

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“CARACTERIZACIÓN FÍSICO- MECÁNICA DEL GRANO
DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) PRODUCIDO EN LLAYLLA
DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHALHUAMAYO,
SATIPO”**

**Presentada por:
LUIS SALAZAR DE PAZ**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**Lima - Perú
2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“CARACTERIZACIÓN FÍSICO- MECÁNICA DEL GRANO
DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) PRODUCIDO EN LLAYLLA
DE LA MICROCUENCA DEL RÍO CHALHUAMAYO,
SATIPO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:
LUIS SALAZAR DE PAZ**

robada ante el siguiente jurado:

Lic. Rer.Reg. Víctor Aguilar Vidangos
PRESIDENTE

Mg. Sc. Alfonso Cerna Vázquez
ASESOR

Ph D. José Luis Calle Maraví
MIEMBRO

Mg. Sc. Saúl Torre Murga
MIEMBRO

“En ningún otro tiempo la naturaleza ha concentrado tanta abundancia de nutrientes valiosos en un espacio tan pequeño como en la semillas de cacao”.

Alexander von Humboldt (1769- 1859)

DEDICATORIA

A mis queridos padres y hermanos

A mi amadísima Luisa y nuestros tesoros Irina Juana y Luis Alonso

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Luisa, Irina y Luis Alonso que con sus luces cálidas y brillantes caminamos juntos por la vida. Son toda mi vida y quehacer.

A Irina, quien revisó acuciosamente el texto.

Agradezco a los campos rurales de Llaylla, rinconcito ubérrimo del Perú.

Agradezco a mi alma mater la UNMSM, Facultad de Ciencias Físicas, en cuyas antiguas aulas me formé académica y profesionalmente y sus laboratorios desarrollo mis investigaciones.

Agradezco a la UNALM, UPG por otorgarme la oportunidad de terminar este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Presentación general	1
1.2 Justificación	7
1.3 Alcances	8
1.4 Objetivos	9
II. REVISIÓN DE LITERATURA	11
2.1 Antecedentes	11
2.1.1. Origen, importancia y producción del cacao	11
2.1.2 Cultivo y cosecha	19
2.1.3 Estructura morfológica y bioquímica de la semilla de cacao	21
2.1.4 Procesamiento	21
2.1.5 Propiedades organolépticas	25
2.1.6 Propiedades físico-mecánicas	26
2.1.6.A Propiedades físicas	27
2.1.6.A1 Índice de semillas	27
2.1.6.A2 Formas y tamaño	27
2.1.6.A3 Dimensiones axiales	28
2.1.6.A4 Redondez	28
2.1.6.A5. Esfericidad	28
2.1.6.A7 Área	28
2.1.6.A7 Densidad	29
2.1.6.A8 Porosidad	30
2.1.6.A9 Rozamiento	31
2.1.6.A10 Ángulo de reposo	31
2.1.6.A11 Rugosidad	31
2.1.6.B. Propiedades mecánicas	32
2.1.6.B1 Deformación	34
2.1.6.B2 Esfuerzo	34
2.1.6.B3 Coeficiente de Poisson	34
2.1.6.B4 Módulo de elasticidad	35
2.1.6.B5 Módulo de Young	35

2.1.6.B6	Módulo de elasticidad aparente	36
III. MATERIALES Y MÉTODOS		39
3.1	Materiales y equipos	39
3.1.1	Materiales	39
3.1.2	Equipos	39
3.2	Experimentación	41
3.2.1	Análisis previos	41
3.2.2	Colecta y tratamiento del material	42
3.3	Caracterización física	44
3.3.3A	Masa – Índice de semilla	44
3.3.3B	Peso	44
3.3.3C	Dimensiones, tamaño y forma	45
3.3.3D	Dimensiones axiales	45
3.3.3E	Redondez	45
3.3.3F	Esfericidad	46
3.3.3G	Área	46
3.3.3H	Densidad	46
3.3.3I	Porosidad	47
3.3.3J	Rozamiento	47
3.3.3K	Ángulo de reposo	48
3.3.3L	Acción de la humedad	49
3.3.4	Caracterización mecánica	49
3.3.4.A	Deformación relativa o unitaria	50
3.3.4B	Esfuerzo	50
3.3.4C	Coefficiente de Poisson	50
3.3.4D	Módulo de deformabilidad como módulo de Young	51
3.3.4E	Módulo de elasticidad aparente	51
3.3.4F	Determinación del punto de rotura	54

IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
4.1	Estación Experimental	55
4.2	Condiciones meteorológicas y climáticas en Satipo y Llaylla	56
4.3	Taxonomía	58
4.4	Determinación de las características morfológicas del cacao Criollo	58
4.4.1	Árbol	58
4.4.2	Raiz	59
4.4.3	Flor	59
4.4.4	Hoja	60
4.4.5	Fruto	62
4.4.6	Semilla	65
4.5	Fermentación, temperatura, secado y medida de humedad	66
4.6	Preparación del licor de cacao	68
4.7	Evaluación de las propiedades organolépticas	68
4.8	Resultados del cálculo de las propiedades físicas	69
4.8.1	Acción de la humedad	69
4.8.2	Masa y número de granos	70
4.8.3	Número de granos en cien gramos	70
4.8.4	Masa de cien granos	70
4.8.5	Peso	71
4.8.6	Dimensiones axiales	71
4.8.7	Forma: esfericidad	72
4.8.8	Área superficial	72
4.8.9	Área proyectada	72
4.8.10	Densidad	72
4.8.11	Porosidad	73
4.8.12	Rozamiento	73
4.8.13	Ángulo de reposo θ	74
4.9	Resultados del cálculo de las propiedades mecánicas	74
4.9.1	Coefficiente de Poisson	75
4.9.2	Del módulo de Young	75
4.9.3	Fuerza y deformación en punto de ruptura	75
4.9.4	Producción	76
4.9.5	Resumen de resultados	77

