



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



Caracterización agro morfológica de genotipos de *Theobroma cacao* L. cacao
élite, como estrategia de conservación genética bajo condiciones de trópico
seco, Utcubamba, Amazonas, Perú

TESIS

Presentada para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias
Ambientales

Autor:

M.Sc. Jheiner Vásquez García

Asesor:

Dr. Alexander Huamán Mera

LAMBAYEQUE – PERÚ

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



Caracterización agro morfológica de genotipos de *Theobroma cacao*

L. cacao élite, como estrategia de conservación genética bajo condiciones de
trópico seco, Utcubamba, Amazonas, Perú

M.Sc. Jheiner Vásquez García
Autor

Dr. Alexander Huamán Mera
Asesor

Proyecto de tesis presentado a la Escuela de Posgrado de la
Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo para optar el Grado Académico
de: Doctor en Ciencias Ambientales

Aprobado por:

Dr. Guillermo Eduardo Delgado Paredes
Presidente del jurado

Dr. Jorge Luis Saavedra Díaz
Secretario del jurado

Dr. Wilfredo Nieto Delgado
Vocal del jurado

Fecha de Sustentación: 20 de mayo de 2024

DEDICATORIA

Estoy agradecido a Dios por haberme guiado y dado la fortaleza necesaria para avanzar en el cumplimiento de mis objetivos.

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy, muchos de mis logros se los debo a ustedes, gracias por su invalorable sacrificio, dedicación, inspiración y apoyo incondicional.

A mis hermanos por su comprensión y estímulo constante, además su apoyo incondicional en el cumplimiento de mis metas que hicieron posible la culminación de mis estudios de postgrado.

Con mucho amor y cariño a mi esposa Marnit y mis hijos Naomi Jhamilet y Dairo Farid, por ser la luz y fuente de mi inspiración en el cumplimiento de mis metas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la fortaleza que me ha brindado en cada etapa de mi vida y por permitirme alcanzar uno de mis sueños más queridos. A mis padres, les doy las gracias por su apoyo incondicional, por los valores que me han inculcado y por haberme proporcionado una educación excepcional a lo largo de mi vida.

A mi Asesor Dr. Alexander Huamán Mera, por haber compartido su amplio conocimiento científico y experiencia en temas de diversidad genética en vegetales.

Al proyecto Mejoramiento de los Servicios de Investigación en la Caracterización de los Recursos Genéticos de la Agrobiodiversidad en 17 Departamentos del Perú – PROAGROBIO”, con CUI 2480490, por el apoyo logístico y financiero para el desarrollo del trabajo de investigación.

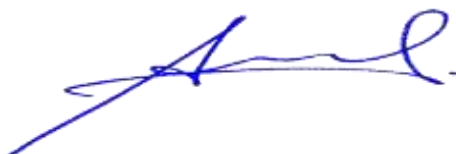
A la Estación Experimental Agraria Amazonas del Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, por el apoyo en el acceso al banco de germoplasma de cacao para la evaluación y toma de datos para el desarrollo de la presente investigación.

VISTO BUENO DEL ASESOR

El docente de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo – Lambayeque UNPRG, que al final suscribe, hace constar que ha asesorado la tesis titulada **“CARACTERIZACIÓN AGRO MORFOLÓGICA DE GENOTIPOS DE THEOBROMA CACAO L. “CACAO” ÉLITE, COMO ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN GENÉTICA BAJO CONDICIONES DE TRÓPICO SECO, UTCUBAMBA, AMAZONAS, PERÚ”** del M.Sc. Jheiner Vásquez García, egresado de Doctorado en Ciencias Ambientales de la Escuela de Posgrado EPG de la UNPRG.

La elaboración y firma del presente, otorga el Visto Bueno a fin de que la Tesis en referencia sea presentada al Jurado Evaluador, manifestando la voluntad de apoyar al tesista, de ser el caso, en el levantamiento de observaciones y en el Acto de la sustentación.

Lambayeque, 20 de Marzo de 2024.



Dr. Alexander Huamán Mera

Asesor

ÍNDICE GENERAL

Contenido

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE TABLAS.....	IX
Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
Objetivos de la Investigación.....	13
Capítulo I. Diseño Teórico.....	14
1.1. Antecedentes de la Investigación.....	14
1.2. Base Teórica.....	17
<i>1.2.1. Genotipos de Theobroma Cacao L.....</i>	<i>17</i>
<i>1.2.2. Conservación genética ex situ.....</i>	<i>17</i>
1.2.3. Banco de germoplasma.....	17
1.2.4. Caracterización Morfológica.....	17
1.2.5. Diversidad Genética.....	19
1.2.6. Conservación de la diversidad genética.....	20
1.3. Definiciones Conceptuales.....	21
<i>1.3.1. Genotipos de Theobroma cacao.....</i>	<i>21</i>
<i>1.3.2. Conservación genética ex situ.....</i>	<i>22</i>
1.3.3. Caracterización Morfológica.....	22
1.3.4. Diversidad Genética.....	22
1.3.5. Banco de Germoplasma.....	23
1.3.6. Descriptores morfológicos.....	23
1.4. Operacionalización de Variables.....	24
1.5. Hipótesis.....	24
Capítulo II. Métodos y Materiales.....	25
2.1. Tipo de Investigación.....	25
2.2. Materiales y Método de Investigación.....	25

2.2.1. Área de estudio.....	25
2.2.2. Material vegetal.....	27
2.2.3. Método de Investigación	31
2.3. Diseño de Contrastación	31
2.4. Población, Muestra y Muestreo	32
2.4.1. Población.....	32
2.4.2. Muestra	32
2.4.3. Muestreo	32
2.5. Técnicas, Instrumentos, Equipos y Materiales de Recolección de Datos	32
Descriptores morfológicos.....	33
Descriptores agronómicos	34
2.6. Procesamiento y Análisis de Datos	35
Capítulo III. Resultados.....	36
3.1. Caracterización de grupos de accesiones dentro del germoplasma	36
3.1.1. Características morfológicas.....	40
3.1.2. Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM) para descriptor de árbol	41
3.1.3. Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM) para descriptor de hoja.....	42
3.1.4. Análisis de correspondencias múltiples de descriptores de flor	43
3.1.5. Análisis de correspondencias múltiples de descriptores de fruto	44
3.1.6. Análisis de correspondencias múltiples de descriptores de semilla	45
3.2. Seleccionar los genotipos de <i>Theobroma cacao</i> de alto rendimiento.....	46
Capítulo IV. Discusión	48
V. Propuesta de Mejora.....	51
VI. Conclusiones.....	54
VII. Recomendaciones	55
Referencias Bibliográficas	56
Anexos	61

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del banco de germoplasma -----	26
Figura 2. Ubicación de los puntos de procedencia de las accesiones de cacao-----	31
Figura 3. Descriptores de árbol. hoja. flor. fruto y semilla de cacao -----	35
Figura 4. Dendograma resultante del análisis de conglomerados (método Ward	
0.99:5 grupos y distancia de gower para 113 accesiones -----	38
Figura 5. Análisis de correspondencia múltiples de descriptores de árbol-----	41
Figura 6. Análisis de correspondencias múltiples de descriptores de hoja-----	42
Figura 7. Análisis de correspondencia múltiple de descriptores de flor -----	43
Figura 8. Análisis de correspondencias múltiples para descriptores de fruto-----	44
Figura 9. Análisis de correspondencia múltiple para descriptores de semilla -----	45

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Variables climáticas de la zona de estudio para el año 2021	25
Tabla 2. Ubicación geográfica de las 113 accesiones de cacao.....	27
Tabla 3. Descriptores morfológicos.....	33
Tabla 4. Análisis de varianza para datos cuantitativos para descriptores de hoja, flor, fruto y semilla para 5 grupos conformados de cacao	39
Tabla 5. Tablas de contingencia para la asociatividad de los descriptores morfológicos para la formación de los grupos	40
Tabla 6. Características agromorfológicas diferenciales de 113 accesiones de cacao	47
Tabla 7. Presupuesto de plan de mejora.....	53
Tabla 8. Operacionalización de las variables	61

Resumen

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los cultivos más importantes para la economía de la Región de Amazonas, lo que sitúa a esta región entre las principales áreas productoras de cacao. La región cuenta con una gran diversidad genética, incluyendo variedades de cacao criollo, forastero y trinitario. El presente estudio tuvo como objetivo realizar la caracterización morfológica y agronómica de 113 accesiones de cacao del banco de germoplasma del INIA en la región amazónica. El estudio utilizó descriptores de árbol, hoja, flor, fruto y semilla para recolectar datos, que luego fueron procesados mediante estadística descriptiva y técnicas multivariadas. Los resultados mostraron que las accesiones podrían agruparse en cinco grupos en función de características similares. Las accesiones del grupo 1 fueron árboles vigorosos con un índice de racimos de 19.27 racimos/kg de semillas. Los grupos que presentaron mejores características diferenciales fueron el grupo 2, con arquitectura de árbol erecto, vigor intermedio, color de semilla morado e índice de racimo de 20.07 racimos/kg de semillas, y el grupo 3, que presentó el mayor número de accesiones con menor índices de racimo de 18.77 racimos/kg de semillas. Además, eran árboles vigorosos con semillas de violeta. El grupo 4 tuvo como característica particular color de semilla blanca e índices de racimos elevados de 22.11 racimos/kg de semillas. Finalmente, las accesiones del grupo 5 se caracterizaron por una arquitectura arbórea y vigor intermedios con un índice de racimo de 21.3 racimos/kg de semillas. La caracterización agromorfológica es un primer paso para identificar cacaos con potencial de mejoramiento genético y avances en la industria chocolatera peruana.

Palabras claves: Morfología del cacao, Descriptores, Conservación genética, Accesiones, Clones.

Abstract

Cacao (*Theobroma cacao* L.) represents one of the main crops of economic importance in the Amazon Region, which is why the region is positioned within the main cacao producing areas, having great genetic variability with accessions of creole, foreign and trinitarian cacao. The objective of this study was to carry out the morphological and agronomic characterization of 113 cacao accessions from the INIA germplasm bank in the Amazon region. The study used descriptors of tree, leaf, flower, fruit and seed to collect data, which were then processed using descriptive statistics and multivariate techniques. The results showed that the accessions could be grouped into five groups based on similar characteristics. The group 1 accessions were vigorous trees with a cluster index of 19.27 clusters/kg of seeds. The groups that presented the best differential characteristics were group 2, with erect tree architecture, intermediate vigor, purple seed color and cluster index of 20.07 clusters/kg of seeds, and group 3, which presented the greatest number of accessions with lower cluster indexes of 18.77 clusters/kg of seeds. Furthermore, they were vigorous trees with violet seeds, Group 4 had a particular characteristic of white seed color and high cluster indexes of 22.11 clusters/kg of seeds. Finally, group 5 accessions were characterized by intermediate tree architecture and vigor with a cluster index of 21.3 clusters/kg of seeds. Agromorphological characterization is a first step to identify cacaos with potential for genetic improvement and advances in the Peruvian chocolate industry.

Keywords: Cacao morphology, Descriptors, Genetic conservation, Accessions, Clones.

Introducción

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), contiene en sus almendras el ingrediente principal para la fabricación y elaboración de chocolates y otros derivados; además resalta por las bondades nutricionales, químicas organolépticas que tienen alta aceptabilidad en población mundial (Arvelo *et al.*, 2017).

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una planta tropical que prospera en regiones situadas entre los 20 grados de latitud norte y los 20 grados de latitud sur del ecuador (Delgado, 2023). Perteneciente a la familia Malvaceae (Alverson *et al.*, 1999). Este cultivo se desarrolla bajo sombra y es la base de la industria del chocolate (Ramírez-Guillermo *et al.*, 2018). Ecuador es uno de los países productores de cacao, y sus agricultores están orgullosos de sus métodos tradicionales de cultivo (Arvelo *et al.*, 2017). El cacao se cultiva en zonas cálidas y húmedas de más de 50 países repartidos por los continentes de África, América, Asia y Oceanía. En América, 23 países se dedican a la producción comercial de cacao, lo que convierte a este cultivo en un factor económico y social crucial para las regiones productoras (Arvelo *et al.*, 2017). Según los resultados de la búsqueda, los siguientes países destacan por sus niveles de producción en América: Bolivia, Brasil, Perú, Colombia y Ecuador; sin embargo, los principales países productores de cacao del mundo son Costa de Marfil, Ghana e Indonesia, seguidos de Nigeria, Camerún, Brasil, Ecuador, México, Perú y República Dominicana (Batista, 2009). Perú exporta entre el 50 y el 75% de su producción, correspondiente al 7% de la producción internacional, lo que puede parecer insignificante, pero su potencial radica en que sus exportaciones son de cacao nativo fino y aromático, un valor agregado que le permite diferenciarse, diferenciarse de sus competidores (López *et al.*, 2020).

La especie de *Theobroma cacao* L., aporta a la conservación de la biodiversidad en el ecosistema donde se desarrolla de forma silvestre o cultivada, generando un proceso simbiótico con todas las especies de flora y fauna que del hábitad donde se encuentra desarrollándose la especie de *Theobroma cacao* L (Vera *et al.*, 2021). En este contexto. López, *et al.* (2020) sostienen que el cultivo de cacao presenta una amplia capacidad productiva en diversas regiones del planeta, las mismas que ubica al cacao como una alternativa para generar el desarrollo económico capaz de contribuir mejoras en la calidad de vida de la población productora y consumidora. Así como Romero (2016), argumenta que el cacao representa una especie oriunda de los bosques tropicales de América del Sur,

atribuyendo como centro de origen las regiones comprendidas entre las cuencas de los ríos Caquetá, Putumayo y Napo afluentes del río Amazonas.

Hernández (2013), sostiene que la caracterización agromorfológica de recursos genéticos se realiza mediante la evaluación diverso caracteres según las partes botánicas de la planta y la fenología del cultivo. haciendo uso de descriptores cualitativos y cuantitativos definidos que permiten diferenciar taxonómicamente a las plantas. Mediante el estudio de la filogenia se observa que algunos caracteres de los cultivos son altamente heredables, fácilmente observables y expresables en la misma forma en cualquier ambiente. La caracterización agromorfológica permite estudiar la diversidad y variabilidad genética, para identificar plantas y para conservar los recursos genéticos.

Quevedo *et al.* (2020) sostiene que la caracterización agromorfológica haciendo usos de descriptores estándares para cada cultivo o especie con la finalidad de identificar de manera rápida y fácil entre especie, variedades o cultivares, logrando diferenciar con facilidad las características específicas entre las accesiones evaluadas.

Objetivos de la Investigación

Objetivo general

Determinar los genotipos de *Theobroma cacao* L. con características élite, como estrategia de conservación genéticas ex situ, en relación a las características agro morfológica, en Utcubamba, Amazonas – Perú.

Objetivos específicos

Caracterizar los genotipos de *Theobroma cacao* L., como estrategia de conservación genética ex situ, en relación a las características agro morfológicas.

Seleccionar los genotipos de *Theobroma cacao* de alto rendimiento como estrategia de conservación genética ex situ.

Capítulo I. Diseño Teórico

1.1. Antecedentes de la Investigación

El cacao peruano y su impacto en la economía nacional, representa la principal materia prima para la elaboración de chocolates y otros sub productos; el cacao peruano resalta por sus características nutricionales y organolépticas con buena aceptabilidad en el mercado mundial, el cultivo tiene una amplia adaptabilidad a diversas regiones tropicales del mundo, representando una fuente económica generadora de divisas (López, 2020).

El cultivo de cacao en Perú está experimentando un crecimiento significativo, lo que está generando un impacto positivo en la economía del país a través de su exportación a nivel mundial. Así mismo cabe destacar que la demanda del producto proviene principalmente del sector industrial y los principales importadores son países de la Unión Europea y Estados Unidos. Es importante señalar que la producción peruana está en aumento, tanto en términos de áreas cultivadas como en volumen de producción de cacao, lo que conlleva a ubicarse en el noveno lugar del ranking de producción y exportación, con el 2% de la producción de cacao a nivel mundial (Ministerio de Agricultura y Riego, 2019).

Perú tiene una alta diversidad genética y variabilidad del cacao, presente en las selvas altas y bajas del país (Ministerio de Agricultura y Riego, 2016). Esta riqueza genética nativa, junto con las características edafoclimáticas existentes en el Perú, brindan una ventaja competitiva en el corto y mediano plazo (García, 2008). El conocimiento y difusión de las características morfológicas y agronómicas de las variedades de cacao cultivadas en el país y su rescate, conservación y mejoramiento genético son aspectos claves para el buen manejo y uso de los recursos genéticos disponibles (Ramírez-Guillermo *et al.*, 2018). El estudio de los aspectos morfológicos de las especies vegetales se utiliza para investigar aspectos microscópicos y macroscópicos de forma, estructura y reproducción, que no requieren formación científica (Pérez-García y Mendoza, 2002). La caracterización morfológica ha sido y es utilizada como herramienta para realizar numerosos estudios de mejoramiento genético en agricultura (Arciniegas, 2005). Además, la conservación de las diferentes accesiones es importante para los programas de mejoramiento genético, para lo cual la caracterización fenotípica y genotípica es importante (Ramos y Gómez, 2019).

