

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



ESCUELA DE POSGRADO

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO
EN GESTIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE**

**PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS Y CARACTERÍSTICAS
REOLÓGICAS DE PASTA DE CACAO FINO DE AROMA
DEL NORORIENTE DEL PERÚ**

Autora: Bach. Luz Maribel Quispe Sanchez

Asesores: Dr. Segundo Manuel Oliva Cruz

Mg. Segundo Grimaldo Chavez Quintana

M.Sc. Aline Camila Caetano

Registro: (.....)

CHACHAPOYAS - PERÚ

2022

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNTRM



UNTRM

Reglamento del Proceso de Graduación en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas

ANEXO 6

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes):

Oliver Sánchez Luz Maribel

DNI N°: 7056484

Correo electrónico: luz.sanchez.opg@untram.edu.pe

Nombre de la Maestría (X)/Doctorado ():

Maestría en Gestión para el Desarrollo Sostenible.

Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes):

DNI N°: _____

Correo electrónico: _____

Nombre de la Maestría ()/Doctorado ():

2. Título de la tesis para obtener el grado académico de Maestro (X) / Doctor ()

Perfil de ácidos grasos y características reológicas de pasta de cacao fino de aroma del noronero del Perú.

3. Datos de Asesor

Apellidos y nombres: Dr. Oliver Cruz, Segundo Manuel

DNI, Pasaporte, C.E N°: 05374749

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9670-0970

Datos de Co-Asesor

Apellidos y nombres: M.Sc. Camila Caetano, Abine

DNI, Pasaporte, C.E N°: 001630382

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9910-9518

4. Campo del conocimiento según Organización para la Cooperación y el Desarrollo

Económicos-OCDE 2.11.00 - Otras ingenierías, otras tecnologías, 2.11.01 - Alimentos y bebidas.

5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el autor o autores señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

6. Autorización de publicación

El o los titular de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado





UNTRM

Reglamento del Proceso de Graduación en la
Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional
Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas

en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 21 de Agosto de 2023

AUTOR 1

AUTOR 2

ASESOR

Alme Camila Castano
CO-ASESOR





ANEXO 6

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): Justo Sanchez Loz Monbel
DNI N°: 70156454
Correo electrónico: luz.justo@posgrado.untrm.edu.pe
Nombre de la Maestría (X)/Doctorado (): Maestría en Gestión para el Desarrollo Sustentable

Datos de autor 2
Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): _____
DNI N°: _____
Correo electrónico: _____
Nombre de la Maestría ()/Doctorado (): _____

2. Título de la tesis para obtener el grado académico de Maestro (X) / Doctor ()
Perfil de roles, roles y Contribuciones tecnológicas de parte de cacao fino de aroma del noroeste del Perú.

3. Datos de Asesor
Apellidos y nombres: Mg. Chaves Bartana, Segundo Gumaldo
DNI, Pasaporte, C.E N°: 44011631
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0946-3445

Datos de Co-Asesor
Apellidos y nombres: _____
DNI, Pasaporte, C.E N°: _____
ORCID: _____

4. Campo del conocimiento según Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos-OCDE 2.11.00 - Otras ingenierías, otras tecnologías -> 2.11.01 - Alimentos y Bebidas.

5. Originalidad del Trabajo
Con la presentación de esta ficha, el autor o autores señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

6. Autorización de publicación
El o los titular de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado





UNTRM

Reglamento del Proceso de Graduación en la
Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional
Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas

en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 21 de Agosto de 2023



AUTOR 1

AUTOR 2



ASESOR

CO-ASESOR



DEDICATORIA

A Dios, por protegerme en estos momentos de incertidumbre y aún brindarme salud.

A mis padres y hermanos por sus consejos, enseñanza y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Agradecer en primer lugar a Dios por la vida que nos regala, a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, la cual mediante el Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) y **Subproyecto “Análisis metagenómico y técnicas cromatográficas para la obtención de un cultivo iniciador que mejore la calidad del chocolate a partir del cacao nativo fino de aroma en la zona Nororiental del Perú” – METACACAO**, con contrato N° 008-2020-FONDECYT-BM financiado por Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados (PROCIENCIA) me brindó el apoyo en el desarrollo de la presente tesis de posgrado.

Agradecimiento de manera muy especial al equipo de profesionales que laboran en el Laboratorio Fisiología y Biotecnología Vegetal (FSIOBVEG) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas y, al equipo de METACACAO, por haberme brindado las instalaciones, facilidades, materiales, equipos, por todo su acompañamiento y ayuda brindada.

A mis padres y hermanos quienes me han acompañado en todo momento, brindándome su apoyo incondicional para poder lograr mis metas.

A mis asesores Segundo Manuel Oliva Cruz, Segundo Grimaldo Chavez Quintana y Aline Camila Caetano. Por brindarme la oportunidad y seguir fortaleciendo mis conocimientos teóricos y prácticos.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

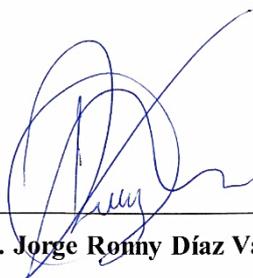
**Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA
RECTOR**

**Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES
Vicerrector académico**

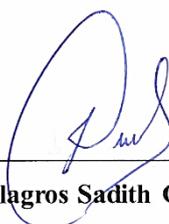
**Dra. María Nelly Luján Espinoza
Vicerrectora de investigación**

**Dr. Efraim Manuelito Castro Alayo
Director de la Escuela de Posgrado**

JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



Dr. Jorge Ronny Díaz Valderrama
Presidente



Mg. Milagros Sadith Granda Santos
Secretario



Dra. Eliana Alviarez Gutiérrez
Vocal

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



UNTRM

Reglamento del Proceso de Graduación en la
Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional
Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas

ANEXO 3

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador del Proyecto de Tesis ()/Tesis (x) Tesis en Formato de Artículo Científico () titulado:

Perfil de datos geoespaciales y características ecológicas de panta de cañao Pano de arcilla del noroeste del Perú.

presentado por el Aspirante Luz Mabel Cusi Sanchez para obtener el Grado Académico de Maestro (x)/Doctor () en Cestión para el Desarrollo Sostenible.

de la Escuela de Posgrado de la UNTRM, hacemos constar que después de revisar la originalidad del Proyecto de Tesis ()/Tesis (x)/Tesis en formato de artículo científico () con el software de prevención de plagio **Turnitin**, verificamos:

a) De acuerdo con el informe de originalidad (adjunto), el Proyecto de Tesis ()/Tesis (x)/ Tesis en formato de artículo científico () tiene 22 % de similitud, que es menor al 25% permitido en la UNTRM.

b) La persona responsable de someter el trabajo al software de prevención de plagio

Turnitin fue:

Mg. Segundo Grimaldo Chavez Quintana, y pertenece al área ()/ oficina ()/ dependencia (x) de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias

Chachapoyas, 14 de agosto del 2023


SECRETARIO


PRESIDENTE


VOCAL

OBSERVACIONES:

.....
.....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



UNTRM

Reglamento del Proceso de Graduación en la
Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional
Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas

ANEXO 5

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el lugar Auditorio de La Eya de la ciudad de Chachapoyas, el día 19 de Noviembre del año 2022, siendo las 16:00 horas, el Aspirante Mrs. Mabel Quispe Sanchez, defiende en sesión pública presencial la Tesis titulada: Perfil de ácidos grasos y características reológicas de pasta de cacao fino de aroma del Mesoeste del Perú.

para obtener el Grado Académico de Maestro ()/Doctor () en Gestión para el Desarrollo Sostenible, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, conformado por:

Presidente: Dr. Jorge Rony y Diaz Valderrama
Secretario: Mg. Milagro Judith Granda Sarks
Vocal: Dra. Eliana Alvarez Gutierrez



Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y método, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

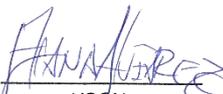
Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis, en términos de:

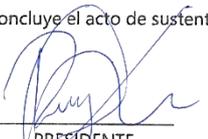
Aprobada ()/Desaprobada () por Unanimidad ()/Mayoría ().

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 17:30 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis.


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....

.....

ÍNDICE O CONTENIDO GENERAL

AUTORIZACIÓN DE LA PUBLICACIÓN DE LA TESIS DE MAESTRIA EN EL REPOSITARIO INSTITUCIONAL UNTRM.....	ii
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS.....	viii
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS.....	¡Error! Marcador no definido.
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....	x
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS.....	xi
ÍNDICE O CONTENIDO GENERAL.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
I. INTRODUCCIÓN.....	18
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	20
2.1 Lugar de procedencia del material de estudio.....	20
2.2 Fermentación y secado del cacao en grano.....	23
2.3 Obtención de la pasta de cacao.....	23
2.4 pH y acidez titulable del cacao en grano.....	25
2.5 Tamaño del grano y porcentaje de testa.....	25
2.6 Contenido de grasa total.....	26
2.7 Cromatografía de gases (GC-FID).....	26
2.8 Dureza.....	26
2.9 Propiedades reológicas.....	27
2.10 Análisis de datos.....	27
III. RESULTADOS.....	28
3.1 Propiedades fisicoquímicas del cacao en grano.....	28
3.2 Perfil lipídico de las accesiones de cacao.....	30
3.3 Propiedades reológicas y texturales.....	32