V. CONCLUSIONES	83
VI RECOMENDACIONES	85
VII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
VIII ANEXOS	95

ÍNDICE DE FIGURAS

n° FIGURA	MOTIVO	PÁGINA
1	Variedades de cacao	4
2	Mapa de Satipo	5
3	Cacaotal. Estación Experimental	6
4	Mapa de Llaylla	6
5	Orígenes del cacao	11
6	Mundo. Principales zonas productoras de cacao	16
7	Mundo. Principales productores de cacao en grano	17
8	Perú. Principales regiones productoras de cacao en el 2016	18
9	Estructura morfológica de la semilla de cacao	21
10	Papilas linguales: Distribución de sabores en la lengua	26
11	Dimensiones ortogonales	27
12	Dimensiones para determinación de esfericidad	28
13	Dimensiones del ángulo de reposo	31
14	Rugosidad del cacao	31
15	Esquema de cálculo de radios de curvatura de semilla en plano horizontal	36
16	Radio de curvatura mayor (R) y menor (r), plano horizontal	37
17	Coordenada de configuración. Imagen de cacao en tres planos	45
18	Dimensiones para la determinación de esfericidad	45
19	Evaluación del coeficiente de rozamiento. Planos y montaje experimental	48
20	Evaluación del ángulo de reposo: Montaje experimental	49
21	Cálculo del coeficiente de Poisson. Modelo experimental de deformación axial y lateral	50
22	Evaluación de compresión uniaxial del grano de cacao en los tres planos axiales entre dos láminas planas. Planos y montaje experimental	54
23	Rugosidad en la superficie de la de la mazorca de cacao Criollo	64

24	Fermentación del cacao, cambio de temperatura y color	67
25	Medida de humedad	67
26	Preparación del licor de cacao	68
27	Medida de la masa de granos de cacao	70
28	Granos de tres tamaños	72
29	Granos de cacao en agua destilada	73
30	Determinación experimental del coeficiente de rozamiento estático	73
31	Determinación de la fuerza de rotura	75
32	Cacao de Llaylla para diversos usos	96
33	Papilas linguales: Distribución de sabores en la lengua	107
34	Modelo mecánico de Maxwell para sólidos viscoelásticos	111
35	Modelo de Kelvin	111
36	Modelo de Burger	111
37	Procesamiento y elaboración de licor de cacao	113
38	Licor de cacao embolsado	113
39	Máquina moledora de cacao	113

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	MOTIVO	PAGINA
1	Mundo: Producción de cacao por principales países	16
2	Laboratorios de análisis, certificación y experimentación de cacao	41
3	Valores de la constante k para los valores de las ecuaciones dada por Kosman y Cunningham 1962	53
4	Certificación: Análisis de suelo de la estación experimental, Satipo– Llaylla	56
5	Satipo: Condiciones climáticas	57
6	Árbol de cacao: Características cualitativa y cuantitativa	58
7	Raíz del árbol de cacao	59
8	Flor del cacao: Características cualitativa y cuantitativa	59
9	Hoja del cacao: Características cualitativas y cuantitativas	61
10	Fruto del cacao Criollo: Características cualitativa y cuantitativa. Para tamaños: Chico, mediano y grande	63
11	Fruto: Características cuantitativas	64
12	Rugosidad en la superficie de la de la mazorca de cacao Criollo	64
13	Mucílago: Características cualitativa	64
14	Semilla de cacao: Características cualitativas y cuantitativas	66
15	Temperatura en el proceso de fermentación	67
16	Masa granos de cacao	70
17	Número de granos por 100 g de masa	70
18	Masa de 100 granos	70
19	Peso de 100 granos	71
20	Dimensiones axiales de granos	71
21	Esfericidad del grano	72
22	Área superficial del grano	72
23	Área superficial proyectada del grano	72
24	Densidad absoluta de granos secos	73

25	Densidad a granel de granos de cacao secos	73
26	Mínima fuerza F_0 sobre granos de cacao en superficies de diferentes materiales	74
27	Ángulo de reposo ϑ en pilas de granos	74
28	Coefficiente de Poisson μ del grano	75
29	Módulo de Young (Y) del grano	75
30	Punto de ruptura del grano	75
31	Módulos de elasticidad del grano	76
32	Resumen de resultados de cálculos de propiedades físicas y mecánicas de grano	80
33	Resultados de cálculos de propiedades mecánicas de grano	80
34	Comparación de valores obtenidos de las propiedades físicas del grano de cacao con otros autores	81
35	Usos del cacao y sus derivados	96
36	Sabores y sensaciones	106
37	Propiedades organolépticas de la textura	107
38	Radio dimensiones axiales del grano	115
39	Dimensiones axiales: Tratamiento estadístico	116
40	Perfil del agricultor peruano	120
41	Problemática del cacao	120

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Contenido alimenticio del cacao	95
Anexo 2 Usos y aplicaciones del cacao	96
Anexo 3. El cacao peruano y su impacto en la economía nacional	97
Anexo 4 Notas agrometeorológicas	100
Anexo 5 Propiedades organolépticas	105
Anexo 6 Modelos mecánicos	109
Anexo 7 Tostado. Obtención del licor Productos primarios del cacao.	113
Anexo 8 Medida de dimensiones axiales del grano de cacao de Llaylla	115
Anexo 9 Encuesta Llaylla, Satipo- Perfil del agricultor peruano, problemática	117

ACRÓNIMOS

ASABE	American Society of Agricultural and Biological Engineers
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
COVENIN	Comisión Venezolana de Normas Industriales, se conoció desde 1958 hasta 2004 al ente encargado de velar por la estandarización y normalización bajo lineamientos de calidad en Venezuela
DEVIDA	Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas
ICCO	La Organización Internacional del Cacao
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
FAOSTAD	ONU para la alimentación y la agricultura
FCF, UNMSM	Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Mincetur	Ministerio de Comercio Exterior y Turismo
ORAC	Oxigen radical absorbance capacity
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PVC	Polivinilo de cloruro
SENASA	Servicio Nacional de Sanidad Agraria. Ministerio de Agricultura y Riego
UNCTAD	Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo

RESUMEN

El cacao es un nutriente de demanda mundial, utilizado como materia prima para la producción de chocolatería, galletas, tortas, productos de panadería, helados, bebidas de chocolate, etc. El nombre científico del cacao es (*Theobroma cacao L.*). Florece en regiones tropicales, donde destacan las variedades Criollo y Forastero. Muchos investigadores (Candolle 1882; Chessman 1944; García 2000; Sáenz *et al.* 2009; Romero 2017; Quiñones *et al.* 2018) concluyen que el cacao es una planta originaria de la zona noroccidental de Sudamérica, que en el Perú floreció al norte del Urubamba- Cuzco. Rojas (2010), investiga las propiedades físicas de la semilla de vitabosa, (Clímaco 2010; Zambrano 2010; Ayestas 2009; Martínez 2007; Rivera 2018) investigan algunas propiedades físicas y mecánicas de la semilla de cacao: Humedad, masa, número de granos en cien gramos, masa de cien granos e índice de masa y dimensiones axiales. Producto de manejos postcosecha: Recolección, manipulación, transporte y comercialización el cacao sufre daños en sus propiedades físicas y mecánicas. El objetivo de la investigación es generar conocimiento en cuanto a propiedades físicas y mecánicas del grano de cacao, con el fin de mejorar manejos y minimizar deterioros. La zona de intervención está ubicada en el distrito de Llaylla, provincia de Satipo, región Junín, microcuenca del río Chalhuanayo. Se caracteriza el cacao morfológicamente y monitorean los procesos de postcosecha: Fermentación, secado de semillas. En el cuarto día de fermentación, la temperatura se incrementa al máximo entre 46 °C y 52 °C, intervalo de temperatura óptima para obtener mejores propiedades organolépticas y minimizar deterioros. El secado de granos se realizó a soleo natural y con secador solar, este último es más conveniente y eficaz. Las medidas de las propiedades físicas y mecánicas de los granos de cacao reportadas por otros investigadores son concordantes con las obtenidas y están en el promedio de la región. Se han trabajado más propiedades físicas y mecánicas como aporte de la investigación. Su conocimiento sirve para mejorar los manejos del cacao.

Palabras Clave: *Theobroma cacao L.*; semilla y grano de cacao; características organolépticas, características físico- mecánica.

ABSTRACT

Cocoa is a nutrient in global demand, used as a raw material to produce chocolate, cookies, cakes, bakery products, ice cream, chocolate drinks, etc. The scientific name of cocoa is *Theobroma cacao* L. It flourishes in tropical regions, where the Criollo and Forastero varieties stand out. Many researchers (Candolle 1882; Chessman 1944; García 2000; Sáenz *et al.* 2009; Romero 2017; Quiñones *et al.* 2018) conclude that cacao is a plant native to the northwestern area of South America, which in Peru flourished north of the Urubamba- Cuzco. Rojas (2010) investigates the physical properties of the vitabosa seed, (Clímaco 2010; Zambrano 2010; Ayestas 2009; Martínez 2007; Rivera 2018) investigate some physical and mechanical properties of the cocoa seed: Humidity, mass, number of beans in one hundred grams, mass of one hundred grains and mass index and axial dimensions. Product of post-harvest handling: Collection, handling, transport and commercialization of cocoa suffers damage to its physical and mechanical properties. The objective of the research is to generate knowledge regarding the physical and mechanical properties of the cocoa bean, in order to improve handling and minimize deterioration. The intervention area is located in the Llaylla district, Satipo province, Junín region, micro-basin of the Chaluamayo river. The cocoa is morphologically characterized, and postharvest processes are monitored: Fermentation, drying of seeds. On the fourth day of fermentation, the temperature is increased to the maximum between 46 ° C and 52 ° C, the optimum temperature range to obtain better organoleptic properties and minimize deterioration. The grain drying was carried out in natural sunlight and with a solar dryer, the latter being more convenient and efficient. The measures of the physical and mechanical properties of cocoa beans reported by other researchers are consistent with those obtained and are in the average for the region. More physical and mechanical properties have been worked on as input from the research. His knowledge serves to improve the handling of cocoa.

Keywords: *Theobroma cacao* L.; cocoa bean and seed; organoleptic characteristics, physical-mechanical characteristics.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 PRESENTACIÓN GENERAL

El cacao es una planta originaria del noroccidente de Sudamérica. En Perú destacan las variedades criollo y forastero, en las últimas décadas, se ha introducido otras variedades, su cultivo ha adquirido importancia social y económica. Considerando que el Perú se ha convertido en uno de los principales centros de origen del cacao, con una alta diversidad y variabilidad genética, que se encuentra en todas las zonas del país, el Ministerio de Agricultura declaró al cacao peruano *Theobroma cacao* L. Patrimonio Natural de la Nación (Resolución Ministerial n° 0144-2012-ag, 2012-04-17).

El cacao es una planta de la familia *Malvaceae*, su nombre científico es *Theobroma cacao* L, término acuñado (1758) por Carlos Linneo (Carl Nilsson L., Råshult 1707-Upsala, 1778) en griego significa «Alimento de los dioses», es un producto alimenticio rico en minerales, vitaminas y fibra, otorga propiedades nutricionales y numerosos beneficios a la salud humana, contiene: Fitoesteroles (Beta-sitosterol), polifenoles, antioxidantes. Es el principal insumo en la producción de chocolaterías (de alta densidad calórica) y golosinas, tiene uso terapéutico, en cosmética y en la elaboración de diversos productos.

Análogo a frutas y hortalizas, el cacao está sometido a prácticas agrícolas de postcosecha inadecuadas, tanto en su recolección, como en la fermentación, manipulación, acopio, almacenamiento y transporte los que causan deterioro del material como: Aplastamientos, fraccionamiento y pudrimiento, que conllevan a alteraciones en sus propiedades físicas, mecánicas y organolépticas, además de pérdidas en la productividad.

Barrientos F., *et al.* (2014) identifican ciertas limitaciones subjetivas: «La mayoría son pequeños productores de cacao con menos de cinco hectáreas, no manejan costos de producción, no tienen conocimiento de estándares a cumplir; no tiene acceso a crédito adecuado para su manejo, la producción la realizan de manera individual, su organización es débil; se estima que un 70 por ciento no están organizados».

Para minimizar los impactos negativos del manejo del cacao, conviene tener conocimientos de sus características morfológicas, propiedades organolépticas y propiedades físicas- mecánicas.

A continuación, para poner en contexto el tema se hace una retrospectiva histórica sucinta desde la génesis y evolución de nuestro planeta Tierra hasta la aparición de la planta de cacao.