En algunos departamentos del Perú se caracterizaron accesiones de cacao mediante descriptores morfológicos de flor, fruto, hoja, semilla, producción, análisis sensorial y análisis molecular, con el fin de fortalecer el uso de germoplasma en programas de

mejoramiento genético. En este contexto, Oliva (2020) llevó a cabo un estudio para identificar y caracterizar la diversidad biológica de 146 variedades de cacao nativo fino de aroma. Este análisis se basó en las características morfológicas de los frutos y semillas, así como en descriptores sensoriales y de productividad, y permitió la clasificación en cinco grupos en los departamentos de Amazonas, San Martín y Cajamarca. Por otro lado, García (2019) encontró siete grupos, donde el grupo cuatro fue el más concentrado y fenotípicamente diverso en la caracterización de las 46 accesiones de cacao conservadas en la colección internacional de la UNAS. En este contexto, la producción de clones forma parte de una estrategia de mejoramiento genético, ya que surge de la selección de las mejores accesiones con características sobresalientes en calidad, productividad y adaptabilidad que influirán en un impacto directo en la productividad de este cultivo y en la obtención de los rendimientos previstos (Quintana *et al.*, 2015).

Por su parte García (2019), afirma que la caracterización y clasificación fenotípica se realiza haciendo usos de descriptores estándar para caracteres de morfología y caracteres organolépticos; mediante la caracterización morfológica y organoléptica permitió clasificar las accesiones por especies genéticas (Nacional, Forastero y Trinitario); mientras que las características morfológicas de flores, bayas y almendras mediante el análisis de componentes principales permite hacer la clasificación taxonómica (p.12).

La caracterización morfológica productiva del cacao permite recopilar información de descriptores de las características de fruta y semilla de cacao: Entre otros las características de variabilidad genética de los árboles evaluados no hay diferencia significativa, en cuanto a los descriptores de fruto y semilla existe ligeras variaciones por motivo de manejo técnico del cultivo y variabilidad genética (Tamani, 2019).

La caracterización agro morfológica in situ permite identificar la diversidad genética presente en un determinado lugar con fines de determinar el linaje genético y la progenie de clones, variedades, especies y familias. En este contexto, según López et al. (2018), la caracterización del cacao se lleva a cabo utilizando descriptores tanto cualitativos como cuantitativos para identificar sus características agromorfológicas; además, en otros estudios realizados se resalta que la variabilidad genética cuantitativa de los clones evaluados representa el 36.36% de los descriptores y niveles de variabilidad mayores al 30% resaltando que existe una amplia diversidad genética.

Los cacaos con características élite son aquellos que muestran una amplia capacidad de adaptabilidad, buena producción y resistencia a enfermedades; en este contexto, Pérez

(2017) sostiene que la adaptabilidad de clones prometedores de cacao nacional está determinada por el material genético disponible, destacándose particularmente los clones EET-95, EET-96 y EET-103. Diversos estudios han demostrado que el clon EET-103 produce una cantidad significativa de almendras y presenta parámetros de índice de cosecha comparables a la variedad CCN-51.

La caracterización genética de clones de cacao se lleva a cabo utilizando fichas biométricas de producción y descriptores morfológicos. En estudios realizados, se utilizó material genético para evaluar los clones CCN-51, IMC-67, SCA-6, ICS-1, ICS-6, ICS-39, ICS-95, TSH-565, VRAE-21 y VRAE-22. Tras las evaluaciones y análisis estadísticos, se determinó que tanto la morfología como el manejo agronómico del cultivo influyen en la expresión de características promisorias en términos de productividad, resistencia a enfermedades y calidad organoléptica (Aponte, 2016).

En el Perú, existe una gran diversidad genética de cacao, destacando los cacaos finos de aroma con características organolépticas de alta calidad. Además, hay accesiones domesticadas en parcelas de agricultores y otras en estado silvestre que aún necesitan ser identificadas, colectadas y evaluadas por sus características prometedoras. Estos materiales genéticos son valiosos debido a su selección natural a lo largo de muchos años, pero actualmente no se les da el valor que merecen, ya que la mayoría de las áreas productivas están dedicadas al cultivo de variedades mejoradas introducidas, las cuales son susceptibles a enfermedades que afectan al cultivo (Pichanaki. I. E. E. A., 2018). En este contexto, y con el propósito de revalorizar la diversidad genética, el Instituto Nacional de Innovación Agraria cuenta con un banco de germoplasma de cacao en el anexo de Huarangopampa, instalado en 2016. Dada la variabilidad de las accesiones, es necesario llevar a cabo su caracterización para futuras investigaciones en mejoramiento genético. Por ello, el objetivo del estudio fue realizar la caracterización morfológica y agronómica de las accesiones de cacao.

1.2. Base Teórica

1.2.1. *Genotipos de Theobroma Cacao L.*

La especie *Theobroma cacao* L. exhibe una amplia diversidad en cuanto a formas, tamaños, colores y poblaciones. Actualmente, para caracterizar sus formas y cultivares se analizan tanto las características morfológicas como las agronómicas. Tradicionalmente, los genotipos de *Theobroma cacao* se agrupan en tres categorías genéticas: Criollo, Forastero y Trinitario (Arévalo *et al.*, 2017, p. 15).

1.2.2. *Conservación genética ex situ*

La conservación *ex situ* posibilita la preservación de genes y genotipos de plantas fuera de su entorno natural para su uso presente o futuro. Esto se logra a través de diversas actividades que forman parte del manejo de los recursos fitogenéticos en bancos de germoplasma (Ríos *et al.*, 2006, p. 10).

1.2.3. Banco de germoplasma

Un banco de germoplasma es un lugar dedicado a la recolección y almacenamiento de semillas, así como a la conservación de tejidos o plantas, con el objetivo de preservar la diversidad genética. En este sentido, se considera un tipo de banco, ya que estos recursos fitogenéticos se mantienen como material genético para ser utilizados en investigaciones y programas de mejoramiento genético (Ghosh, 2013).

1.2.4. *Caracterización Morfológica*

Descriptores de Arquitectura de Árbol: Los descriptores de arquitectura de árbol permiten identificar los hábitos de crecimiento de la planta, distribución de las ramas con respecto al tronco principal, se evalúa márgenes de crecimiento llegando a concluir que puede llegar a crecer hasta una altura de 20 m en desarrollo libre o silvestres y bajo condiciones de sombra; presenta un tallo recto y que puede crecer en formas muy diversas de acuerdo a las condiciones ambientales (López, 2019).

Los términos utilizados para caracterizar la estructura de un árbol se refieren a cómo se percibe el ángulo promedio entre sus ramas en relación con un eje central imaginario. Según la clasificación propuesta, se considera crecimiento erecto cuando el ángulo es igual o menor a 90°, crecimiento intermedio cuando el ángulo es mayor a 90° pero menor a 135°, y crecimiento penduloso cuando el ángulo proyectado supera los 135° (Restrepo y Urrego, 2018, p. 6).

Descriptores de Hoja: Los descriptores para caracterización morfológica de hoja se recomiendan que la muestra debe estar compuesta por hojas adultas son verdes, teniendo

la estructura de lámina foliar simple, son de características entera, de forma ovalada, nervadura pinnada y ambas superficies lisas; la nervadura principal es prominente y la parte terminal del ápice de la hoja es agudo; así mismos la longitud y diámetro de la hoja es variable, esto se debe a características genéticas del clon y al lugar de ubicación que se encuentra respecto al árbol (Phillips, *et al.* 2013).

Los descriptores para realizar la caracterización del tipo de hoja se deben elegir 10 plantas de forma aleatoria y elegir 15 hojas que se encuentren distribuidas en los tres tercios. Para la colecta de la muestra se debe tener en cuenta que las hojas deben encontrarse en estado fisiológico activo; los descriptores de hoja que se utiliza para hacer las evaluaciones son: Forma de hoja, longitud de hoja, forma de la base, forma del ápice (Restrepo y Urrego, 2018. p.7).

Descriptores de Flor: El cacao exhibe flores con estructuras pentámeras que incluyen 5 sépalos, 5 pétalos, 5 estaminodios y un ovario con 5 lóculos, todas ellas de naturaleza hermafrodita y simetría actinomorfa. Los sépalos, de 5 a 8 mm de largo y 1.5 a 2 mm de ancho, pueden variar en color desde blanco verdoso hasta rosa claro. Los pétalos, más grandes que los sépalos con longitudes de 6 a 9 mm, son de color amarillento y presentan de dos a tres nervaduras violetas. La flor posee 10 estambres en total, de los cuales cinco son fértiles y alternan con cinco estaminodios. Estos estambres están fusionados en la base formando un tubo, con los fértiles midiendo entre 2.5 y 3 mm de largo y situados frente a los pétalos. Los estaminodios, de color violeta y midiendo de 6.5 a 7.5 mm, complementan la estructura floral. El ovario, ovoide y anguloso con dimensiones de 2 a 3 mm de largo, es pentagonal y contiene óvulos dispuestos en dos filas, con entre 6 y 16 óvulos por fila (Dostert et al., 2011, p.3).

En el estudio realizado por Phillips et al. (2013), se recomienda cosechar las flores por la mañana. Se seleccionan aleatoriamente 20 flores frescas y abiertas para el muestreo. Además, para la caracterización de las flores, se eligen al azar 10 árboles y se toman dos muestras por árbol, según se describe por Restrepo y Urrego (2018, p. 13), quienes utilizan los siguientes descriptores para la caracterización del cacao: color del pedúnculo, antocianina en sépalos, antocianina en estaminodios, antocianina en el limbo del pétalo, color de la flor, orientación del sépalo, longitud del estaminodio, longitud del ovario y longitud del estilo.

Descriptores de Fruto: La estructura frutal conocida como mazorca es en realidad una baya que se adhiere al tallo mediante un pedúnculo, impidiendo su separación incluso

cuando el fruto está completamente maduro. Su tamaño, color y forma varían según los rasgos genéticos del clon al que pertenece. Puede llegar a medir hasta 30 cm de longitud y 10 cm de diámetro, conteniendo entre 20 y 40 semillas. Estas semillas están envueltas en un mucílago que se forma a partir del revestimiento externo del óvulo (Gutiérrez, 2020).

Los procedimientos para describir físicamente el cacao (*Theobroma cacao* L.) indican que, para caracterizar el fruto, se deben seleccionar diez frutos de cada variedad. Según Guevara Mena y Salazar Robín (2015), es necesario que los frutos recolectados para esta caracterización estén completamente maduros y no presenten problemas de salud. Los atributos utilizados para la descripción del fruto incluyen el color tanto en su estado inmaduro como maduro, la forma de la punta y la base, la forma general del fruto, su rugosidad, peso, longitud y diámetro (Restrepo y Urrego, 2018, p. 17, 19).

Descriptores de Semilla: Las semillas varían en tamaño, forma y color dependiendo del clon de cacao: las semillas de la variedad Criollo son generalmente ovaladas y alargadas, midiendo de 3 a 4 cm de largo y presentando colores que van desde el blanco hasta tonos rosados o violeta claro. En contraste, las semillas de la variedad Forastero son más pequeñas, de 2 a 3 cm de largo, aplanadas y redondeadas, con un color violeta púrpura característico. Cada semilla contiene dos cotiledones y un embrión situado entre ellos. El endospermo está cubierto por una fina capa externa de mucílago, y el sabor de las semillas varía según su linaje genético, siendo dulces en el caso de los cacaos Criollo y más ácidos en los Forastero (Batista, 2009).

Según los criterios de la semilla, es necesario identificar los frutos que han sido caracterizados, y después de esto, seleccionar aleatoriamente 5 semillas para evaluar varias características morfológicas: longitud, diámetro, grosor, forma en sección longitudinal, forma en sección transversal y color predominante de los cotiledones (Restrepo y Urrego, 2018, p. 21-22).

1.2.5. Diversidad Genética

La diversidad genética del cacao incluye diversas poblaciones silvestres, nativas y exóticas con diferentes orígenes genéticos y niveles de evolución. Estas poblaciones están distribuidas en ubicaciones geográficas específicas y se caracterizan por exhibir rasgos tanto comunes como distintivos (García, 2019).

Theobroma cacao L. está compuesta por una amplia diversidad genética con poblaciones que difieren en forma. Tamaño, color y sabor; estos parámetros son

identificados mediante un proceso de caracterización de las poblaciones y cultivares utilizando descriptores que ayudan a realizar la caracterización agromorfológica de accesiones de cacao presentes en un determinado territorio. La descripción física y agronómica del cacao es crucial en programas de mejoramiento genético enfocados en aumentar la producción y la resistencia a plagas. Esto se logra mediante la combinación de características genéticas de diferentes linajes a través de la heterosis y cruzamientos entre clones (Dostert *et al.*, 2011. p.4).

Los recursos genéticos de las plantas constituyen la principal fuente para crear nuevas variedades que posean cualidades comerciales deseables, como alta productividad, capacidad de adaptación a condiciones adversas y resistencia a plagas y enfermedades. Estos recursos abarcan especies, variedades y genes de gran valor para el mejoramiento de cultivos. Los fitomejoradores y agricultores necesitan acceder a una amplia gama de genes para desarrollar variedades con las características específicas buscadas, y el sector formal de semillas desempeña un papel crucial en este proceso (Vasconcelos *et al.*, 2005).

1.2.6. Conservación de la diversidad genética

La conservación de la diversidad genética se realiza mediante el uso de germoplasma de manera in situ o ex situ dependen de la identificación, cuantificación. Ubicación, distribución y extensión de la diversidad genética (Ruiz *et al.*, 2015. p.12).

Los métodos para preservar los recursos fitogenéticos se dividen en dos principales categorías: la conservación in situ y la conservación ex situ. La conservación in situ implica mantener las variedades o poblaciones vegetales en sus hábitats naturales, mientras que la conservación ex situ se realiza en bancos de germoplasma, instalaciones diseñadas para mantener material propagativo en condiciones óptimas a largo plazo. Los métodos de conservación ex situ abarcan el almacenamiento de semillas, bancos de genes en el campo, colecciones in vitro y jardines botánicos. La conservación in situ se considera la opción preferida y única para la preservación de especies, comunidades y ecosistemas, mientras que la conservación ex situ se ve como un complemento de la primera y no como una alternativa secundaria (Martínez, 2001).

1.3. Definiciones Conceptuales

1.3.1. Genotipos de *Theobroma cacao*

El cacao es una especie originaria del bosque amazónico tropical y presenta una amplia diversidad genética de forma silvestre o domesticada:

Esto significa qué: El género *Theobroma* pertenece a la familia Malvaceae y en la actualidad se tiene identificado 22 especies, las cuales todas se encuentran de forma silvestre y cultivada bajo condiciones de bosque tropical húmedo. El territorio de expansión natural abarca desde la cuenca del Amazonas por el sur hasta la región meridional de México. El territorio con mayor diversidad se localiza en la región amazónica situada en los países de Brasil, Perú, Ecuador, Venezuela y Colombia. Las especies del género *Theobroma* morfológicamente están compuesta por plantas ramificadas con copa densa y redonda, con hojas simples y enteras, y con un fruto carnoso (mazorca). Todo el cacao producido y comercializado en el mercado internacional provienen de la especie *Theobroma cacao* L. (Dostert *et al.*, 2011. p.3).

En cuanto a los genotipos de *Theobroma cacao* L. Se caracteriza por contar con una amplia diversidad genética contando con especies domesticadas cultivadas en las zonas de origen o de forma introducida y especies silvestres que pueden ser utilizadas en programas de mejoramiento genético.

El cacao es una planta que se encuentra naturalmente en el bosque tropical húmedo. Tiene un número diploide de cromosomas ($2n = 20$). Este cultivo involucra a aproximadamente seis millones de agricultores en todo el mundo y proporciona ingresos a más de 40 millones de personas. Por lo tanto, el cacao es un cultivo de gran importancia económica a nivel global (Ricaño-Rodríguez, 2018). El género *Theobroma* se originó en las zonas tropicales húmedas de las regiones amazónicas y cuenta con 22 especies reconocidas, siendo el *Theobroma cacao* L el único cultivado con propósitos comerciales (Dostert *et al.*, 2011). Así mismo la especie de *Theobroma cacao* se divide en tres variedades bien definidas que difieren mediante sus características morfológicas y anatómicas: Cacao criollo, forastero y trinitario. La variedad de cacao criollo difiere por sus potenciales resaltantes en calidad organoléptica deseable para la fabricación de chocolates de sabor fino. En la actualidad la mayor parte de la producción de chocolates provienen de la variedad forastero; ya que dicha variedad resalta por ciertas características de resistencia a algunas enfermedades y su potencialidad en la producción de alto

rendimiento y su costo es de menor precio que el criollo. Mientras que la variedad trinitaria viene a ser un híbrido obtenido mediante el cruzamiento de las variedades criollas y forasteras, y se cultiva en muchas zonas productoras por sus características resaltantes de buena calidad, alta productividad y resistencia a enfermedades que atacan al cultivo (Arvelo *et al.*, 2017).

1.3.2. Conservación genética ex situ

La conservación "Ex situ" implica preservar los recursos genéticos fuera del entorno natural de las especies. Sus objetivos incluyen proteger estos recursos genéticos para reducir las pérdidas por contaminación física o genética. Es crucial que estos recursos sean fácilmente accesibles para su uso en programas de investigación y mejoramiento genético (Piña Flores, 2020).

1.3.3. Caracterización Morfológica

La caracterización morfológica implica clasificar la diversidad presente en una colección de material genético, facilitando así la identificación y distinción entre las muestras de una especie. Este proceso se centra en características morfológicas y fenológicas que son altamente heredables, es decir, cuyas manifestaciones son poco afectadas por el entorno circundante (Ayestas, 2009, p.6).

La descripción morfológica del cacao permite evaluar la variabilidad genética y su distribución geográfica tanto entre poblaciones como dentro de cada población de clones o variedades de *Theobroma cacao* L. Además, facilita la determinación de relaciones filogenéticas y de linaje entre distintas poblaciones de la especie. Según De la Rosa y Martín (2016), la caracterización morfológica implica la evaluación sistemática de una variedad utilizando descriptores, herramientas que ayudan a distinguir entre variedades y a identificar la diversidad genética de los cultivos nativos. En el contexto del germoplasma de una especie, esta caracterización consiste en describir de manera sistemática las accesiones utilizando características cualitativas y cuantitativas como el tipo de crecimiento, la altura de la planta y el color de las flores, entre otras.

