56 genotipos remedidos en el año 2019, generó 4 conglomerados con una distancia euclidiana de 7,59. Los grupos de conglomerados tres y cuatro reportaron menores promedios en cuanto al número de mazorcas de cacao necesarias para generar un kilogramo de cacao fermentado y seco. Entre estos dos conglomerados suman un total de 31 individuos más sobresaliente (Tabla 26) (Figura 22).

**Tabla 26: Descripción del índice de mazorca con base al análisis de conglomerados para 56 genotipos en 2019**

Conglomerado	Variables	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
1	IM	10	72,2	1,75	2,43	69	75
2	IM	12	86,83	6,89	7,93	79	99
3	IM	25	59,6	3,73	6,26	53	66
4	IM	9	46,22	2,64	5,7	42	49

Fuente: elaboración propia.

**Figura 22: Dendrograma de 56 genotipos de cacao en función al índice de mazorca evaluado para el 2019**



Fuente: elaboración propia.

Tanto el análisis de conglomerado para el 2017 y 2019, permiten verificar que un cierto número importante de genotipos de cacao presentan índices de mazorca con un menor requerimiento de frutos. Los genotipos BCT-19, BSF-31, MKM5-3, MKM5-5, MKM5-7, MKM5-8, MKM-01, RNAZ-6, RNAZ-7, RNAZ-8, RSJ-9, RSJ-10, RSJ-11, RSJ-13, PMIR-16, PMIR-17, PCV-31, son algunos genotipos que en ambos años muestran IM menores en relación a otros individuos evaluados, pero considerando que algunos no pudieron ser evaluados en 2019.

En otra investigación como el de Estivares (2020), utilizando el AC pudo agrupar hasta 48 individuos con IM de 54,96 en promedio, y este trabajo, se reportan un promedio de los mejores conglomerados de los análisis del 2017 y 2019 con menor IM entre 39,82 y 46,22.

### **c) Relación índice de mazorca e índice de semilla**

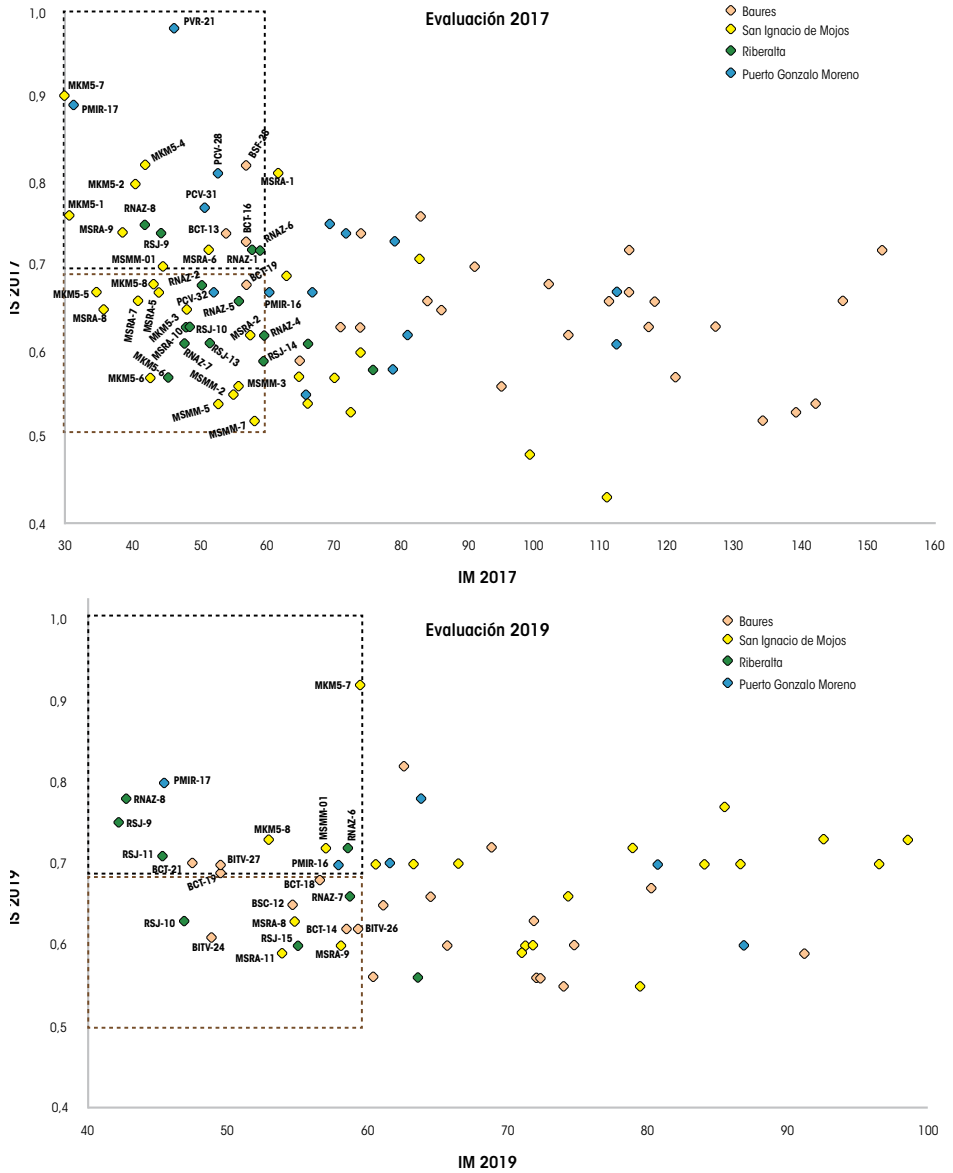
En los análisis de conglomerados realizados previamente pudimos distinguir grupos de conglomerados que nos permiten tomar en cuenta los genotipos más sobresalientes en cuanto al IS e IM. En este análisis de relación IS-IM conjunta, en la Figura 23 podemos evidenciar cuales son los genotipos de cacao entre 2017 y 2019 que poseen más de una de esas cualidades productivas.

En la evaluación del 2017 de la Figura 23, podemos observar en el recuadro punteado en color negro a los genotipos de cacao que poseen altos índices de semilla y valores bajos en cuanto al índice de mazorca, como por ejemplo MKM5-7, PMIR-17, PRV-21 entre algunos. Sin embargo, existen otros genotipos que tienen un IM con valores menores, ideal para obtener mayor productividad dado el alto número de semillas por fruto, no obstante, los IS también son bajos (recuadro color naranja), fenómeno relacionado al peso en seco de las semillas (Figura 23).

Tanto para el análisis del 2017 y 2019, los genotipos que se localizaron en este grupo selecto por presentar IS e IM interesantes fueron: PMIR-27, MKM5-7, RNAZ-8, RNAZ-6, RSJ-9, MSMM-01, BCT-19, MSRA-8, entre algunos, tomando en cuenta que para el 2019 solo se logró reevaluar 56 genotipos de los 90.

Una vez evaluado el IS, IM y su relación, podemos indicar que rechazamos la hipótesis IV planteada en esta investigación indicando que estos índices agronómicos difieren entre sí de tal forma que conforman diferentes conglomerados que demuestra las diferencias de la calidad productiva de los diferentes genotipos.

Figura 23: Relación del IS e IM de genotipos de cacao evaluados durante 2017 y 2019



Fuente: elaboración propia.

### 4.3 Criterios para la selección de plantas madres elite de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado

De acuerdo a los análisis realizados para el año 2017 y 2019, los resultados nos indican la diversidad fenotípica y genética de los diferentes genotipos evaluados. En el presente trabajo consideramos importante tomar en cuenta ciertas variables para la selección de plantas madres elite de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en función del número de semillas por mazorca, peso de los frutos, IM, IS y la relación IS-IM. (Tabla 27).

Estas variables consideradas en selección de plantas elites de cacao están de acuerdo a la varianza total de las mismas y representan el mayor porcentaje sobre todo en el competente principal uno y dos reportado previamente. Además, son representativas para los cuatro municipios evaluadas de la Amazonía, tomando en cuenta por ejemplo que los promedios según variables pueden ser menores en Baures y mayores en San Ignacio de Mojos, Riberalta y Puerto Gonzalo Moreno.

En primer lugar, se recomienda que el *peso del fruto*, el cual tiene correlación alta con el ancho y largo del fruto, según los análisis previos, sea de 214 gramos como mínimo. En ese sentido, de los 90 genotipos evaluados en 2017, 43 de ellos superan este criterio de selección, mientras que 24 superaron en la evaluación de 56 genotipos del 2019 (Tabla 27).

**Tabla 27: Criterios de selección para plantas elites de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en la Amazonía boliviana**

Conglomerado	Variabes
Peso fruto (g)	Mayor a 214 gramos
N° Semilla/fruto	Mayor a 27 semillas
Peso fresco semillas/fruto	Mayor a 48 gramos
IS	Mayor a 0,71 gramos
IM	Mayor a 30 y menor a 60 mazorcas
Relación IS-IM	Con alto IS y bajo IM o alguna de ellas que sea sobresaliente*

Fuente: elaboración propia.

Nota: (\*) No es una división, sino, tanto el IS e IM nos dan altas probabilidades de seleccionar plantas elites y los resultados podrían seguir siendo parametrizados en otros estudios con este tipo de cacao.

El *número de semillas por frutos* debería ser mayor a 27 semillas mínimamente, para lo cual tanto en el 2017 y 2019 al menos 18 individuos del conglomerado que mostró mayores promedios fueron considerados, pudiendo ampliarse en número de individuos si bajamos el requerimiento mínimo a 21 semillas por fruto o mazorca (Tabla 28).



**Tabla 28: Número de semillas por fruto para la selección de plantas élites de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado**

Evaluación 2017							
Conglomerado	Variables	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
1	Nº Semilla/Fruto	32	24,00	1,66	6,90	21,50	27,00
2	Nº Semilla/Fruto	21	13,75	1,56	11,32	10,40	16,00
3	Nº Semilla/Fruto	18	31,36	3,47	11,08	27,60	38,70
4	Nº Semilla/Fruto	19	18,86	0,98	5,21	16,90	20,70
Evaluación 2019							
1	Nº Semilla/Fruto	21	23,96	1,26	5,27	21,5	26
2	Nº Semilla/Fruto	18	29,72	1,91	6,42	27,2	33,9
3	Nº Semilla/Fruto	5	14,06	1,46	10,35	11,6	15,2
4	Nº Semilla/Fruto	12	18,64	1,28	6,88	16,5	20,4

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, el *peso fresco de semillas por fruto* debería ser mayor a 48 gramos entre los cuales, 36 individuos de los 90 del año 2017 superarán este requerimiento, mientras que 17 lo hicieron para el año 2019 (Tabla 29).

**Tabla 29: Peso fresco de semillas por fruto para la selección de plantas élites de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado**

Evaluación 2017							
Conglomerado	Variables	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
1	Peso fresco semillas/fruto	28	55,48	3,79	6,83	48,7	62,5
2	Peso fresco semillas/fruto	8	79,78	13,35	16,73	67,9	110
3	Peso fresco semillas/fruto	19	25,82	3,74	14,48	18,1	31,2
4	Peso fresco semillas/fruto	35	40,23	3,88	9,64	32,7	46,5
Evaluación 2019							
1	Peso fresco semillas/fruto	11	67,34	4,23	6,28	62,1	74
2	Peso fresco semillas/fruto	6	54,83	0,76	1,39	54	56,1
3	Peso fresco semillas/fruto	22	46,03	2,65	5,76	42	51
4	Peso fresco semillas/fruto	17	32,56	4,78	14,69	23,2	38,7

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al *índice de semilla*, análisis presentados previamente indican que este debería ser mayor a 0,71 gramos para realizarle seguimiento, lo cual, 28 individuos en 2017 y 30 en 2019 superan este criterio. Asimismo, el *índice de mazorca* podría ser mayor a 30 y menor a 60 mazorcas dado que en ese límite se pudieron identificar genotipos con potencial productivo. Hay que considerar que 65 de 90 genotipos en este análisis corresponden a cacao en su estado silvestre y apenas 25 individuos son de SAF, lo cual tiene influencia en el establecimiento de estos parámetros.

En cuando a la relación IS e IM, a la hora de selección de plantas madres élites de cacao, es importante relacionar estos dos índices ya que, en algunos casos, varios genotipos alcanzan valores interesantes, sin embargo, en otros casos los genotipos pueden presentar un potencial interesante en un índice más que en otro. En tal

sentido, es importante hacer seguimiento, monitoreo y evaluación de estos índices para lograr detectar el momento de estabilidad en términos productivos.