En el sistema solar, la Tierra inicialmente era lo que se considera un protoplaneta, formado por una esfera de gases de altas temperaturas. Al evolucionar se enfría gradualmente y un pequeño porcentaje de gases cambia a la fase sólida, formándose una débil corteza que con el tiempo engrosa. Otro porcentaje se transformó en líquido, el cual se depositó sobre la corteza. Con el tiempo y la dinámica propia del protoplaneta se forma geológicamente y convierte en lo que hoy es el planeta Tierra. Durante diferentes Eras, los procesos meteorológicos han moldeado su topografía. En la Era Agnostozoica (Azoica), estimada en alrededor de 1 450 millones de años, no se encuentra vestigios de vida. En la Era Paleozoica, que cubren 350 millones de años, aparecen los animales con concha o exoesqueleto hasta el surgimiento de los primeros anfibios y reptiles (Era Primaria); después aparecen los peces, insectos e incipientes especies de vegetales de constitución básica. En la Era Mesozoica (Era Secundaria), llamada era de los dinosaurios porque reinan estos grandes reptiles, tiene una duración es de 140 millones de años.

En la Era Cenozoica, de 59 millones de años (Era Terciaria), los continentes se trasladaron a sus posiciones actuales; se genera una gran diversidad climática y es cuando aparecen los mamíferos. En la Era Cuaternaria aparece el humano.

En la Tierra, se forman zonas sólidas superficiales constituidas de tres capas: Corteza (Sólida), manto (Altamente viscosos) y núcleo (Externo viscoso, interno sólido). Sobre la cuasi estática corteza se depositan los mares y la atmósfera, sobre los mares emerge parte de la corteza formando los actuales continentes depositados sobre placas tectónicas flotando sobre el magma que adquieren una dinámica propia. Una forma de clasificar la atmósfera es: Tropósfera, estratósfera y ionósfera. A partir de la superficie del mar la tropósfera alcanza un espesor entre nueve y doce kilómetros, ahí se deposita casi todo el aire atmosférico constituido de oxígeno, anhídrido carbónico, nitrógeno, vapor de agua, argón, neón, helio y otros elementos en cantidades menores, pero todos indispensables para la vida. Los fenómenos atmosféricos y oceanográficos interaccionan con los continentes y moldean el planeta. Actualmente, existen cinco continentes, el más joven es América, constituido de dos grandes subcontinentes norte y sur unidos por una delgada franja (Centro).

Sudamérica, está bordeada por dos océanos de formación geológica y característica diferentes: El océano Pacífico por el occidente y el océano Atlántico por el oriente. La costa occidental es fría y seca mientras que la costa oriental es cálida y húmeda. Más cerca de la costa occidental, la corteza terrestre se eleva formando una cadena montañosa llamada Andes con una topografía propia constituyendo dos vertientes, la occidental del Pacífico y la oriental amazónica. En este subcontinente, se encuentra más de veinte por ciento del agua dulce del mundo con grandes ríos, donde sobresale el río Amazonas. En el Urubamba, Región Cuzco de Perú, nace el río Ucayali, discurre hacia el norte paralela a los Andes orientales, que al encontrarse con el río Marañón forman el río Amazonas, es el río navegable más caudaloso del mundo. La vertiente amazónica lleva sus aguas desde la costa oriental de los Andes hasta el Océano Atlántico, circulando por una zona mayormente llana de enorme volumen biodiversidad.

Definición de ríos. Las precipitaciones pluviales y los deshielos de glaciares en las montañas forman fuentes o manantiales y lagos de agua dulce de estos nacen los ríos, viajan hacia las partes bajas; del relieve terrestre toman el factor determinante de sus principales características. Investigadores de Perú (IGN) y Brasil a partir de 1989 mediante expediciones e imágenes satelitales concluyen que el río Ucayali y el río Amazonas son un mismo río, sólo que cambia de nombre, tiene una longitud de 6 762 km (El río Nilo aceptado internacionalmente como el más largo de mundo tiene una longitud de 6 671 km, es decir 91 km menos que el Amazonas). Brasil, realizó una investigación complementaria (2008) a través de su Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales. Conclusión: El punto de origen del río está ubicado en la quebrada de Apacheta, en los alrededores del nevado Mismi. El Nevado Mismi, en el valle de Carhuasanta tiene una altura de 5 597 m, forma parte de la Cordillera Chila, ubicado en la Cordillera Occidental (Lat. 15°02' y 15°26'S. y 71°43' largo' y 72°37'W). El pico más alto es el Nevado Mismi, al norte del Valle del Colca y al noroeste de la ciudad de Arequipa. El río Amazonas es el más largo del mundo.

De la gran diversidad de plantas oriundas de Sudamérica, una de ellas es el cacao, cubre áreas desde el Urubamba hasta la cuenca occidental del Orinoco. Esta planta, es llevada por indígenas a Centroamérica y posteriormente por los españoles a Europa. Actualmente se ha adaptado y se cultiva en muchas partes del mundo.

El objetivo de la investigación es generar e internalizar conocimiento sobre las propiedades físicas y mecánicas del cacao, con el fin de contribuir en la aplicación de criterios técnicos de intervención y manejo postcosecha, maximizar la productividad y minimizar la merma correspondiente.

El procedimiento para conseguir este objetivo es el siguiente: Se cosecha el cacao en la Estación Experimental (Zona de intervención), se separa las semillas de la mazorca e inmediatamente se procede a la fermentación, monitoreando la temperatura durante cinco o seis días, se sabe que en este lapso es cuando se desarrollan las propiedades organolépticas en el cacao, obtención de cuerpo, aroma y sabor; seguidamente se seca en mantadas en suelo tendido a soleo natural. También con secador solar; se realizan estudios taxonómicos, morfológicos y organolépticos y finalmente se caracteriza el grano.

Variedades de cacao

Antes de 1900, se reconocían tres principales variedades de cacao: Criollo o Nativo, Forastero y Trinitario. Actualmente, se reconocen alrededor de 20 especies diferentes en la familia *Theobroma*, más de diez variedades de cacao y muchos grupos genéticos distintos que presentan diferencias en su forma, color y sabor.

Criollo. Cacao de alta calidad, sabor muy agradable ligeramente ácido y rara vez amargo. Característica: Mazorcas de tamaño mediano, alargadas de punta aguda recta o curvada, poca cáscara, diez surcos de rugosidad, semillas grandes blancas o ligeramente pigmentadas, cilíndricas u ovals y aromáticas. Ubicación: En América del Sur: Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela; en América Central y México. De fácil adaptación y producción inferior.

Forastero. De sabor potente y menos aromático que el criollo, eventualmente puede ser amargo o ácido. De mazorcas en crecimiento color verde claro o rosado pálido, al madurar se tornan amarillas, de punta redondeada, cáscara lisa o ligeramente rugosa, delgadas con diez surcos superficiales, tiene una capa lignificada en el centro del



Figura 1:
Variedades de cacao:
Criollo, Forastero,
Trinitario
Estación Experimental

pericarpio; semillas pequeñas moradas, triangulares en corte transversal, aplastadas o achatadas.