3.4 Correlación entre el contenido de ácidos grasos y las propiedades reológicas de las pastas de cacao	34
IV. DISCUSIÓN	35
V. CONCLUSIÓN	37
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	39
ANEXOS	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación geográfica 20 accesiones de cacao de la región Amazonas-Perú... 21
Tabla 2. Propiedades Fisicoquímicas de los Granos de las Accesiones de Cacao 29
Tabla 3. Perfil de Ácidos Grasos de la Pasta de Veinte Accesiones de Cacao de Amazonas - Perú..... 31
Tabla 4. Propiedades Reológicas de Veinte Accesiones de Cacao del Nor oriente del Perú 33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de las veinte accesiones de cacao en las provincias de la región Amazonas - Perú.....	22
Figura 2. Flujoograma de elaboración de pasta de cacao	24
Figura 3. Correlación entre el contenido de ácidos grasos y las propiedades reológicas de la pasta de cacao.	34
Figura 4. Recolección de las accesiones.....	45
Figura 5. Fermentación y secado de los granos de las accesiones.....	45
Figura 6. Análisis textural de las tabletas de pasta de cacao de 20 accesiones	46
Figura 7. Elaboración de las tabletas de pasta de cacao de 20 accesiones	46
Figura 8. Análisis reológico de las tabletas de pasta de cacao de 20 accesiones	46
Figura 9. Muestras de manteca de cacao de 20 accesiones	46
Figura 10. Separación de muestras de cacao de 20 accesiones y la recuperación de los metil esterres (FAMEs).....	46
Figura 11. Cromatógrafo de gases para identificar el perfil de los ácidos rasos	46

RESUMEN

Los granos de cacao son la materia prima para la elaboración del chocolate. Varios factores, como la genética, el procesamiento poscosecha y el contenido de grasa, son responsables de las propiedades fisicoquímicas, reológicas y sensoriales del chocolate. Este estudio evaluó el perfil de ácidos grasos y las propiedades fisicoquímicas y reológicas de la pasta de cacao obtenida de veinte accesiones de cacao del departamento de Amazonas, Perú. Se identificaron ocho tipos de ácidos grasos: cuatro saturados (palmítico, margárico, esteárico y araquídico) y 4 insaturados (palmitoleico, oleico, linoleico, α -linolénico). INDES-37 tuvo mayor porcentaje de grasa en los granos secos con 55.25%, mientras que INDES-53 mayor contenido de grasa en la pasta con 70.57%. La accesión INDES-53 presentó mayor contenido de ácido linoleico, CAP-92 mayor contenido de ácido palmítico, CAP-125 más abundancia de ácido esteárico y araquídico, y TSH-565 alto contenido de ácido oleico. La accesión CAP-74 presentó altos valores de viscosidad (4.6 Pa-s), mientras que INDES-37 y CAP-125 tuvieron valores de límite elástico más alto (17.36 y 19.64 Pa, respectivamente). La dureza varió según la accesión evaluada (de 1 099 a 8 829 g en TSH-565 y CAP-39). Se identificaron correlaciones significativas de Pearson entre las variables evaluadas. Y se observaron correlaciones positivas entre el ácido α -linolénico y la dureza de la masa de cacao. La viscosidad presentó correlación positiva con el ácido araquídico. Por último, el cacao cultivado en Amazonas, Perú, presenta una gama diversa de características fisicoquímicas y reológicas que pueden aprovecharse para la industrialización del chocolate.

Palabras clave: *Theobroma cacao* L., ácidos grasos insaturados, ácidos grasos saturados, perfil de ácidos grasos, accesiones de cacao

ABSTRACT

Cocoa beans are the raw material for the elaboration of chocolate. Several factors, such as genetics, postharvest processing, and fat content, are responsible for the physicochemical, rheological, and sensory properties of chocolate. This study evaluated the fatty acid profile and the physicochemical and rheological properties of cocoa mass obtained from twenty cacao accessions from the department of Amazonas, Peru. Eight types of fatty acids were identified: four saturated (palmitic, margaric, stearic and arachidic) and 4 unsaturated (palmitoleic, oleic, linoleic, α -linolenic). INDES-37 had a higher percentage of fat in the dry grains with 55.25%, while INDES-53 had a higher fat content in the paste with 70.57%. The INDES-53 accession presented higher linoleic acid content, CAP-92 higher palmitic acid content, CAP-125 higher abundance of stearic and arachidic acid, and TSH-565 high oleic acid content. Accession CAP-74 presented high viscosity values (4.6 Pa-s), while INDES-37 and CAP-125 had higher yield strength values (17.36 and 19.64 Pa, respectively). Hardness varied according to the accession evaluated (from 1 099 to 8 829 g in TSH-565 and CAP-39). Significant Pearson correlations were identified among the variables evaluated. And positive correlations were observed between α -linolenic acid and cocoa mass hardness. Viscosity presented positive correlation with arachidic acid. Finally, cocoa grown in Amazonas, Peru, presents a diverse range of physicochemical and rheological characteristics that can be exploited for chocolate industrialization.

Keywords: *Theobroma cacao* L., unsaturated fatty acids, saturated fatty acids, fatty acid profile, cocoa accessions

I. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es cultivado por más de 6 millones de agricultores en más de 50 países en desarrollo de América Latina, África y Asia (Beg et al., 2017; Kayode A., 2018). Alrededor del 80% de los granos de cacao del mundo proceden de pequeñas explotaciones familiares con rendimientos de aproximadamente 800 kg al año (Van Vliet et al., 2021).

Aunque existe una gran diversidad de cacao en el mundo, su clasificación en términos de variedades no está muy clara. La primera clasificación describe tres grupos principales (Trinitario, Forastero y Criollo). Los cacaos Trinitario son accesiones híbridas de cacao del grupo genético Criollo y Amelonado, que surgieron tras el declive de la producción de cacao a principios del siglo XVIII en Trinidad (Díaz-Valderrama et al., 2020). Otro enfoque más reciente reporta 11 grupos genéticos: Marañón, Curaray, Iquitos, Nanay, Contamana, Amelonado, Criollo, Purús, Guayana, Nacional Ecuatoriano y Nacional Boliviano (Chen et al., 2022; Motamayor et al., 2008).

En un estudio realizado en el departamento de Amazonas, una de las regiones cacaoteras del Perú, se recolectaron 146 ecotipos de un grupo denominado "Cacao Nativo de Fino Aroma" (CNFA). En una agrupación basada en las características morfológicas y físicas de estos ecotipos, se diferenciaron cinco grupos: Toribiano, Indes, Utku, Cajas y Bagüinos (Oliva-Cruz et al., 2022).

La composición química, así como las características morfológicas y físicas, difieren según varios factores, entre ellos el ecotipo, la variedad de cacao y el origen geográfico. El perfil lipídico también puede verse afectado por estos factores. La manteca de cacao, por su parte, es la más valorada por las propiedades únicas que confiere (Febrianto et al., 2022). La proporción de ácidos grasos saturados (palmítico, margárico, esteárico, araquídico) e insaturados (palmitoleico, oleico, linoleico, α -linolénico) en la manteca (Padar et al., 2008), así como la presencia y combinación de estos en los triglicéridos, influyen en el punto de fusión del chocolate en boca (Servent et al., 2018).

La pasta de cacao preparado con granos de cacao triturados y refinados, sin la adición de otros ingredientes, tiene un mayor contenido en lípidos que el chocolate (25 - 36%) (Chaiseri & Dimick, 1989). Además, el proceso de refinado contribuye a la eliminación

de compuestos volátiles, como el ácido acético, que también podrían modificar los resultados fisicoquímicos encontrados en los granos de cacao (Guckenbiehl et al., 2022).

En este contexto, el objetivo de esta investigación fue evaluar las propiedades fisicoquímicas y reológicas y el perfil de ácidos grasos de la pasta de 20 accesiones de cacao de Amazonas-Perú.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Lugar de procedencia del material de estudio

Se trabajó con 20 accesiones de cacao de las provincias de Bagua y Utcubamba, departamento de Amazonas, Perú. (La Tabla 1 y Figura 1) muestran la ubicación geográfica del cultivo de cacao estudiado. Se colectaron 10 accesiones denominadas CAP (Cacao Amazonas-Perú); 6 INDES (Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable) y otras 4 variedades (TSH-565, CCN-51, ICS-6, IMC-67).

Los cacaos INDES fueron seleccionados por sus características sensoriales y altos rendimientos de producción (Oliva-Cruz et al., 2022), mientras que las accesiones CAP fueron escogidas por su alto contenido de grasa en los granos (Collazos, 2023). Asimismo, las variedades CCN-51 (Colección Castro Naranjal), ICS-6 (Selecciones Imperial College), IMC-67 (Colección Iquitos Marañón) y TSH-565 (Híbrido Selección Trinidad) fueron escogidas por su alto rendimiento y resistencia a plagas y enfermedades. Estas variedades de cacao se cultivaron bajo sistemas agroforestales en asociación con frutales como naranjo (*Citrus sinensis*), guanábana (*Annona muricata*), guaba (*Inga edulis*), plátano (*Musa paradisiaca*), mango (*Mangifera indica*), y con plantas forestales como: palo blanco (*Picconia excelsa*), caoba (*Swietenia macrophylla*), morera (*Rubus ulmifolius*), pajuro (*Erythrina edulis*), laurel (*Laurus nobilis*) o cedro (*Cedrus*) (Goñas et al., 2022).