#### 4.4 Comparación de variables agronómicas y morfológicas cuantitativas entre 2017 y 2019

##### 4.4.1. Análisis de Signos de Wilcoxon y t de Student

Este análisis se aplicó a 10 variables morfológicas, agronómicas identificadas como potenciales en el ámbito productivo tales como aquellas de caracterización de los frutos y semillas, así como el IS e IM, las cuales están sobre todo entre las características que aportaron a la mayor variabilidad del primer y segundo componente en el ACP previamente descrito.

Cuatro variables presentaron datos con una distribución normal (largo y ancho del fruto, número de semillas por fruto y longitud de semilla) a las cuales se le realizaron análisis de t de Student, mientras que a las seis variables restantes que no presentaron una distribución normal de los datos ya sea en 2017 y/o 2019, se le aplicó la prueba de Signos de Wilcoxon (Tabla 30).

**Tabla 30: Resultados de la prueba de normalidad de datos de las variables analizadas**

Variable	p-valor bilateral 2017	p-valor bilateral 2019
Peso fruto (g)	0,012	0,000
Largo fruto (cm)	0,530	0,305
Ancho fruto (cm)	0,317	0,084
Grosor cascara (cm)	0,000	0,000
N° Semilla/fruto	0,525	0,451
Peso fresco semillas/fruto	0,001	0,384
Long semilla (cm)	0,699	0,664
PS 100 semillas (g)	0,005	0,051
IS	0,013	0,051
IM	0,000	0,160

Fuente: elaboración propia.

Nota: los residuos no siguen una distribución normal (Shapiro-Wilk,  $p \leq 0,05$ ); los residuos siguen una distribución normal (Shapiro-Wilk,  $p \geq 0,05$ ).

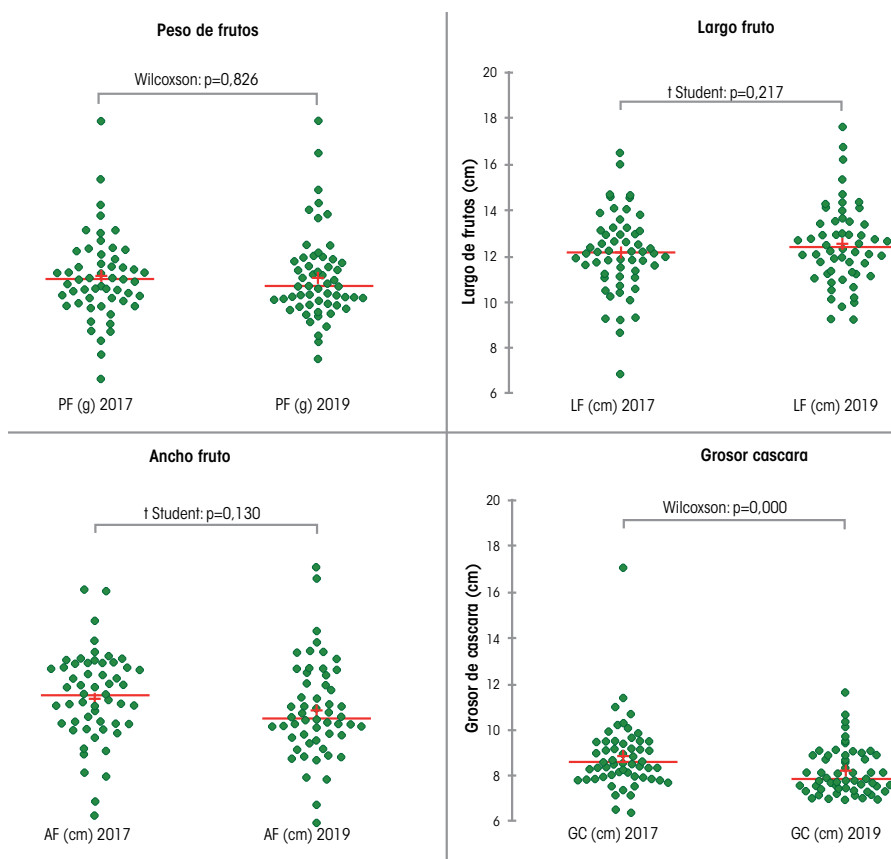
##### a) Frutos: peso, largo, ancho y grosor de cascara

Para este grupo de variables relacionadas a las características morfológicas del fruto, tanto el peso, largo y ancho de frutos no presentaron diferencias estadísticas significativas entre los años 2017 y 2019. Sin embargo, el grosor de la cascara del fruto presentó diferencias significativas, siendo la media general para el 2017 de 0,77 cm y de 0,69 para el 2019 (Figura 24).

No obstante, estas diferencias del grosor de cascara no tiene una inferencia sobre la variable del largo del fruto y tan solo una correlación moderada con el peso y ancho del fruto, tal como se pudo observar anteriormente en la tabla sobre correlación de Pearson.

Por otro lado, la baja desviación típica entre un año y otro que existe entre las variables de peso, largo y ancho de frutos de los genotipos evaluados nos indican que existe una alta probabilidad que esas sean sus características morfológicas innatas, lo cual nos da mayor seguridad al momento de elegir genotipos con las mejores características productivas, como se lo hizo en el ACP y de conglomerados.

**Figura 24: Comparación de variables morfológicas asociadas al fruto entre 2017 y 2019**



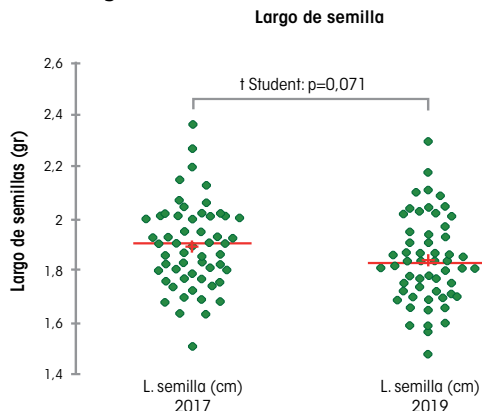
Fuente: elaboración propia.

Nota: los p-valores menores al nivel de significancia 0,05 presentan diferencias estadísticas significativas (t Student,  $p \leq 0,05$  y Wilcoxon,  $p \leq 0,05$ ).

### b) Largo de semilla, número de semillas y peso fresco de semillas por fruto

Para el caso del largo de las semillas, la prueba t de Student indica que las diferencias entre las medias del 2017 y 2019 son estadísticamente iguales, por lo que se ratifica que las características de esta variable para 56 genotipos de cacao monitoreados muestran esta característica inherente de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado (Figura 25).

Figura 25: Comparación del largo de las semillas del cacao nativo amazónico entre 2017 y 2019

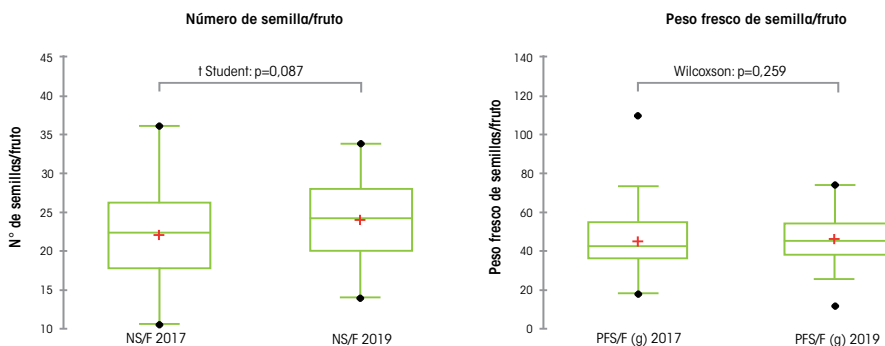


Fuente: elaboración propia

Nota: p-valor menor al nivel de significancia 0,05 presentan diferencias estadísticas significativas (t Student,  $p \leq 0,05$ ).

En cuanto al número de semillas y el peso fresco de las semillas por fruto, estas características tampoco presentaron diferencias estadísticas significativas entre un periodo y otro. Aunque estas variables presentan medias ligeramente más altas para el año 2019 la desviación típica en reducida (Figura 26).

Figura 26: Comparación entre el número de semillas y peso fresco de semillas por fruto entre 2017 y 2019



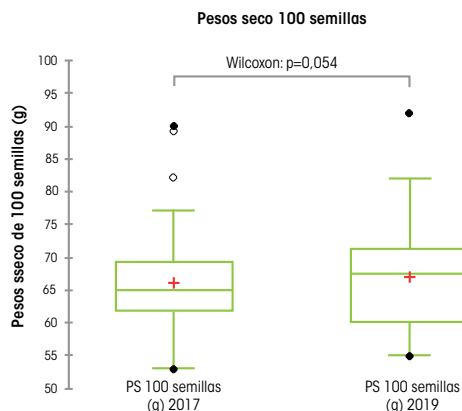
Fuente: elaboración propia

Nota: los p-valores menores al nivel de significancia 0,05 presentan diferencias estadísticas significativas (t Student,  $p \leq 0,05$  y Wilcoxon,  $p \leq 0,05$ ).

### c) Peso seco de 100 semillas, IS e IM

Para el caso del peso seco de 100 semillas que tiene influencia directa en el índice de semilla y mazorca, esta variable no presenta diferencias estadísticas significativas, aunque la media es ligeramente mayor para la medición del año 2019 en relación al 2017 (Figura 27), pero con una desviación típica menor (Tabla 31). Asimismo, los casos atípicos de un mayor y menor peso seco de las semillas se mantuvieron como se puede ver por arriba o debajo de la media (puntos negros).

Figura 27: Comparación del peso seco de 100 semillas de cacao entre 2017 y 2019



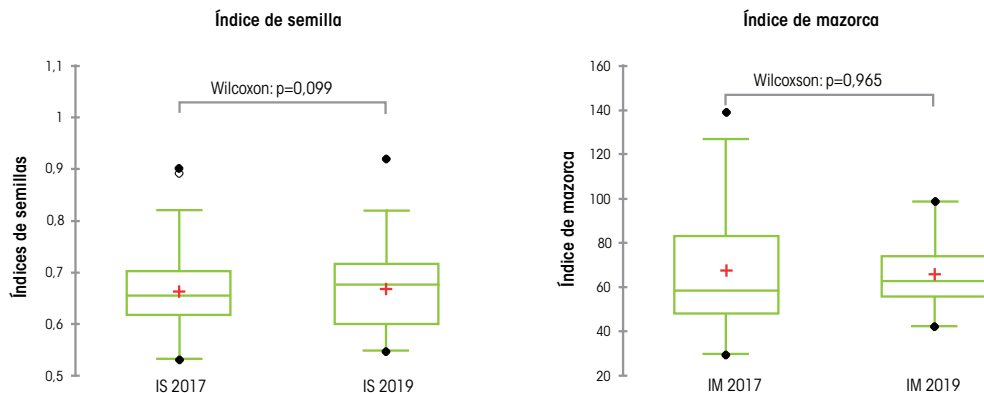
Fuente: elaboración propia

Nota: los p-valores menores al nivel de significancia 0,05 presentan diferencias estadísticas significativas (Wilcoxon,  $p \leq 0,05$ ).

Por su parte, el índice de semilla al ser dependiente del peso de las 100 semillas, tiene un patrón parecido en cuanto a media y desviación estándar en valores proporcionales, y tampoco presenta diferencias estadísticas significativas entre un periodo y otro. La media está en torno a los 0,66 a 0,67 para el 2017 y 2019 respectivamente, lo cual es típico para el caso del cacao silvestre al tener mazorcas y semillas más pequeñas que otros genotipos de cacao como los híbridos (Tabla 31).

En cuanto al índice de mazorca, existen genotipos que presentaron valores mínimos entre 30 y 42 mazorcas, pero también en caso atípico hasta más de 100 mazorcas, sobre todo para el año 2019, los valores mostraron tener una distribución más agregada o menor desviación típica entre los valores de los diferentes genotipos analizados (Tabla 31). Con todo ello, no existieron diferencias estadísticas significativas respecto al índice de mazorca de los genotipos de cacao entre 2017 y 2019 (Figura 28).

**Figura 28: Comparación del IS e IM entre 2017 y 2019**



Fuente: elaboración propia

Nota: los p-valores menores al nivel de significancia 0,05 presentan diferencias estadísticas significativas (Wilcoxon,  $p \leq 0,05$ ).

En la Tabla 31 se puede apreciar las medidas y valores mínimos y máximos, así como la desviación típica de 56 genotipos de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado evaluados.