Trinitario. Híbrido, mezcla de Criollo con Forastero, producto espontáneo en un incendio en la isla Trinidad (1730). De sabor tipo Forastero, de menor acidez y amargor. Mazorcas amarillas, rojas o anaranjadas, cáscara gruesa algo rugosa, cinco surcos marcados, punta redondeada. Variedades: Angoleta, Cundeamor, Amelonado, Calabacillo.

Nueva clasificación

Actualmente se cuenta con una nueva clasificación en diez grupos (Clusters) genéticos naturales, Moreno (2019) y García (2017) señalan que «A finales de 1990, Lachenaud *et al.* (1997), propusieron una clasificación del cacao en cuatro grupos germoplásmicos naturales: (a) Criollo, (b) Amazonas o Forastero del Alto Amazonas, (c) Guyanas o Forastero del Bajo Amazonas, y (d) Nacional. Un último estudio de Motamayor *et al.* (2008), citados por García (2017), orientado a obtener un mejor conocimiento de la diferenciación de poblaciones de cacao utilizando 1 241 accesiones y 106 marcadores microsátélites, permitió establecer una nueva clasificación en diez grupos genéticos naturales: (a) Amelonado, (b) Criollo, (c) Guyanas, (d) Nacional, (e) Curaray, (f) Purús, (g) Iquitos, (h) Nanay, (i) Contamana y (j) Marañón, lo que permitió entender mejor la amplitud y la estructura de la diversidad genética de la especie cacao».

Importancia nutricional y económica del cacao

El cacao es un nutriente de demanda mundial, principalmente para la producción de chocolatería. Durá (2016) concluye que es una materia prima esencial en la fabricación de alimentos «El cacao en polvo es el producto obtenido de la molienda de la torta de cacao, tras el prensado y eliminación de la grasa. Este producto se considera una materia prima esencial en la fabricación de galletas, tortas y productos de panadería, helados y bebidas de chocolate debido a su capacidad para dar sabor y color».



Figura 2: Mapa de Satipo.
FUENTE: Consejo Provincial de Satipo 2017

Área de estudio y ubicación geográfica de Llaylla

La zona de intervención es una parcela de una hectárea de extensión ubicada en Distrito de Llaylla, Provincia de Satipo, microcuenca del río Chaluamayo, integrante de la cuenca del Río Perené, ceja de la selva central del Perú, en adelante se le llamará “Estación Experimental”. Se escogió esta zona porque es apropiada para el cultivo de café, cacao, frutales y gran cantidad de productos alimenticios. Históricamente, en esta zona se encuentran variedades de cacao en la que destacan dos de ellas criollo y forastero. En los últimos años se viene introduciendo otras variedades. En la “Estación Experimental” se desarrolla la agricultura del cacao desde finales del 1900. Para el buen crecimiento de las plantas y limitación de enfermedades importa el control de suelos y la humedad.



Figura 3: Cacaotal: Estación Experimental

Ubicación geográfica de la Estación Experimental:

Región: Junín Provincia:
Satipo Distrito: Llaylla

Ubicación del distrito de Llaylla:

Llaylla está situada al este de Lima:
Latitud Sur: 11° 34' 20”, Longitud
Oeste: 74° 39' 122”, Altitud: 1 100
m.s.n.m.

Extensión de Llaylla:

Superficie 180,39 km²
Comprende el 0,93 por ciento del
territorio de Satipo

Población: 6 544 habitantes (2017)

Clima: Húmedo semicálido

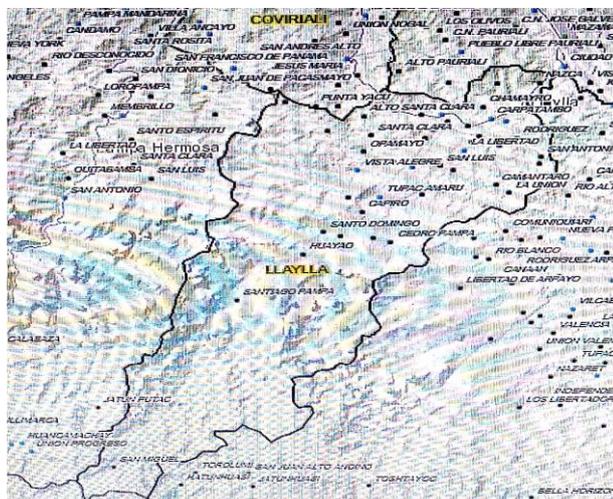


Figura 4: Mapa de Llaylla.

FUENTE: Portal Consejo Provincial de Satipo (2017)

1.2 JUSTIFICACIÓN

A pesar de que, en la Selva Central de Perú sus suelos en general son débiles, sus cuencas en su diversidad biológica son ubérrimas, su cubierta vegetal produce buenos productos alimenticios. Sin embargo, las actividades antrópicas producen impactos negativos como: Erosión, deforestación, destrucción del hábitat y biodiversidad.

Después de un largo proceso de colonización desde la llegada de los europeos y a pesar de la independización de los españoles, invasión de nuevos colonos al valle del Perené, aún realizan roces y quema de vegetación, cultivando pan llevar; los madereros realizan excesiva tala de árboles, generando deforestación, destrucción del hábitat y biodiversidad, irresponsablemente después de empobrecer las tierras, las abandonan para colonizar otras.

La introducción de la industrialización, de medios de comunicación y la modernidad con criterios más económicos que sociales, vienen generando transculturización arrinconando a las comunidades. En este valle, subsisten muchos problemas como: Cambio del patrón productivo, fragmentación territorial, aumento de la presión demográfica, deficiente manejo de recursos, acondicionamiento territorial. Las comunidades enfrentan serias dificultades de dominio de su territorio, posesión de tierras, tanto en el campo como en la ciudad, mayor demanda alimentaria y energética; falta de centros educativos, hospitalarios y de recreación, lo que trae disminución de la calidad de vida de las personas.

Históricamente, a lo largo del tiempo, las comunidades naturales valoran el conocimiento ancestral transmitidos de padres a hijos. Preservan así su identidad cultural en armonía con la naturaleza. Pero la realidad actual demuestra que, sin el más mínimo respeto los colonos no valoran ni preservan las tradiciones las que se están sustituyendo. En consecuencia: Pérdida de sus culturas, identidades y tradiciones propias.