1.3.4. Diversidad Genética

La variabilidad genética se refiere a las diferencias en el material genético presente en una población o especie, incluyendo sus genomas. Cuanta más variabilidad genética haya en una población, más rápidamente puede evolucionar. Este concepto constituye el

elemento fundamental de la biodiversidad, manifestándose en las variaciones heredables que se observan entre organismos individuales, dentro de una población y entre diferentes poblaciones de la misma especie. La diversidad genética representa la suma total de las características genéticas distintas entre los individuos de una especie, y es esencial para la biodiversidad (Piñero *et al.*, 2008). La preservación de la diversidad genética es crucial para la supervivencia a largo plazo de una especie, ya que una reducción en esta diversidad limita su capacidad para adaptarse a cambios ambientales futuros. La variabilidad genética posibilita la evolución de las especies, dado que cada generación experimenta una selección natural donde sólo ciertos individuos sobreviven y se reproducen. Las mutaciones, el flujo génico y la reproducción sexual son las principales fuentes que generan nueva variabilidad genética (Bellon *et al.*, 2009).

1.3.5. Banco de Germoplasma

Un banco de germoplasma es un espacio, ya sea en el campo o en un laboratorio de biotecnología, donde se conserva una colección documentada de variedades, biotipos, semillas y tejidos. Estos están catalogados con fichas de pasaporte, fichas de colecta y registros de características morfológicas. Este banco permite realizar posteriormente caracterizaciones moleculares. Su propósito principal es facilitar la obtención de nuevas variedades de cacao mediante métodos como la selección, el cruzamiento, hibridaciones o mutaciones planificadas. Estos métodos buscan mejorar características específicas como el rendimiento, contenido nutricional, sabor, aroma, resistencia a plagas y enfermedades, así como la adaptación a cambios climáticos (Condón y Rossi, 2018).

1.3.6. Descriptores morfológicos

Es un instrumento que detalla las características cualitativas y cuantitativas que permite identificar el linaje genético de una especie, variedad o cultivar. En este contexto (Hernández, 2013. p.114) define a los descriptores morfológicos como un conjunto de parámetros que ayudan a identificar características cualitativas y cuantitativas de recursos fitogenéticos mediante el uso de la lista de caracteres definidos que facilita identificar taxonómicamente a las plantas agrupándolo en especies, variedades y clones. Las características fenológicas que son altamente heredables pueden ser identificadas mediante evaluación. Estas son fácilmente observables y se expresan de manera consistente en diferentes ambientes, tanto naturales como cultivados. Por otro lado, las características morfológicas ayudan a evaluar la variabilidad genética, facilitan la identificación de

plantas y contribuyen a la conservación de los recursos genéticos (Hernández, 2013, p. 114).

1.4. Operacionalización de Variables

Variable: Caracterización agro morfológica.

Operacionalización de la Variable

La variable “Morfología del cacao”, se estudió la dimensión fenotipo del cacao, se evaluó las características agromorfológicas de árbol, hoja, flor, fruto, semilla. El instrumento de evaluación que se utilizó es una ficha de descriptores agro morfológicos siguiendo la metodología de López *et al.* (2018), García (2010) y Restrepo y Urrego (2018); como se observa en el Anexo 1.

1.5. Hipótesis

Los genotipos de *Theobroma cacao* L., con características élite, en relación a las estrategias de conservación genética ex situ y características agro morfológicas de árbol, hojas, flor, fruto y semilla, se asocian a las accesiones CAP32, CAP33, CAP45, CAP48 y CAP51, propagadas bajo condiciones ambientales de microclima con temperatura, humedad relativa y precipitación pluvial específicos de trópico y en consideración a las estrategias socioeconómicas de productividad y asociatividad en Utcubamba, Amazonas, Perú.

Capítulo II. Métodos y Materiales

2.1. Tipo de Investigación

La investigación es tipo explicativa porque relaciona la causal entre las variables agromorfológicas cualitativas y cuantitativas. El trabajo de investigación evaluó las características cualitativas y cuantitativas de manera independiente para determinar los parámetros fenotípicos con la finalidad de seleccionar los genotipos de *Theobroma cacao* con características élites (Hernández, et al., 1999).

2.2. Materiales y Método de Investigación

2.2.1. Área de estudio

El banco de germoplasma que contiene 113 variedades de cacao está situado en el anexo de Huarangopampa, ubicado a una altitud de 552 metros sobre el nivel del mar, en el distrito de El Milagro, provincia de Utcubamba. Los suelos de esta zona tienen una textura franco arcillosa arenosa, con un pH de 7.5, una conductividad eléctrica de 4 ms/m, y contenidos de nutrientes como 7.35 ppm de fósforo, 219.81 ppm de potasio, 1.09 % de carbono orgánico, 1.88 % de materia orgánica y 0.09 % de nitrógeno, según los resultados del análisis realizado en el Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. No se incluyen detalles sobre las características climáticas del área donde se encuentra el banco de germoplasma en los resultados disponibles.

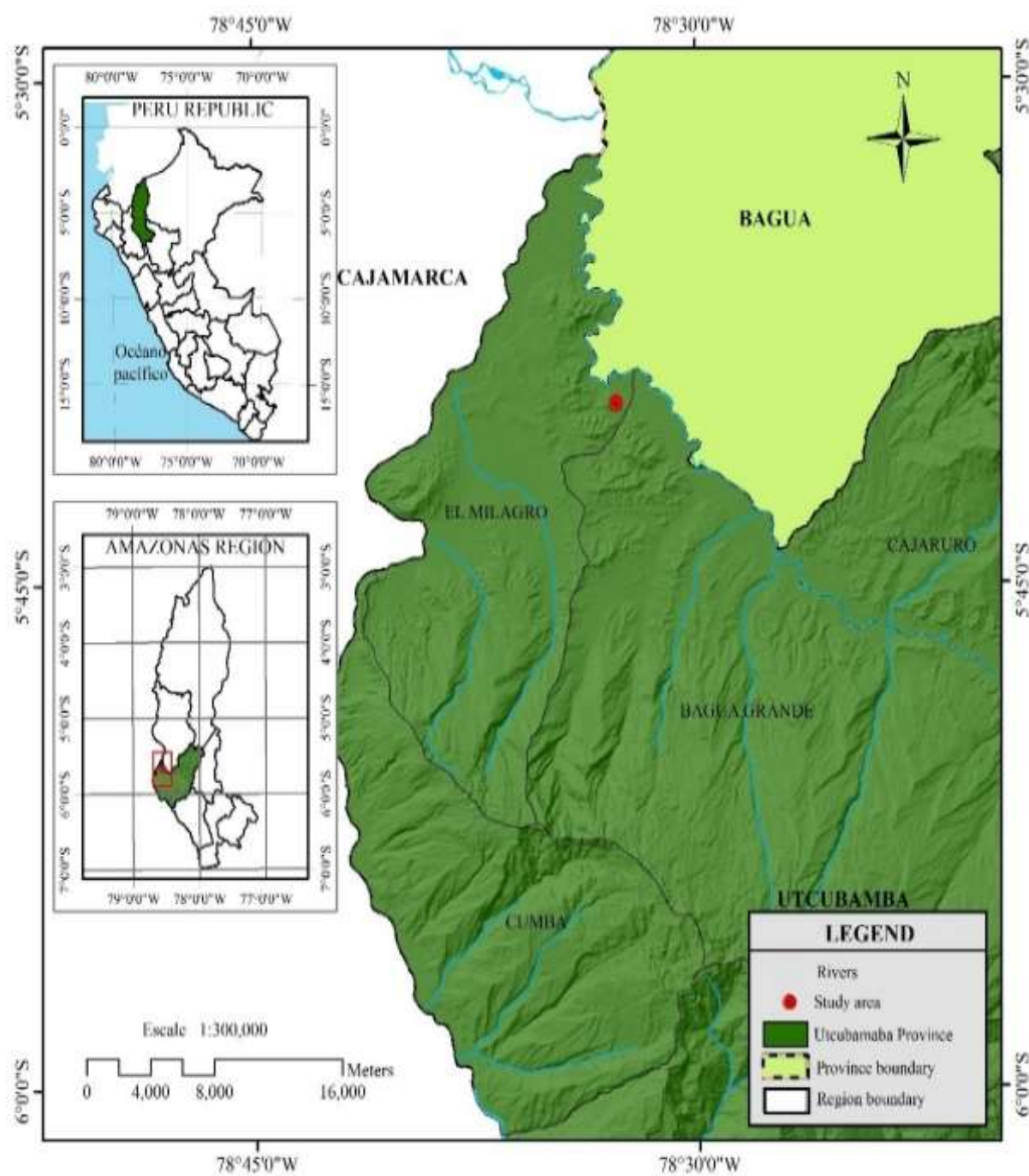
Tabla 1. Variables climáticas de la zona de estudio para el año 2021

Meses	Variables climáticas		
	Temperatura	Precipitación acumulada (mm)	Humedad relativa (%)
Enero	23.25	30.3	77.28
Febrero	24.11	0.9	74.54
Marzo	22.74	125.2	82.42
Abril	23.08	62.4	82.19
Puede	22.95	141.1	80.76
Junio	22.58	32.3	80.13
Julio	22.41	8.5	73.38
Agosto	23.71	12.2	69.88
Septiembre	23.57	63.7	73.75
Octubre	24.06	131.1	77.31
Noviembre	24.17	34.1	75.46
Diciembre	24.21	43.2	75.68

Fuente: Estación meteorológica automática Bagua (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2021)

Figura 1.

Ubicación del banco de germoplasma



2.2.2. Material vegetal

El estudio se llevó a cabo con 113 variedades de cacao establecidas en 2016, recolectadas en dos provincias: Bagua y Utcubamba. Bagua presenta dos tipos de climas distintos: uno cálido, con temperaturas que oscilan entre los 14.5 °C y los 25°C, y precipitaciones de 500-4000 mm, ubicándose entre los 500 y 3500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Esta provincia se caracteriza por paisajes montañosos en la cordillera oriental y subandina, así como llanuras tanto montañosas como aluviales de los ríos Marañón, Utcubamba y sus afluentes. Utcubamba, por su parte, tiene un clima árido cálido en sus áreas de menor altitud, con temperaturas promedio anuales de 25.1°C, y una precipitación media anual de 1,400 mm. Sus altitudes varían entre 350 y 1,400 m s.n.m. Este territorio incluye paisajes montañosos, ondulados (cordillera subandina) y llanuras a lo largo de los ríos Marañón y Utcubamba, con precipitaciones que rondan entre 600 y 800 mm por año según el Ministerio de Agricultura y Riego (2008).

Tabla 2.

Ubicación geográfica de las 113 accesiones de cacao

N ^a Accesión	Distrito	Localidad	Latitud	Longitud	Altitud
1	Copallin	Caña Brava	5°45'8.86"	78°25'17.09"	1152
2	Copallin	Caña Brava	5°45'10.72"	78°25'16.04"	1152
3	Copallin	Caña Brava	5°38'52.22"	78°24'33.82"	1063
4	Peca	Humbate	5°37'18.32"	78°25'0.87"	1119
5	Peca	Humbate	5°37'18.28"	78°25'0.57"	1121
6	Peca	Humbate	5°36'21.99"	78°25'6.34"	1055
7	Peca	Humbate	5°36'54.59"	78°25'6.78"	1054
8	Peca	Humbate	5°36'54.53"	78°25'8.44"	1055
9	Peca	Humbate	5°36'54.63"	78°25'8.34"	1055
10	Peca	Humbate	5°36'44.94"	78°25'8.35"	1052
11	Peca	Arrayan	5°36'1.22"	78°26'31.68"	898
12	Peca	San Francisco	5°37'27.95"	78°26'59.07"	727
13	Peca	San Francisco	5°37'27.97"	78°27'5.01"	710
14	El Parco	El Parco	5°37'37.21"	78°28'11.55"	614

15	El Parco	El Parco	5°37'37.18"	78°28'11.68"	615
16	El Parco	El Parco	5°37'36.99"	78°28'12.55"	612
17	El Parco	El Parco	5°37'47.39"	78°28'11.70"	614
18	El Parco	El Parco	5°37'36.62"	78°28'11.06"	614
19	El Parco	Tolopampa	5°36'1.19"	78°29'3.37"	629
20	Bagua	Tomaque	5°39'29.61"	78°29'53.24"	469
21	Bagua	Tomaque	5°39'29.61"	78°29'53.24"	469
22	Bagua	Tomaque	5°39'28.53"	78°29'51.54"	469
23	Bagua	Tomaque	5°39'27.61"	78°29'52.35"	469
24	Copallín	Huaranguillo	5°40'39.18"	78°27'3.65"	443
25	Copallín	Huaranguillo	5°40'38.76"	78°27'4.40"	443
26	Copallín	Huaranguillo	5°40'39.57"	78°27'5.71"	449
27	Copallín	Huaranguillo	5°40'39.61"	78°27'5.50"	449
28	Copallín	Copallín	5°40'28.41"	78°24'38.33"	948
29	Copallín	Copallín	5°40'28.94"	78°24'39.17"	944
30	Copallín	Copallín	5°40'29.14"	78°24'40.73"	936
31	Copallín	Copallín	5°40'27.01"	78°24'38.53"	943
32	Copallín	Lluhuana	5°40'34.78"	78°24'29.17"	932
33	Copallín	Lluhuana	5°40'56.43"	78°24'17.90"	908
34	Copallín	Lluhuana	5°40'58.02"	78°24'17.47"	894
35	Copallín	Lluhuana	5°40'58.35"	78°24'17.28"	894
36	Copallín	Lluhuana	5°40'58.66"	78°24'15.46"	899
37	Copallín	Lluhuana	5°41'1.50"	78°24'17.36"	887
38	Copallín	Lluhuana	5°40'57.62"	78°24'21.24"	896
39	Copallín	Lluhuana	5°40'55.07"	78°24'19.40"	900
40	Copallín	Lluhuana	5°40'46.82"	78°24'14.86"	920
41	Copallín	La Palma	5°39'11.83"	78°23'18.78"	1177
42	Copallín	La Palma	5°39'7.60"	78°23'18.76"	1182
43	Copallín	La Palma	5°39'8.01"	78°23'16.52"	1173
44	Copallín	Lluhuana	5°41'2.54"	78°24'8.72"	832
45	Copallín	Lluhuana	5°41'1.11"	78°24'9.47"	864
46	Cajaruro	San José Bajo	5°42'7.94"	78°24'3.10"	740
47	Cajaruro	San José Bajo	5°42'7.87"	78°24'3.07"	739

48	Cajaruro	San José Bajo	5°42'5.78"	78°24'7.23"	735
49	Cajaruro	San José Bajo	5°42'5.78"	78°24'7.17"	737
50	Cajaruro	San José Bajo	5°42'6.10"	78°24'6.74"	735
51	Cajaruro	San José Bajo	5°42'7.17"	78°24'6.28"	734
52	Cajaruro	San José Bajo	5°42'7.17"	78°24'6.15"	736
53	Cajaruro	San José Bajo	5°42'6.33"	78°24'7.03"	738
54	Cajaruro	San José Bajo	5°42'7.34"	78°24'7.19"	731
55	Cajaruro	San José Bajo	5°42'8.22"	78°24'7.03"	733
56	Cajaruro	San José Bajo	5°42'7.34"	78°24'7.19"	727
57	Cajaruro	San José Bajo	5°42'5.43"	78°24'1.61"	746
58	Copallín	El Yuyo	5°39'32.70"	78°24'56.24"	944
59	Cajaruro	Manantial	5°44'20.73"	78°20'56.61"	720
60	Copallín	Lluhuana	5°41'2.00"	78°27'28.79"	900
61	Copallín	Pan de Azúcar	5°40'2.65"	78°23'13.32"	1039
62	Copallín	Pan de Azúcar	5°40'0.59"	78°23'10.34"	1044
63	Copallín	Pan de Azúcar	5°40'1.18"	78°23'10.44"	1043
64	Copallín	Pan de Azúcar	5°40'1.50"	78°23'10.53"	1044
65	Cajaruro	Diamante Bajo	5°43'14.82"	78°20'55.68"	808
66	Cajaruro	Diamante Bajo	5°43'11.91"	78°20'53.94"	832
67	Cajaruro	Diamante Bajo	5°43'10.80"	78°20'53.10"	851
68	Cajaruro	Diamante Bajo	5°43'32.37"	78°20'52.35"	553
69	Cajaruro	Diamante Bajo	5°42'42.93"	78°19'50.61"	856
70	Cajaruro	Diamante Bajo	5°42'41.35"	78°19'48.41"	846
71	Cajaruro	Diamante Bajo	5°42'40.90"	78°19'48.19"	845
72	Cajaruro	Diamante Bajo	5°42'40.93"	78°19'47.83"	845
73	Cajaruro	Diamante Bajo	5°42'42.93"	78°19'50.61"	844
74	Cajaruro	Diamante Bajo	5°42'41.42"	78°19'47.57"	840
75	Cajaruro	Diamante Bajo	5°42'41.61"	78°19'47.76"	842
76	Cajaruro	Diamante Bajo	5°42'41.48"	78°19'47.57"	840
77	Cajaruro	Diamante Bajo	5°42'39.56"	78°19'48.29"	843
78	Cajaruro	Diamante Bajo	5°42'38.85"	78°19'49.59"	853
79	Imaza	Pakun	5°10'23.46"	78°16'51.78"	278
80	Imaza	Pakun	5°10'23.30"	78°16'51.81"	278