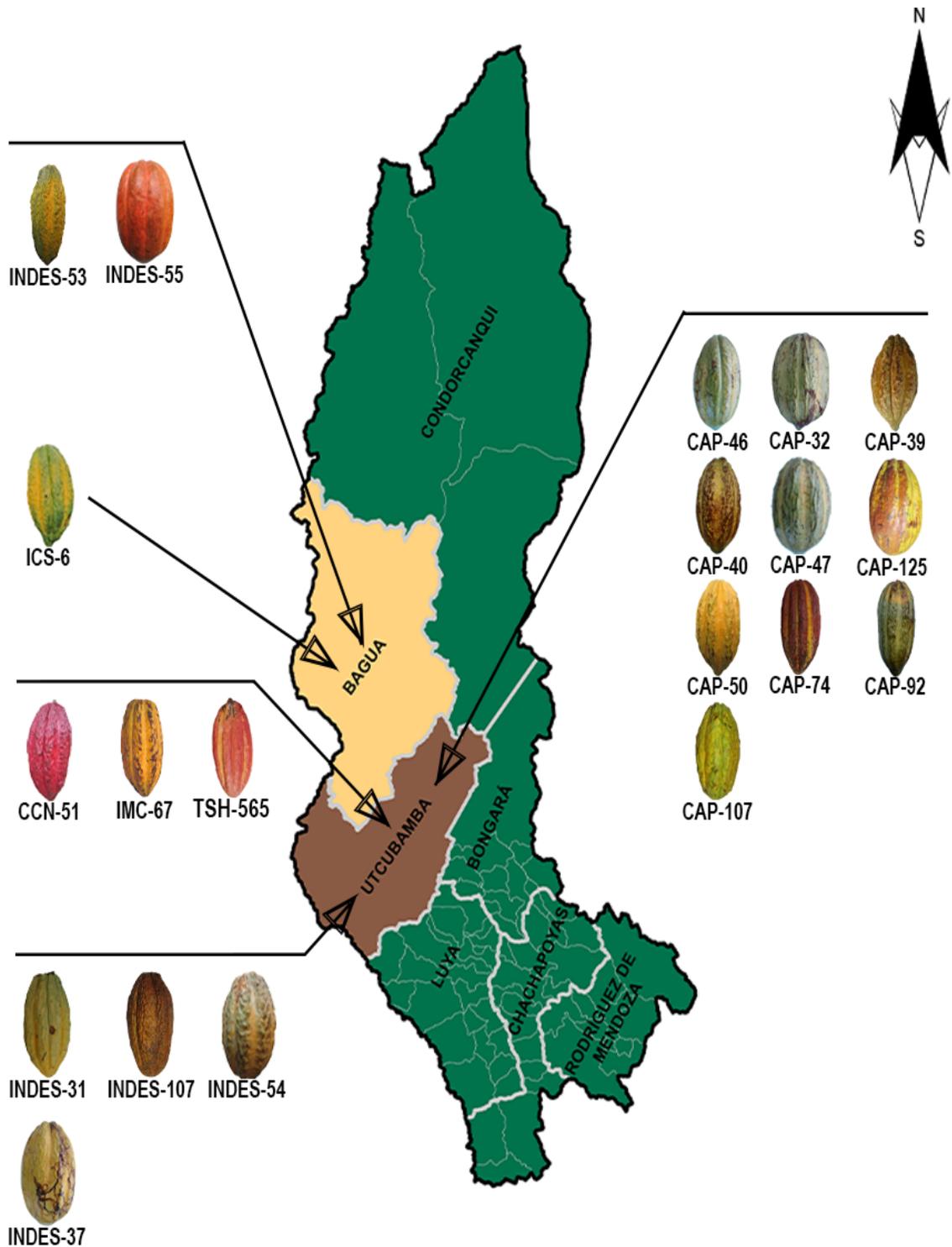
Tabla 1*Ubicación geográfica de las 20 accesiones de cacao de la región Amazonas-Perú*

Colecciones	Accesiones*	Localidad*	Distrito*	Latitud*	Longitud*	Altitud (m)*
Cacao Amazonas Perú (CAP)	CAP-39	Naranjos Alto	Cajaruro	5°42'7.87"	78°24'7.03"	735
	CAP-107	Naranjos Alto	Cajaruro	5°42'7.87"	78°24'7.03"	735
	CAP-40	Naranjos Alto	Cajaruro	5°42'7.87"	78°24'7.03"	735
	CAP-50	Maestro	Bagua Grande	5°46'21.30"	78°33'24.36"	614
	CAP-92	Naranjos Alto	Cajaruro	5°42'7.87"	78°24'7.03"	735
	CAP-74	Naranjos Alto	Cajaruro	5°42'7.87"	78°24'7.03"	735
	CAP-46	El Toro	Copallin	5°40'28.94"	78°24'39.17"	944
	CAP-47	Maestro	Bagua Grande	5°46'21.30"	78°33'24.36"	614
	CAP-125	El Toro	Copallin	5°40'28.94"	78°24'39.17"	944
	CAP-32	Maestro	Bagua Grande	5°46'21.30"	78°33'24.36"	614
Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES)	INDES-55	El Pedregal	La Peca	5°37'18.32 "	78°25'0.87"	1119
	INDES-53	El Pedregal	La Peca	5°37'18.32 "	78°25'0.87"	1119
	INDES-31	Maestro	Bagua Grande	5°46'21.30"	78°33'24.36"	614
	INDES-37	El Toro	Copallin	5°40'28.94"	78°24'39.17"	944
	INDES-54	Naranjos Alto	Cajaruro	5°42'7.87"	78°24'7.03"	735
	INDES-107	Naranjos Alto	Cajaruro	5°42'7.87"	78°24'7.03"	735
Otros	ICS-6	El Pedregal	La Peca	5°37'18.32 "	78°25'0.87"	1119
	IMC-67	El Toro	Copallin	5°40'28.94"	78°24'39.17"	944
	CCN-51	Maestro	Bagua Grande	5°46'21.30"	78°33'24.36"	614
	TSH-565	Naranjos Alto	Cajaruro	5°42'7.87"	78°24'7.03"	735

*Accesiones colectadas según (Oliva-Cruz et al., 2022).

Figura 1

Ubicación de las Veinte Accesiones de Cacao en las Provincias de la Región Amazonas - Perú



2.2 Fermentación y secado del cacao en grano

Los granos de cacao frescos obtenidos tras la extracción de las mazorcas se fermentaron durante 7 días en fermentadores de madera con una capacidad de 20 kg. Se realizó agitación manual cada 24 h hasta alcanzar el 80% de granos fermentados (Balcázar-Zumaeta et al., 2023).

Para deshidratar el cacao fermentado se utilizó un secador solar de madera de (1.20 m de ancho por 2.40 m de largo y 0.6 m de alto), con capacidad para 20 kg de cacao. La temperatura media durante el secado fue de 30.2 ± 0.21 °C (medida a mediodía) y 69% de humedad relativa. Se ejecutó un gradiente de tiempo de exposición solar: 2 h el primer día, 3 h el segundo día, 4 h el tercer día, luego 6 h hasta el quinto día, y se realizaron remociones cada 2 h (Álvarez et al., 2010). El cacao seco se obtuvo con un 7% de humedad.

Las muestras se colocaron en sacos de yute para su transporte al Laboratorio de Control de Calidad del Cacao de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas y se almacenaron hasta su uso posterior.

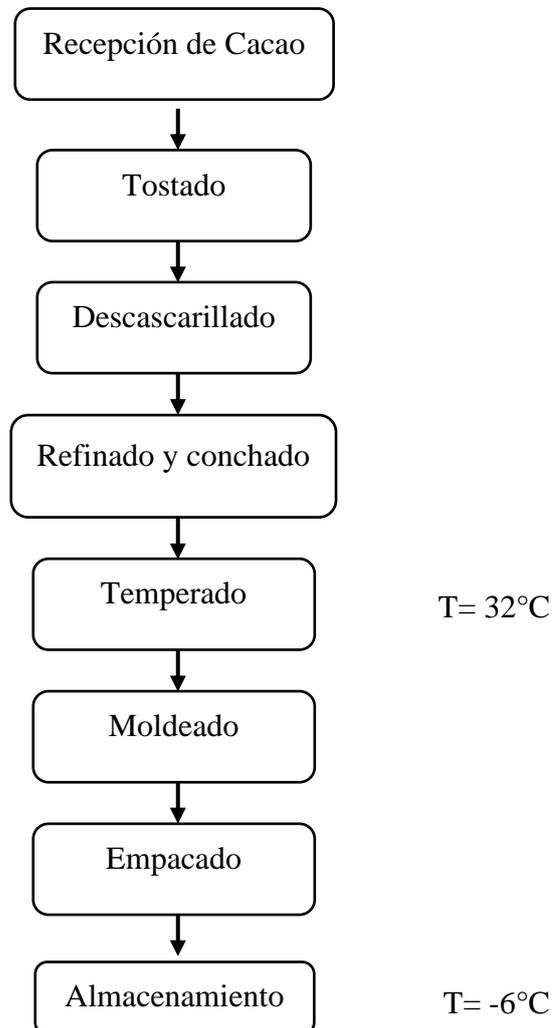
2.3 Obtención de la pasta de cacao

En el Laboratorio de Control de Calidad de Cacao la humedad de los granos de cacao fue registrada para luego seleccionarlos y realizar el proceso de tostado en un horno (Venticell Ecoline, Alemania) a 110 °C durante 35 min. Los granos tostados se pasaron por una descascarilladora mecánica (AYZ, Perú) para obtener nibs libres de testa. Éstos se molieron en pasta de cacao mediante refinado durante 5 h en refinadores de piedra de 3 kg de capacidad (Premier, India).

Para obtener la pasta de cacao en tabletas, se realizó el temperado mediante la fluctuación de temperaturas siguiendo el procedimiento descrito por Chire-Fajardo et al. (2019). En un primer ciclo, se aumentó la temperatura a 50 °C, luego se enfrió a 28 °C, y a 32 °C, se colocó en moldes de policarbonato para hacer tabletas de 50 g y se almacenó a 10 °C hasta su posterior análisis.

Figura 2

Flujograma de Elaboración de Pasta de Cacao



Recepción, limpieza y Selección: En esta operación se separó los agentes extraños que se encontraban en el cacao (piedras, palos, hojas, etc.) y, en la selección de los granos de cacao se separó los granos grandes, medianos, pequeños y rotos.

Tostado: Una vez terminada la limpieza y selección se realizó el tostado de los granos crudos, este proceso de tostado se llevó a cabo a una temperatura de 110°C , por 35 minutos.

Descascarillado: Fue el proceso de eliminar la cascarilla de los granos de cacao y dejar solo el cotiledón (parte interna), esta operación puede ser realizada manualmente o en la descascarilladora industrial.

Molienda y refinado: La molienda de los granos tostados fue realizada hasta la obtención de la pasta de cacao. Los granos molidos pasaron al conchador donde se redujo el tamaño de todas las partículas sólidas, logrando una refinación homogénea de la pasta de cacao.

Temperado: En este proceso la pasta se enfrió un poco para así formar nuevas redes de cristales de grasa, para luego calentarse ligeramente, de forma a fundir los cristales inestables de las nuevas redes y cristalizar por completo.