En el Perú, a partir de la década del 1930, aparece una nueva colonización de la selva, en los años 1980 debido a programas de cooperación internacional, al aumento de la demanda internacional y a programas alternativos se toma conciencia y se impulsa la siembra del cacao adquiriendo importancia económica y social.

«En los últimos años la demanda de cacao se ha colocado por encima de la oferta mundial. El consumo de chocolates en diferentes tipos de presentación tiende a elitizarse y se orientan hacia ciertos nichos de mercado. Según proyecciones realizadas al 2023 (ICCO), esta situación llevaría a la caída de stocks mundiales de cacao y se esperaría que los

precios internacionales se mantengan altos o se incrementen. Solo alrededor de ocho a diez por ciento de la producción mundial de cacao se cataloga como cacao fino o cacao de aroma. En el Perú aproximadamente un 56 por ciento de las áreas cosechadas son de este tipo y corresponden a la variedad Criollo y Nativo Forastero. En ese sentido, la mayor demanda de cacao permite a Perú ampliar su oferta. Perú ocupa el noveno lugar entre los principales países productores de cacao y segundo lugar entre los principales países productores y exportadores de cacao fino. De otro lado, entre un 90 a 92 por ciento de la producción mundial se cataloga como cacao convencional o común» (Romero 2017).

Debido a la gran demanda internacional de cacao artesanalmente la frontera agrícola de producción está en aumento. Pero, fatalmente por desconocimiento de buenas prácticas sociales, la producción de muchos agricultores artesanales puede sobrepasar mermas en un ochenta por ciento de su producción. «El Perú, se encuentra considerado desde el inicio con la calificación de exportador neto de cacao fino o de aroma; sin embargo, viene declinando de 100 por ciento en el 2008, a 90 por ciento en el 2011 y 75 por ciento en el 2016» (Romero 2017).

Una utilidad del conocimiento sobre las propiedades y parámetros físicos del cacao es permitir coadyuvar a su utilización en ingeniería tanto para adecuación y operación de máquinas, diseñar y construir estructuras de almacenamiento, montar sistemas de transporte, diseño de empaques como para el análisis de calidad y control de procesos.

1.3 ALCANCES

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), señalan que los derechos de la vida y la salud implican garantizar una buena alimentación y un entorno ambiental adecuado, donde la persona pueda desarrollarse individual y colectivamente.

«El cacao (*Theobroma cacao L.*) es un vegetal que interacciona amigablemente con su medio ambiente, es de sistemas agrícolas sostenibles, debido a que su explotación produce daño medio ambiental despreciable» (Salazar 2014).

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es una planta cuyo fruto tiene alto contenido nutricional¹, se utiliza en la producción de chocolates, bombones, refrescos, energizantes, otros².

Con fundamentos físicos y reológicos, se estudia el comportamiento mecánico de los frutos agrícolas. En ingeniería se cuentan con estimadores reológicos para caracterizar materiales no vegetales, estos se pueden aplicar a productos vegetales. Mejores medidas de los parámetros físicos y mecánicos del cacao contribuirán a construir indicadores que permitirán mejorar los protocolos de acopio, almacenamiento, industrialización, transporte y comercialización y por ende reducir pérdidas de valor comercial, aumentar el consumo interno y la exportación. La construcción de nuevos protocolos en esta línea se podrá usar también en protocolos de productos vegetales como frutales.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivos generales

El objetivo de la investigación es generar e internalizar conocimiento sobre las propiedades macroscópicas físicas y mecánicas del grano de cacao (*Theobroma cacao L.*), producido en el distrito de Llaylla, contribuir en la aplicación de criterios técnicos de intervención y manejo postcosecha, para coadyuvar a maximizar la productividad y minimizar la merma correspondiente, las cuales suelen llegar a más del setenta por ciento de la producción de agricultores artesanales emprendedores.

1.4.2 Objetivos específicos

Determinar las propiedades físicas y mecánicas del cacao (Variedad Criollo).

1. Identificar y evaluar cuantitativamente las propiedades físicas del grano de cacao: masa, peso, tamaño, esfericidad, área superficial, área proyectada, densidad aparente, densidad a granel, porosidad, ángulo de reposo, coeficiente de rozamiento estática a fin de mejorar la manipulación post cosecha, identificación y análisis de cargas, esfuerzos y comportamiento elástico, que pueden servir de indicadores para el mejoramiento de técnicas y protocolos en los procesos de acopio, empaque, almacenamiento y transporte.

¹ Anexo 1 Contenido alimenticio del cacao y perfil graso del cacao en contraste respecto a otras semillas.

² Anexo 2-Usos y aplicaciones del cacao.

2. Identificar y evaluar las propiedades mecánicas del grano de cacao aplicando pruebas reológicas: fuerza de ruptura, deformación en el punto de ruptura y módulo proporcional de deformación para minimizar roturas y deterioro del material durante su almacenamiento y transporte del cacao.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

Esta sección primero versa sobre los orígenes históricos del cacao, producción e importancia económica³. Se revisa el área de intervención y las características taxonómica y morfológica del cacao. Finalmente, las propiedades organolépticas, físicas y mecánicas.

2.1.1 Origen, importancia y producción del cacao

Muchos investigadores como (Candolle 1882; Chessman 1944; García 2000; Sáenz *et al.* 2009; Romero 2017; Quiñones *et al.* 2018) concluyen que el cacao es una planta originaria de la zona noroccidental de Sudamérica, en particular del norte del Urubamba en Perú; inclusive (Zarrillo *et al.* 2018) señalan que el cacao «Fue domesticado hace al menos 5 300 años, casi 1 500 años antes que, en Mesoamérica, confirma que el lugar más antiguo de nacimiento es la parte norte del Amazonas».

El Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (1993), en el Foro Origen del cacao ensaya una datación con la siguiente referencia:

«... (Candolle 1882) el consumo de cacao por los indígenas sudamericanos presumiblemente data de 4 000 años atrás».

Romero (2017) refiere sobre el origen del cacao «(Chessman 1944) el cacao es una especie originaria de los bosques tropicales de América del Sur cuyo centro de origen está localizado en la región comprendida entre las cuencas de los ríos Caquetá, Putumayo y Napo (Tributarios del Amazonas)».