81	Imaza	Pakun	5°10'26.58"	78°16'50.27"	276
82	Imaza	Pakun	5°10'26.58"	78°16'59.33"	283
83	Imaza	Duran	5°13'34.59"	78°21'11.90"	346
84	Cumba	Cumba	5°56'14.11"	78°39'33.88"	540
85	Cumba	Cumba	5°56'13.18"	78°39'31.16"	476
86	Cumba	Cumba	5°57'3.77"	78°38'48.50"	496
87	Cumba	Cumba	5°57'4.25"	78°38'48.01"	503
88	Cumba	Cumba	5°57'4.94"	78°38'48.20"	496
89	Cumba	Arcana	5°57'1.35"	78°39'25.75"	474
90	Cumba	Arcana	5°57'56.56"	78°38'36.87"	461
91	Cumba	Arcana	5°57'20.02"	78°38'36.34"	463
92	El Milagro	Cayaltí	5°46'11.88"	78°34'45.49"	647
93	El Milagro	Cayaltí	5°46'9.15"	78°34'46.48"	643
94	El Milagro	Cayaltí	5°46'5.74"	78°34'46.91"	647
95	Bagua Grande	Jahuanga	5°46'21.30"	78°33'24.36"	614
96	Bagua Grande	Jahuanga	5°46'21.36"	78°33'24.52"	614
97	Bagua Grande	Jahuanga	5°46'21.20"	78°33'24.82"	614
98	Bagua Grande	Jahuanga	5°46'37.01"	78°33'30.96"	629
99	Bagua Grande	Jahuanga	5°46'37.66"	78°33'31.80"	630
100	Bagua Grande	Jahuanga	5°46'38.55"	78°33'32.61"	632
101	Bagua Grande	Jahuanga	5°46'39.22"	78°33'31.50"	629
102	Bagua Grande	Jahuanga	5°46'39.22"	78°33'31.50"	629
103	Copallín	Lluhuana	5°40'56.27"	78°24'17.97"	894
104	Copallín	Lluhuana	5°40'56.44"	78°24'19.17"	891
105	Bagua	Peca Palacios	5°40'0.21"	78°29'28.39"	491
106	Imaza	Shushunga	5°12'5.11"	78°19'52.67"	362
107	Imaza	Shushunga	5°12'5.11"	78°19'52.67"	362
108	Cajaruro	La Cruz	5°45'31.92"	78°24'45.51"	454
109	Cajaruro	Concordia	5°44'9.56"	78°24'40.58"	496
110	Cajaruro	Misquiaco Bajo	5°44'55.92"	78°20'33.19"	786
111	Cajaruro	Concordia	5°44'8.24"	78°24'37.54"	517
112	Cajaruro	Concordia	5°44'9.58"	78°24'38.60"	517
113	Cajaruro	Concordia	5°44'9.33"	78°24'40.78"	497

Ubicación de los puntos de procedencia de las accesiones de cacao



2.3. Diseño de Contrastación

Cada accesión de cacao consistió en 9 plantas (réplicas), distribuidas en un diseño cuadrado con una distancia de 3 m entre plantas y filas, siguiendo el método descrito por

Quiroz y Mestanza (2012). El banco de germoplasma se estableció el 15 de junio de 2016, y las evaluaciones para la caracterización se realizaron de febrero a diciembre de 2021, cuando las accesiones alcanzaron los 5 años de edad.

2.4. Población, Muestra y Muestreo

2.4.1. Población

Se utilizaron 113 variedades de cacao, con 9 repeticiones cada una, sumando un total de 1,017 árboles. Fueron plantados con un espaciamiento de siembra de 3 x 3 metros en un sistema cuadrado. Estas variedades están conservadas en el banco de germoplasma de la Estación Experimental Agraria Amazonas, localizada en el Anexo Huarangopampa, Distrito El Milagro, Provincia Utcubamba, departamento de Amazonas.

2.4.2. Muestra

La muestra está compuesta por 09 árboles de *Theobroma cacao* por *accesión*, 10 hojas fisiológicamente maduras, 10 flores, 10 frutas, 10 semillas por *accesión*. En este contexto (Prado, 2020) establece que la muestra se determina para cada *accesión* en estudio y consistente en evaluar descriptores cualitativos y cuantitativos que permitan hacer la disertación y diferenciación morfológica de cada clon estudiado.

2.4.3. Muestreo

El muestreo se realizó de manera aleatoria tomando nueve (09) planta por *accesión*; una vez seleccionada las tres plantas por *accesión* se procedió a realizar evaluaciones a nivel de campo; así también se realizó la toma de muestras tanto de hoja, flor y fruto para ser evaluadas a nivel de laboratorio de acuerdo a los descriptores establecidos para la investigación.

2.5. Técnicas, Instrumentos, Equipos y Materiales de Recolección de Datos

Se solicitó la autorización al Director de la Estación Experimental Agraria Amazonas para la autorización de las evaluaciones del material genético con el que cuenta el banco de germoplasma de cacao (Ver anexo 1).

La recolección de datos para la dimensión fenotipo de cacao, se realizó haciendo uso de fichas de descriptores agro morfológicos para determinar las características cualitativos y cuantitativos, siguiendo la metodología de López *et al.*, (2018), García (2010), Restrepo y Urrego (2018), los cuales describen y establecen las características cualitativas y cuantitativas a evaluar en las 113 accesiones de cacao, con el fin de valorar las características agro

morfológicas e identificar clones con características elite para promover de la producción masiva a nivel de productores y programas de mejoramiento genético (García, 2019).

Los descriptores agro morfológicos para las evaluaciones cualitativas y cuantitativas constan de 01 dimensión, 05 subdimensiones y 27 indicadores, las cuales son valoradas haciendo usos de unidades de medida longitudinal, peso y escalar haciendo uso de la escala Likert del 1 al 7, según corresponda el indicador a evaluar (Ver Anexo 3).

Descriptores morfológicos

El trabajo de investigación hiso usos de descriptores morfológicos propuestos por López et al., (2018); García (2010); Restrepo and Urrego (2018) considerando descriptores de árbol, hoja, flor, fruto y semilla de 113 accesiones de cacaos (Tabla 3).

Tabla 3.

Descriptores morfológicos

Descriptor	Indicador
Arquitectura del árbol	1: Erecto, 2: Intermedio, 3: Perpendicular
Vigor del árbol	1: Débil, 2: Intermedia, 3: Vigorosa
Formación de ramas	1: simple, 2: Intermedia, 3: Verticilada
Forma de la base de la hoja	1: Aguda, 2: Obtusa, 3: Redonda, 4: Cordiforme
Forma del ápice de la hoja	1: Acuminado, 2: Apiculado corto, 3: Apiculado Largo, 4: Agudo
Color del brote tierno	1: Verde claro, 2: Verde medio, 3: Marrón, 4: Rojo Claro, 5: Rojo medio, 6: Rojo oscuro
Color de la hoja adulta	1: Verde claro, 2: Verde medio, 3: Verde oscuro
Presencia de antocianinas en el pedicelo	1: Ausente, 2: Débil, 3: Moderado, 4: Fuerte
Pigmento de antocianinas de los sépalos	1: Ausente, 2: Débil, 3: Moderada, 4: Fuerte

Pigmento de los estaminodios	1: Ausente, 2: Débil (Ligera) 3: Moderado, 4: Fuerte
Color externo del Ovario	1: Crema, 2: Amarillo, 3: Amarillo crema, 4: Verde claro
Color del fruto inmaduro	1: Verde claro, 2: Verde oscuro, 3: Verde pigmentado, 4: Rojo oscuro
Color del fruto maduro	1: Verde Amarillo, 2: Amarillo, 3: Anaranjado, 4: Rojo Medio, 5: Rojo Oscuro, 6: Púrpura
Forma del fruto	1: Elíptico, 2: Oblongo, 3: Abovado, 4: Ovado, 5: Orbicular, 6: Oblado
Forma del ápice	1: Atenuado, 2: Dentado, 3: Agudo, 4: Apezonado, 5: Obtuso, 6: Redondeado
Forma de la constricción basal	0: Ausente, 1: Ligero, 2: Intermedio, 3: Fuerte
Rugosidad del fruto	0: Ausente, 1: Ligero, 2: Intermedio, 3: Fuerte
Color de la semilla	1: Blanco, 2: Violeta, 3: Morado
Forma de la semilla	1: Oblonga, 2: Elíptica, 3: (ovada), 4: Irregular
Forma de la semilla en sección transversal	1: Aplanada, 2: Intermedia 3: Redondeada

Descriptores agronómicos

El estudio utilizó descriptores agronómicos sugeridos por López et al. (2018), García (2010), y Restrepo y Urrego (2018), abordando características de árboles, hojas, flores, frutos y semillas en 113 accesiones de cacao.

Los descriptores agronómicos evaluados para el desarrollo de la presente investigación fueron:

Características de la hoja incluyen su longitud (en centímetros), ancho de la hoja (en centímetros) y longitud del pecíolo (en centímetros).

En cuanto a la flor, se consideran la longitud del pedicelo (en centímetros), las dimensiones del sépalo (longitud en milímetros y ancho en milímetros), las dimensiones del pétalo (longitud y ancho en milímetros), y las medidas del filamento, estaminoide, estilo, ovario (todas en milímetros).

Para el fruto, se registran el número de surcos, el peso (en gramos), las dimensiones (longitud y diámetro en centímetros), el espesor de la cáscara (en centímetros), la

profundidad del surco (en centímetros), el peso del pericarpio (en gramos) y el número de lóculos.

Datos de la semilla: Cantidad de semillas por cavidad, peso fresco de cada semilla en gramos, número de semillas por fruto, semillas completas, semillas vacías, peso de diez semillas en gramos, longitud, anchura y grosor de cada semilla.

Figura 3.

Descriptores de árbol, hoja, flor, fruto y semilla de cacao.



2.6. Procesamiento y Análisis de Datos

Para la caracterización de las 113 accesiones de cacaos se llevaron a cabo el procesamiento y análisis de datos de las 113 muestras de cacao utilizando técnicas estadísticas avanzadas con el software InfoStat/Profesional versión 2018p. Se aplicó un análisis de conglomerados utilizando el método de Ward y la distancia de Gower para agrupar las

muestras según su similitud. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza para identificar las características que influían en la formación de estos grupos en variables cuantitativas, empleando la prueba de LSD Fisher. Para las variables cualitativas, se utilizaron tablas de contingencia para determinar qué características contribuyeron a la formación de los grupos. Aquellas variables que mostraron significancia fueron analizadas mediante un análisis de correspondencias múltiples para evaluar las asociaciones entre ellas.

Capítulo III. Resultados

3.1. Caracterización de grupos de accesiones dentro del germoplasma

La caracterización se llevó a cabo utilizando un análisis de agrupamiento utilizando el método de Ward y la distancia de Gower para las variables que describen características como árbol, hoja, flor, fruto y semilla. Este enfoque facilitó la identificación de cinco grupos distintos de cacaos. El método de Ward calcula las desviaciones de los centroides geométricos y es posible hacerlo correctamente a partir de la matriz de distancias si los datos están estandarizados. La distancia de Gower es una medida de disimilitud que puede manejar tipos de datos mixtos, como variables continuas, binarias y categóricas. El uso de estos métodos permitió la identificación de grupos de cacaos en función de sus rasgos morfológicos. (Figura 4).

En el presente trabajo de investigación, se utilizó el ANOVA para analizar la variable "índice de mazorca" en diferentes accesiones de cacao. Los resultados indicaron que esta variable fue determinante en la formación de grupos dentro de las características cuantitativas, con diferencias estadísticas significativas entre grupos ($p=0.04$). En particular, el grupo 4 presentó la media más alta con respecto a esta variable. Se encontraron tres accesiones con 14 mazorcas/kg de semillas, seis accesiones con 15 mazorcas/kg de semillas y 15 accesiones con 16 mazorcas/kg de semillas. Los mayores índices de mazorca se encontraron en los grupos 4 y 5, con 22.11 ± 4.10 y 21.3 ± 5.11 mazorcas/kg de semillas respectivamente, valores intermedios con los grupos 2 y 1 con 20.07 ± 3.76 y 19.27 ± 4.17 respectivamente y el menor índice de mazorca se logró con el grupo 3 con 18.77 ± 3.22 mazorcas/kg de semillas.

El grupo 1 está integrado por 11 accesiones que representan las mejores características agromorfológicas referente a descriptores de fruta. Estas accesiones son parte de un grupo más grande. Las características de las accesiones son las siguientes: Longitud del

estaminoide: 6.91 ± 1.07 ; Ancho del ovario: 1.28 ± 0.26 ; Peso del fruto: 857.64 ± 316.71 ; Longitud del fruto: 20.27 ± 4.08 ; Diámetro del fruto: 20.27 ± 4.08 ; Peso del pericarpio: 650.91 ± 268.28 ; Número de lóculos: 5 ± 0.00 ; Número de semillas: 7.91 ± 1.45 ; Peso fresco de semillas: 187.64 ± 54.14 ; Número de semillas por fruto: 40.36 ± 4.65 .

El grupo 2 está compuesto por 30 accesiones de cacao (Figura 4), los presentan las mejores características en cuanto a ancho de hoja (11.32 ± 2.09), longitud de peciolo (2.46 ± 0.65), espesor de la cascara (1.73 ± 0.37) y espesor de la semilla (1.03 ± 0.20) (Tabla 4).

El grupo 3 alberga la mayor cantidad de accesiones con un numero de 31 accesiones de cacaos (Figura 4), las mejores características corresponden a ancho de sépalo (2.62 ± 1.14), longitud de ovario (1.76 ± 0.39), profundidad de surco (1.28 ± 0.48) longitud de semillas (4.39 ± 9.03) y ancho de semillas (1.48 ± 0.26) (Tabla 4).

El grupo 4 está representado por la conformación de 18 cacaos (Figura 4), y en la tabla 4 se muestra las mejores características están representadas por la longitud de hoja (33.96 ± 5.65), la longitud del peciolo (17.63 ± 4.31), longitud del sépalo (8.18 ± 1.32 a), longitud del pétalo (3.74 ± 0.42), longitud del filamento (5.54 ± 0.83), numero de semillas por vaina (2.44 ± 2.59), peso de 10 semillas (44.17 ± 14.87).

El grupo 5 está conformado por 23 cacaos (Figura 4), los que presentan las mejores características de ancho de pétalo (1.82 ± 0.33), longitud de estilo (2.98 ± 0.83) y numero de semillas integras (35.13 ± 9.23) (Tabla 4).

Figura 4.

Dendrograma resultante del análisis de conglomerados (método Ward 0.99:5 grupos y distancia de gower para 113 accesiones

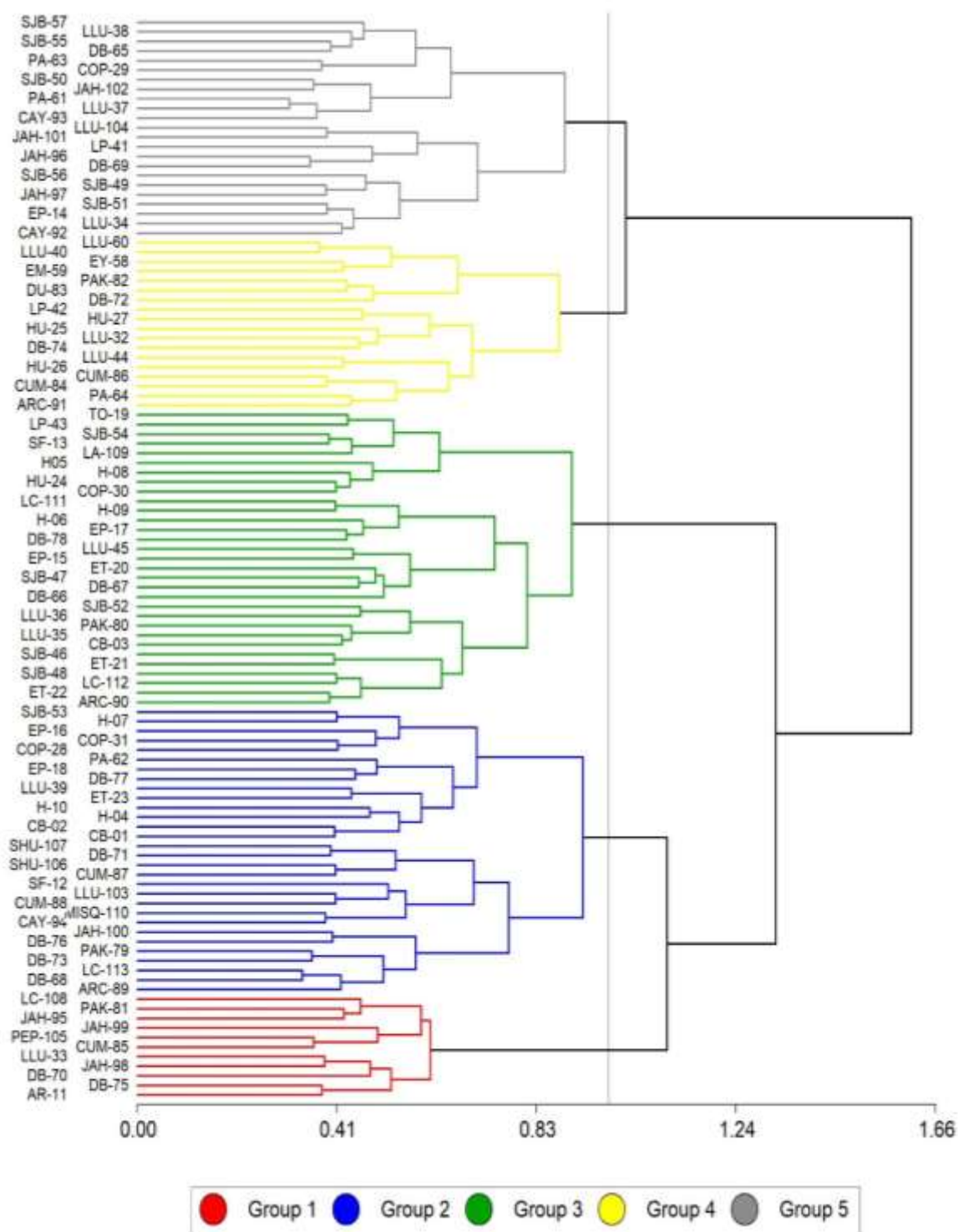


Tabla 4. Análisis de varianza para datos cuantitativos para descriptores de hoja, flor, fruto y semilla para 5 grupos conformados de cacao