Moldeado: En este proceso se colocó la pasta en moldes de 50 gramos, luego fueron refrigerados a 5°C (refrigeración) por un tiempo de 15 minutos para la pasta adquerir la consistencia adecuada de presentación.

Envasado: Luego de este tiempo las tabletas de pasta de cacao fueron extraídas de los moldes para luego ser envueltas en papel aluminio.

2.4 pH y acidez titulable del cacao en grano

Se molieron 15 g de cacao en un molino de cuchillas (Bosch, México). Luego fueron pesados 10 g de la muestra tamizada y 100 mL de agua destilada caliente a 70 °C fueron añadidos. Se agitó a 150 rpm en vórtex (VWR Analog Vortex Mixer, US). La suspensión fue filtrada en papel Whatman n.º 40 y se determinó el pH del filtrado en un potenciómetro de mesa (instrumento HANNA, Alemania) según el método 981.12 (AOAC, 2000). La acidez titulable se midió según el método 942.15 (AOAC, 1990) y el resultado se expresó como porcentaje de ácido cítrico equivalente/100 g.

2.5 Tamaño del grano y porcentaje de testa

Se midió la longitud y el ancho de 20 granos de cacao de cada accesión utilizando un vernier digital (Mitutoyo, Instrument, España).

Para obtener el porcentaje de testa, se siguió el procedimiento descrito por Intriago et al. (2019) Para ello, se pesaron 35 granos secos con cáscara, después se retiró la cáscara (testa) del cotiledón con un bisturí del N° 21 y se registró el peso de la testa de cada accesión evaluada. Los resultados se expresaron como porcentaje de testa (ecuación 1).

$$\% \text{ Testa} = \frac{\text{Peso de la testa}}{\text{peso del grano con testa}} \times 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

2.6 Contenido de grasa total

Para determinar el contenido de grasa de las muestras se siguió la metodología descrita por Herrera-Rocha et al. (2021). La grasa se extrajo utilizando el Soxhlet semiautomático (JP Selecta F-6, Barcelona, España) equipado con 6 balones. Se utilizó éter de petróleo como disolvente de extracción. Los balones de fondo plano se secaron en un horno (Ecocell, Germany 2017) a 110 °C durante 4 h y se pesaron (P1). A continuación, se colocaron 5 g de muestra triturada (P2) en dedales de celulosa en el sifón (JPC Selecta, España) durante 3 h, según las instrucciones del fabricante. Tras la extracción, los balones se retiraron del equipo y se introdujeron en una estufa a 60 °C durante 4 h para evaporar el disolvente (P3). Por último, se determinó el contenido de grasa según la ecuación 2 y se almacenó en viales ámbar a -22 °C hasta su posterior análisis.

$$\% \text{ fat} = \frac{(P3-P1)}{(P2)} * 100 \quad \text{Ecuación (2)}$$

2.7 Cromatografía de gases (GC-FID)

La composición de FAME se determinó por cromatografía de gases utilizando una columna capilar DB-WAX UI (30 m × 0.32 mm × 0.5 µm, Agilent®) en un cromatógrafo de gases Agilent (modelo 7890B) equipado con un detector de ionización de llama (FID), siguiendo la metodología descrita por David et al. (2005) con algunas modificaciones. La muestra obtenida en el paso anterior se diluyó (50 µL de muestra de FAME + 550 µL de hexano) y se inyectó 1.0 µL de la solución en modo split (50:1). La temperatura inicial del horno fue de 50 °C durante 1 minuto. A continuación, se elevó la temperatura hasta 200 °C a una velocidad de 10 °C·min⁻¹. Después, se elevó 3 °C·min⁻¹ hasta 230 °C y se mantuvo durante 20 min. Se utilizó helio como gas portador con flujo de 1.11 mL·min⁻¹. El inyector y el detector estuvieron a 250 y 280 °C, respectivamente. Los ácidos grasos se identificaron por comparación de sus tiempos de retención con la mezcla estándar de 37 FAME (Sigma-Aldrich, EE.UU.). La cuantificación se realizó mediante la elaboración de una curva de calibración con 5 niveles de concentración del estándar. El coeficiente de determinación (R²) aceptable fue ≥ 0.99.

2.8 Dureza

Se utilizó un analizador de textura CTX (AMETEK Brookfield con el software Textura Pro 1.0.19). La dureza de las tabletas de pasta (50 g) se determinó con una sonda cónica de 30 mm (TA15/1000) con un ángulo de 45°, una célula de carga de 10 kg y una velocidad de ensayo de 10 mm·s⁻¹. Las muestras se comprimieron a una velocidad inicial

de $5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ y una profundidad de 0.8 mm siguiendo la metodología descrita por Lillah et al. (2017). Se realizaron diez repeticiones para cada muestra.

2.9 Propiedades reológicas

La viscosidad y el comportamiento de flujo de las masas de cacao se midieron a 40 y 50 °C, siguiendo la metodología descrita por Glicerina et al. (2013). Previamente, las muestras se calentaron durante 60 min. Los ensayos de reología se realizaron utilizando un reómetro compacto modular (Anton Paar, Modelo MCR 92, Austria) equipado con un cilindro concéntrico de geometría CC27 (diámetro de la bobina 26 mm, diámetro de la copa 27,5 mm). La velocidad de cizallamiento del equipo se redujo de 500 a 5 s^{-1} (Pa. s) durante 3 min antes del procesamiento de las muestras. Las muestras se cizallaron previamente durante 2 min a 5 s^{-1} y, a continuación, durante 3 min a 1 s^{-1} . Las mediciones se procesaron en el software RheoCompass del mismo reómetro siguiendo la ecuación del modelo de Casson (Ec 3). Cada ensayo se realizó tres veces. Los resultados fueron el rendimiento de Casson (Pa) y la viscosidad plástica de Casson (Pa. s), con el coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de error cuadrático medio (RMSE).

$$\sigma^{0.5} = (\sigma_0)^{0.5} + K_1(\gamma)^{0.5} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde: σ (Pa) es el límite elástico, σ_0 es el límite elástico de Casson (Pa), K_1 es la viscosidad plástica de Casson (Pa·s) y γ (s^{-1}) es la velocidad de cizallamiento.

2.10 Análisis de datos

Los datos se procesaron con análisis de la varianza (ANOVA). Se utilizó la prueba de Tukey para determinar las diferencias entre grupos con un valor de significación de $p < 0.05$, en el programa informático SPSS vs 26. Para el análisis de correlación entre el perfil de ácidos grasos y las propiedades reológicas se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (R) en el programa PAST 4.03 (Hammer et al., 2001). Estos resultados fueron presentados a través de un mapa de calor elaborado con el paquete ggplot2 R.

III. RESULTADOS

3.1 Propiedades fisicoquímicas del cacao en grano

El pH del grano de cacao mostró variaciones significativas, según se muestra en la Tabla 2. Los valores de pH oscilaron entre 6.54 ± 0.03 y 4.23 ± 0.05 para el INDES-37 y el INDES-55, respectivamente. En cuanto a la acidez titulable del grano, hubo una gran dispersión: CAP-107 e INDES-107 presentaron la acidez titulable más alta (0.46%), mientras que ICS-6 tuvo el valor más bajo (0.08%). En relación al tamaño de los granos, CAP-32 fue el que tuvo las dimensiones más grandes (2.56 ± 0.01 cm de largo y 1.99 ± 0.03 cm de ancho), mientras que en el ICS-6 se encontró los granos más pequeños (1.76 cm de largo y 0.91 cm de ancho). Además, se observó una alta variabilidad en el contenido de grasa de los granos estudiados (de 22 a 55%, $p < 0.05$), siendo el INDES-37 el que presentó el mayor contenido de grasa ($55.25 \pm 0.76\%$). Asimismo, se evidenció un aumento en el contenido de grasa total en la pasta de cacao obtenido, siendo la accesión INDES-53 con el mayor contenido de grasa ($70.57 \pm 1.15\%$).