³ Anexo 3. Estadísticas agropecuarias sobre producción y zonas cacaoteras.

Anexo 4. Resumen de aspectos agrometeorológico, climático, y agrícola con base técnica y científica, se presenta como notas agrometeorológicas.

García (2000) apoya la hipótesis de origen del cacao «El lugar de origen del cacao incluiría el Ucayali y el Urubamba, la existencia de poblaciones silvestres y nativas dispersas en la región central y sur de la Amazonía alta, apoyaría la hipótesis que el lugar de origen incluiría la región centro y suroriental del Perú: Cuencas de los ríos Huallaga, Ucayali– Urubamba y Marañón».

Mojica *et al.* (2006) sobre cómo se lleva el cacao de su lugar de origen hacia el norte durante la conquista de América por españoles señalan «Se piensa que antes de la llegada de los españoles a América, el cacao se distribuyó hasta México, desde su área original natural, en las regiones del Orinoco y Amazonas».

Quiñones *et al.* (2018) sobre el origen del cacao dicen «el Cacao (*Theobroma cacao* L. - 1753) es una especie endémica de América del Sur, cuyo centro de origen se encuentra localizado entre las cuencas de los ríos Caquetá, Putumayo y Napo, efluentes del río Amazonas»; también menciona apoyándose (Chessman 1944) «Perú, como centro de origen, ostenta una alta diversidad y variabilidad genética, entre los diferentes cultivos tradicionalmente reconocidos Criollo y Forastero (Razas Nativas, híbridos y clones), dispersos en la selva alta y baja de la amazonía, y costa norte del país».

Zarrillo *et al.* (2018) concluyen que los indígenas sudamericanos usaban cacao domesticado hace al menos 5 300 años «Nuestros resultados mostraron que la gente de SALF estaba usando cacao domesticado hace al menos 5 300 años, casi 1 500 años antes que, en Mesoamérica, y confirmamos que la parte superior del Amazonas es la región más antigua, identificada como el lugar de nacimiento del cacao».

De otro lado, «Además de polifenoles, el cacao natural es rico en otro componente de interés nutricional como la fibra dietética. Alto consumo de fibra se asocia con menor incidencia en trastornos y enfermedades comunes, tales como trastornos del intestino, obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares y cáncer. Teniendo en cuenta los beneficios para la salud asociados con el consumo de fibra dietética y los polifenoles en la dieta, la presencia de ambos componentes bioactivos en los granos de cacao despierta el interés, como ingrediente funcional potencial para la industria» (Lecumberri *et al.* 2007).

Romero (2017) informa sobre los grupos genéticos del cacao en Perú al 2014 «En el Perú se tiene identificado más de 73 variedades o cultivos (60 por ciento del total)».

Sáenz *et al.* (2009) detallan sobre la producción de cacao en las diversas vertientes del Perú «Geográficamente la producción de cacao se localiza en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, entre 200 y 1 000 m.s.n.m. de altitud. Económicamente, el cultivo de cacao ocupa 59 800 ha, con una producción de 31 635 Tm y un valor bruto de producción de 160 millones de soles. En el 2014 alcanzó US\$ 55 000 000. Socialmente, el cultivo de cacao generó a ese año 14 113 empleos de carácter permanente, siendo soporte de la economía familiar de unas 30 000 familias en situación de pobreza».

Ávalos *et al.* (2012) señalan, sobre el jardín clonar en Guatemala, que «Guatemala no cuenta con colección de plantas de cacao de tipo Criollo, y que debieron desarrollar un jardín clonal para contar con material vegetativo para cultivo. Primero hicieron búsqueda, rescate y caracterización agronómica, botánica y molecular de diferentes plantas para observar y describir sus características».

Romero *et al.* (2010) mencionan sobre los bancos de germoplasma en Ecuador «Ecuador cuenta con bancos de germoplasma de cacao, pero presentan diferentes niveles de redundancia genética, lo cual les dificulta la eficiente conservación y utilización de las accesiones de cacao».

El Desarrollo Sostenible del país va en función de tres grandes dimensiones: Ambiental, social y económico. «Se busca lograr crecimiento económico, generando equidad social y económica y una sustentabilidad ambiental en el proceso, establecimiento, levante y manejo de un cultivo de cacao» (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural 2013).

Álvarez *et al.* (2010) informan que la utilización de las semillas de cacao y sus transformaciones «Más utilizada son las semillas y de ellas, la comestible, que son sus cotiledones, los cuales sufren transformaciones importantes durante la fermentación y el secado».

«Investigadores de la Universidad de Harvard reportan que, indios Kuna de Panamá presentan bajos niveles de enfermedades cardiovasculares, coronarias, cáncer y diabetes; ellos consumen cuarenta tazas de chocolate semanales» (Holleberg *et al.* 2007).

Romero (2017) sobre la tolerancia al déficit de agua señala que «La precipitación pluvial mínima y máxima manejable respectivamente es de 1 400 mm y 3 000 mm, y óptima de 1 500 mm a 2 500 mm, con alto grado de distribución a lo largo del ciclo. Presenta baja tolerancia al déficit de agua y, en los meses con menos de 100 mm se genera déficit hídrico que afecta a la floración y el brote de hojas». También, sobre la cadena productiva

del cacao menciona que «El objetivo de todas las partes interesadas en la cadena productiva del cacao deben dirigirse a proporcionar granos fermentados y secos de alta calidad para la venta y exportación, y brindar condiciones durante el proceso de postcosecha (Fermentación y secado), que faciliten los cambios bioquímicos necesarios dentro de los granos de cacao para desarrollar el aroma característico (Genético) y sabor potencial».

Vera *et al.* (2014) refieren que Carlos Linneo clasificó botánicamente al cacao. «El cacao (*Theobroma cacao L*) fue clasificado botánicamente por Carlos Linneo, es un árbol de cuatro a ocho metros de alto de la familia *Sterculiaceae*, nativo de las regiones tropicales de América, con semillas que contienen una cantidad significativa de grasas 40- 50 por ciento y polifenoles (Alrededor del diez por ciento del peso del grano seco), según (Hardy 1961; Braudeau 1970; Vera 1993; Enríquez 2004 y Clough *et al.* 2009)».