G	Longitud de hoja	Ancho de hoja	Longitud del peciolo	Longitud del pedicelo	Longitud de sépalo	ancho de sépalo	longitud de pétalo	Ancho de pétalo	longitud de filamento	longitud de estaminodio
	F=1.20 P=0.32	F=0.08 P=0.99	F=0.12 P=0.98	F=0.99 P=0.4181	F=1.04 P=0.39	F=0.96 P=0.46	F=0.95 P=0.4364	F=1.66 P=0.1636	F=1.46 P=0.22	F=2.33 P=0.06
1	31.85 ± 3.42 a	11.26 ± 1.51 a	2.34 ± 0.25 a	16.08 ± 1.33 a	7.38 ± 1.10 a	2.36 ± 0.56 a	3.71 ± 0.71 a	1.65 ± 0.23 a	5.21 ± 0.1 a	6.91 ± 1.07 a
2	31.93 ± 5.01 a	11.32 ± 2.09 a	2.46 ± 0.65 a	16.19 ± 2.72 a	7.46 ± 1.71 a	2.32 ± 0.53 a	3.49 ± 0.52 a	1.66 ± 0.33 a	5.03 ± 0.83 a	6.33 ± 1.11 a
3	32.01 ± 4.19 a	11.19 ± 1.51 a	2.39 ± 0.52 a	16.19 ± 2.73 a	7.50 ± 1.43 a	2.62 ± 1.14 a	3.50 ± 0.60 a	1.79 ± 0.25 a	4.93 ± 0.90 a	6.13 ± 0.97 a
4	33.96 ± 5.65 a	11.19 ± 1.67 a	2.40 ± 0.52 a	17.63 ± 4.31 a	8.18 ± 1.32 a	2.29 ± 0.42 a	3.74 ± 0.42 a	1.81 ± 0.31 a	5.54 ± 0.83 a	6.82 ± 1.04 a
5	30.94 ± 3.16 a	11.07 ± 1.01 a	2.41 ± 0.67 a	17.09 ± 3.46 a	7.87 ± 1.32 a	2.30 ± 0.55 a	3.57 ± 0.46 a	1.82 ± 0.33 a	5.08 ± 1.00 a	6.72 ± 0.97 a
G	Longitud de estilo	Longitud de ovario	Ancho de ovario	Número de surcos	Peso de fruto	Longitud de fruto	Diámetro de fruto	espesor de la cascara	profundidad de surco	peso de pericarpio
	F=0.26 P=0.90	F=0.48 P=0.75	F=0.70 P=0.5940	F=0.68 P=0.60	F=1.60 P=0.18	F=0.60 P=0.66	F=1.17 P=0.33	F=1.69 P=0.16	F=1.60 P=0.18	F=0.97 P=0.43
1	2.89 ± 0.38 ab	1.75 ± 0.21 a	1.28 ± 0.26 a	5 ± 0.00 a	857.64 ± 316.71 a	20.27 ± 4.08a	10.05 ± 1.17 a	1.73 ± 0.37 a	1.10 ± 0.17 a	650.91 ± 268.28 a
2	2.78 ± 0.63 ab	1.74 ± 0.31 a	1.24 ± 0.26 a	5 ± 0.00 a	703.43 ± 241.36 a	19.68 ± 3.78 a	9.34 ± 1.27 a	1.92 ± 0.54 a	1.22 ± 0.29 a	546.47 ± 201.38 a
3	2.84 ± 1.02 a	1.76 ± 0.39 a	1.20 ± 0.22 a	5 ± 0.00 a	672.74 ± 179.09 a	18.72 ± 3.10 a	9.40 ± 1.01 a	1.74 ± 0.53 a	1.28 ± 0.48 a	533.65 ± 145.71 a
4	2.92 ± 0.58 ab	1.74 ± 0.21 a	1.17 ± 0.13 a	5 ± 0.00 a	702.28 ± 247.05 a	19.11 ± 3.04 a	9.34 ± 0.98 a	1.77 ± 0.46 a	1.10 ± 0.23 a	434.56 ± 201.50 a
5	2.98 ± 0.83ab	1.65 ± 0.24 a	1.17 ± 0.26 a	5 ± 0.00 a	654.78 ± 223.56 a	19.61 ± 3.09 a	9.20 ± 1.10 a	1.56 ± 0.46 a	1.07 ± 0.38 a	518.52 ± 193.63 a
G	número de lóculos	numero de semillas/lóculo	peso fresco de semillas	N se semillas /fruto	N de semillas integras	N de semillas vanas	peso de 10 semillas	longitud de semillas	ancho de semillas	espesor de semilla
	F=2.00 P=0.09	F=0.11 P=0.0.98	F=1.30 P=0.27	F=1.29 P=0.29	F=1.58 P=1.18	F=0.88 P=0.49	F=0.41 P=0.79	F=0.81 P=0.52	F=0.44 P=0.78	F=0.59 P=0.67
1	5 ± 0.00 a	7.91 ± 1.45 a	187.64 ± 54.14 a	40.36 ± 4.65 a	38.91 ± 4.50 a	1.45 ± 1.44 a	43.82 ± 12.69 a	2.67 ± 0.43 a	1.45 ± 0.28 a	1.03 ± 0.20 a
2	4.97 ± 0.18 a	7.83 ± 1.39 a	162.07 ± 53.04 a	36.77 ± 8.84 a	35 ± 9.60 a	1.50 ± 2.37 a	41.23 ± 10.61 a	2.53 ± 0.37 a	1.43 ± 0.25 a	1.04 ± 0.12 a
3	4.97 ± 0.18 a	7.71 ± 1.44 a	185.87 ± 54.07 a	40.26 ± 7.07 a	38.87 ± 7.52 a	1.39 ± 1.58 a	41 ± 13.38 a	4.39 ± 9.03 a	1.48 ± 0.26 a	1 ± 0.15 a
4	4.83 ± 0.38 a	7.83 ± 1.10 a	177.56 ± 84.86 a	36.39 ± 9.13 a	33.94 ± 9.23 a	2.44 ± 2.59 a	44.17 ± 14.87 a	2.67 ± 0.48 a	1.44 ± 0.32 a	1.02 ± 0.17 a
5	4.78 ± 0.52 a	7.65 ± 1.50 a	155.65 ± 51.48 a	36.70 ± 9.41 a	35.13 ± 9.23 a	1.57 ± 1.88 a	40.09 ± 8.91 a	2.56 ± 0.43 a	1.37 ± 0.34 a	0.98 ± 0.11 a

3.1.1. Características morfológicas

La tabla de contingencia es un tipo de clasificación cruzada que muestra las conexiones entre dos o más variables categóricas. En este estudio, se empleó la tabla de contingencia para investigar la relación entre las variables categóricas que describen características como árbol, hoja, flor, fruto y semilla. El análisis de estas tablas reveló que 18 de las 20 variables estudiadas mostraron una asociación significativa que permitió agruparlas en 5 categorías distintas.

Tabla 5. Tablas de contingencia para la asociatividad de los descriptores morfológicos para la formación de los grupos

Descriptor de árbol (%)	Descriptor de Hoja (%)	Descriptor de flor (%)	Descriptor de fruto (%)	Descriptor de semilla (%)
Arquitectura del árbol [*]	Forma de la hoja [*]	Presencia de antocianinas en el pedicelo ^{**}	Color del fruto Inmaduro ^{ns}	Color de la semilla ^{**}
Vigor del árbol ^{**}	Forma del ápice de la hoja ^{**}	Presencia de antocianinas en los sépalos ^{**}	Color del fruto Maduro ^{**}	Forma de la semilla ^{**}
Formación de Ramas [*]	Color del brote tierno ^{**}	Pigmento en los estaminodios [*]	Forma del fruto ^{**}	Forma de la semilla (Corte transversal) ^{**}
	Color de Hoja Adulta ^{**}	Color externo del ovario ^{**}	Forma del ápice ^{**}	
			Forma de constricción basal ^{**} Rugosidad del fruto ^{ns}	

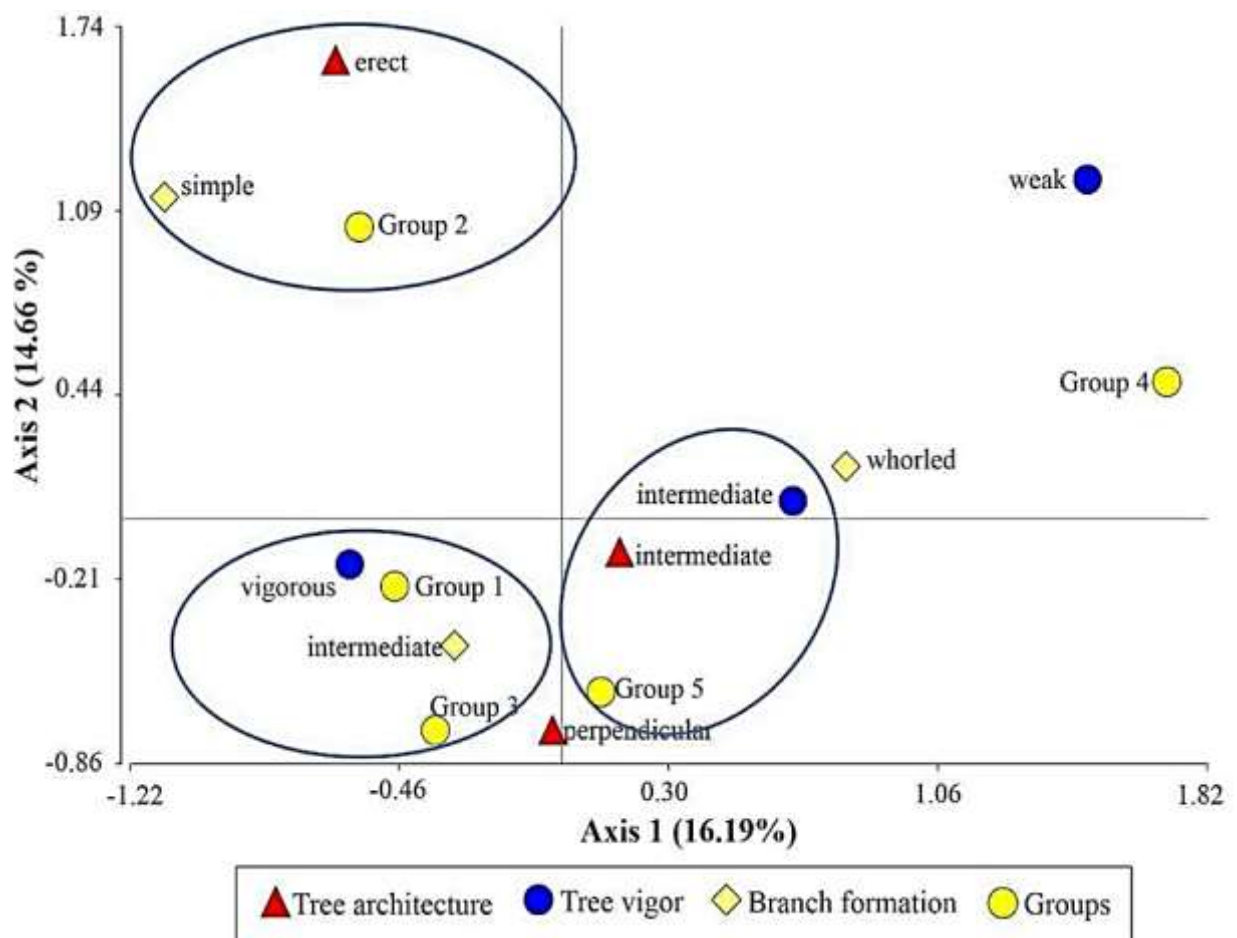
3.1.2. Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM) para descriptor de árbol

El estudio encontró que los dos primeros ejes del ACM explicaban el 30.85% de la varianza de los datos. El estudio también identificó cinco grupos de árboles en función de sus características. El grupo 2 se asoció con una arquitectura de árbol erecto y ramas simples, mientras que los grupos 1 y 3 se asociaron con árboles vigorosos con formación de ramas intermedia. El grupo 4 se caracterizó por un vigor débil y el grupo 5 se caracterizó por un vigor intermedio y una arquitectura de árbol intermedia (Figura 5).

En el caso específico del análisis de correspondencias múltiples de grupos formados para descriptor de árbol, se pueden considerar tres variables cualitativas: Arquitectura (erecto, intermedio y perpendicular), vigorosidad (débil, intermedio y vigoroso) y formación de ramas (simple, intermedia y verticilada)

Figura 5.

Análisis de correspondencia múltiples de descriptores de árbol



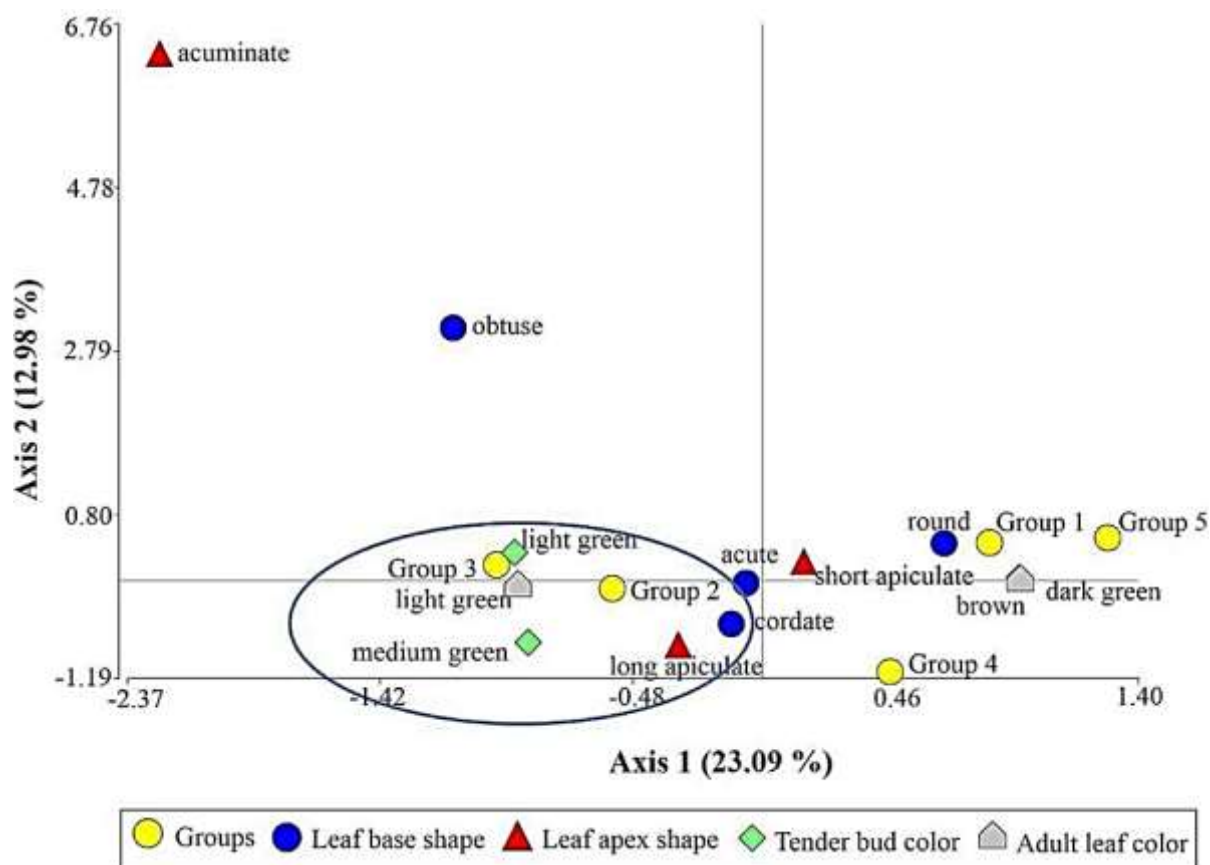
3.1.3. Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM) para descriptor de hoja

El ACM agrupa diferentes conjuntos basados en características específicas. Los dos primeros componentes del análisis explican el 36.07% de la variabilidad, y los grupos 2 y 3 están relacionados con la presencia de hojas adultas y brotes tiernos de color verde claro a medio. Por otro lado, el grupo 1 muestra hojas adultas de color verde claro y brotes tiernos, mientras que el grupo 4 exhibe hojas adultas verdes oscuras y brotes tiernos de color marrón. El grupo 5 se distingue principalmente por tener hojas con una forma redondeada en la base (Figura 6).

Se llevó a cabo un análisis de correspondencias múltiples para evaluar los grupos formados según varios descriptores de hojas, incluyendo la forma de la base de la hoja (aguda, obtusa, redonda, cordiforme), la forma del ápice de la hoja (acuminado, apiculado corto, apiculado largo), el color del brote tierno (verde claro, verde medio, marrón), y el olor de la hoja adulta (verde claro, verde oscuro).