**Tabla 31: Medias y desviación típica de variables peso seco de 100 semillas, IS e IM entre 2017 y 2019**

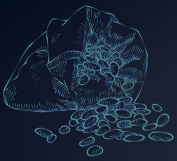
Variable	Observaciones	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
PS 100 semillas (g) 2017	56	56	53,000	90,000	66,036	8,050
PS 100 semillas (g) 2019	56	56	55,000	92,000	66,911	7,633
IS 2017	56	56	0,530	0,900	0,661	0,082
IS 2019	56	56	0,550	0,920	0,669	0,076
IM 2017	56	56	30,030	139,000	67,620	27,819
IM 2019	56	56	42,194	98,551	65,505	14,115

Fuente: elaboración propia.

Todo el análisis realizado en términos comparativos entre los promedios de las diferentes variables entre 2017 y 2019, nos permiten entender mejor el comportamiento de este tipo de cacao nativo, por lo que es importante seguir indagando en su comportamiento morfológico y agronómico.

De esta manera, una vez comparada las variables agronómicas y morfológicas cuantitativas entre 2017 y 2019, aceptamos la hipótesis V del presente trabajo indicando que no hay diferencias estadísticas significativas entre los genotipos de cacao nativo en dos años diferentes considerando las variables más representativas en el ámbito productivo; esto a excepción de la variable del grosor de cáscara que sí presentó diferencias estadísticas significativas, situación que requiere profundización en su evaluación.





# 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



*Granos de cacao en proceso de secado en la comunidad San Miguel del Mátire, municipio San Ignacio de Mojos. Foto: CIPCA.*





## 5.1 Conclusiones

Las conclusiones de la presente investigación se refieren a las potencialidades cualitativas y cuantitativas del cacao nativo amazónico silvestre y cultivado de la Amazonía boliviana y son las siguientes:

- En el aspecto cualitativo, el cacao nativo amazónico silvestre y cultivado evaluado tiene la particularidad de estar en un segundo nivel del estrato arbóreo, es decir, por lo general están en la parte superior de la copa, están expuestas a la luz vertical, pero está adyacente a otras copas de igual o mayor tamaño, los frutos predominantemente tienen forma angoleta y amelonado, con semillas elípticas y oblongas de color morado, cuyos brotes terminales de las hojas son por lo general de color rojo intermedio, rojo intenso y rosado claro.
- Las características cualitativas de las flores de este tipo de cacao son particulares tendiendo a que la mayoría de los genotipos posee ausencia de antocianina en el pedicelo (66%), sépalo (98,90%), lígula (93,50%), filamento (69,90%) y ovario (97%), mientras que la antocianina de los estaminoides es totalmente del nivel intermedio y el estilo carece de este elemento.
- Las variables morfológicas cuantitativas de las flores de cacao presentaron valores bajos en cuanto al coeficiente de variación lo que indica baja variabilidad entre las selecciones de flores evaluadas, es decir, las desviaciones de los datos registrados con respecto a la media tanto para el pedicelo, sépalo, lígula, filamento, estaminoide, estilo, y ovario, son bajos y poseen una tendencia para este tipo de cacao por lo que las medidas presentan baja variabilidad.
- El análisis de coeficientes de correlación tanto para la evaluación de los genotipos de cacao tanto para el 2017 y su remediación en 2019 nos indican que las variables morfológicas de frutos y semillas, seguido de las variables agronómicas como el IS e IM son de primer orden para el análisis de competentes principales.
- Fueron necesarios cuatro componentes principales para representar el 72% y 75% de la varianza total de las variables para los años 2017 y 2019 respectivamente, lo cual permitió identificar variables que están vinculadas al potencial productivo de genotipos de cacao evaluados, ratificándose en dos

gestiones diferentes lo cual nos da una mayor certeza de los procedimientos realizados para el logro de este proceso.

- En sí, de las 58 variables para caracterizar tanto morfológica como agrónomicamente, así como del contexto ambiental de los genotipos de cacao, se determinó que 14 variables cuantitativas tuvieron una mayor influencia directa en la identificación de aquellos con cualidades productivas sobresalientes: peso, largo y ancho del fruto, grosor de cascara, número de semillas por fruto, peso fresco de las semillas por fruto, longitud y diámetro de la semilla, peso seco de 100 semillas secas, índice de semilla, índice de mazorca, altura de la planta, diámetro a la altura del pecho y humedad del suelo.
- El análisis de conglomerado tanto para el 2017 y 2019 permitió identificar 26 individuos considerados genotipos de élite con cualidades productivas sobresalientes que representa el 28,88% de los genotipos evaluados. Asimismo, se logró determinar un segundo grupo entre 18 y 39 individuos como opcionales en cuanto a sus cualidades productivas, las mismas a las que también se podría hacer seguimiento y utilización del material vegetal.
- Los genotipos de cacao sobresalientes según sus cualidades productivas en torno a las 14 variables cuantitativas representativas según ACP y AC en los años 2017 y 2019 fueron: PMIR-17, PRV-21, PRV-23, PCV-31, PCV-28, MKM5-5, MKM5-4, MKM5-2, MKM5-1, MKM5-7, MSRA-9, MSRA-6, MSRA-5, MSRA-4, MSRA-3, MSRA-1, RSJ-11, RSJ-10, RSJ-9, RNAZ-8, RNAZ-6, BSF-31, BITV-27, BCT-21, BCT-19 y BCT-18; siendo el 50% de cacao en estado silvestre y el restante de SAF.
- Los genotipos de cacao que obtuvieron mayor promedio en índice de semilla tanto para el 2017 (>0,85 gr) como para el 2019 (>9.81 gr) fueron: PRV-21, PMIR-17, MKM5-7, PCV-28, MSRA-1, MKM5-2, MKM5-4, BSF-31, NAZ-8 y PCV-31.
- Los genotipos de cacao con menor índice de mazorca para la producción de un kilogramo de cacao seco, en promedio fueron: RSJ-9, MSRA-5, PVR-21, RSJ-12, RSJ-11, RSJ-10, MSMM-01, MKM5-8, MKM5-6, RNAZ-8, MKM5-4, MSRA-9, MSRA-7, MKM5-2, MSRA-8, MKM5-5, MKM5-7, PMIR-17, MKM5-1, BCT-21, BITV-27, BITV-24, BCT-19.
- En cuanto a la relación del índice de semilla e índice de mazorca, para el análisis del 2017 y 2019, los genotipos que sobresalen por presentar altos IS e bajo IM

fueron: PMIR-27, MKM5-7, RNAZ-8, RNAZ-6, RSJ-9, MSMM-01, BCT-19, MSRA-8, entre algunos, tomando en cuenta que para el 2019 solo se logró reevaluaron 56 genotipos de los 90 del 2017.

- En cuanto a los criterios para la selección de plantas madres en función de los hallazgos en el presente trabajo se propone: que el peso promedio de los frutos sea mayor a 214 gramos, el número de semillas por mazorca debería ser mayor a 27, el peso fresco de las semillas también debería ser mayor a 48 gramos; en cuanto al índice de semilla, este tendría que ser mayor a 0,71 gramos con un índice de mazorca mayor a 30 y menor a 60 mazorcas. Asimismo, la relación IS e IM debería ser sobresaliente en ambos o al menos en uno de los índices.
- No existieron diferencias estadísticas significativas entre los genotipos de cacao nativo en dos años diferentes de evaluación para las variables peso, largo y ancho de fruto, número de semillas por fruto, peso fresco de las semillas por fruto, longitud de la semilla, peso seco de 100 semillas, IS e IM, las cuales son las variables más representativas en el ámbito productivo; esto a excepción de la variable del grosor de cáscara sí presentó diferencias estadísticas significativas, situación que requiere profundización en su evaluación.

Finalmente, según los objetivos e *hipótesis* planteados, este trabajo nos permite inferir en cada una de ellas.

Con respecto a la primera hipótesis, concluimos que sí existen diferencias estadísticas significativas entre las variables de los diferentes genotipos de cacao en los diferentes municipios tanto del ámbito morfológico como del agronómico los que nos lleva a rechazar esta hipótesis que indicaba que todas las plantas evaluadas son similares.

En relación a la segunda hipótesis, la cual plantea que todas las variables morfoagronómicas son igual de significativas estadísticamente e influyentes en las cualidades del aspecto productivo, la rechazamos dado que podemos afirmar que son 14 las variables que tienen una relación fuerte en determinar genotipos de alta calidad productiva y que se diferencian en grupos de conglomerados.

Concerniente a la tercera hipótesis, en la cual se planteó que todos los genotipos de cacao silvestre y cultivado son genotipos sobresalientes según sus características productivas, la rechazamos y podemos indicar que de la población de 90 genotipos que conforman cuatro grupos de conglomerados, un grupo de 26 genotipos es el sobresaliente y otro de hasta 39 genotipos es secundariamente sobresaliente, siendo el resto de los genotipos menos atractivo según sus cualidades productivas.

Por otro lado, la evaluación del IS, IM y la relación IS-IM, podemos indicar que rechazamos la hipótesis IV planteada en esta investigación indicando que estos índices agronómicos difieren entre sí de tal forma que conforman diferentes conglomerados que demuestra las diferencias de la calidad productiva de los diferentes genotipos.

Finalmente, una vez comparada las variables agronómicas y morfológicas cuantitativas entre 2017 y 2019, aceptamos la hipótesis V del presente trabajo indicando que no hay diferencias estadísticas significativas entre los genotipos de cacao nativo en dos años diferentes considerando las variables más representativas en el ámbito productivo; esto a excepción de la variable del grosor de cáscara que sí presentó diferencias estadísticas significativas, situación que requiere profundización en su evaluación.

## **5.2. Recomendaciones**

- Este estudio pone a disposición información importante en cuanto a las características morfoagronómicas del cacao de zonas de la Amazonía que poco o nada previamente se habían reportado, no obstante, debido a la gran disponibilidad de material genético de cacao en esta región, es importante continuar haciendo este tipo de trabajos para la identificación de plantas madres de élite utilizando criterios recomendados en este estudio con miras a realizar una zonificación a nivel de Amazonía de la diversidad fenotípica y genética del cacao.
- La metodología utilizada y los hallazgos de la presente investigación deben servir de base y pueden ser complementados para el desarrollo de protocolos para la selección de genotipos promisorios de cacao nativo silvestre y cultivado en la Amazonía.
- Dada la dificultad de la recolección de información, sobre todo del cacao en su estado silvestre, para futuros trabajos es importante desarrollar estrategias conjuntas con los productores y comunidades para garantizar la colección del material genético y levantamiento de la información. Asimismo, es importante tomar en cuenta el gran acervo de conocimiento de los productores a la hora de elegir plantas madres de élite en el aspecto productivo.
- Con fines investigativos, realizar seguimiento a los genotipos de cacao evaluados en el presente trabajo, los cuales tienen como base un acervo de información de dos años.
- Complementar la evidencia de la riqueza genética de cacao nativo implementando estudios similares en los departamentos de Cochabamba y Santa Cruz.

- A partir de los genotipos de cacao identificados como potenciales en el ámbito productivo, instalar parcelas demostrativas y jardines clonales con el objeto de realizar un seguimiento, monitoreo y evaluación para garantizar que pueden proveer material vegetal genéticamente que garanticen una alta producción.
- Adaptabilidad al contexto ambiental y su resistencia a enfermedades.
- Estudios complementarios podrían abordar otras características del material vegetal, que ampliarán los criterios que deberán tomar los productores, como la adaptabilidad al contexto ambiental y la resistencia a enfermedades, aspectos que no se abordó a profundidad en el presente estudio, dadas las circunstancias presentadas en este trabajo.
- Dado que el material genético de mejor rendimiento se encuentra disperso en toda la región amazónica, a nivel de territorios y municipios de pueden encontrar plantas adecuadas para su reproducción, con la ventaja que responden a características particulares de cada zona.
- Una vez evaluada las características morfoagronómicas y del contexto ambiental de diversos árboles de cacao nativo silvestre y cultivado en la Amazonía boliviana, la cual permitió la identificación de genotipos promisorios, es importante desarrollar una caracterización molecular de los genotipos estudiados utilizando la biotecnología para evaluación químico molecular con el fin de estudiar la diversidad genética entre los grupos de cacao silvestre y cultivado, la fractura genética que podría haber y desarrollar copias de seguridad de este tipo de cacao con fines investigativos.
- También es importante indagar en estudios organolépticos sobre este tipo de caso ya que es asociado como un cacao fino de aroma a nivel mundial.
- Finalmente, se debe profundizar en los estudios genómicos que sirvan para la definición de grupos genéticos e impulsar una denominación de origen para el cacao nativo amazónico silvestre y cultivado de la Amazonía boliviana.