Tabla 2*Propiedades Fisicoquímicas de los Granos de las Accesiones de Cacao*

Accesión	Accesiones	pH	% de ácido cítrico	Largo (cm)	Ancho (cm)	% de testa	Grasa total pasta (%)	Grasa total grano (%)
Cacao Amazonas Perú	CAP-39	4.33 ±0.04 ^l	0.41 ±0.01 ^b	2.24±0.03 ^{de}	1.23±0.04 ^{ef}	8.68±0.41 ^j	59.30± 1.28 ^{ab}	41.30±1.10 ^e
	CAP-107	4.67±0.03 ^{jk}	0.46 ±0.01 ^a	2.22±0.01 ^e	1.26±0.04 ^{d-f}	9.48±0.01 ⁱ	50.77±2.33 ^{jk}	31.43±0.92 ^{e-g}
	CAP-40	4.86±0.02 ⁱ	0.18 ±0.01 ^{fg}	2.13±0.01 ^f	1.4±0.01 ^{cd}	10.52±0.04 ^h	46.86±1.67 ^{b-d}	34.70±1.58 ^d
	CAP-50	5.01±0.03 ^h	0.21 ±0.01 ^f	2.33±0.01 ^c	1.36±0.01 ^{c-e}	16.84±0.01 ^{de}	62.54±2.72 ^{d-g}	40.60±0.77 ^k
	CAP-92	5.05±0.04 ^{gh}	0.19 ±0.01 ^{fg}	2.20±0.01 ^e	1.45±0.01 ^c	14.81±0.01 ^f	58.34±1.50 ^{g-i}	44.12±1.20 ^{hi}
	CAP-74	5.01±0.02 ^{fg}	0.12 ±0.01 ^{i-k}	2.13±0.01 ^f	1.46±0.01 ^c	16.68±0.01 ^{de}	53.19±3.02 ^{b-e}	29.37±1.07 ^{jk}
	CAP-46	5.26±0.08 ^f	0.30 ±0.02 ^d	2.21±0.01 ^e	1.37±0.05 ^{c-e}	16.48±0.05 ^e	60.53±0.87 ^{ij}	24.72±1.05 ^{gh}
	CAP-47	5.49±0.03 ^{de}	0.13 ±0.01 ^{i-k}	2.3±0.04 ^{cd}	1.77±0.05 ^b	17.2±0.01 ^d	58.30±1.67 ^{c-e}	22.81±0.40 ^{cd}
	CAP-125	5.64±0.05 ^c	0.26 ±0.01 ^{de}	2.45±0.01 ^b	1.94±0.03 ^a	14.51±0.01 ^f	56.48±0.16 ^{c-g}	27.33±0.72 ^c
	CAP-32	5.64±0.01 ^c	0.18 ±0.01 ^{f-h}	2.56±0.01 ^a	1.97±0.01 ^a	17.10±0.22 ^d	65.22±1.54 ^{e-h}	36.86±0.55 ^{ij}
INDES	INDES-55	4.23±0.05 ^{cd}	0.41±0.01 ^b	2.33±0.01 ^c	1.65±0.01 ^b	13.33±0.25 ^g	61.56±2.58 ^{b-e}	41.80±0.71 ^{cd}
	INDES-53	4.64±0.05 ^{jk}	0.34±0.01 ^c	1.76±0.01 ⁱ	1.30±0.10 ^{c-f}	12.58±0.04 ^g	70.57±1.15 ^a	47.33±0.53 ^b
	INDES-31	6.48±0.03 ^a	0.20 ±0.01 ^f	2.01±0.01 ^g	1.34±0.01 ^{c-e}	12.87±0.08 ^{fg}	51.60±1.08 ^{h-j}	42.55±0. 42 ^{cd}
	INDES-37	6.54±0.03 ^a	0.10 ±0.01 ^{j-l}	2.33±0.01 ^c	1.43±0.01 ^c	14.53±0.01 ^f	49.33±0.26 ^{i-k}	55.25±0.76 ^a
	INDES-54	5.59±0.07 ^l	0.09 ±0.01 ^{k-l}	2.00±0.01 ^g	1.23±0.04 ^{ef}	18.72±0.25 ^b	53.39±2.35 ^{f-i}	33.22±0.41 ^{fg}
	INDES-107	4.58±0.04 ^k	0.46 ±0.01 ^a	2.02±0.01 ^{fg}	1.17±0.03 ^f	18.13±0.06 ^c	41.00±0.65 ^l	33.95±1.50 ^{ef}
Otros	ICS-6	5.42±0.05 ^e	0.08 ±0.01 ^l	1.76±0.01 ⁱ	0.91±0.01 ^{gh}	21.36±0.01 ^a	58.96±1.46 ^{c-f}	44.20±1.06 ^c
	IMC-67	6.31±0.01 ^b	0.14 ±0.01 ^{h-j}	2.08±0.01 ^{fg}	0.99±0.21 ^g	21.85±0.13 ^a	64.00± 3.18 ^{bc}	47.81±0.96 ^b
	CCN-51	4.67±0.03 ^{jk}	0.26 ±0.03 ^e	2.03±0.01 ^{fg}	0.78±0.01 ^g	16.77±0.01 ^{de}	52.06±2.07 ^{h-j}	29.22±1.32 ^{hi}
	TSH-565	4.74±0.01 ^{ij}	0.15 ±0.01 ^{g-i}	2.02±0.01 ^g	0.53±0.01 ^h	21.41±0.05 ^a	44.08±1.05 ^{kl}	34.85±0.65 ^{ef}

Nota. Las letras diferentes muestran diferencia significativa, según la prueba Tukey ($p < 0.05$)

3.2 Perfil lipídico de las accesiones de cacao

Se identificaron y cuantificaron ocho ácidos grasos en todas las muestras, cuatro corresponden a ácidos grasos saturados: palmítico (C16:0), margárico (C17:0), esteárico (C18:0) y araquídico (C20:0), y cuatro ácidos grasos insaturados: palmitoleico (C16:1), oleico (C18:1), linoleico (C18:2) y α -linolénico (C18:3) (Tabla 3). En la pasta de cacao, los ácidos grasos encontrados en mayor abundancia fueron: esteárico (C18:0) > palmítico (C16:0) > oleico (C18:1). Específicamente, el cacao CAP-92 presentó el mayor contenido de ácido palmítico (38.64%), el CAP-125 el mayor contenido de ácido esteárico (42.05%) y, el TSH-565 el mayor contenido de ácido oleico (25.94%).

Tabla 3*Perfil de Ácidos Grasos de la Pasta de Veinte Acciones de Cacao de Amazonas – Perú*

Acciones	Palmitico (%)	Palmitoleico (%)	Margárico (%)	Estearico (%)	Oléico (%)	Linoleico (%)	α - Linolénico (%)	Araquídico (%)
CAP-47	29.98±0.01 ⁱ	0.31±0.04 ^{c-f}	0.39±0.01 ^{cd}	41.59±0.01 ^c	24.38±0.01 ⁱ	1.67±0.06 ^{b-d}	0.29±0.08 ^c	1.39±0.02 ^{b-e}
CAP-46	29.47±0.01 ^j	0.25±0.02 ^f	0.21±0.01 ^{kl}	41.77±0.01 ^b	25.13±0.01 ^e	1.53±0.01 ^{f-h}	0.3±0.01 ^c	1.34±0.02 ^{c-f}
CAP-107	30.95±0.01 ^g	0.30±0.02 ^{c-f}	0.27±0.01 ^{g-i}	40.23±0.01 ^{gh}	25.16±0.03 ^{de}	1.46±0.05 ^{g-j}	0.42±0.01 ^c	1.31±0.01 ^{d-f}
CAP-40	31.70±0.01 ^c	0.32±0.01 ^{b-e}	0.25±0.01 ^{jk}	40.13±0.18 ^h	24.25±0.01 ^k	1.68±0.01 ^{bc}	0.21±0.01 ^c	1.42±0.03 ^{b-d}
CAP-125	29.53±0.01 ^j	0.29±0.04 ^{c-f}	0.33±0.01 ^{e-g}	42.05±0.01 ^a	24.70±0.01 ^h	1.45±0.02 ^{h-j}	0.21±0.01 ^c	1.38±0.01 ^{d-f}
CAP-92	38.64±0.00 ^a	0.33±0.01 ^{b-e}	0.30±0.01 ^{g-j}	40.63±0.01 ^e	17.03±0.10 ^m	1.17±1.18 ^k	0.24±0.24 ^c	1.67±1.67 ^a
CAP-74	30.92±0.01 ^h	0.30±0.01 ^{c-f}	0.31±0.02 ^{f-h}	40.14±0.01 ^h	25.12±0.01 ^e	1.48±0.02 ^{g-j}	0.27±0.01 ^c	1.40±0.02 ^{b-c}
CAP-50	30.40±0.03 ^h	0.31±0.01 ^{c-f}	1.13±0.01 ^a	39.87±0.019 ⁱ	25.29±0.01 ^c	1.41±0.01 ^j	0.27±0.01 ^c	1.29±0.01 ^{ef}
CAP-32	30.45±0.03 ^h	0.34±0.03 ^{bc}	0.36±0.01 ^{d-f}	40.26±0.10 ^g	25.39±0.06 ^b	1.55±0.07 ^{ef}	0.50±0.01 ^c	1.34±0.01 ^{c-f}
CAP-39	29.80±0.01 ⁱ	0.29±0.01 ^{c-f}	0.29±0.01 ^{g-j}	41.88±0.01 ^b	24.05±0.01 ^l	1.43±0.01 ^{hi}	0.93±1.01 ^a	1.31±0.01 ^{d-f}
INDES-31	31.52±0.01 ^{cd}	0.34±0.01 ^{b-d}	0.37±0.01 ^{c-e}	39.53±0.04 ^j	24.93±0.01 ^f	1.61±0.01 ^{c-e}	0.33±0.01 ^c	1.41±0.05 ^{b-d}
INDES-37	31.34±0.01 ^{de}	0.31±0.01 ^{c-f}	0.31±0.01 ^{g-i}	39.53±0.01 ^j	25.46±0.01 ^b	1.43±0.01 ^{hi}	0.31±0.02 ^c	1.30±0.01 ^{d-f}
INDES-54	32.06±0.02 ^b	0.34±0.02 ^{bc}	0.34±0.02 ^{d-g}	39.92±0.01 ⁱ	24.26±0.01 ^{jk}	1.50±0.04 ^{f-i}	0.23±0.01 ^c	1.32±0.01 ^{d-f}
INDES-107	31.24±0.07 ^{ef}	0.31±0.01 ^{c-f}	0.30±0.01 ^{g-j}	39.85±0.01 ⁱ	25.24±0.02 ^{cd}	1.46±0.01 ^{g-j}	0.27±0.01 ^c	1.31±0.01 ^{d-f}
INDES-55	31.94±0.01 ^b	0.30±0.01 ^{b-e}	0.38±0.01 ^{c-e}	39.94±0.01 ⁱ	24.06±0.01 ^l	1.70±0.12 ^b	0.26±0.01 ^c	1.39±0.02 ^{c-e}
INDES-53	31.37±0.22 ^{d-e}	0.30±0.01 ^b	0.42±0.04 ^{bc}	40.43±0.04 ^f	24.70±0.01 ^h	1.75±0.07 ^a	0.90±0.01 ^b	0.70±0.03 ^g
ICS-6	31.12±0.01 ^{fg}	0.28±0.01 ^{d-f}	0.25±0.04 ^{i-k}	40.42±0.01 ^f	24.82±0.01 ^g	1.51±0.03 ^{f-i}	0.25±0.01 ^c	1.33±0.04 ^{d-f}
IMC-67	30.28±0.01 ^{fg}	0.33±0.01 ^{d-f}	0.45±0.01 ^{i-k}	40.92±0.01 ^f	24.38±0.01 ^g	1.53±0.02 ^{f-i}	0.27±0.01 ^c	1.48±0.01 ^{d-f}
CCN-51	31.32±0.01 ^{de}	0.91±0.04 ^a	0.18±0.01 ^l	40.14±0.01 ^h	25.13±0.01 ^{ij}	1.58±0.06 ^{de}	0.23±0.01 ^c	1.26±0.04 ^f
TSH-565	32.08±0.01 ^b	0.27±0.01 ^{ef}	0.28±0.01 ^{f-i}	38.27±0.01 ^k	25.94±0.76 ^a	1.48±0.04 ^{g-j}	0.28±0.01 ^c	1.36±0.02 ^{c-f}

Nota. Los análisis se agruparon por acciones. Las letras diferentes muestran diferencia significativa ($p < 0.05$).