Figura 6.

Análisis de correspondencias múltiples de descriptores de hoja



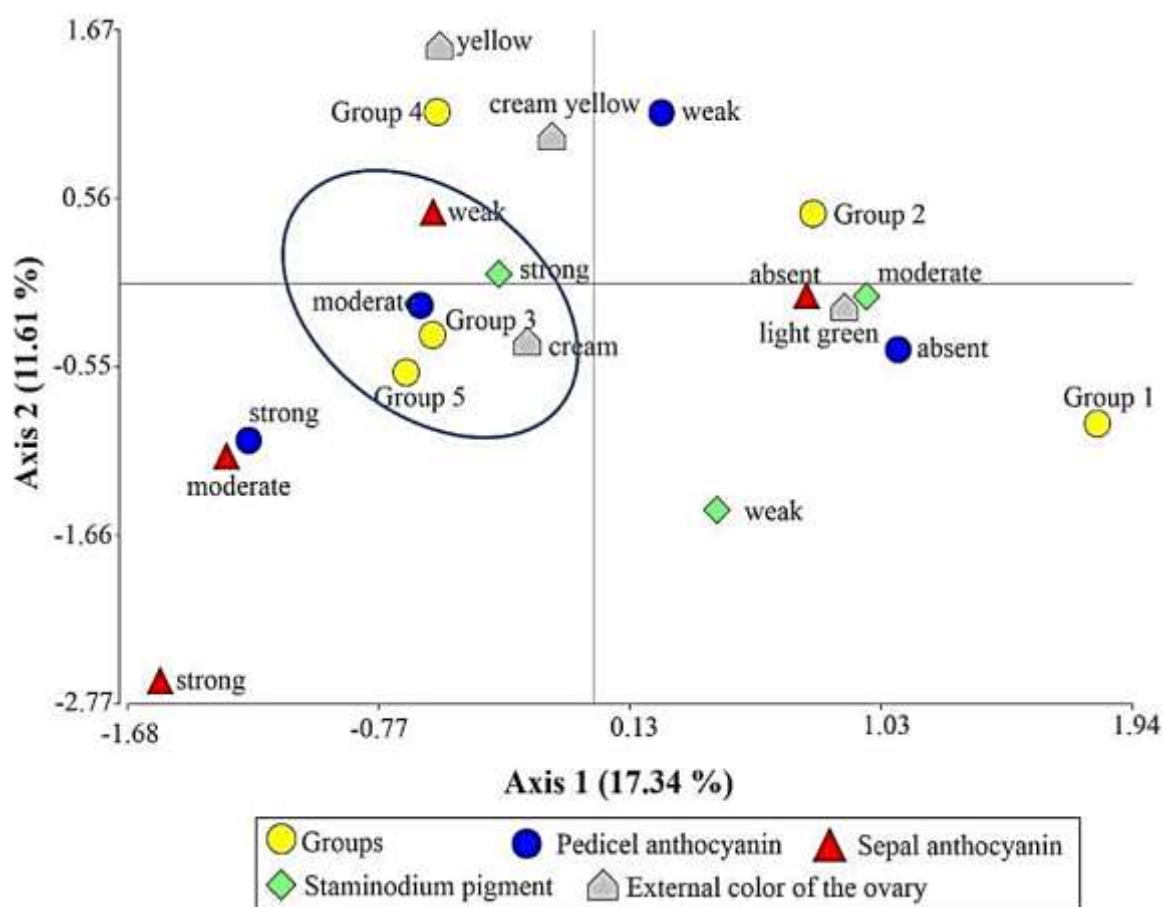
3.1.4. Análisis de correspondencias múltiples de descriptores de flor

El Análisis de Correspondencia Múltiple para descriptores de flor asocia al grupo 3 y 5 por sus características morfológicas de flores con contenido moderado de antocianina en el pedicelo y color externo de ovario crema. El grupo 2 se caracteriza por presentar ausencia de antocianinas en los sépalos. El grupo 4 se caracteriza por presentar color externo del ovario amarillo. El grupo 1 se caracteriza por presentar ausencia de antocianinas en el pedicelo (Figura 7).

Análisis de correspondencias múltiples de grupos categorizados por características de la flor, como la presencia de antocianina en el pedicelo (ausente, débil, moderada), en el sépalo (ausente, débil, moderada, fuerte), la intensidad del pigmento en los estaminodios (ausente, débil, moderado, fuerte) y el color externo del ovario (crema, amarillo, amarillo crema, verde claro).

Figura 7.

Análisis de correspondencia múltiple de descriptores de flor



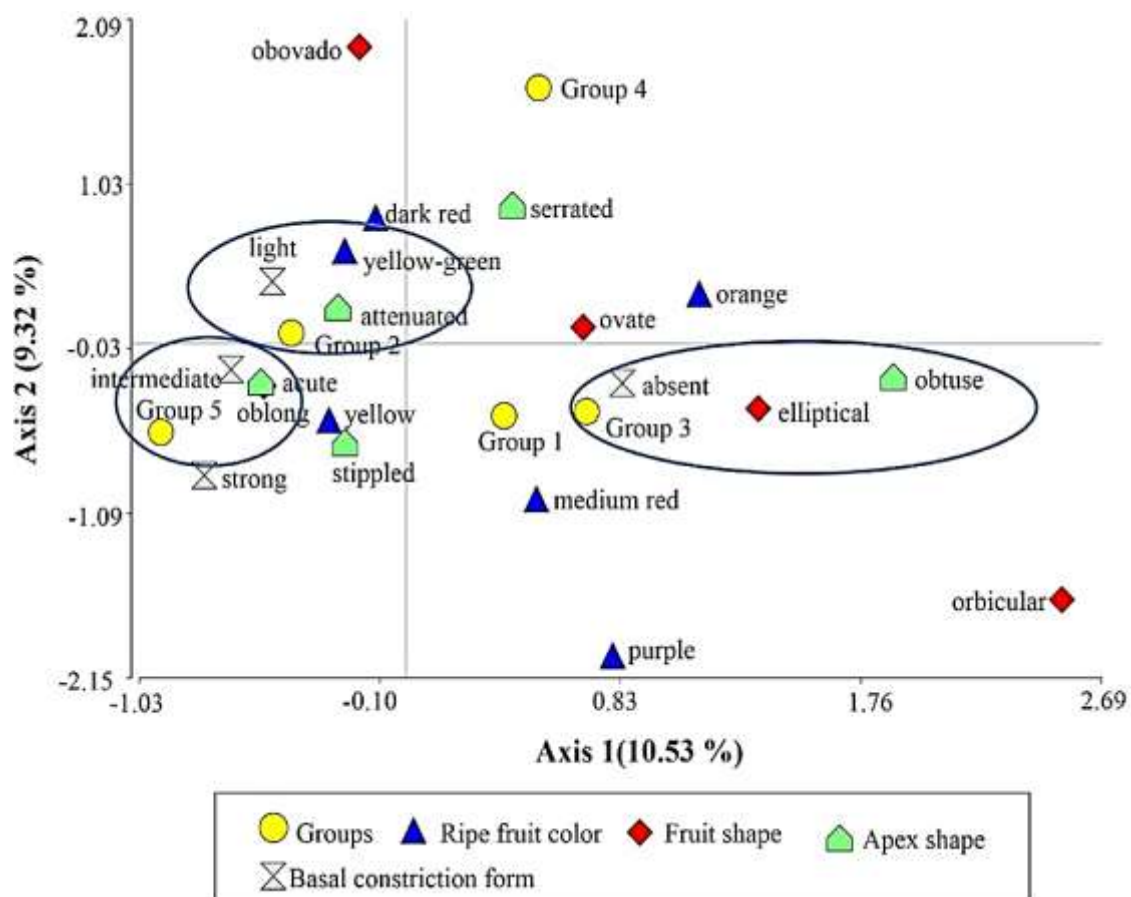
3.1.5. Análisis de correspondencias múltiples de descriptores de fruto

La figura 8 del ACM muestra que el 19.84 % de sus dos ejes está asociado con el grupo 3, el cual carece de forma de constricción basal; los frutos en este grupo son elípticos con ápices obtusos. El grupo 2 se distingue por tener frutos de color amarillo cuando están maduros, con ápices atenuados y una ligera constricción basal. El grupo 5 se caracteriza principalmente por sus frutos oblongos con ápices agudos y una constricción basal intermedia. En cambio, el grupo 4 se define por tener frutos con forma obovada, mientras que el grupo 1 se destaca por presentar frutos maduros de color rojo medio.

Se realizó un análisis de correspondencias múltiples para grupos definidos según características del fruto, como el color (verde amarillo, amarillo, anaranjado, rojo medio, rojo oscuro y púrpura), la forma (oblongo, obovado, ovado y orbicular), el ápice (atenuado, dentado, agudo, apezonado) y la constricción basal (ausente, ligera, intermedia y fuerte).

Figura 8.

Análisis de correspondencias múltiples para descriptores de fruto



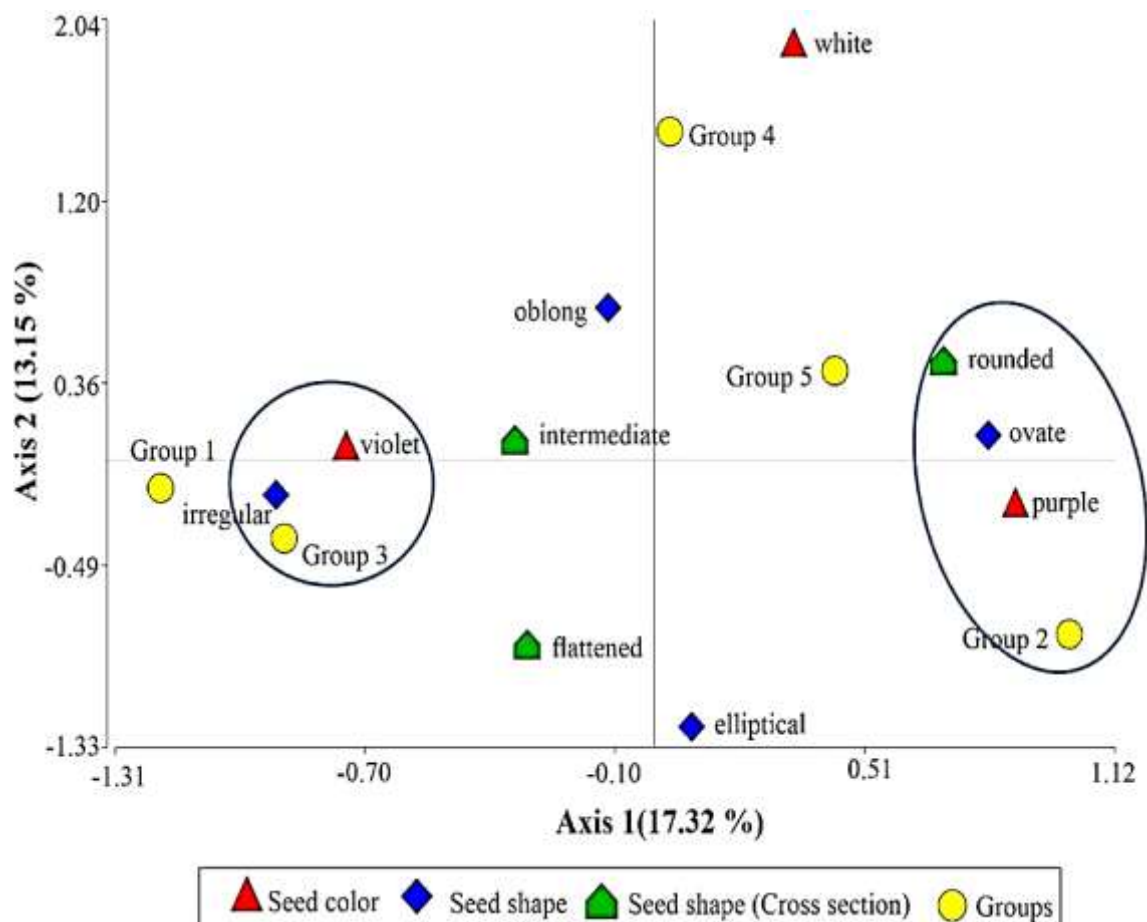
3.1.6. Análisis de correspondencias múltiples de descriptores de semilla

En la figura 9 se puede observar el 30.47 % de explicación con dos ejes para el ACM, donde el grupo 3 se caracteriza principalmente por presentar semillas de color violeta y forma irregular. El grupo 4 se caracteriza principalmente por tener un color de semilla blanco. El grupo 2 se caracteriza por presentar semillas de color morado, forma ovada y forma de semilla en corte transversal redondeada. El grupo 1 se caracteriza por presentar forma de semilla irregular. El grupo 5 se caracteriza por presentar forma de semilla en corte transversal redondeada.

Análisis de correspondencias múltiples de grupos organizados según características de semilla (como color: blanco, violeta y morado; forma: elíptica oblonga, ovada, irregular; y corte transversal: aplanada, intermedia y redondeada).

Figura 9.

Análisis de correspondencia múltiple para descriptores de semilla



3.2. Seleccionar los genotipos de *Theobroma cacao* de alto rendimiento

En general, las accesiones del grupo 1 son vigorosas, con brotes de un verde medio tierno y un índice medio de 19.27 mazorcas por kilogramo de semillas. Las del grupo 2 se destacan por su arquitectura de árbol erecto y vigor intermedio, ramificación simple, hojas de ápice corto y color verde claro en la fase adulta, sin antocianinas en los sépalos. Presentan estaminoides fuertemente pigmentados, frutos inmaduros amarillos con ápice agudo atenuado, leve constricción basal, semillas moradas de forma ovada longitudinal y redonda transversalmente, con un índice de mazorca intermedio de 20.07 mazorcas por kilogramo de semillas. Las accesiones del grupo 3 son vigorosas, con hojas de ápice corto y color verde claro en la fase adulta, moderada presencia de antocianinas en el pedicelo, estaminoides fuertemente pigmentados, frutos de forma elíptica, sin constricción basal, semillas violetas de forma longitudinal irregular y un índice de mazorca bajo de 18.77 mazorcas por kilogramo de semillas. En contraste, las del grupo 4 presentan árboles de vigor débil, brotes tiernos marrones, hojas adultas de color verde oscuro, semillas blancas y un alto índice de mazorca de 22.11 mazorcas por kilogramo de semillas. Por último, las accesiones del grupo 5 tienen arquitectura y vigor de árbol intermedio, hojas redondas y ápice corto, moderada presencia de antocianinas en el pedicelo, estaminoides fuertemente pigmentados, ovario externo crema, frutos oblongos con ápice agudo, constricción basal intermedia y un índice de mazorca de 21.3 mazorcas por kilogramo de semillas.

Tabla 6.***Características agromorfológicas diferenciales de 113 accesiones de cacao***

Variables	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
Arquitectura de árbol		Erecto			Intermedia
Vigor de árbol	Vigoroso	Intermedio	Vigoroso	Débil	Intermedio
Formación de ramas		Simple			
Forma de hoja					Redonda
Forma del ápice de la hoja		Corto	Corto		Corto
Color del brote tierno	Verde medio			Marrón	
Color de hoja adulta		Verde claro	Verde claro	Verde oscuro	
Presencia de antocianinas en el pedicelo			Moderado		Moderado
Presencia de antocianinas en los sépalos		Ausente			
Pigmento en los estaminodios		Fuerte	Fuerte		Fuerte
Color externo del ovario			Crema		Crema
Color del fruto inmaduro		Amarillo			
Forma del fruto			Elíptica		Oblongo
Forma del ápice		Atenuado			Agudo
Forma de constricción basal		Ligera	Ausente		Intermedio
Color de la semilla		Morado	Violeta	Blanco	
Forma de la semilla longitudinal		Ovado	Irregular		
Forma de la semilla transversal		Redonda			
Índice de mazorca	19.27 ab	20.07 ab	18.77 b	22.11 a	21.3 a

Capítulo IV. Discusión

La caracterización de las accesiones de cacao ha permitido diferenciar cinco grupos de clones de cacao, agrupados según sus características cuantitativas y cualitativas, demostrando de esta manera la alta variabilidad genética y heterogeneidad entre grupos basada en el ordenamiento de los descriptores de árbol, hoja, flor, fruto y semilla (López-Hernández et al., 2019). La formación de los grupos fue similar a lo descrito por Oliva (2020), quien identificó 5 grupos distintos a partir de 146 accesiones evaluadas en tres regiones del Perú (Amazonas, Cajamarca y San Martín), basándose en descriptores morfológicos de los frutos y semillas, características sensoriales y descriptores de productividad. Por otro lado, Quevedo et al. (2020a) obtuvieron resultados diferentes utilizando el mismo análisis de conglomerados y el método de Ward, encontrando 10 grupos para 650 accesiones de cacao en su estudio de caracterización agromorfológica en Ecuador. La formación de grupos se atribuye a la variabilidad genética de las accesiones estudiadas; cuanto mayor sea esta variabilidad, mayor será el número de grupos formados (López-Hernández et al., 2019).

Además, se observó que el grupo tres contaba con la mayor cantidad de accesiones, cuyas características cuantitativas (ancho de sépalo, longitud de ovario, profundidad de surco, longitud y ancho de semillas) fueron cruciales para su formación. Esto es respaldado por los estudios de Ayestas et al. (2013) y Quevedo et al. (2020 a), quienes encontraron que las características cuantitativas son importantes para la caracterización de accesiones de cacao.