## Referencias bibliográficas

- Abadie, T., & Berretta, A. (2001). Caracterización y evaluación de recursos fitogenéticos. Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur. PROCISUR, Montevideo, Uruguay, 89-97.
- Aguilar, H., Vaca, O. Rousseau, A. (2018). Guía de especialización en el complejo productivo del cacao nativo amazónico silvestre. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado. Trinidad. 56 p.
- Aguilar, H. (2016). Impacto de El Niño y la Niña en la producción de cacao silvestre en la Amazonia Sur de Bolivia. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado. Trinidad. 14 p.
- Arteaga-Voigt, D., Sandy-Valencia, X., Torres-Tola, E., Luna-Barron y Chávez-Canaza, E. (2016). Caracterización de la variabilidad genética del cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) en la región del norte paceño boliviano. Wildlife Conservation Society. 14 p.
- Angiosperm Phylogeny Group. (2003). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. Botanical Journal of the Linnean Society, 141(4), 399-436.
- Ayestas, E. D. (2009). Caracterización morfológica de cien árboles promisorios de *Theobroma cacao* L. en Waslala. Trabajo de graduación. Nicaragua.
- Bazoberry, O., Solis, L., Mercado, K., Martinez, S. (2017). Propuesta Plan departamental del cacao del Beni Fortalecimiento de la producción de cacao amazónico para diversificar la economía del Departamento del Beni, 2017-2027. Resultados de consultoría encargada por el Centro de Investigación y Promoción del Campesinado. 69 p.
- Bazoberry, O., & Salazar Carrasco, C. (2008). El cacao en Bolivia una alternativa económica de base campesina indígena. Cuaderno de investigación N° 72. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado. La Paz. 282 p.
- BOLFOS y PROMABOSQUE. (1999). Guía para la Instalación y Evaluación de Parcelas Permanentes de Muestreo (PPMs). Santa Cruz. 52 p.

- Catie. (2012). Catálogo de clones de cacao seleccionado por el Catie para siembras comerciales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) Programa de Mejoramiento Genético de Cacao Programa Agroambiental Mesoamericano - Proyecto Cacao Centroamérica Turrialba. 68 p.
- Copa, A. (2017). Caracterización morfológica de árboles de cacao (*Theobroma cacao* L.) con potencial productivo y tolerancia a monilia (*Moniliophthora roreri* Cif & Par. Evans et al.) en el área IIB y VI, de la región Alto Beni Bolivia.
- Cornejo, O. E., Yee, M. C., Dominguez, V., Andrews, M., Sockell, A., Strandberg, E., ... & Motamayor, J. C. (2018). Population genomic analyses of the chocolate tree, *Theobroma cacao* L., provide insights into its domestication process. *Communications biology*, 1(1), 1-12.
- Cortés, P. (1997). Algunos ejemplos del control gubernamental sobre los jesuitas tras la expulsión. Cochabamba. 155 p.
- Clement, C. R., de Cristo-Araújo, M., d'Eeckenbrugge, G. C., Alves Pereira, A. & Picanço-Rodrigues, D. (2010). Origin and domestication of native Amazonian crops. *Diversity* 2, 72–106.
- Enríquez, S., y Peralta-Rivero, C. (2020). Caracterización y evaluación de la sostenibilidad de los sistemas agroforestales en la Amazonia Sur de Bolivia. Cuaderno de investigación N° 89. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado. La Paz. 226 p.
- Enríquez, G. y Soria, J. (1967). Catalogo cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.). Turrialba.
- Enríquez, G. (1966). Selección y estudio de los caracteres de la flor, la hoja y la mazorca, útiles para la identificación y descripción de cultivares de cacao. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba.
- Estivarez, M. E. (2020). Criterios de selección para cacao nacional boliviano (*Theobroma cacao* L.), en la Estación experimental Alto Beni, Bolivia. Tesis de grado. Universidad Mayor de San Andrés. 91 p.
- Estivarez, M. E., & Maldonado, C. (2019). Criterios de selección para cacao nacional boliviano (*Theobroma cacao* L.), en Alto Beni-Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(2), 29-36.

- Franco, T., & Hidalgo, R. (2003). Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico IPGRI, 8, 2-94.
- Fins, L., Somarriba Chavez, E., Quesada Chaverri, F., Villalobos Rodríguez, M., & Orozco Estrada, S. (2013). La historia del cacao y del chocolate. Serie técnica. Materiales de extensión.
- García, L. F. (2010). Catálogo de cultivares de cacao del Perú. Ministerio de Agricultura, Comisión Nacional para el desarrollo y Vida sin Drogas.
- García-Villalpando, J. A., Castillo-Morales, A., Ramírez-Guzmán, M. E., Rendón-Sánchez, G., & Larqué-Saavedra, M. U. (2001). Comparación de los procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, Hsu y Bechhofer para selección de medias. *Agrociencia*, 35(1), 79-86.
- Guarino, L., Maxted, N., & Sawkins, M. (1999). Analysis of georeferenced data and the conservation and use of plant genetic resources. Linking genetic resources and geography: emerging strategies for conserving and using crop biodiversity, 27, 1-24.
- Gumiel, M., Rollano-Peñaloza, O. M., Peralta-Rivero, C., Tejeda, L., Palma, V., Cartagena, P., ... & Peñarrieta, J. M. (2021). Whole Chloroplast Genomes reveals the uniqueness of Bolivian native cacao (*Theobroma cacao*) from the northern part of Bolivia. *bioRxiv*, 2021-04.
- Hernández, E. (2013). Caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. *Revista Bio Ciencias*, 2(3): 113-118.
- IBCE. (2016). Bolivia: Cacao y sus derivados. Boletín Electrónico Bisemanal N° 576. Instituto Boliviano de Comercio Exterior.
- IPDRS, OXFAM, ICCO, CIPCA. (2019). Sistema de monitoreo de producción y recolección de cacao. [www.cacaoamazonico.org](http://www.cacaoamazonico.org).
- IPDRS. (2017). Actualidad del complejo productivo del Cacao Amazónico en Bolivia 2017, Beni y Pando. Resultados de consultoría encargada por el Centro de Investigación y Promoción del Campesinado. 63 p.

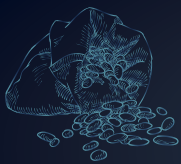


- July, W. (2016). La Variabilidad Genética del Cacao (*Theobroma cacao* L.) Nacional Boliviano: Windson July Martínez. *Apthapi*, 2(1), 78-84.
- July, W. (2007). Caracterización morfológica y molecular del Cacao Nacional Boliviano y de selecciones élites del Alto Beni, Bolivia. Centro de Investigación Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, 88 p.
- Ligarreto, G. (2003). Caracterización de germoplasma. *Boletín técnico IPGRI* N°8.
- Motamayor, J. C., Lachenaud, P., Da Silva e Mota, J. W., Loor, R., Kuhn, D. N., Brown, J. S., & Schnell, R. J. (2008). Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L). *PloS one*, 3(10), e3311.
- Motamayor, J. C., Risterucci, A. M., Lopez, P. A., Ortiz, C. F., Moreno, A., & Lanaud, C. (2002). Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, 89(5), 380-386.
- MMAyA. (2013). Mapas de bosques de Bolivia. Escala del mapa, 1:1.000.000. Ministerio de Desarrollo Rural y Tierra. La Paz.
- Navarro, G., & Ferreira, W. (2007). Leyenda explicativa de las unidades del mapa de vegetación de Bolivia a escala 1: 250 000. The Nature Conservancy/Rombol, Cochabamba. 65 p.
- Ortiz, J., Chungara, M., Ibieta, G., Alejo, I., Tejeda, L., Peralta, C., Aliaga-Rossel, E., Mollinedo, P. & Peñarrieta, J. M. (2019). Determinación de teobromina, catequina, capacidad antioxidante total y contenido fenólico total en muestras representativas de cacao Amazónico Boliviano y su comparación antes y después del proceso de fermentación. *Revista Boliviana de Química*, 36(1), 40-50.
- Medina, C., & Lobo, M. (2000). Caracterización morfológica y química de passifloras andinas como apoyo al desarrollo de estas especies. Pp: 13–18. *Memorias*, 3er Seminario de frutales de clima frío moderado. CDTF Asohofrucol. Manizales.
- MDS. (2004). Límites departamentales y municipales de Bolivia. Ministerio de Desarrollo Sostenible. Centro de Recursos naturales de Bolivia. Recuperado de <http://cdrnbolivia.org/informacion-politico-administrativa.html>

- Patiño, M. (2002). Historia y dispersión de los frutales nativos del Neotrópico. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali. p. 328- 391.
- Primot, S., d'Eeckenbrugge, G. C., Rioux, V., Pérez, J. A. O., & Garcin, F. (2005). Variación morfológica de tres especies de curubas (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*, *P. tarminiana* y *P. mixta*) y sus híbridos en el Valle del Cauca (Colombia). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 27, 467-471.
- PIAF CEIBO (2009). Experiencias exitosas de Cacao Silvestre. Programa de Implementaciones Agroecológicas y Forestales. La Paz.
- Quintero, M. L., & Díaz Morales, K. M. (2004). El mercado mundial del cacao. *Agroalimentaria*, 9(18), 47-59.
- RAISG (2021a). Datos cartográficos. Información vectorial de la Panamazonia. Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada.
- RAISG (2021b). Datos cartográficos. Información vectorial de los límites de la Amazonia. Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada.
- Santos, R. C., Pires, J. L., & Correa, R. X. (2012). Morphological characterization of leaf, flower, fruit and seed traits among Brazilian *Theobroma* L. species. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59, 327-345.
- Solís, J. L., Zamarripa Colmenero, A., Pecina Quintero, V., Garrido Ramírez, E., & Hernández Gómez, E. (2015). Evaluación agronómica de híbridos de cacao (*Theobroma cacao* L.) para selección de alto rendimiento y resistencia en campo a moniliasis. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(1), 71-82.
- Somarriba, E. (2004). ¿Cómo evaluar y mejorar el dosel de sombra en cacaotales?. *Agroforestería en las Américas*, 41-42, 120-128.
- Surco, S. (2010). Caracterización de rodales silvestres de cacao (*Theobroma cacao*) en tierras comunitarias de origen Tsimane Mosekene del Municipio de Rurrenabaque. Tesis de grado, Facultad de Agronomía Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 119 p.
- Suárez, M. (2011). “Coeficiente de correlación de Karl Pearson”. Repositorio digital de la Universidad Técnica del Norte, Ibarra. Ecuador.

- Thomas, E., van Zonneveld, M., Loo, J., Hodgkin, T., Galluzzi, G., & van Etten, J. (2012). Present spatial diversity patterns of *Theobroma cacao* L. in the neotropics reflect genetic differentiation in Pleistocene refugia followed by human-influenced dispersal. *PLoS One*, 7(10), e47676.
- UDAPE-MDRyT. (2021). Base de datos de la superficie cosechada, rendimientos y producción de productos agrícolas de Bolivia. Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas - Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras.
- Villegas, R., & Astorga, C. (2005). Caracterización morfológica del cacao Nacional Boliviano, Alto Beni, Bolivia. *Agroforestería en las Américas*, número 43-44.
- Villegas, R. (2004). Caracterización morfológica del cacao nacional (*Theobroma cacao*) cultivado en la zona de Alto Beni, Bolivia. Tesis de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 98 p.
- Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C., Powis, T., Viot, C., Lesur, I., ... & Valdez, F. (2018). The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nature ecology & evolution*, 2(12), 1879-1888.
- Zhang, D., Martínez, W. J., Johnson, E. S., Somarriba, E., Phillips-Mora, W., Astorga, C., ... & Meinhardt, L. W. (2012). Genetic diversity and spatial structure in a new distinct *Theobroma cacao* L. population in Bolivia. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59, 239-252.





# ANEXO



Medidor del porcentaje de humedad de granos de cacao fermentados y secos.  
Foto: CIPCA.



## ANEXOS

### Anexo 1: Base de datos sobre caracterización morfológica y agronómica del cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en municipios del Beni y Pando, gestión 2017

- Base de datos medias de características morfológicas y agronómicas cuantitativas y cualitativas utilizada para el análisis en InfoStat.
- Base de datos completa del trabajo de campo y sus mediciones.

### Anexo 2: Base de datos sobre caracterización morfológica y agronómica del cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en municipios del Beni y Pando, gestión 2019

- Base de datos de promedios utilizada para el análisis en InfoStat.
- Base de datos completa del trabajo de campo y sus mediciones.