3.3 Propiedades reológicas y texturales

En este estudio, se realizaron mediciones de viscosidad, límite elástico y dureza de la pasta de cacao, encontrando diferencias significativas entre las accesiones ($p < 0.05$) a 40 °C. La accesión CAP-74 mostró una mayor viscosidad (4.56 ± 0.28 Pa·s). Las muestras de pasta de las accesiones INDES-37 y CAP-125 presentaron un mayor límite elástico con valores de 17.76 ± 4.98 Pa y 19.64 ± 1.71 Pa, respectivamente. En cuanto a la dureza, la pasta obtenida de la accesión CAP-39 mostró un valor más alto ($8\ 829 \pm 18.20$ g), mientras que TSH-565 presentó una dureza más baja ($1\ 099 \pm 67.3$ g).

Tabla 4*Propiedades Reológicas de Veinte Accesiones de Cacao del Nor oriente del Perú*

Accesiones	Viscosidad (Pa. s) 40 °C	Limite elástico (Pa) 40 °C	*R ²	Error cuadrado medio	Viscosidad (Pa. s) 50 °C	Limite elastico (Pa) 50 °C	*R ²	Error cuadrado medio	Dureza (g)
CAP-47	2.17± 0.14 ^{d-f}	8.23±0.46 ^{i-k}	0.99	0.05±0.03	0.79±0.01 ^{h-j}	6.31±1.91 ^b	0.99	0.04±0.04	5342.16±7.8 ^g
CAP-46	0.91±0.01 ⁱ	6.14±0.15 ^{lm}	0.99	0.05±0.04	0.58±0.02 ^{ij}	6.00± 1.91 ^b	0.99	0.03±0.04	6082.01±9.6 ^g
CAP-107	1.96±0.05 ^{fg}	9.22±0.17 ^{h-j}	0.99	0.04±0.02	1.06±0.03 ^{gh}	7.35±0.19 ^b	0.99	0.08±0.04	6486.96±7.8 ^f
CAP-40	1.40±0.08 ^h	9.93± 0.41 ^{g-i}	0.99	0.06±0.02	0.89±0.07 ^{g-i}	9.07±0.45 ^b	0.99	0.07±0.03	8317.36±10.8 ^b
CAP-125	2.60± 0.07 ^c	36.61±1.87 ^b	0.99	0.05±0.04	1.85± 0.08 ^{b-c}	59.64±17.93 ^a	0.99	0.06±0.04	6450.13±10.3 ^{fg}
CAP-92	3.25±0.044 ^b	12.89±0.01 ^{ef}	0.99	0.04±0.05	1.14±0.05 ^{fg}	9.24±0.38 ^b	0.99	0.09±0.04	6642.86±8.0 ^{ef}
CAP-74	4.56±0.28 ^a	13.70±0.77 ^{de}	0.99	0.09±0.02	3.60±0.11 ^a	11.92±0.28 ^b	0.99	0.08±0.02	7622.54±2.2 ^{cd}
CAP-50	1.90±0.04 ^{fg}	7.671±0.27 ^{j-l}	0.99	0.08±0.03	1.43±0.05 ^{de}	7.09±1.08 ^b	0.99	0.08±0.05	6889.40±6.3 ^e
CAP-32	1.91±0.04 ^{f-g}	15.10±0.46 ^{cd}	0.09	0.05±0.02	1.95±0.05 ^b	15.78±0.85 ^b	0.99	0.08±0.02	7643.12±3.3 ^{cd}
CAP-39	1.71±0.05 ^{gh}	7.41±0.19 ^{k-l}	0.09	0.077±0.05	1.50±0.14 ^{de}	7.42±0.68 ^b	0.99	0.08±0.07	8798.73±9.2 ^a
INDES-55	2.54± 0.13 ^c	11.09±0.47 ^{g-h}	0.09	0.048±0.02	1.96±0.04 ^b	11.49±0.60 ^b	0.99	0.04±0.01	7360.4±1.7 ^d
INDES-53	1.05±0.01 ⁱ	5.67± 0.10 ^m	0.09	0.041±0.01	0.66±0.02 ^{ij}	5.49±0.188 ^b	0.99	0.08±0.02	7777.86±4.6 ^c
INDES-31	2.49±0.09 ^{cd}	13.10±0.53 ^e	0.99	0.047±0.02	1.91±0.01 ^{b-c}	15.15±0.92 ^b	0.99	0.08±0.02	7633.65±4.1 ^c
INDES-37	2.65±0.23 ^c	42.10±0.28 ^a	0.99	0.05±0.04	1.35±0.03 ^{ef}	27.64±22.55 ^b	0.99	0.05±0.04	8423.76±2.7 ^{ab}
INDES-54	2.50±0.12 ^{cd}	10.48±0.41 ^{gh}	0.99	0.08±0.05	1.65±0.11 ^{c-d}	10.34±0.53 ^b	0.99	0.04±0.03	6771.11±4.8 ^{ef}
INDES-107	2.32±0.04 ^{c-e}	11.25±0.18 ^{f-h}	0.99	0.06±0.04	1.71±0.14 ^{b-d}	17.87±0.19 ^b	0.99	0.03±0.01	5257.76±9.4 ^f
ICS-6	3.55± 0.13 ^b	12.75±0.44 ^{e-g}	0.99	0.07±0.03	3.58± 0. 21 ^a	12.36±0.77 ^b	0.99	0.05±0.04	6819.35±2.4 ^{ef}
IMC-67	1.95± 0.03 ^{f-g}	14.26 ±0.16 ^{c-e}	0.99	0.06±0.05	1.37±0.02 ^{ef}	17.40±1.06 ^b	0.99	0.04±0.04	7729.40±5.3 ^{cd}
CCN-51	2.00±0.05 ^{e-g}	7.44±0.17 ^{k-l}	0.99	0.04±0.02	1.56±0.07 ^{de}	7.64±0.37 ^b	0.99	0.04±0.03	7906.40±3.9 ^c
TSH-565	2.40±0.03 ^{c-d}	15.57±0.15 ^c	0.99	0.05±0.02	1.53±0.08 ^{de}	16.62±0.85 ^b	0.99	0.07±0.02	5189.90±6.4 ^g

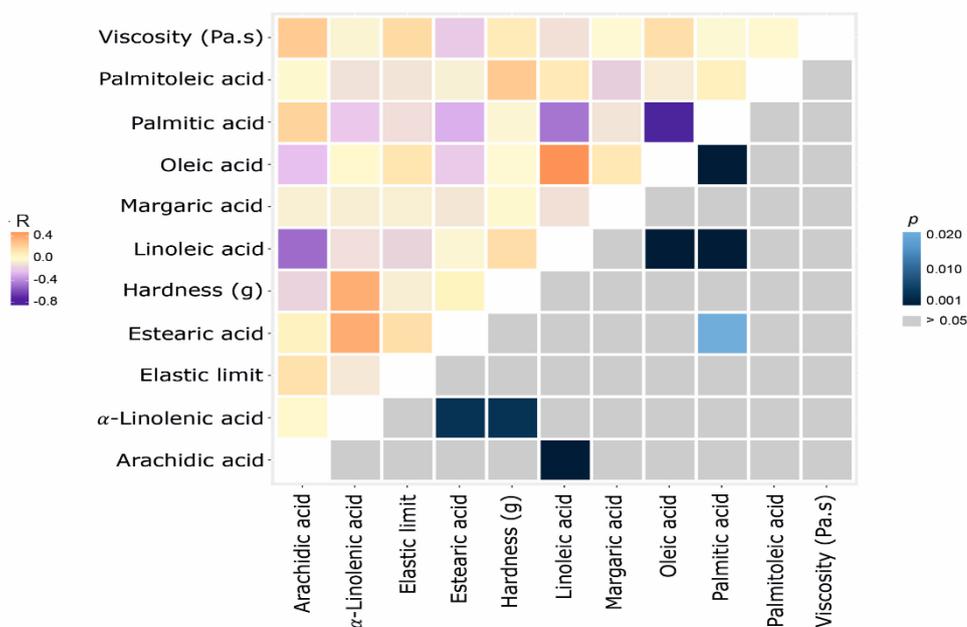
Nota. Los valores con letras distintas en las columnas difieren significativamente (prueba de Tukey; $p < 0,05$). *R² nos indica el coeficiente de determinación

3.4 Correlación entre el contenido de ácidos grasos y las propiedades reológicas de las pastas de cacao

Según se muestra en la Figura 3, las muestras con mayores concentraciones de ácido linoleico presentaron valores más bajos de ácido palmítico (R: -0.847, p=0.00). Del mismo modo, a medida que aumentó el contenido de ácido esteárico y oleico, disminuyó el contenido de ácido palmítico (R: -0.297, p=0.021 / R: -0.847, p=0.00). Además, se observó que a mayor contenido de ácido α -linolénico, había un mayor contenido de ácido esteárico (R: 0.382, p=0.003), mientras que, a mayor contenido de ácido linoleico, había un menor contenido de ácido oleico (R: 0.474, p=0.00). Asimismo, se encontró una relación inversa entre el contenido de ácido araquídico y ácido linoleico (R: -0.499, p=0.00). Por otro lado, cuanto mayor era el contenido en ácido α -linolénico, las muestras aumentaban su dureza (R: 0.75, p = 0.003). Todas estas asociaciones no son una relación causa-efecto, sino correlaciones. Cuando mayor era la concentración de ácido araquídico, las muestras aumentaban su viscosidad (R: 0.241, p = 0.064).