Las características relacionadas al fruto como peso, longitud y diámetro fueron superiores a lo reportado por Martínez (2016), quien encontró un peso promedio de 272.6 g, largo entre 11.5 y 16.6 cm y un diámetro entre 7 y 8.1 cm. en su estudio de variabilidad genética del cacao Nacional Boliviano.

El grupo 1 presentó el promedio superior (40.36 ± 4.65) de semillas por fruto, siendo inferiores a los reportado por Franco-Portillo *et al.*, (2019) quienes encontraron un máximo de 47 semillas por fruto para dos accesiones de cacao criollo en el Salvador, esto dependerá de la cantidad de óvulos fecundados (Rangel-Fajardo *et al.*, 2012).

Las características visibles, tanto morfológicas como fisiológicas, de una especie o población están determinadas por el genotipo, el cual puede ser afectado por factores ambientales y nutricionales (Botero y Arias, 2018; Pérez y Freile, 2017). El tercer grupo en

esta investigación se distinguió por tener árboles robustos y con ramas de tamaño intermedio, lo cual podría atribuirse a un manejo agronómico adecuado (Ayestas et al., 2013; López et al., 2018).

En la evaluación de variables cualitativas el 90% fueron significativas para la formación de los grupos, corroborado por Villegas y Astorgas (2005) encontraron que estas variables son las que explican mejor la variabilidad entre grupos. Los grupos dos y tres presentaron color de hojas verde claro, esto se debe a ausencia del contenido de antocianinas (Gutiérrez, 2020).

La presencia de antocianinas en los estaminodios fue significativa en la formación de los grupos, esto se explica por su valor discriminante e importancia taxonómica tal como lo indica Engels (1993). Esta presencia de antocianinas, podría deberse a que corresponden a accesiones de origen nacional y otros de origen forastero del Alto Amazonas (García, 2019).

La forma de fruto abovada fue la segunda menos representativas dentro de las 113 accesiones caracterizadas, esta característica es poco común en las colecciones de germoplasma del Perú, pudiendo atribuirse a un alelo privado (García, 2019).

El mayor porcentaje corresponde a la forma de fruto oblongo, García (2019) menciona que los cruces interclonales de cultivares “Forastero del Alto Amazonas” con el cultivar: H-12. esta forma es la más frecuente.

La variabilidad de constricción basal presentada en los grupos formados de cacao, puede deberse que corresponden a grupos genéticos provenientes de cacao Trinitario o forastero Amazónico (Barta, 2009).

Las características del fruto con respecto a la rugosidad del fruto no fueron significativas en la formación de grupos. esta característica poco predominante podría estar asociado a la hibridación del cacao nativo por forastero del bajo Amazonas (Ramírez-Guillermo *et al.*, 2018).

El grupo cuatro se caracteriza por presentar semillas blancas, lo cual podría indicar que se tratan de cacaos criollos (López *et al.*, 2018), además las semillas de este color son importantes debido a la preferencia por los chocolates a partir de cotiledones de estos colores que son asociados con la calidad (Ramírez-Guillermo *et al.*, 2018).

En este estudio se identificó una variedad de formas y colores en los frutos tanto en su estado maduro como inmaduro, debido a la polinización cruzada de los cacaos (Graziani et al., 2002). La caracterización morfológica se emplea para evaluar la variabilidad fenotípica entre diferentes accesiones de cacao, ya que los caracteres cualitativos son muy distintivos y altamente heredables, lo cual facilita la diferenciación de las accesiones (García y García, 2017).

Con respecto al índice de mazorca se encontraron 24 accesiones dentro de las 113 accesiones evaluados con índice de 14 y 16 mazorcas/kg de semillas, lo que indica cacaos de buen nivel productivo (Oliva *et al.*, 2021). Por otro lado, en la caracterización se encontró que los 5 grupos presentaron un índice de mazorca por debajo de 23 mazorcas/kg de semillas, estos resultados fueron inferiores a los reportado por Graziani *et al.* (2002), quien encontró un índice de mazorca superiores a 23 con cacaos criollos, forasteros amazónicos y trinitarios de la localidad de Cumboto en Venezuela.

Estas características elegidas son cruciales para diferenciar las accesiones de cacao y constituyen un conjunto fundamental de atributos útiles en la caracterización del germoplasma de este cultivo. Sin embargo, es importante considerar que esto es solo una parte del proceso de clasificación (Quevedo et al., 2020 b; Motamayor et al., 2002).

V. Propuesta de Mejora

Título

Elaborar el catálogo de accesiones del banco de germoplasma del Instituto Nacional de Innovación Agraria en Amazonas.

Componentes

Desarrollar la ficha de descriptores agromorfológicos del cacao, considerando el material genético del banco de germoplasma.

Crear el mapa de procedencia de las accesiones del banco de germoplasma.

Compilar el catálogo de caracterización agromorfológica de la colección del banco de germoplasma de cacao del INIA en Amazonas.

Propósito

Elaborar un catálogo del banco de germoplasma de cacao del INIA, especificando sus características agromorfológicas, sensoriales y químicas; con la finalidad que el productor disponga de dicha información.

Metodología

Para elaborar el catálogo, es necesario incluir información sobre el contenido del documento, las generalidades del cultivo, descriptores de identidad o pasaporte, descriptores morfológicos, agronómicos, industriales y moleculares, así como su caracterización para cada accesión. Se recomienda el siguiente formato:

Título: Catálogo de cacao (*Theobroma cacao* L.) del Banco de Germoplasma del INIA

Hoja informativa del documento:

Tabla de contenido: Es el índice donde se indican los temas principales, y subtemas.

Presentación: En esta sección se sugiere describir y presentar brevemente la importancia del cultivo en cuestión, describir brevemente el documento, remarcar la importancia del documento y a quiénes va dirigido.

Introducción: Esta sección comprende un texto a manera de resumen que contextualiza todo el documento, es decir, el texto se debe narrar considerando la misma secuencia de las diferentes secciones que contiene el catálogo (ejemplo nombre del cultivo, describirlo, resaltar su importancia y distribución, alcances del documento,

etc. (según considere necesario), finalizando en lo que serían las conclusiones del documento.

Historia: Historia sobre el origen del cultivo objetivo, así como aspectos históricos de la colección.

Taxonomía y distribución de la especie o especies: Corresponde a la clasificación taxonómica actual (indicando la fuente), considerando la nomenclatura actualizada. Incluye la descripción de la especie o especies en cuestión.

Incluir la descripción sobre la distribución de la especie o especies, un mapa de esta distribución es recomendado.

Importancia del cultivo: Incluir la mayor cantidad de información posible sobre la importancia del cultivo, tanto desde el punto de vista ecológico, como de su uso actual y potencial para el ser humano.

Caracterización morfológica: Describir el material biológico

Descriptores agromorfológicos: Listar los descriptores utilizados.

Mapa de la distribución geográfica de las accesiones de la colección

Redactar una breve descripción sobre la distribución geográfica del germoplasma

Incorporar un mapa donde se pueda visualizar la distribución geográfica de las accesiones.

Listado y descripción de cada una de las accesiones de la colección

Accesión N° 01

Código PER.

Información pasaporte.

Información morfológica.

Caracterización agronómica.

Susceptibilidad a factores bióticos.

Caracterización agroindustrial.

Caracterización molecular.

Otro subtítulo que considere necesario para el cultivo que presenta

Referencias: Elaborar las referencias de acuerdo a las normas APA 7ma edición

Conclusiones.

Presupuesto

La implementación del plan de mejora tiene un presupuesto total de S/ 14,310.00 nuevos soles.

Tabla 7. Presupuesto de plan de mejora

Rubros	Unidad Medida	Cantidad	Costo Unitario	Total S/
Bienes				7,310.00
Cámara fotográfica	Global	1	3,500.00	3,500.00
Balanza	Unidad	1	500.00	500.00
Vernier	Unidad	1	550.00	450.00
GPS	Unidad	1	2,500.00	2,500.00
Tijera de podar	Unidad	2	120	240
Regla metálica	Unidad	1	20	20
Jabas cosechadoras	Unidad	2	50	100
Servicios				7,000.00
Edición e impresión	Global	1	3,000.00	3,000.00
Evaluación	Global	1	2,000.00	2,000.00
Tomas fotográficas	Global	1	2,000.00	2,000.00
Total				14,310.00

VI. Conclusiones

El análisis de conglomerados o agrupamiento permitió la clasificación en cinco grupos, demostrando una variabilidad intraespecífica considerable, lo que distingue la existencia de diferencias entre las distintas accesiones. El grupo 3 incluyó la mayor cantidad de accesiones y podría ser crucial en términos de indicadores productivos, como el índice de mazorca. Además, tanto el grupo 3 como el grupo 2 albergan accesiones con atributos agromorfológicos distintivos que facilitan su diferenciación. El grupo 4 presenta un alto índice de mazorca, además posee una característica de valor añadido, la presencia de semillas blancas, lo que lo posiciona como una opción prometedora para la industria del chocolate. Sin embargo, se sugiere que este análisis se complemente con la evaluación sensorial y molecular de estas accesiones para una selección más precisa y un desarrollo posterior en términos de mejora genética.

VII. Recomendaciones

Implementar investigaciones que permitan determinar la diversidad genética, para complementar la caracterización agromorfológica es necesario realizar la caracterización organoléptica y molecular de la colección del banco de germoplasma de cacao del INIA, para seleccionar las accesiones élites mediante su capacidad productiva, resistencia a plagas y enfermedades y de calidad organoléptica de acuerdo a las exigencias del mercado.

Promover trabajos de mejoramiento genético con la finalidad de obtener nuevos híbridos con características elites en beneficio de los productores de cacao a nivel regional y nacional.

Se recomienda al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) elaborar el catálogo de accesiones del banco de germoplasma de cacao.

Referencias Bibliográficas

- Arvelo, M., Gonzales, D., Maroto, S., Delgado, T., y Montoya, P. (2017) Manual técnico del cultivo de cacao buenas prácticas para América Latina.
- Aponte Arce, M. (2016) Caracterización genética de 10 clones de cacao (*Theobroma cacao* L.), en parcelas de agricultores del distrito de Irazola, región Ucayali. Universidad Nacional de Ucayali.
- Arciniegas, A. (2005) Caracterización de árboles superiores de cacao (*Theobroma cacao* L.) seleccionados por el programa de mejoramiento genético del CATIE.
- Ayestas, E., Orozco, L., Astorga, C., Munguía, R., y Vega, C. (2013) Caracterización de árboles promisorios de cacao en fincas orgánicas de Waslala, Nicaragua, *Agroforestería en las Américas*, número 49 (2013).
- Ayestas, D. (2009) Caracterización morfológica de cien árboles promisorios de *Theobroma cacao* L. en Waslala, RAAN, Nicaragua, 2009. Managua-Nicaragua.
- Batista, L. (2009) Guía técnica: El cultivo de cacao en la República Dominicana (Nº. C061. 066). Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal (CEDAF).
- Bartra Perea, J. M. (2009) Caracterización preliminar morfológica y de reproductividad de 42 genotipos promisorios de cacao (*Theobroma cacao* L.) colectados en la cuenca del Huallaga San Martín.
- Bellon, M. R., Barrientos-Priego, A. F., Colunga-GarcíaMarín, P., Perales, H., Reyes Agüero, J. A., Rosales-Serna, R., y Zizumbo-Villarreal, D. (2009) Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas. *Capital natural de México*, 2, 355-382.
- Botero, K., y Arias, T. (2018) Uso de las ciencias ómicas para el mejoramiento genético de cultivos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(2), 64-78.
- Condón, F., & Rossi, C. (2018) Banco de Germoplasma INIA: Conservando la diversidad de nuestras plantas. *Recuperado de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8972/1/Revista-inia-52-12.pdf>*.
- Delgado Veintimilla, W. M. (2023) Diversidad de la entomofauna en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L), cantón Santa Ana, provincia de Manabí (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil-Facultad de Ciencias Agrarias).
- De la Rosa, L., & Martín, I. (2016) Las colecciones de germoplasma de variedades tradicionales. *Las variedades locales en la mejora genética de plantas. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. Sociedad Española de Genética. Servicio Central*

- de Publicaciones del Gobierno Vasco*, 43-59.
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M. I., Weigend, M., y Luebert, F. (2012). Hoja botánica: Cacao. *Theobroma cacao* L.
- Franco-Portillo, R. A., Romero-Quintanilla, J. C., Parada-Berríos, F. A., Urrutia-Rodríguez, E. A., Arias-de-Linares, A. Y., y Vásquez-Osegueda, E. A. (2019). Formación de un banco de germoplasma de cacao (*Theobroma cacao* L.) con árboles criollos seleccionados en el municipio de San Pedro Nonualco, departamento de La Paz, El Salvador. *Revista Minerva*, 71-91.
- García, L. (2019). Caracterización y clasificación fenética de 46 accesiones de cacao (*Theobroma cacao* L.) de la colección internacional de la U.N.A.S., Tingo María.
- García, L.F. (2010) Catalogo de cultivares de cacao en el Perú. Available in: https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/direccionesyoficinas/dgca/cultivares_cacao.pdf.
- García, L. (2008). Estudio de caracterización potencial genética de cacao en el Perú. Informe final, proyecto de cooperación UE y Perú en materia a asistencia técnica relativa al comercio-apoyo al programa estratégico nacional exportaciones (PENX 2003-1013). Lima, Perú.
- García, P.V., García, L.F., 2017. Clasificación intraespecífica de 14 árboles híbridos seleccionados de cacao (*Theobroma cacao* L.) mediante análisis de conglomerados en Tulumayo.
- Ghosh, K. (2013). Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura. FAO: Rome, Italy.
- Graziani de Fariñas, L., Ortiz de Bertorelli, L., Angulo, J., & Parra, P. (2002). Características físicas del fruto de cacaos tipos criollo, forastero y trinitario de la localidad de Cumboto, Venezuela. *Agronomía tropical*, 52(3), 343-362.
- Gutiérrez, A. (2020). Caracterización morfológica de tres genotipos criollos promisorios de *Theobroma cacao* L., en Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (30), 150-169.
- Hernández-Villareal, A. E. (2013). Caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. *Revista Bio Ciencias*, 2(3).
- López Cuadra, Yelka Martina, Cunias Rodríguez, Marita Yannyna, & Carrasco Vega, Yajaira Lizeth. (2020). El cacao peruano y su impacto en la economía nacional. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(3), 344-352. Epub 02 de junio de 2020.
- López-Hernández, J. A., Ortiz-Mejía, F. N., Parada-Berríos, F. Á., Lara-Ascencio, F., &

- Vásquez-Osegueda, E. A. (2019). Caracterización morfoagronómica de cacao criollo (*Theobroma cacao* L.) y su incidencia en la selección de germoplasma promisorio en áreas de presencia natural en El Salvador. *Revista Minerva*, 31-50.
- Lopez, M., Parada, F.A., Deras, E.C., Lara, F., (2018). Caracterización morfoagronómica in situ de cacao criollo (*Theobroma cacao* L.) en lugares de prevalencia natural y su incidencia en la selección de germoplasma promisorio en El Salvador. *Agrociencia* 1, 25–34.
- Martínez, W. J. (2016). La Variabilidad Genética del Cacao (*Theobroma cacao* L.) Nacional Boliviano: Windson July Martínez. *Apthapi*, 2(1), 78-84.
- Martínez, I. M. (2001). Conservación de recursos fitogenéticos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General Técnica.
- Ministerio de Agricultura y Riego, (2019) Estudio del cacao en el Perú y en el mundo.
- Ministerio de Agricultura y Riego, 2016. Estudio del cacao en el Perú y en el mundo.
- Ministerio de Agricultura y Riego (2008). Region Amazonas. Available in. https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/herramientas/organizaciones/dgpa/documentos/estudio_cacao/4_3_1amazonas_informefinal.pdf.
- 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.
- Oliva Cruz, S. M. (2020). Caracterización socioeconómica de la diversidad biológica de cacao criollo fino de aroma en comunidades rurales de la región Amazonas.
- Oliva-Cruz, M., Goñas, M., García, L. M., Rabanal-Oyarse, R., Alvarado-Chuqui, C., Escobedo-Ocampo, P., y Maicelo-Quintana, J. L. (2021). Phenotypic characterization of fine-aroma cocoa from Northeastern Peru. *International Journal of Agronomy*, 2021, 1-12.
- Pérez García, G. A., y Freile Almeida, J. A. (2017). Adaptabilidad de clones promisorios de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.), en el cantón Arosemena Tola de Ecuador. *Centro Agrícola*, 44–51.
- Pérez-García, B., y Mendoza, A. (2002). Morfología vegetal neotropical. *Revista de biología tropical*, 50(3-4), 893-902.
- Phillips Mora, W., Arciniegas Leal, A., Mata Quirós, A., y Motamayor Arias, J. C. (2013). Catálogo de clones de cacao seleccionados por el CATIE para siembras comerciales. Proyecto Cacao Centroamérica (PCC).