### Anexo 3: Color de brotes terminales de las hojas de cacao en municipios amazónicos de Beni y Pando

Variable	Clase	Categorías	General (90 genotipos 2017)		General (56 genotipos 2019)		Resultados de 90 genotipos del 2017					
			FA	FR	FA	FR	Baures		San Ignacio de Mojos		Puerto Gonzalo Moreno y Riberalta	
			FA	FR	FA	FR	FA	FR	FA	FR	FA	FR
Color brotes terminales	1	Café pálido	8	0,09	6	0,11			3	0,1	5	0,17
	2	Rojizo claro	7	0,08	1	0,02					7	0,23
	3	Rojizo claro a café	2	0,02							2	0,07
	4	Rojizo oscuro	1	0,01							1	0,03
	5	Rojo	8	0,09	6	0,11	2	0,07	6	0,2		
	6	Rojo intenso	12	0,13	8	0,14	8	0,27	4	0,13		
	7	Rojo intermedio	19	0,21	13	0,23	7	0,23	12	0,4		
	8	Rojo pálido	3	0,03	2	0,04	1	0,03	2	0,07		
	9	Rojo suave	1	0,01			1	0,03				
	10	Rojo verdoso	4	0,04	1	0,02	3	0,1	1	0,03		
	11	Rosado	1	0,01	1	0,02	1	0,03				
	12	Rosado claro	10	0,11	5	0,09					10	0,33
	13	Rosado intenso	7	0,08	6	0,11	5	0,17	2	0,07		
	14	Rosado medio	1	0,01	1	0,02	1	0,03				
	15	Rosado suave	1	0,01	1	0,02	1	0,03				
	16	Rosado verdoso	5	0,06	5	0,09					5	0,17

Fuente: elaboración propia.

## Anexo 4: Resultados del análisis cualitativo de variables de cacao de los años 2017 y 2019

- i. Análisis de 90 genotipos de cacao (2017) de los 4 municipios del amazónicos estudiados: Baures, San Ignacio de Mojos, Puerto Gonzalo Moreno y Riberalta

**Tablas de frecuencias: Baures, San Ignacio de Mojos, Puerto Gonzalo Moreno y Riberalta (gestión 2017), InfoStat [Versión: 30/4/2020]**

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Estatus genotipo	1	Cultivado	25	0,28
Estatus genotipo	2	Silvestre	26	0,72

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Posición de copa	1	Cuatro	2	0,02
Posición de copa	2	Dos	45	0,50
Posición de copa	3	Tres	29	0,32
Posición de copa	4	Uno	14	0,16

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma fruto	1	Amelonado	42	0,47
Forma fruto	2	Angoleta	46	0,51
Forma fruto	3	Cundeamor	2	0,02

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma ápice	1	Agudo	19	0,21
Forma ápice	2	Atenuado	5	0,06
Forma ápice	3	Caudado	17	0,19
Forma ápice	4	Mamilado	13	0,14
Forma ápice	5	Obtuso	36	0,40

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma constricción basal	1	Fuerte	4	0,04
Forma constricción basal	2	Intermedia	30	0,33
Forma constricción basal	3	Suave	56	0,62

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Rugosidad fruto	1	Ausente	2	0,02
Rugosidad fruto	2	Fuerte	4	0,04
Rugosidad fruto	3	Intermedia	28	0,31
Rugosidad fruto	4	Suave	56	0,62

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma semilla	1	Elíptica	64	0,71
Forma semilla	2	Irregular	5	0,06
Forma semilla	3	Oblonga	18	0,20
Forma semilla	4	Ovalada	3	0,03

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma corte transversal	1	Aplanada	9	0,10
Forma corte transversal	2	Intermedia	47	0,52
Forma corte transversal	3	Agudo	8	0,38

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Color cotiledón	1	Morado	90	1,00



Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma basal de la hoja	1	Agudo	27	0,30
Forma basal de la hoja	2	Atenuado	2	0,02
Forma basal de la hoja	3	Obtuso	27	0,30
Forma basal de la hoja	4	Redondeado	34	0,38

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma basal de la hoja	1	Acuminado corto	43	0,48
Forma basal de la hoja	2	Acuminado largo	39	0,43
Forma basal de la hoja	3	Agudo	8	0,09

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Color de brotes terminales...	1	Café pálido	8	0,09
Color de brotes terminales...	2	Rojizo claro	7	0,08
Color de brotes terminales...	3	Rojizo claro a café	2	0,02
Color de brotes terminales...	4	Rojizo obscuro	1	0,01
Color de brotes terminales...	5	Rojo	8	0,09
Color de brotes terminales...	6	Rojo intenso	12	0,13
Color de brotes terminales...	7	Rojo intermedio	19	0,21
Color de brotes terminales...	8	Rojo pálido	3	0,03
Color de brotes terminales...	9	Rojo suave	1	0,01
Color de brotes terminales...	10	Rojo verdoso	4	0,04
Color de brotes terminales...	11	Rosado	1	0,01
Color de brotes terminales...	12	Rosado claro	10	0,11
Color de brotes terminales...	13	Rosado intenso	7	0,08
Color de brotes terminales...	14	Roso medio	1	0,01
Color de brotes terminales...	15	Rosado suave	1	0,01
Color de brotes terminales...	16	Rosado verdoso	5	0,06

#### Tablas de frecuencias: Baures (gestión 2017), InfoStat [Versión: 30/4/2020]

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Estatus genotipo	1	Silvestre	30	1,00

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Posición de copa	1	Dos	16	0,53
Posición de copa	2	Tres	13	0,43
Posición de copa	3	Uno	1	0,03

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma fruto	1	Amelonado	7	0,23
Forma fruto	2	Angoleta	23	0,77

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma ápice	1	Agudo	9	0,30
Forma ápice	2	Atenuado	1	0,03
Forma ápice	3	Caudado	6	0,20
Forma ápice	4	Mamilado	4	0,13
Forma ápice	5	Obtuso	10	0,33

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma constricción basal	1	Intermedia	9	0,23
Forma constricción basal	2	Suave	21	0,77

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Rugosidad fruto	1	Fuerte	1	0,03
Rugosidad fruto	2	Intermedia	9	0,30
Rugosidad fruto	3	Suave	20	0,67

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma semilla	1	Elíptica	16	0,53
Forma semilla	2	Oblonga	12	0,40
Forma semilla	3	Ovalada	2	0,07

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma corte transversal	1	Aplanada	4	0,13
Forma corte transversal	2	Intermedia	12	0,40
Forma corte transversal	3	Redonda	14	0,47

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Color cotiledón	1	Morado	30	1,00

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma basal de la hoja	1	Agudo	14	0,47
Forma basal de la hoja	2	Obtuso	7	0,23
Forma basal de la hoja	3	Redondeado	9	0,30

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma de ápice de la hoja	1	Acuminado corto	13	0,43
Forma de ápice de la hoja	2	Acuminado largo	9	0,30
Forma de ápice de la hoja	3	Agudo	8	0,27

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Color de brotes terminales..	1	Rojo	2	0,07
Color de brotes terminales..	2	Rojo intenso	8	0,27
Color de brotes terminales..	3	Rojo intermedio	7	0,23
Color de brotes terminales..	4	Rojo pálido	1	0,03
Color de brotes terminales..	5	Rojo suave	1	0,03
Color de brotes terminales..	6	Rojo verdoso	3	0,10
Color de brotes terminales..	7	Rosado	1	0,03
Color de brotes terminales..	8	Rosado intenso	5	0,17
Color de brotes terminales..	9	Rosado medio	1	0,03
Color de brotes terminales..	10	Rosado suave	1	0,03

### Tablas de frecuencias: San Ignacio de Mojos (2017), InfoStat [Versión: 30/4/2020]

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Estatus genotipo	1	Cultivada	10	0,33
Estatus genotipo	2	Silvestre	20	0,67

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Posición de copa	1	Cuatro	1	0,03
Posición de copa	2	Dos	11	0,37
Posición de copa	3	Tres	9	0,30
Posición de copa	4	Uno	9	0,30

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma fruto	1	Amelonado	5	0,17
Forma fruto	2	Angoleta	23	0,77
Forma fruto	3	Cundeamor	2	0,07

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma ápice	1	Agudo	7	0,23
Forma ápice	2	Atenuado	4	0,13
Forma ápice	3	Caudado	10	0,33
Forma ápice	4	Mamilado	8	0,27
Forma ápice	5	Obtuso	1	0,03

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma constricción basal	1	Intermedia	8	0,27
Forma constricción basal	2	Suave	22	0,73

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Rugosidad fruto	1	Fuerte	3	0,10
Rugosidad fruto	2	Intermedia	16	0,53
Rugosidad fruto	3	Suave	11	0,37

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma semilla	1	Elíptica	25	0,83
Forma semilla	2	Oblonga	5	0,17

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma corte transversal	1	Aplanada	5	0,17
Forma corte transversal	2	Intermedia	16	0,53
Forma corte transversal	3	Redonda	9	0,30

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Color cotiledón	1	Morado	30	1,00

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma basal de la hoja	1	Agudo	10	0,33
Forma basal de la hoja	2	Obtuso	6	0,20
Forma basal de la hoja	3	Redondeado	14	0,47

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma de ápice de la hoja	1	Acuminado corto	14	0,47
Forma de ápice de la hoja	2	Acuminado largo	16	0,53

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Color de brotes terminales..	1	Café pálido	3	0,10
Color de brotes terminales..	2	Rojo	6	0,20
Color de brotes terminales..	3	Rojo intenso	4	0,13
Color de brotes terminales..	4	Rojo intermedio	12	0,40
Color de brotes terminales..	5	Rojo pálido	2	0,07
Color de brotes terminales..	6	Rojo verdoso	1	0,03
Color de brotes terminales..	7	Rosado intenso	2	0,07

#### Tablas de frecuencias: Puerto Gonzalo Morenos y Riberalta (gestión 2017), InfoStat [Versión: 30/4/2020]

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Estatus genotipo	1	Cultivado	15	0,50
Estatus genotipo	2	Silvestre	15	0,50

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Posición de copa	1	Cuatro	1	0,03
Posición de copa	2	Dos	18	0,60
Posición de copa	3	Tres	7	0,23
Posición de copa	4	Uno	4	0,13

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma fruto	1	Amelonado	30	1,00

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma ápice	1	Agudo	3	0,10
Forma ápice	2	Caudado	1	0,03
Forma ápice	3	Mamilado	1	0,03
Forma ápice	4	Obstuso	25	0,83

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma constricción basal	1	Fuerte	4	0,13
Forma constricción basal	2	Intermedia	13	0,43
Forma constricción basal	3	Suave	13	0,43

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Rugosidad fruto	1	Ausente	2	0,07
Rugosidad fruto	2	Intermedia	3	0,10
Rugosidad fruto	3	Suave	25	0,83

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma semilla	1	Elíptica	23	0,77
Forma semilla	2	Irregular	5	0,17
Forma semilla	3	Oblonga	1	0,03
Forma semilla	4	Ovalada	1	0,03

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma corte transversal	1	Intermedia	19	0,63
Forma corte transversal	2	Redonda	11	0,37

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Color cotiledón	1	Morado	30	1,00

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma basal de la hoja	1	Agudo	3	0,10
Forma basal de la hoja	2	Atenuado	2	0,07
Forma basal de la hoja	3	Obtuso	14	0,47
Forma basal de la hoja	4	Redondeado	11	0,37

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma de ápice de la hoja	1	Acuminado corto	16	0,53
Forma de ápice de la hoja	2	Acuminado largo	14	0,47

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Color de brotes terminales..	1	Café pálido	5	0,17
Color de brotes terminales..	2	Rojizo claro	7	0,23
Color de brotes terminales..	3	Rojizo claro a café	2	0,07
Color de brotes terminales..	4	Rojizo oscuro	1	0,03
Color de brotes terminales..	5	Rosado claro	10	0,33
Color de brotes terminales..	6	Rosado verdoso	5	0,17

- ii. Análisis de 56 genotipos de cacao (2019) de los 4 municipios del amazónicos estudiados: Baures, San Ignacio de Mojos, Puerto Gonzalo Moreno y Riberalta

**Tablas de frecuencias: Baures, San Ignacio de Mojos, Puerto Gonzalo Moreno y Riberalta (gestión 2019), InfoStat [Versión: 30/4/2020]**

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Estatus genotipo	1	Cultivado	13	0,23
Estatus genotipo	2	Silvestre	43	0,77

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Posición de copa	1	Cuatro	1	0,02
Posición de copa	2	Dos	30	0,54
Posición de copa	3	Tres	19	0,34
Posición de copa	4	Uno	6	0,11

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma fruto	1	Amelonado	21	0,38
Forma fruto	2	Angoleta	33	0,59
Forma fruto	3	Cundeamor	2	0,04