Figura 3

Correlación entre el Contenido de Ácidos Grasos y las Propiedades Reológicas de las Pastas de Cacao.



IV. DISCUSIÓN

Las diferencias en pH y acidez titulable pueden ser atribuidas a factores genéticos y factores agrometeorológicos (Vera-Chang et al., 2014). El contenido de acidez en el grano fermentado seco depende de la composición inicial del grano y de los ácidos generados en la fermentación, los cuales desde luego varían en función de la naturaleza química del mucílago, sustrato principal para la actividad microbiana (Ramos-Quevedo, 2013). El pH y la acidez son inversamente proporcionales porque están relacionados con el contenido de ácidos láctico y acético presentes (López-Hernández & Criollo-Nuñez, 2022); mayores concentraciones de estos ácidos hacen con que el pH disminuya y, al mismo tiempo, aumenta la acidez titulable. La genética y los factores agroclimáticos influyen en las características físicas del cacao (Afoakwa et al., 2009).

En esta investigación se evaluó el porcentaje de testa de los veinte ecotipos de cacao mencionados encontrando resultados similares con otro estudio, donde alcanzaron un porcentaje de cascarilla de 10.05 hasta 16.22% (Chire-Fajardo et al., 2020). Por otro lado, investigadores evaluaron el porcentaje de testa de las variedades cacao Nacional de Ecuador, encontrando valores de $16.19 \pm 0.49\%$ y de 12.33% para el CCN-51. Teniendo en cuenta que el porcentaje de la testa es inversamente proporcional al peso del grano, es decir que, a mayor tamaño de grano, menor porcentaje de testa, y a menor tamaño de grano mayor porcentaje de testa (Andrade-Almeida et al., 2019)

La composición lipídica del cacao en grano puede ser influenciada por la variedad, la edad de la plantación, la madurez de las mazorcas y las condiciones ambientales (Lima et al., 2011). En este trabajo, se encontró que la pasta de cacao contiene principalmente ácidos grasos esteárico, palmítico y oleico, con el cacao CAP-92 presentando el mayor contenido de ácido palmítico, el CAP-125 el mayor contenido de ácido esteárico y el TSH-565 el mayor contenido de ácido oleico. Se ha demostrado que los alimentos ricos en ácidos grasos insaturados, principalmente cuando la razón entre los ácidos grasos insaturados sobre los saturados es alta, son nutricionalmente benéficos a la salud (Torres-Moreno et al., 2015). Otros autores demostraron que el ácido esteárico está directamente relacionado con la dureza y la solidificación de las grasas (Norazlina et al., 2022).

La determinación de las propiedades reológicas de las pastas de cacao es esencial para desarrollar productos de alta calidad con una textura bien definida (Gonçalves & Lannes,

2010). En este estudio, se encontraron diferencias significativas en la viscosidad, el límite elástico y la dureza de las pastas entre las accesiones ($p < 0.05$). CAP-74 mostró mayor viscosidad a 40 °C, mientras que INDES-37 y CAP-125 presentaron mayor límite elástico. Un mayor límite elástico indica una pasta de cacao más fluido, lo que produce chocolates más duros y finos con brillo y textura crujiente (Bahari & Akoh, 2018). La dureza de la pasta de cacao varió entre las accesiones, siendo CAP-39 el más duro y TSH-565 el más suave. La dureza del chocolate es importante para la percepción de la textura del producto y está relacionada con las propiedades de cristalización y fusión, así como los ácidos grasos y triglicéridos presentes. La dureza y apariencia del chocolate son atributos clave para la elección y aceptabilidad del consumidor (Kalic et al., 2018; Chaiseri & Dimick, 1989; Ostrowska-Ligeża et al., 2019).

En la manteca de cacao, los ácidos grasos se organizan en triacilglicerol, la mayoría de estos ácidos grasos son 2-oleil glicéridos (O) de ácidos palmítico (P) y esteárico (Simoneau et al., 1999). La estructura de los ácidos grasos afecta directamente la forma en que se comporta el chocolate en el proceso de fabricación y las características del producto final (textura, viscosidad, comportamiento de fusión, aroma y sabor) (Afoakwa et al., 2009).

Las muestras con mayores concentraciones de ácido linoleico tuvieron valores más bajos de ácido palmítico, al igual que un mayor contenido de ácido esteárico y oleico se asoció con un menor contenido de ácido palmítico. Además, se encontró que a mayor contenido de ácido α -linolénico, hubo un mayor contenido de ácido esteárico, mientras que, a mayor contenido de ácido linoleico, se observó un menor contenido de ácido oleico. También se encontró una relación inversa entre el contenido de ácido araquídico y el contenido de ácido linoleico. Todas estas asociaciones no son una relación causa-efecto, sino correlaciones. Cuanto mayor era la concentración de ácido araquídico, las muestras aumentaban su viscosidad ($R: 0.241$, $p = 0.064$), lo que complementa los hallazgos de trabajos anteriores (Bahari & Akoh, 2018; Nouredini et al., 1992), que también encontraron asociaciones entre la viscosidad y el ácido esteárico, otro ácido graso saturado.

V. CONCLUSIÓN

En la investigación se lograron identificar ocho tipos de ácidos grasos, los cuales se clasificaron en dos grupos: saturados (palmítico, margárico, esteárico y araquídico) e insaturados (palmitoleico, oleico, linoleico, α -linolénico).

La accesión INDES-37 presentó los granos con el mayor valor graso y la accesión INDES-53 produjo la pasta de cacao con el mayor contenido total de grasa y el mayor contenido de ácido linoleico. Por otro lado, CAP-92 tuvo el mayor contenido de ácido palmítico, mientras que CAP-125 mostró las mayores cantidades de ácido esteárico y araquídico y, TSH-565 tuvo el mayor contenido de ácido oleico. El contenido de ácido palmítico se correlacionó negativamente con el de ácido oleico, esteárico y linoleico. También se encontró una correlación positiva entre el contenido de ácido α -linolénico y la dureza de la masa ($R = 0.375$). Además, la viscosidad está positivamente correlacionada con el ácido araquídico ($R = 0.241$). Finalmente, el cacao cultivado en el departamento del Amazonas, Perú, presenta una diversa gama de propiedades fisicoquímicas y reológicas que le confieren potencial para su industrialización a mayores escalas.

VI. RECOMENDACION

La Industria Chocolatera podría aprovechar el gran potencial del cacao fino de aroma bajo en grasas de Amazonas y las regiones productoras de cacao del Perú, con el fin de elaborar chocolates finos. En consecuencia, estos chocolates serían ideales para personas de mediana edad o mayores con riesgo de enfermedades metabólicas. Además, esto representaría una excelente oportunidad para ofrecer opciones más saludables y deliciosas a los consumidores.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Ryan, A. (2009). Matrix effects on flavour volatiles release in dark chocolates varying in particle size distribution and fat content using GC–mass spectrometry and GC–olfactometry. *Food Chemistry*, *113*(1), 208–215. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.088>
- Álvarez, C., Tovar, L., García, H., Morillo, F., Sánchez, P., Girón, C., & De Farias, A. (2010). Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) usando dos tipos de fermentadores. *Revista Científica UDO Agrícola*, *10*(1), 76–87.
- Andrade-Almeida, Rivera-García, Chire-Fajardo, & Ureña-Peralta. (2019). *Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao (Theobroma cacao L.) de Ecuador y Perú.*
- AOAC. (1990). AOAC: Official Methods of Analytical Chemist. *Assoc. of Official Anal. Chem.*
- AOAC. (2000). AOAC: Official Methods of Analytical Chemist. *Assoc. of Official Anal. Chem.*
- Bahari, A., & Akoh, C. C. (2018). Texture, rheology and fat bloom study of ‘chocolates’ made from cocoa butter equivalent synthesized from illipe butter and palm mid-fraction. *Lwt*, *97*(June), 349–354. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.013>
- Balcázar-Zumaeta, C. R., Castro-Alayo, E. M., Cayo-Colca, I. S., Idrogo-Vásquez, G., & Muñoz-Astecker, L. D. (2023). Metabolomics during the spontaneous fermentation in cocoa (*Theobroma cacao* L.): An exploraty review. *Food Research International*, *163*(September 2022). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112190>
- Beg, M. S., Ahmad, S., Jan, K., & Bashir, K. (2017). Status, supply chain and processing of cocoa - A review. *Trends in Food Science and Technology*, *66*, 108–116. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.007>

- Chaiseri, S., & Dimick, P. S. (1989). Lipid and hardness characteristics of cocoa butters from different geographic regions. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 66(12), 1771–1776. <https://doi.org/10.1007/BF02660745>
- Chen, Q., Zhang, J., Zhang, Y., & Wang, Q. (2022). Effect of fatty acid saturation degree on the rheological properties of pea protein and its high-moisture extruded product quality. *Food Chemistry*, 390(January), 133139. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133139>
- Chire-Fajardo, G. C., Ureña-Peralta, M. O., García-Torres, S. M., & Hartel, R. W. (2019). Optimización de la formulación de chocolate oscuro a partir de la mezcla de granos de cacao y contenido de cacao aplicando método de superficie de respuesta. *Enfoque UTE*, 10(3), 42–54. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v10n3.432>
- Chire-Fajardo, G. C., Ureña-Peralta, M. O., & Hartel, R. W. (2020). Fatty acid profile and solid fat content of Peruvian cacao for optimal production of trade chocolate. *Revista Chilena de Nutrición*, 47(1), 50–56. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000100050>
- Collazos, R. (2023). *Características físicoquímicas y atributos sensoriales de ecotipos promisorios de cacao fino de aroma del Nor Oriente del Perú*. Master's thesis, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- David, F., Sandra, P., & Vickers, A. K. (2005). Column selection for the analysis of fatty acid methyl esters application. *Agilent Application Note*, 1–12.
- Díaz-Valderrama, J. R., Leiva-Espinoza, S. T., Aime, M. C., & Catherine Aime, M. (2020). The history of cacao and its diseases in the Americas. *Phytopathology*, 110(10), 1604–1619. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-05-20-0178-RVW>
- Febrianto, N. A., Wang, S., & Zhu, F. (2022). Chemical and biological properties of cocoa beans affected by processing: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(30), 8403–8434. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1928597>
- Glicerina, V., Balestra, F., Rosa, M. D., & Romani, S. (2013). Rheological, textural and calorimetric modifications of dark chocolate during process. *Journal of*