- Pichanaki, I. E. E. A. (2018). Conservación de diversidad genética de cacao (*Theobroma cacao* L.): Tríptico informativo 2018.
- Piñero, D., Caballero-Mellado, J., Cabrera-Toledo, D., Canteros, C. E., Casas, A., Castañeda, A., ... y Zúñiga, G. (2008). La diversidad genética como instrumento para la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad: estudios en especies mexicanas. *Capital natural de México*, 1, 437-494.
- Piña Flores, R. D. (2020). Importancia de los cultivos nativos como bancos de germoplasma.
- Prado Maciso, F. (2019). Caracterización agronómica y morfológica de fruto y semilla de cuatro clones promisorios de cacao (*Theobroma cacao* L.), Kimbiri, Cusco.
- Quevedo Guerreño, J. N., Jácome Vásquez, J. E., Tuz Guncay, I. G., García Batista, R. M., y Luna Romero, Á. E. (2020). Análisis de diversidad fenotípica de 37 accesiones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) En la zona sur del Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(3), 102-108.
- Quevedo Guerreño, J. N., Jácome Vásquez, J. E., Tuz Guncay, I. G., García Batista, R. M., y Luna Romero, Á. E. (2020). Análisis de diversidad fenotípica de 37 accesiones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) En la zona sur del Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(3), 102-108.
- Quintana, L.F., Gómez, S., García, A., Martínez, N., (2015) Caracterización de tres índices de cosecha de cacao de los clones CCN51, ICS60 e ICS 95, en la montaña santandereana, Colombia. *Rev. investig. Agrar. Ambient.* 6, 252–265.
- Quiroz, J., y Mestanza, S. (2012). Establecimiento y manejo de una plantación de cacao. INIAP Archivo Historico.
- Ramírez-Guillermo, M.A., Lagunes-Espinoza, L.C., Ortiz-García, C.F., Gutierrez, O.A., Rosa- Santamaría, R., (2018) Variación morfológica de frutos y semillas de cacao (*Theobroma cacao* L.) de plantaciones en Tabasco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 41, 117–125.
- Ramos Ospino, A. D. C., & Gómez Álvarez, M. S. (2019). Caracterización fenotípica y genotípica de aislados de cacao (*Theobroma cacao* L.) de Dibuja, Guajira.
- Rangel-Fajardo, M. A., Zavaleta-Mancera, H. A., Córdova-Téllez, L., López-Andrade, A. P., Delgado-Alvarado, A., Vidales-Fernández, I., & Villegas-Monter, Á. (2012). Anatomía e histoquímica de la semilla del cacao (*Theobroma cacao* L.) criollo mexicano. *Revista fitotecnica mexicana*, 35(3), 189-197.

- Restrepo, T. I., & Urrego, J. E. (2018). Protocolo para la caracterización morfológica de árboles élite de cacao (*Theobroma cacao* L. Available in: https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2020/06/Cartilla_Protocolo_Cacao-dic20_VFF.pdf.
- Ricaño-Rodríguez, J. (2018). El estudio genómico del cacao (*Theobroma cacao* L.); breve recopilación de sus bases conceptuales. *Agro Productividad*, 11(9).
- Ríos Lobo, L., Carrillo Castillo, F., Velarde Falconi, D., y Estrada Jiménez, R. (2006). Lineamientos para la gestión del Banco de Germoplasma de la SUDIRGEB-INIEA.
- Romero, C., y Urrego Vargas, E. (2016). Estudio del cacao en el Perú y en el mundo. Un análisis de la producción y el comercio. Ministerio de Agricultura y Riego. Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria, 90.
- Ruiz-erazo, x., almanza-pinzón, m., morillo-coronado, y., morillo-coronado, a. C., gonzález, a., caicedo-arana, á., y muñoz-flores, j. E. (2015). Comparacion genética de tres fuentes del cacao *Theobroma cacao* L., mediante el uso de marcadores microsatelites. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(1), 10–18.
- Tamani, G. (2019). Caracterización morfológica del fruto y la semilla de *Theobroma cacao* L. en parcelas de agricultores - Caballo Cocha - Loreto Perú - 2017. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- Vasconcelos, M., dos Santos, L. A., Okabe, E. T., y Pires, J. R. (2005). Variability in genetic resources of cacao in Rondônia, Brazil. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 5, 318–324.
- Vera, J., Álvarez, M., y Ibáñez, A. (2021). Sistema de producción de la almendra y del cacao: Una caracterización necesaria. *Revista de Ciencias Sociales*, 27, 372-390.
- Villegas, R., & Astorga, C. (2005). Caracterización morfológica del cacao nacional boliviano, Alto Beni, Bolivia. *Agroforestería en las Américas*, (43-44).

Anexos

Anexo 1: Operacionalización de Variables

Variable: Caracterización agro morfológica.

Operacionalización de la Variable

La variable “Morfología del cacao”, se estudió la dimensión fenotipo del cacao, se evaluó las características agromorfológicas de árbol, hoja, flor, fruto, semilla. El instrumento de evaluación que se utilizó es una ficha de descriptores agro morfológicos siguiendo la metodología de López *et al.*, (2018); García (2010) y Restrepo y Urrego (2018).

Tabla 8. Operacionalización de las variables

Definición de la variable	Dimensión	Subdimensión categórica	Indicadores	Unidad de Medición
Morfología del cacao	Fenotipo del cacao	Descriptores árbol	Arquitectura de árbol	Nominal
			Formación de ramas	Nominal
		Descriptores de hoja	Tamaño de hoja	Razón
			Longitud de peciolo	Razón
			Forma del ápice de la hoja	Nominal
			Forma de la base de la hoja	Nominal
			Color	Nominal
		Descriptores de flor	Tamaño de sépalo	Razón
			Tamaño de pétalos	Razón
			Tamaño de estambre	Razón
			Tamaño de ovario	Razón
			Antocianinas en filamento	Nominal
			Antocianina en sépalo	Nominal
		Descriptores de fruto	Tamaño de fruto	Razón
			Peso del fruto	Razón
			Color del fruto inmaduro	Nominal
			Color de fruto maduro	Nominal
			Forma del fruto	Nominal
			Forma del ápice	Nominal
			Forma de la constricción basal	Nominal
		Descriptores de semilla	Numero de lóculos	Razón
			Peso de la semilla	Razón

			Numero de semillas	Razón
			Tamaño de la semilla	Razón
			Color de la semilla	Nominal
			Forma de la semilla	Nominal

Anexo 2: Carta de autorización para ejecución del trabajo de investigación

"Año de la Unidad, la paz y el Desarrollo"

Lambayeque, 16 de agosto de 2021

Señor

Mg. Jheiner Vásquez García

Estudiante de Doctorado UNPRG

Presente.

S.P.

Es grato dirigirme a Usted para saludarle cordialmente, así mismo manifestarle teniendo su solicitud presentado para la autorización del proyecto de investigación denominado "Caracterización agro morfológica de genotipos de *Theobroma cacao* L. "cacao" élite, como estrategia de conservación genética ex situ. Utcubamba, Amazonas, Perú" en el Banco de Germoplasma de la Estación Experimental Agraria Amazonas.

En atención a la solicitud, se autoriza desarrollar la investigación del proyecto antes mencionado en las instalaciones del banco de germoplasmas de la EEA Amazonas.

Atentamente.



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
EEA AMAZONAS
Ing. Wigberto Alvarado Cisqui
DIRECTOR

Anexo 3: Instrumentos de Recolección de Datos

Descriptorios Morfológicos para Cacao

1. Descriptorios de Arquitectura de Árbol

- A. Arquitectura de árbol: 1: Erecto, 2: Intermedio, 3: Perpendicular
- B. Vigor: 1: Débil, 2: Intermedio, 3: Viguroso
- C. Formación de ramas: 1: Simple, 2: Intermedio, 3: Verticilada

2. Descriptorios de Hoja

- A. Longitud (cm)
- B. Ancho
- C. Longitud del peciolo
- D. Forma de la base: 1: Aguda, 2: Obtusa, 3: Redonda, 4: Cordiforme
- E. Forma del ápice: 1: Agudo, 2: Acuminado corto, 3: Acuminado largo
- F. Color: 1: Verde claro, 2: Verde y 3: Verde oscuro
- G. Color de brote tierno: 1: Verde claro, 2: Verde medio, 3: Marrón, 4: Rojo claro, 5: Rojo medio, 6: Rojo oscuro.

3. Descriptorios de Flor

- A. Longitud de pedicelo
- B. Longitud de sépalo
- C. Ancho de sépalo
- D. Longitud del pétalo
- E. Ancho de pétalo
- F. Longitud de filamento
- G. Longitud de estaminoide
- H. Longitud de estilo
- I. Longitud de ovario
- J. Ancho de ovario
- K. Antocianina del filamento: 1: Ausente, 2: Presente
- L. Antocianina en el sépalo: 1: Ausente, 2: Presente

4. Descriptorios de Fruto

- A. Número de surcos
- B. Peso del fruto
- C. Longitud del fruto

- D. Diámetro del fruto
- E. Color del fruto inmaduro: 1: Verde claro, 2: Verde oscuro, 3: Verde pigmentado, 4: Rojo oscuro.
- F. Color del fruto maduro: 1: Amarillo verde, 2: Amarillo, 3: Anaranjado, 4: Rojo medio, 5: Rojo oscuro, 6: Púrpura.
- G. Forma del fruto: 1: Elíptico, 2: Oblongo, 3: Obovado, 4: Ovado, 5: Orbicular y 6: Oblado.
- H. Forma del ápice: 1: Atenuado, 2: Dentado, 3: Agudo, 4: Apezonado, 5: Obtuso, 6: Redondeado.
- I. Forma de la constricción basal: 0: Ausente, 1: Ligero, 2: Intermedio, 3: Fuerte
- J. Rugosidad de la cascara: 0: Ausente, 1: Ligero, 2: Intermedio, 3: Fuerte
- K. Dureza de la cáscara: 1: Suave, 2: Intermedia, 3: Dura
- L. Espesor de la cascara
- M. Profundidad del surco
- N. Peso del pericarpio

5. Descriptores de Semilla

- A. Número de lóculos
- B. Número de semillas por lóculo
- C. Peso fresco de la semilla
- D. Número de semillas por fruto
- E. Número de semillas integra
- F. Número de semillas vanas
- G. Longitud de semilla
- H. Ancho de semilla
- I. Espesor de semilla
- J. Color de la semilla: 1: Blanco, 2: Crema, 3: Rosado, 4: Rojo Oscuro, 5: Púrpura.
- K. Forma de la semilla: 1: Oblonga, 2: Elíptica, 3: Ovoide, 4: Irregular.
- L. Forma de la semilla en corte transversal: 1: Aplanada, 2: Intermedia, 3: Redondeada.



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Jheiner Vásquez García
Título del ejercicio:	Quick Submit
Título de la entrega:	Caracterización agro morfológica de genotipos de Theobro...
Nombre del archivo:	TESIS_JHEINER_PARAFRASEO.docx
Tamaño del archivo:	10.78M
Total páginas:	68
Total de palabras:	15,430
Total de caracteres:	85,939
Fecha de entrega:	29-jun.-2024 07:02p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre...	2410375577

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



Tesis


Caracterización agro morfológica de genotipos de *Theobroma cacao* L.
cacao élite, como estrategia de conservación genética bajo condiciones de
trópico seco, Utcubamba, Amazonas, Perú


Autor: M.Sc. Jheiner Vásquez García


Asesor: Dr. Alexander Huamán Mera


Presidente del jurado: Dr. Guillermo Eduardo Delgado Paredes


Secretario del jurado: Dr. Jorge Luis Saavedra Díaz


Vocal del jurado: Dr. Wilfredo Nieto Delgado

Lambayeque, 20 de Mayo 2024

CONSTANCIA DE APROVACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, Alexander Huamán Mera, Docente asesor y revisor del trabajo de investigación del estudiante Jheiner Vásquez García, titulado: **Caracterización agro morfológica de genotipos de *Theobroma cacao* L. "cacao" élite, como estrategia de conservación genética bajo condiciones de trópico seco, Utcubamba, Amazonas, Perú.**

Luego de la revisión exhaustiva del documento constato que la misma tiene un índice de similitud de 13 %, verificable en el reporte de similitud del programa Turnitin.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituye plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Lambayeque, 27 de Junio del 2024



Dr. Alexander Huamán Mera
DNI: 42094361
Asesor

Mg. Jheiner Vásquez García
DNI: 43274145
Autor

Caracterización agro morfológica de genotipos de Theobroma cacao L. cacao élite, como estrategia de conservación genética bajo condiciones de trópico seco, Utcubamba, Amazonas

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	12%	5%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet	1 %
2	Submitted to Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas Trabajo del estudiante	1 %
3	www.researchgate.net Fuente de Internet	1 %
4	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1 %
5	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	<1 %
6	repositorio.iica.int Fuente de Internet	<1 %
7	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Mg. Jheline Vázquez García
DNI: 43274145
Autor

Dr. Alexander Huamán Mera
DNI: 42094361
Asesor

8	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
9	www.bioversity Fuente de Internet	<1 %
10	www.infocafes.com Fuente de Internet	<1 %
11	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
13	pdffox.com Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	www.chocolates.com.co Fuente de Internet	<1 %
16	pingpdf.com Fuente de Internet	<1 %
17	rus.ucf.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, UNAD Trabajo del estudiante	<1 %



Mg. ~~Jhainer~~ Vásquez García
DNI: 43274145
Autor



Dr. Alexander Huamán Mera
DNI: 42094361
Asesor

19	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.upch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
21	Bueno Perez, Sandra Milena. "Determinacion de la calidad microbiologica de alimentos listos para el consumo en establecimientos que preparan y sirven alimentos en la region de Mayaguez", Proquest, 20111108 Publicación	<1 %
22	Nicolás García-Ruiz, Andrés Santiago-Sáez, María Elena Albarrán-Juan, Elena Labajo-González, Bernardo Perea-Pérez. "Analysis of court claims filed against obstetricians and gynaecologists in Spain. Specific study of the criminal court system (1987–2013)", Spanish Journal of Legal Medicine, 2016 Publicación	<1 %
23	sired.udenar.edu.co Fuente de Internet	<1 %
24	colposdigital.colpos.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	pgcsnia.inia.gob.pe:8080 Fuente de Internet	<1 %



Mg. Jheiner Vásquez García
DNI: 43274145
Autor



Alexander Huamán Mera
DNI: 42094361
Asesor

27	repositorio.uleam.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
28	scielo.sld.cu Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.esпам.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
30	Submitted to Universidad Cientifica del Sur Trabajo del estudiante	<1 %
31	purl.org Fuente de Internet	<1 %
32	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	<1 %
33	Submitted to Universidad de la Amazonia Trabajo del estudiante	<1 %
34	terra.iiap.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
35	www.juntadeandalucia.es Fuente de Internet	<1 %
36	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
37	mdbsh.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
38	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

39	repository.unilibre.edu.co Fuente de Internet	<1 %
40	www.buenastareas.com Fuente de Internet	<1 %
41	"Diagnóstico del estado nacional de la conservación ex situ de semillas en Chile y estudio de caso : colección de semillas del Jardín Botánico Chagual", Pontificia Universidad Catolica de Chile, 2007 Publicación	<1 %
42	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
43	repositorio.unemi.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
44	revista-agroproductividad.org Fuente de Internet	<1 %
45	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
46	archive.org Fuente de Internet	<1 %
47	doaj.org Fuente de Internet	<1 %
48	es.wikipedia.org Fuente de Internet	<1 %

49 "Directrices voluntarias para la conservación y la utilización sostenible de variedades de los agricultores/ variedades locales", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2020 <1 %
Publicación

50 Fabiola Parra Rondinel. "Domesticación en el continente americano Investigación para el manejo sustentable de recursos genéticos en el Nuevo Mundo", Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 2017 <1 %
Publicación

51 Submitted to ITESM: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey <1 %
Trabajo del estudiante

52 JOHANNA PAOLA GARNICA MONTAÑA, OSCAR JAIR RODRIGUEZ RODRIGUEZ, CAMILO IGNACIO JARAMILLO BARRIOS, FRANCO ALIRIO VALLEJO CABRERA. "Diversidad morfológica y caracteres de selección del germoplasma de arracacha (Arracacia xanthorrhiza Bancr.) en Colombia", Ciencia y Agricultura, 2020 <1 %
Publicación

53 alicia.concytec.gob.pe <1 %
Fuente de Internet

54 www.freeradicals2013.de
Fuente de Internet



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

150

Siendo las 11:00 horas del día 20 de mayo del año Dos Mil

veinticuatro, en la Sala de Sustentación de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque, se reunieron los miembros del Jurado, designados mediante Resolución N° 230-2022-EPG de fecha 8 de marzo, conformado por:

Dr. Guillermo Eduardo Delgado Paredes PRESIDENTE (A)

Dr. Jorge Luis Saavedra Diaz SECRETARIO (A)

Dr. Wilfredo Nito Delgado VOCAL

Dr. Alexander Huamán Mera ASESOR (A)

Con la finalidad de evaluar la tesis titulada "CARACTERIZACIÓN AGRO MORFOLÓGICA DE GENOTIPOS DE THEOBROMA CACAO L. "CACAO" ÉLITE, COMO ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN GENÉTICA BAJO CONDICIONES DE TROPICO SECO, UTCUBAMBA, AMAZONAS, PERU"

presentado por el (la) Tesisista JHEINER VÁSQUEZ GARCIA

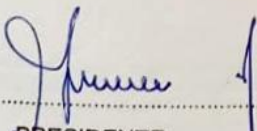
sustentación que es autorizada mediante Resolución N° 354-2024-EPG-3 de fecha 14 de mayo de 2024.

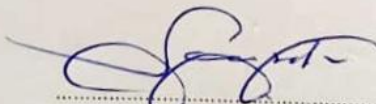
El Presidente del jurado autorizó del acto académico y después de la sustentación, los señores miembros del jurado formularon las observaciones y preguntas correspondientes, las mismas que fueron absueltas por el (la) sustentante, quien obtuvo 8.0 puntos que equivale al calificativo de MUY BUENO.

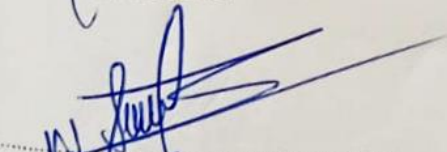
En consecuencia el (la) sustentante queda apto (a) para obtener el Grado Académico de:


DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

Siendo las 12:30 horas del mismo día, se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta.


PRESIDENTE


SECRETARIO


VOCAL


ASESOR