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Rugosidad fruto	1	Fuerte	3	0,05
Rugosidad fruto	2	Intermedia	30	0,54
Rugosidad fruto	3	Suave	23	0,41

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma ápice	1	Agudo	11	0,20
Forma ápice	2	Atenuado	3	0,05
Forma ápice	3	Caudado	7	0,13
Forma ápice	4	Mamilado	10	0,18
Forma ápice	5	Obtuso	25	0,45

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma constricción basal	1	Intermedia	18	0,32
Forma constricción basal	2	Suave	38	0,68

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma semilla	1	Elíptica	34	0,61
Forma semilla	2	Irregular	1	0,02
Forma semilla	3	Oblonga	16	0,29
Forma semilla	4	Ovalada	5	0,09

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma corte transversal	1	Aplanada	5	0,09
Forma corte transversal	2	Intermedia	30	0,54
Forma corte transversal	3	Redonda	21	0,38

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Color cotiledón	1	Morado	56	1,00

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma basal de la hoja	1	Agudo	20	0,36
Forma basal de la hoja	2	Atenuado	1	0,02
Forma basal de la hoja	3	Obtuso	16	0,29
Forma basal de la hoja	4	Redondeado	19	0,34

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma de ápice de la hoja	1	Acuminado corto	31	0,55
Forma de ápice de la hoja	2	Acuminado largo	19	0,34
Forma de ápice de la hoja	3	Agudo	6	0,11

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Color de brotes terminales..	1	Café pálido	6	0,11
Color de brotes terminales..	2	Rojizo claro	1	0,02
Color de brotes terminales..	3	Rojo	6	0,11
Color de brotes terminales..	4	Rojo intenso	8	0,14
Color de brotes terminales..	5	Rojo intermedio	13	0,23
Color de brotes terminales..	6	Rojo pálido	2	0,04
Color de brotes terminales..	7	Rojo verdoso	1	0,02
Color de brotes terminales..	8	Rosado	1	0,02
Color de brotes terminales..	9	Rosado claro	5	0,09
Color de brotes terminales..	10	Rosado intenso	6	0,11
Color de brotes terminales..	11	Rosado medio	1	0,02
Color de brotes terminales..	12	Rosado suave	1	0,02
Color de brotes terminales..	13	Rosado verdoso	5	0,09

#### Tablas de frecuencias: Baures (gestión 2019), InfoStat [Versión: 30/4/2020]

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Estatus genotipo	1	Silvestre	20	1,00

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Posición de copa	1	Dos	10	0,50
Posición de copa	2	Tres	9	0,45
Posición de copa	3	Uno	1	0,05

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma fruto	1	Amelonado	3	0,15
Forma fruto	2	Angoleta	17	0,85

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma ápice	1	Agudo	2	0,10
Forma ápice	2	Atenuado	1	0,05
Forma ápice	3	Caudado	2	0,10
Forma ápice	4	Mamilado	2	0,10
Forma ápice	5	Obtuso	13	0,65

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma constricción basal	1	Intermedia	6	0,30
Forma constricción basal	2	Suave	14	0,70

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Rugosidad fruto	1	Fuerte	1	0,05
Rugosidad fruto	2	Intermedia	11	0,55
Rugosidad fruto	3	Suave	8	0,40

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma semilla	1	Elíptica	9	0,45
Forma semilla	2	Oblonga	10	0,50
Forma semilla	3	Ovalada	1	0,05

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma corte transversal	1	Aplanada	1	0,05
Forma corte transversal	2	Intermedia	9	0,45
Forma corte transversal	3	Redondeada	10	0,50

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Color cotiledón	1	Morado	20	1,00

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma basal de la hoja	1	Agudo	9	0,45
Forma basal de la hoja	2	Obtuso	5	0,25
Forma basal de la hoja	3	Redondeado	6	0,30

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma de ápice de la hoja	1	Acuminado corto	9	0,45
Forma de ápice de la hoja	2	Acuminado largo	5	0,25
Forma de ápice de la hoja	3	Agudo	6	0,30

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Color de brotes terminales..	1	Rojo	2	0,10
Color de brotes terminales..	2	Rojo intenso	5	0,25
Color de brotes terminales..	3	Rojo intermedio	5	0,25
Color de brotes terminales..	4	Rojo pálido	1	0,05
Color de brotes terminales..	5	Rojo verdoso	1	0,05
Color de brotes terminales..	6	Rosado	1	0,05
Color de brotes terminales..	7	Rosado intenso	4	0,20
Color de brotes terminales..	8	Rosado medio	1	0,05

**Tablas de frecuencias: San Ignacio de Mojos (2019), InfoStat [Versión: 30/4/2020]**

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Estatus genotipo	1	Cualitativo	3	0,14
Estatus genotipo	2	Silvestre	18	0,86

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Posición de copa	1	Cuatro	1	0,05
Posición de copa	2	Dos	9	0,43
Posición de copa	3	Tres	7	0,33
Posición de copa	4	Uno	4	0,19

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma fruto	1	Amelonado	4	0,19
Forma fruto	2	Angoleta	15	0,71
Forma fruto	3	Cundeamor	2	0,10

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma ápice	1	Agudo	6	0,29
Forma ápice	2	Atenuado	2	0,10
Forma ápice	3	Caudado	5	0,24
Forma ápice	4	Mamilado	7	0,33
Forma ápice	5	Obtuso	1	0,05

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma constricción basal	1	Intermedia	4	0,19
Forma constricción basal	2	Suave	17	0,81

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Rugosidad fruto	1	Fuerte	2	0,10
Rugosidad fruto	2	Intermedia	14	0,67
Rugosidad fruto	3	Suave	5	0,24

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma semilla	1	Elíptica	16	0,76
Forma semilla	2	Oblonga	5	0,24

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma corte transversal	1	Aplanada	4	0,19
Forma corte transversal	2	Intermedia	10	0,48
Forma corte transversal	3	Redonda	7	0,33

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Color cotiledón	1	Morado	21	1,00

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma basal de la hoja	1	Agudo	8	0,38
Forma basal de la hoja	2	Obtuso	5	0,24
Forma basal de la hoja	3	Redondeado	8	0,38

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma de ápice de la hoja	1	Acuminado corto	13	0,62
Forma de ápice de la hoja	2	Acuminado largo	8	0,38

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Color de brotes terminales..	1	Café pálido	3	0,14
Color de brotes terminales..	2	Rojo	4	0,19
Color de brotes terminales..	3	Rojo intenso	3	0,14
Color de brotes terminales..	4	Rojo intermedio	8	0,38
Color de brotes terminales..	5	Rojo pálido	1	0,05
Color de brotes terminales..	6	Rosado intenso	2	0,10

**Tablas de frecuencias: Puerto Gonzalo Morenos y Riberalta (gestión 2019), InfoStat [Versión: 30/4/2020]**

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Estatus genotipo	1	Cultivado	10	0,71
Estatus genotipo	2	Silvestre	4	0,29

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Posición de copa	1	Dos	10	0,71
Posición de copa	2	Tres	3	0,21
Posición de copa	3	Uno	1	0,07

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma fruto	1	Amelonado	14	1,00

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma ápice	1	Agudo	3	0,21
Forma ápice	2	Obtuso	11	0,79

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma constricción basal	1	Intermedia	7	0,50
Forma constricción basal	2	Suave	7	0,50

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Rugosidad fruto	1	Intermedia	4	0,29
Rugosidad fruto	2	Suave	10	0,71

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma semilla	1	Elíptica	9	0,64
Forma semilla	2	Irregular	1	0,07
Forma semilla	3	Oblonga	1	0,07
Forma semilla	4	Ovalada	3	0,21

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma corte transversal	1	Intermedia	10	0,71
Forma corte transversal	2	Redonda	4	0,29

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Color cotiledón	1	Morado	14	1,00

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma basal de la hoja	1	Agudo	3	0,21
Forma basal de la hoja	2	Atenuando	1	0,07
Forma basal de la hoja	3	Obtuso	6	0,43
Forma basal de la hoja	4	Redondeado	4	0,29

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Forma de ápice de la hoja	1	Acuminado corto	9	0,64
Forma de ápice de la hoja	2	Acuminado largo	5	0,36

Variable	Clase	Categorías	FA	FR
Color de brotes terminales..	1	Café pálido	3	0,21
Color de brotes terminales..	2	Rojizo claro	1	0,07
Color de brotes terminales..	3	Rosado claro	5	0,36
Color de brotes terminales..	4	Rosado verdoso	5	0,36

**Anexo 5: Tablas de frecuencias de variables cuantitativas de flores de cacao nativo amazónico silvestre y cultivado**

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Longitud de Pedicelo (mm)	1	[ 6,63	9,40 ]	8,10	5	0,04
Longitud de Pedicelo (mm)	2	( 9,40	12,16 ]	10,78	13	0,10
Longitud de Pedicelo (mm)	3	( 12,16	14,93 ]	13,55	48	0,36



Longitud de Pedicelo (mm)	4	( 14,93	17,70 ]	16,32	55	0,41
Longitud de Pedicelo (mm)	5	( 17,70	20,47 ]	19,08	7	0,05
Longitud de Pedicelo (mm)	6	( 20,47	23,23 ]	21,85	3	0,02
Longitud de Pedicelo (mm)	7	( 23,23	26,00 ]	24,62	4	0,03

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Ancho de Pedicelo (mm)	1	[ 0,46	0,67 ]	0,57	23	0,17
Ancho de Pedicelo (mm)	2	( 0,67	0,89 ]	0,78	84	0,62
Ancho de Pedicelo (mm)	3	( 0,89	1,10 ]	0,99	26	0,19
Ancho de Pedicelo (mm)	4	( 1,10	1,31 ]	1,21	1	0,01
Ancho de Pedicelo (mm)	5	( 1,31	1,52 ]	1,42	0	0,00
Ancho de Pedicelo (mm)	6	( 1,52	1,74 ]	1,63	0	0,00
Ancho de Pedicelo (mm)	7	( 1,74	1,95 ]	1,84	1	0,01

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Longitud de Sépalo (mm)	1	[ 5,00	5,53 ]	5,27	3	4,4E-03
Longitud de Sépalo (mm)	2	( 5,53	6,07 ]	5,80	26	0,04
Longitud de Sépalo (mm)	3	( 6,07	6,60 ]	6,34	111	0,16
Longitud de Sépalo (mm)	4	( 6,60	7,14 ]	6,87	147	0,22
Longitud de Sépalo (mm)	5	( 7,14	7,67 ]	7,41	174	0,26
Longitud de Sépalo (mm)	6	( 7,67	8,21 ]	7,94	159	0,24
Longitud de Sépalo (mm)	7	( 8,21	8,74 ]	8,47	38	0,06
Longitud de Sépalo (mm)	8	( 8,74	9,28 ]	9,01	9	0,01
Longitud de Sépalo (mm)	9	( 9,28	9,81 ]	9,54	8	0,01

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Ancho de Sépalo (mm)	1	[ 1,16	1,64 ]	1,40	16	0,02
Ancho de Sépalo (mm)	2	( 1,64	2,13 ]	1,89	256	0,39
Ancho de Sépalo (mm)	3	( 2,13	2,61 ]	2,37	332	0,49
Ancho de Sépalo (mm)	4	( 2,61	3,10 ]	2,86	58	0,09
Ancho de Sépalo (mm)	5	( 3,10	3,58 ]	3,34	2	3,0 E-03
Ancho de Sépalo (mm)	6	( 3,58	4,07 ]	3,82	0	0,00
Ancho de Sépalo (mm)	7	( 4,07	4,55 ]	4,31	0	0,00
Ancho de Sépalo (mm)	8	( 4,55	5,04 ]	4,79	0	0,00
Ancho de Sépalo (mm)	9	( 5,04	5,52 ]	5,28	1	1,5 E-03

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Longitud de Lígula (mm)	1	[ 3,02	3,45 ]	3,24	18	0,03
Longitud de Lígula (mm)	2	( 3,45	3,88 ]	3,67	56	0,08
Longitud de Lígula (mm)	3	( 3,88	4,31 ]	4,10	86	0,13
Longitud de Lígula (mm)	4	( 4,31	4,74 ]	4,53	151	0,22
Longitud de Lígula (mm)	5	( 4,74	5,18 ]	4,96	150	0,22
Longitud de Lígula (mm)	6	( 5,18	5,61 ]	5,39	133	0,20
Longitud de Lígula (mm)	7	( 5,61	6,04 ]	5,82	61	0,09
Longitud de Lígula (mm)	8	( 6,04	6,47 ]	6,25	18	0,03
Longitud de Lígula (mm)	9	( 6,47	6,90 ]	6,68	4	0,01