- Food Engineering*, 119(1), 173–179.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.012>
- Goñas, M., Rubio, K. B., Rojas Briceño, N. B., Pariente-Mondragón, E., & Oliva-Cruz, M. (2022). Tree diversity in agroforestry systems of native fine-aroma cacao, Amazonas, Peru. *PLoS ONE*, 17(10 October), 1–12.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275994>
- Gonçalves, E. V., & Lannes, S. C. da S. (2010). Chocolate rheology. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30(4), 845–851. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000400002>
- Guckenbiehl, Y., Martin, A., Ortner, E., Rothkopf, I., Schweiggert-Weisz, U., Buettner, A., & Naumann-Gola, S. (2022). Aroma-active volatiles and rheological characteristics of the plastic mass during conching of dark chocolate. *Food Research International*, 162(PB), 112063.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112063>
- Hammer, D. A. T., Ryan, P. D., Hammer, Ø., & Harper, D. A. T. (2001). Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 178. http://palaeo-electronica.orghttp://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.
- Herrera-Rocha, F., Cala, M. P., Aguirre Mejía, J. L., Rodríguez-López, C. M., Chica, M. J., Olarte, H. H., Fernández-Niño, M., & Gonzalez Barrios, A. F. (2021). Dissecting fine-flavor cocoa bean fermentation through metabolomics analysis to break down the current metabolic paradigm. *Scientific Reports*, 11(1), 1–18.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-01427-8>
- Intriago, F. G., Talledo Solórzano, M. V., Cuenca Nevárez, G. J., Macías Barberán, J. R., Álvarez Andrade, J. R., & Menjívar Flores, J. C. (2019). Evaluación del contenido de metales pesados en almendras de cacao (*Theobroma cacao* L) durante el proceso de beneficiado. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 3(26), 17–23. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol3iss26.2019pp17-23>
- Kalic, M., Krstonosic, V., Hadnadev, M., Gregersen, S. B., Jovanovic Ljeskovic, N., & Wiking, L. (2018). Impact of different sugar and cocoa powder particle sizes

- on crystallization of fat used for the production of confectionery products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(12), e13848. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13848>
- Kayode A., O. (2018). Competitiveness and comparative advantage of cocoa production in Southwestern Nigeria: A policy analysis approach. *Universal Journal of Agricultural Research*, 6(2), 57–61. <https://doi.org/10.13189/ujar.2018.060202>
- Lillah, Asghar, A., Pasha, I., Murtaza, G., & Ali, M. (2017). Improving heat stability along with quality of compound dark chocolate by adding optimized cocoa butter substitute (hydrogenated palm kernel stearin) emulsion. *Lwt*, 80, 531–536. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.042>
- Lima, Lí. J. R., Almeida, M. H., Rob Nout, M. J., & Zwietering, M. H. (2011). *Theobroma cacao* L., “The Food of the Gods”: Quality determinants of commercial cocoa beans, with particular reference to the impact of fermentation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(8), 731–761. <https://doi.org/10.1080/10408391003799913>
- López-Hernández, M. del P., & Criollo-Nuñez, J. (2022). Cambios fisicoquímicos en la fermentación y secado de materiales de cacao en Colombia. *Ciencia En Desarrollo*, 13(2), 25–34. <https://doi.org/10.19053/01217488.v13.n2.2022.14140>
- Motamayor, J. C., Lachenaud, P., da Silva e Mota, J. W., Loor, R., Kuhn, D. N., Brown, J. S., & Schnell, R. J. (2008). Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L). *PLoS ONE*, 3(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003311>
- Norazlina, M. R., Jahurul, M. H. A., Hasmadi, M., Mansoor, A. H., Patricia, M., & Ramlah, M. R. G. (2022). Physicochemical properties of bambangan kernel fat and its stearin mixtures with cocoa butter. *Lwt*, 153(September 2021), 112556. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112556>
- Nouredini, H., Teoh, B. C., & Davis Clements, L. (1992). Viscosities of vegetable oils and fatty acids. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 69(12), 1189–1191. <https://doi.org/10.1007/BF02637678>

- Oliva-Cruz, M., Goñas, M., Bobadilla, L. G., Rubio, K. B., Escobedo-Ocampo, P., García Rosero, L. M., Rojas Briceño, N. B., & Maicelo-Quintana, J. L. (2022). Genetic groups of fine-aroma native cacao based on morphological and sensory descriptors in northeast Peru. *Frontiers in Plant Science*, *13*(June), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.896332>
- Ostrowska-Ligeza, E., Marzec, A., Górska, A., Wirkowska-Wojdyła, M., Bryś, J., Rejch, A., & Czarkowska, K. (2019). A comparative study of thermal and textural properties of milk, white and dark chocolates. *Thermochimica Acta*, *671*(July 2018), 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2018.11.005>
- Padar, S., Jeelani, S. A. K., & Windhab, E. J. (2008). Crystallization kinetics of cocoa fat systems: Experiments and modeling. *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, *85*(12), 1115–1126. <https://doi.org/10.1007/s11746-008-1312-0>
- Ramos-Quevedo, J. (2013). *Influencia de la molienda en las propiedades reológicas del licor de cacao*. Undergraduate thesis, Universidad Nacional de San Martín.
- Servent, A., Boulanger, R., Davrieux, F., Pinot, M. N., Tardan, E., Forestier-Chiron, N., & Hue, C. (2018). Assessment of cocoa (*Theobroma cacao* L.) butter content and composition throughout fermentations. *Food Research International*, *107*(February), 675–682. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.070>
- Simoneau, C., Hannaert, P., & Anklam, E. (1999). Detection and quantification of cocoa butter equivalents in chocolate model systems: analysis of triglyceride profiles by high resolution GC. *Food Chemistry*, *65*(1), 111–116. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00106-X](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00106-X)
- Torres-Moreno, M., Torrescasana, E., Salas-Salvadó, J., & Blanch, C. (2015). Nutritional composition and fatty acids profile in cocoa beans and chocolates with different geographical origin and processing conditions. *Food Chemistry*, *166*, 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.141>
- van Vliet, J. A., Slingerland, M. A., Waarts, Y. R., & Giller, K. E. (2021). A living income for cocoa producers in Côte d'Ivoire and Ghana? *Frontiers in*

Sustainable Food Systems, 5(October).
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.732831>

Vera-Chang, J. F., Vallejo-Torres, C., Párraga-Morán, D. E., Macías-Véliz, J., Ramos-Remache, R., & Morales Rodríguez, W. (2014). Atributos físicos-químicos y sensoriales de las almendras de quince clones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) en el Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 7(2), 21–34.
<https://doi.org/10.18779/cyt.v7i2.99>

ANEXOS

Figura 4

Recolección de las accesiones

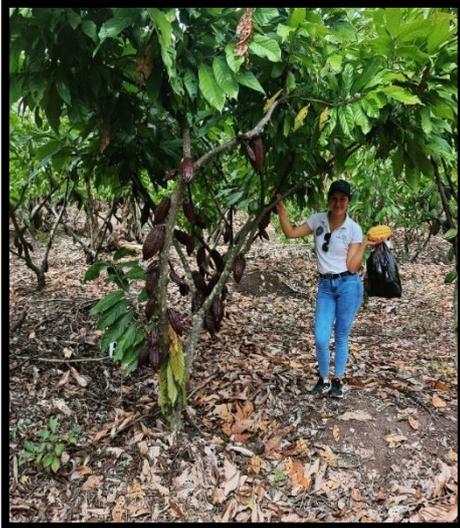


Figura 5

Fermentación y secado de los granos de las accesiones



Figura 6

Elaboración de las tabletas de pasta de cacao de 20 accesiones

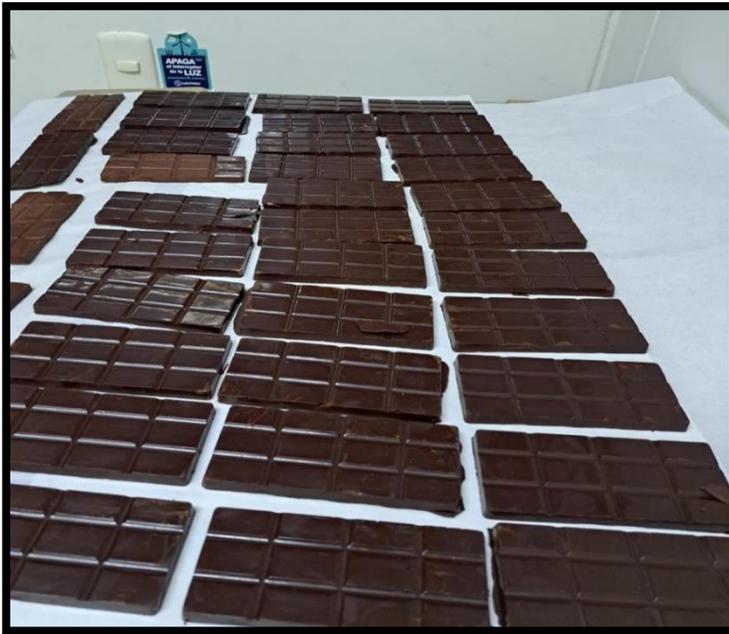


Figura 7

Análisis textural de las tabletas de pasta de cacao de 20 accesiones



Figura 8

Análisis reológico de las tabletas de pasta de cacao de 20 accesiones



Figura 9

Muestras de manteca de cacao de 20 accesiones



Figura 10

Separación de muestras de cacao de 20 accesiones y la recuperación de los metil esteres (FAMES)



Figura 11

Cromatógrafo de gases para identificar el perfil de los ácidos grasos