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Ancho de Lígula (mm)	1	[ 6,63	9,40 ]	1,22	7	0,01
Ancho de Lígula (mm)	2	( 9,40	12,16 ]	1,53	33	0,05
Ancho de Lígula (mm)	3	( 12,16	14,93 ]	1,85	144	0,21
Ancho de Lígula (mm)	4	( 14,93	17,70 ]	2,16	220	0,33
Ancho de Lígula (mm)	5	( 17,70	20,47 ]	2,48	172	0,26
Ancho de Lígula (mm)	6	( 20,47	23,23 ]	2,79	84	0,12
Ancho de Lígula (mm)	7	( 23,23	26,00 ]	3,10	11	0,02
Ancho de Lígula (mm)	8	( 23,23	26,00 ]	3,42	2	3,0 E-03
Ancho de Lígula (mm)	9	( 23,23	26,00 ]	3,73	1	1,5 E-03

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Longitud de Filamento (mm)	1	[ 2,05	2,42 ]	2,24	19	0,03
Longitud de Filamento (mm)	2	( 2,42	2,80 ]	2,61	85	0,13
Longitud de Filamento (mm)	3	( 2,80	3,17 ]	2,98	225	0,33
Longitud de Filamento (mm)	4	( 3,17	3,54 ]	3,36	236	0,35
Longitud de Filamento (mm)	5	( 3,54	3,92 ]	3,73	105	0,16
Longitud de Filamento (mm)	6	( 3,92	4,29 ]	4,10	4	0,01
Longitud de Filamento (mm)	7	( 4,29	4,66 ]	4,48	0	0,00
Longitud de Filamento (mm)	8	( 4,66	5,04 ]	4,85	0	0,00
Longitud de Filamento (mm)	9	( 5,04	5,41 ]	5,22	1	1,5 E-03
Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Ancho de Filamento (mm)	1	[ 0,11	0,18 ]	0,14	1	1,5 E-03
Ancho de Filamento (mm)	2	( 0,18	0,25 ]	0,21	25	0,04
Ancho de Filamento (mm)	3	( 0,25	0,31 ]	0,28	206	0,31
Ancho de Filamento (mm)	4	( 0,31	0,38 ]	0,35	298	0,44
Ancho de Filamento (mm)	5	( 0,38	0,45 ]	0,42	91	0,13
Ancho de Filamento (mm)	6	( 0,45	0,52 ]	0,48	42	0,06
Ancho de Filamento (mm)	7	( 0,52	0,58 ]	0,55	9	0,01
Ancho de Filamento (mm)	8	( 0,58	0,65 ]	0,62	2	3,0 E-03
Ancho de Filamento (mm)	9	( 0,65	0,72 ]	0,69	1	1,5 E-03
Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Longitud de Estaminoide (mm)	1	[ 3,12	3,74 ]	3,43	1	1,5 E-03
Longitud de Estaminoide (mm)	2	( 3,74	4,35 ]	4,04	0	0,00
Longitud de Estaminoide (mm)	3	( 4,35	4,97 ]	4,66	5	0,01
Longitud de Estaminoide (mm)	4	( 4,97	5,58 ]	5,27	27	0,04
Longitud de Estaminoide (mm)	5	( 5,58	6,20 ]	5,89	100	0,15
Longitud de Estaminoide (mm)	6	( 6,20	6,81 ]	6,51	229	0,34
Longitud de Estaminoide (mm)	7	( 6,81	7,43 ]	7,12	210	0,31
Longitud de Estaminoide (mm)	8	( 7,43	8,04 ]	7,74	90	0,13
Longitud de Estaminoide (mm)	9	( 8,04	8,66 ]	8,35	12	0,02
Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Ancho de Estaminoide (mm)	1	[ 0,23	0,31 ]	0,27	7	0,01
Ancho de Estaminoide (mm)	2	( 0,31	0,40 ]	0,36	63	0,09
Ancho de Estaminoide (mm)	3	( 0,40	0,48 ]	0,44	327	0,49
Ancho de Estaminoide (mm)	4	( 0,48	0,56 ]	0,52	184	0,27
Ancho de Estaminoide (mm)	5	( 0,56	0,65 ]	0,61	68	0,10
Ancho de Estaminoide (mm)	6	( 0,65	0,73 ]	0,69	19	0,03
Ancho de Estaminoide (mm)	7	( 0,73	0,81 ]	0,77	5	0,01
Ancho de Estaminoide (mm)	8	( 0,81	0,90 ]	0,86	0	0,00
Ancho de Estaminoide (mm)	9	( 0,90	0,94 ]	0,94	1	1,5 E-03
Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Longitud de Estilo (mm)	1	[ 1,33	1,57 ]	1,45	5	0,04
Longitud de Estilo (mm)	2	( 1,57	1,82 ]	1,70	8	0,06
Longitud de Estilo (mm)	3	( 1,82	2,06 ]	1,94	31	0,23
Longitud de Estilo (mm)	4	( 2,06	2,31 ]	2,19	44	0,33
Longitud de Estilo (mm)	5	( 2,31	2,55 ]	2,43	27	0,20
Longitud de Estilo (mm)	6	( 2,55	2,80 ]	2,67	12	0,09
Longitud de Estilo (mm)	7	( 2,80	3,04 ]	2,92	8	0,06
Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Ancho de Estilo (mm)	1	[ 0,18	0,23 ]	0,20	5	0,04
Ancho de Estilo (mm)	2	( 0,23	0,27 ]	0,25	22	0,16
Ancho de Estilo (mm)	3	( 0,27	0,32 ]	0,29	50	0,37
Ancho de Estilo (mm)	4	( 0,32	0,36 ]	0,34	39	0,29
Ancho de Estilo (mm)	5	( 0,36	0,41 ]	0,39	11	0,08

Ancho de Estilo (mm)	6	( 0,41	0,45 ]	0,43	5	0,04
Ancho de Estilo (mm)	7	( 0,45	0,50 ]	0,48	3	0,02
Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Longitud de Ovario (mm)	1	[ 1,25	1,41 ]	1,33	14	0,10
Longitud de Ovario (mm)	2	( 1,41	1,58 ]	1,50	29	0,21
Longitud de Ovario (mm)	3	( 1,58	1,74 ]	1,66	40	0,30
Longitud de Ovario (mm)	4	( 1,74	1,91 ]	1,83	28	0,21
Longitud de Ovario (mm)	5	( 1,91	2,07 ]	1,99	16	0,12
Longitud de Ovario (mm)	6	( 2,07	2,24 ]	2,15	5	0,04
Longitud de Ovario (mm)	7	( 2,24	2,40 ]	2,32	3	0,02
Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Ancho de Ovario (mm)	1	[ 0,96	1,09 ]	1,03	10	0,07
Ancho de Ovario (mm)	2	( 1,09	1,23 ]	1,16	33	0,24
Ancho de Ovario (mm)	3	( 1,23	1,36 ]	1,29	46	0,34
Ancho de Ovario (mm)	4	( 1,36	1,49 ]	1,43	36	0,27
Ancho de Ovario (mm)	5	( 1,49	1,62 ]	1,56	8	0,06
Ancho de Ovario (mm)	6	( 1,62	1,76 ]	1,69	1	0,01
Ancho de Ovario (mm)	7	( 1,76	1,89 ]	1,82	1	0,01
Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR
Óvulos/Ovario	1	[ 24,00	27,43 ]	25,71	8	0,06
Óvulos/Ovario	2	( 27,43	30,86 ]	29,14	30	0,22
Óvulos/Ovario	3	( 30,86	34,29 ]	32,57	32	0,24
Óvulos/Ovario	4	( 34,29	37,71 ]	36,00	31	0,23
Óvulos/Ovario	5	( 37,71	41,14 ]	39,43	27	0,20
Óvulos/Ovario	6	( 41,14	44,57 ]	42,86	5	0,04
Óvulos/Ovario	7	( 44,57	48,00 ]	46,29	2	0,01

**Anexo 6: Base de datos sobre caracterización morfológica de las flores de 45 genotipos del cacao nativo amazónico silvestre y cultivado en municipios del Beni y Pando**



**Anexo 7: Autovalores y autovectores de la caracterización de los 90 genotipos de cacao del 2017 evaluados – Analisis de competentes principales**

- iii. Autovectores de los cuatro componentes principales de la caracterización de los 90 genotipos de cacao del 2017 evaluados

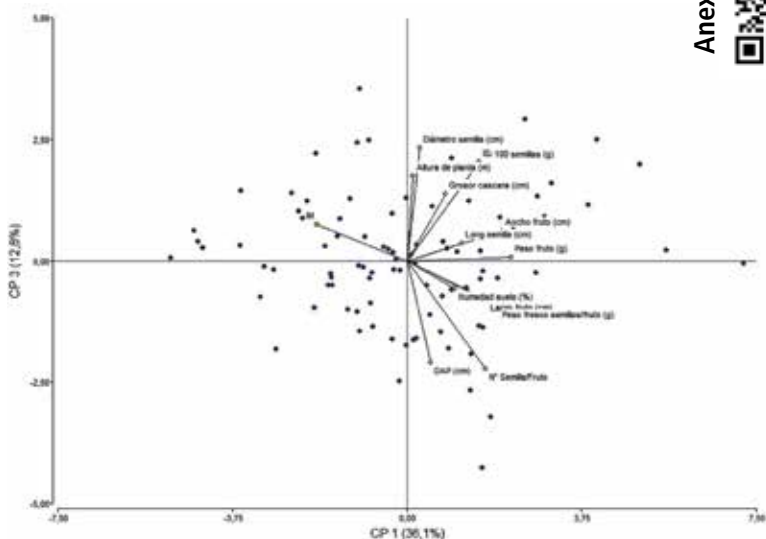
n	Valor	Proporción	Proporción acumulada
1	4,79	0,53	0,53
2	1,74	0,19	0,73
3	0,88	0,1	0,82
4	0,6	0,07	0,89
5	0,46	0,05	0,94
6	0,38	0,04	0,98
7	0,07	0,01	0,99
8	0,05	0,01	1,00
9	0,03	0,0032	1,00

iv. Autovectores de dos componentes principales de la caracterización de los 90 genotipos de cacao del 2017 evaluados

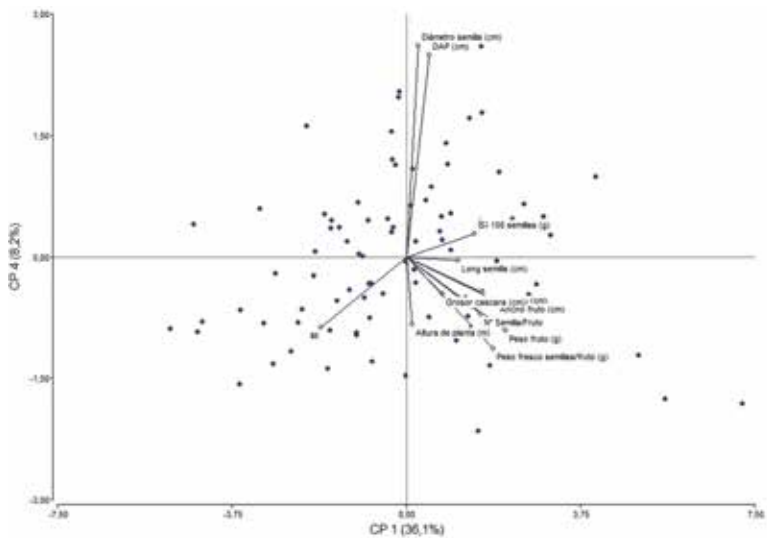
Variable	e1	e2
Peso fruto (g)	0,41	-0,14
Largo fruto (cm)	0,31	-0,24
Ancho fruto (cm)	0,36	-0,1
N° Semilla/Fruto	0,32	-0,4
Peso fresco semillas/fruto	0,38	-0,08
Longitud de semilla (cm)	0,24	0,38
Peso seco de 100 semillas (g)	0,30	0,52
IS	0,31	0,52
IM	-0,35	0,25

### Anexo 8: Representación espacial de análisis de componentes principales de 90 genotipos de cacao del año 2017

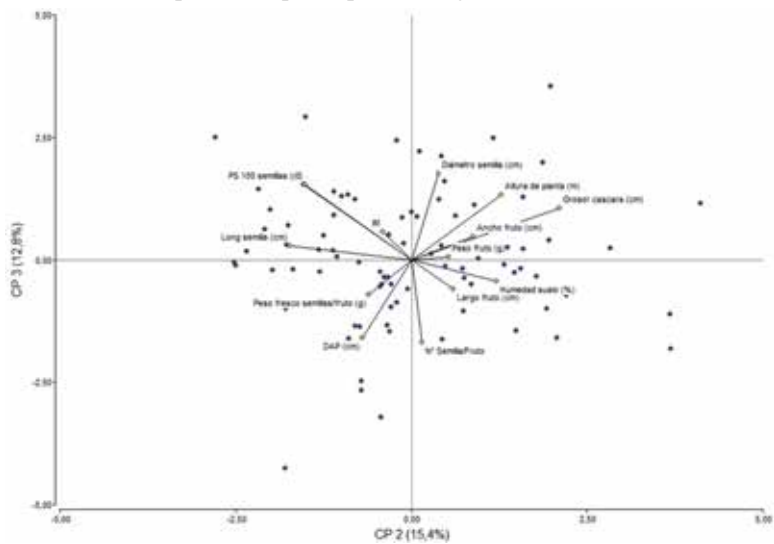
i. Relación entre componentes principales uno y tres



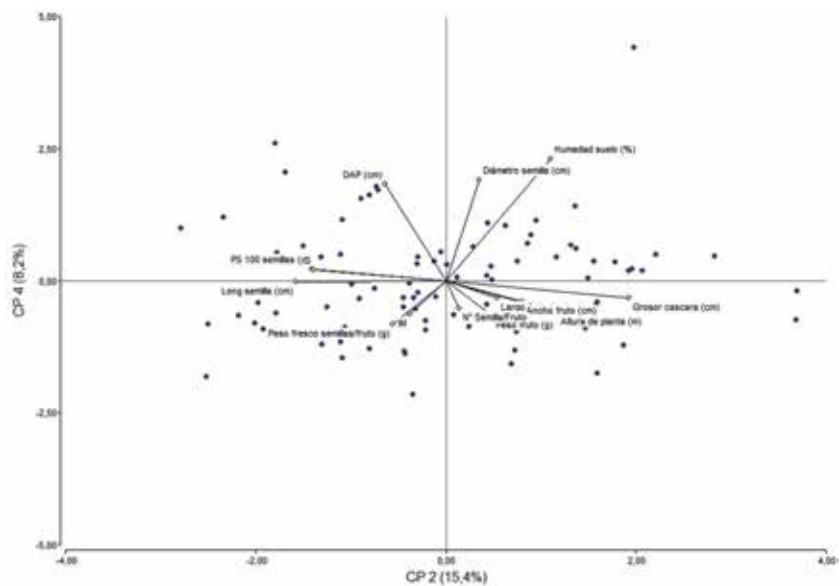
ii. Relación entre componentes principales uno y cuatro



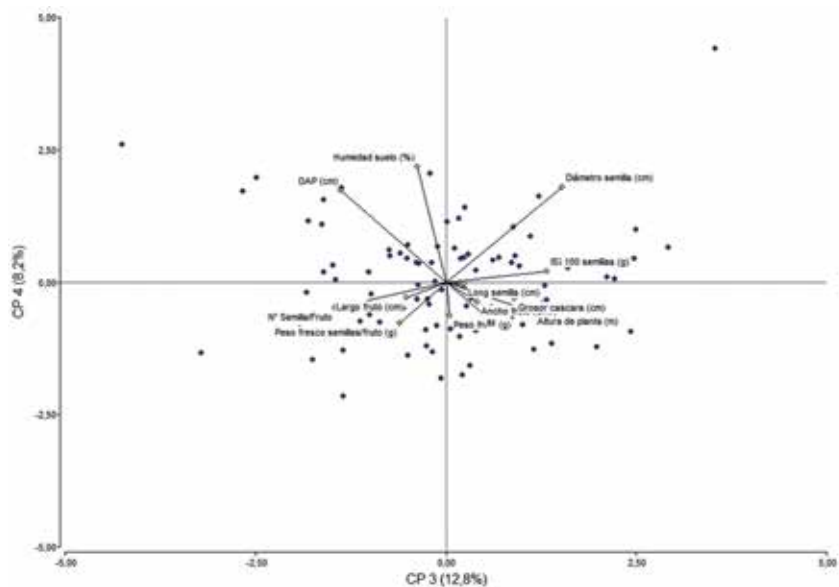
iii. Relación entre componentes principales dos y tres



iv. Relación entre componentes principales dos y cuatro

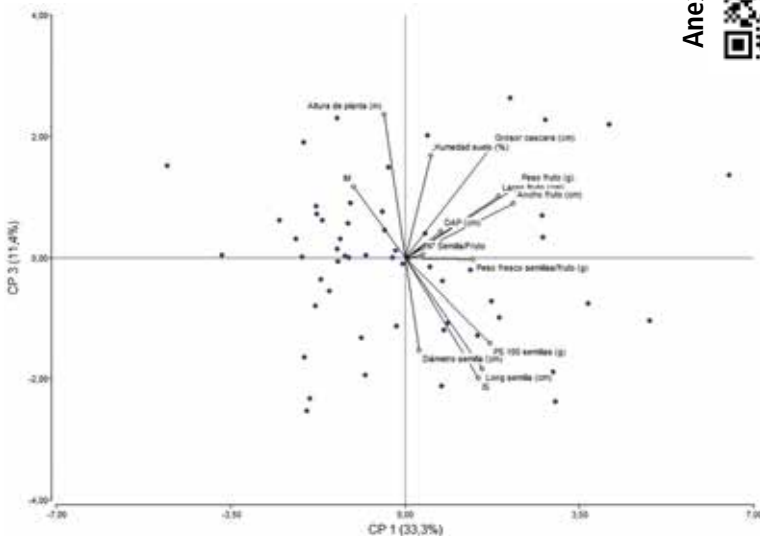


v. Relación entre componentes principales tres y cuatro



## Anexo 9: Representación espacial de análisis de componentes principales de 56 genotipos de cacao del año 2019.

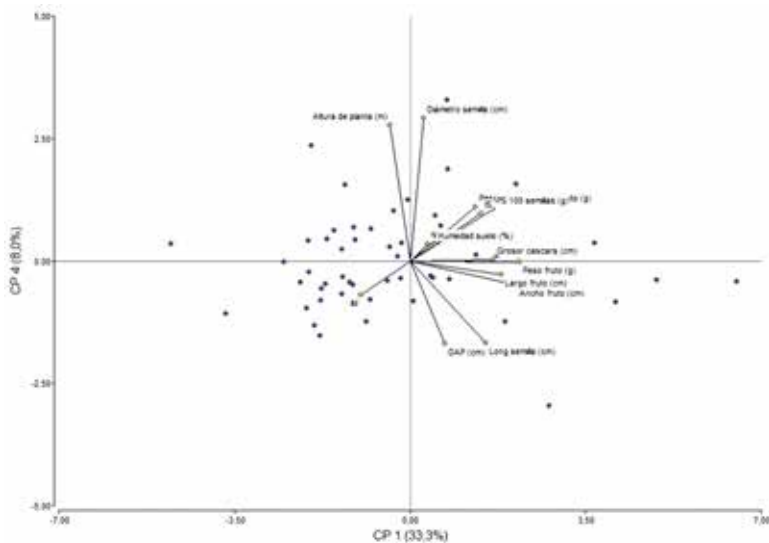
### i. Relación entre componentes principales uno y tres



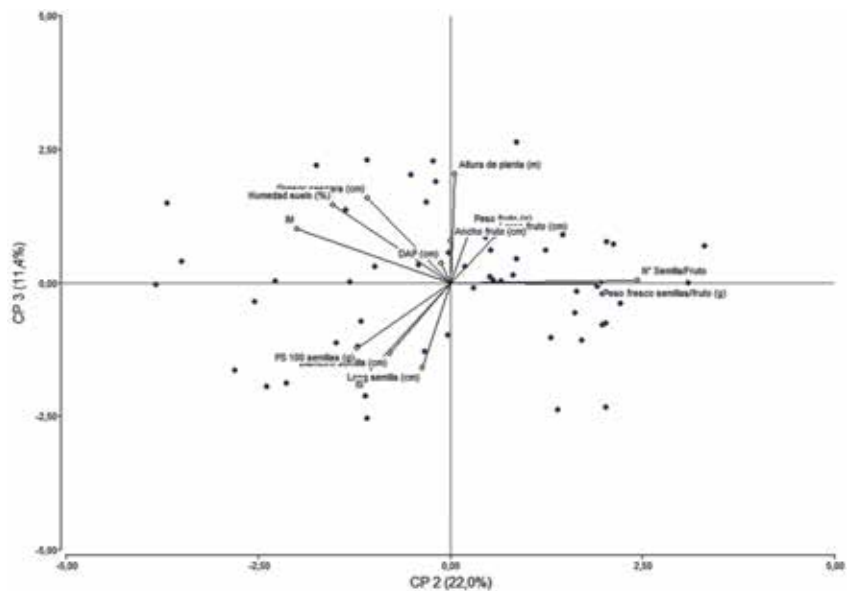
Anexo 9



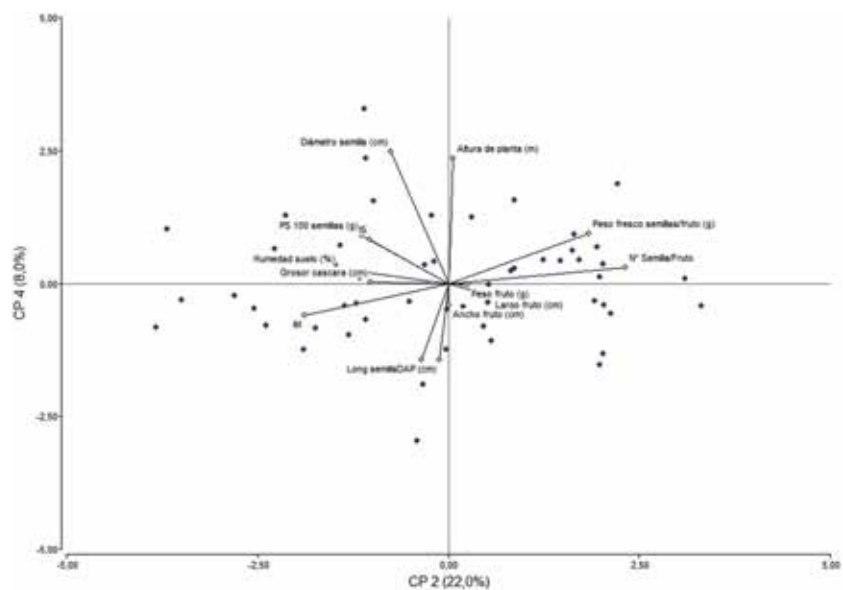
### ii. Relación entre componentes principales uno y cuatro



iii. Relación entre componentes principales tres y dos

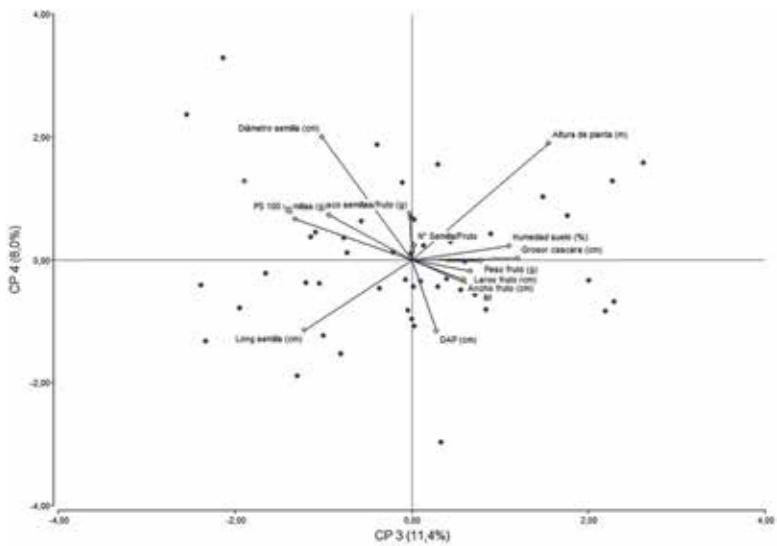


iv. Relación entre componentes principales cuatro y dos





v. Relación entre componentes principales cuatro y tres









Con el apoyo de:



**Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA)**

Casilla 5484

Teléfono: (591-2)2910797 – Fax (591-2) 2910796  
Calle Claudio Peñaranda N° 2706, esquina Vincenti, Sopocachi

Correo electrónico: [cipca@cipca.org.bo](mailto:cipca@cipca.org.bo)

Página web: [www.cipca.org.bo](http://www.cipca.org.bo)

La Paz, Bolivia

ISBN: 978-9917-603-30-6



9 789917 603306