Composición del cacao y la salud humana

Godoy (2014) propone que el cacao debe ser tratado como un biomaterial, «Como el cacao es vitalizante y previene algunas enfermedades, podría ser tratado como un biomaterial». El término biomaterial, lo define la European Society for Biomaterials (1986), «Biomaterial empleado en los dispositivos médicos, tiene como fin interactuar con sistemas biológicos».

Torres (2012) detalla que «La semilla de cacao contiene una gran cantidad de vitaminas y minerales. Los procesos de fermentación y tratamiento térmico a que es sometido el cacao, hidrólisis de fitatos, hacen que la biodisponibilidad de los minerales contenidos en los derivados del cacao no sea afectada, debido a que los fitatos contenidos naturalmente en las semillas interfieren en la absorción de ciertos minerales (Steinberg *et al.* 2003). El cacao presenta considerable contenido de alcaloides tipo base púrica, de la familia metilxantinas (Teobromina, cafeína y teofilina), que le confiere poder estimulante. El alcaloide mayoritario es la teobromina (Metabolito de la cafeína) (Nombre derivado del género *Theobroma*). Este alcaloide representa entre las ocho décimas y el dos por ciento del contenido total de los granos de cacao secos. La semilla de cacao no procesada, principalmente insoluble 5- 20 por ciento del peso de la semilla, es una buena fuente de fibra. Durante el procesado de las semillas parte de la fibra se pierde, el contenido medio de fibra en sus derivados– como el cacao en polvo o el chocolate– es del uno al nueve por ciento. Por tanto, solo algunos de los derivados del cacao son una buena fuente de fibra».

Holleberg *et al.* (2007) demuestran que el cacao contiene componentes naturales con propiedades funcionales favorables a la salud, «Existen estudios de componentes naturales como polifenoles, presentes en plantas y frutos, tienen propiedades como antioxidantes, anticancerígenos, antiinflamatorios, antitrombóticos, antimutagénicos, antibacteriales y analgésicos. El vino, las frutas, el té verde y algunas verduras son fuentes principales de compuestos polifenólicos. Diversas investigaciones demuestran que el cacao y sus productos manufacturados son alimentos ricos en dichas sustancias, principalmente en catequinas (Epicatequina, epigallocatequina, galocatequina y catequina), además de otros flavonoides como las procianidinas, antocianinas, flavononas y flavonol glicosídico. La concentración de polifenoles en las semillas de cacao secas y libres de grasa oscila entre 15- 20 por ciento (p/p) y están constituidos por un 37 por ciento de catequinas y 58 por ciento de proantocianidinas. También señalan que hay diferentes etapas del proceso de manufacturado con alta temperatura donde se afectan las propiedades antioxidantes presente en las semillas de cacao secos y fermentados, la de mayor incidencia es el pre tostado (100 °C) y tostado (130 °C), donde la pérdida de antioxidantes es aproximadamente del 24 por ciento. Concluyen que el cacao y sus productos derivados son una buena fuente de antioxidantes. Orden de clasificación sobre contenido de polifenoles totales en comparación con otros alimentos:

Vino tinto > cacao = té verde > manzana > pera > kiwi,

Resaltando el chocolate amargo como un derivado del cacao sin azúcar.

Fowler (1999) sobre el contenido de peso, lípidos, ácidos grasos y sales minerales del cacao describe «Entre el 48- 57 por ciento del peso de la semilla descascarillada y seca del grano, corresponde a su contenido en lípidos. La fracción lipídica de cacao se llama manteca de cacao, es la principal responsable de las propiedades organolépticas. La fracción grasa de la semilla de cacao, ácidos grasos (AG) predominantes son saturados (AGS), esteárico (C18: 0– 35 por ciento) y palmítico (C16: 0– 25 por ciento); contiene alta proporción de AG monoinsaturados (AGMI) representado casi exclusivamente por el ácido oleico (C18: 1- 35 por ciento) y una pequeña cantidad de poliinsaturados (AGPI) en forma de linoico (C18: 2– 3 por ciento). El resto es 2– 5 por ciento de agua, 11- 16 por ciento proteínas, 6- 9 por ciento hidratos de carbono, 2,6- 4,2 por ciento sales minerales y 2,1- 3,2 por ciento fibras».

«El cacao tiene la siguiente composición: Semilla del 78 al 82 por ciento, cáscara 10- 16 por ciento del peso del grano y porcentaje de humedad 5- 8 por ciento. La composición

de la semilla depende de varios factores: genotipo, condiciones de crecimiento del árbol, características del suelo, clima, horas de insolación, etc.» (Jinap *et al.* 1995; Kattenberg y Kemmink 1993).

Producción

Sobre la producción y área cosechada de cacao en el mundo es importante diferenciar entre producción de cacao en general liderado por países de África y producción de cacao fino producido en Ecuador y Perú.



Figura 6: Mundo. Principales zonas productoras de cacao
FUENTE. MINAG. AGOAMAZONÍA (2003)

Cuadro 1. Mundo: Producción de cacao por principales países

	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018
Total, Mundo	4 370	4 252	3 997	4 739	4 645
Costa de Marfil	1 746	1 796	1 581	2 020	2 222
Ghana	897	740	778	970	900
Indonesia	375	325	325	270	240
Brasil	228	230	141	174	190
Nigeria	248	195	200	245	260
Ecuador	232	261	232	290	280
Camerún	211	232	211	246	240
Perú	81	92	105	115	120
R. Dominicana	70	82	80	57	70
Colombia	49	51	53	55	55
SUBTOTALES	4 137	4 004	3 700	4 441	4 355

Fuente: Perú. Ministerio de la Agricultura y Riego (2019)

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD) reporta que en el mundo la producción del año agrícola 2005/06, el 90 por ciento se concentró en cuatro países del África: Costa de Marfil (38 por ciento), Ghana (19 por ciento) Nigeria (5 por ciento y, Camerún (5 por ciento); Asia: Indonesia (13 por ciento) y Malasia (1 por ciento); América del Sur: Brasil (5 por ciento) y Ecuador (4 por ciento).

Romero (2017) reporta una síntesis de área cosechada de cacao por países y la importancia de la producción de cacao fino, señala «Los países con mayor área cosechada

de cacao son los países africanos Costa de Marfil, Ghana, Nigeria, Camerún, Togo y Liberia, con un promedio de 61 por ciento; en los últimos años aparecen productores asiáticos e India, a estos se suman países de América Latina: Brasil, Ecuador, México, Perú y Colombia. Perú, está incrementando paulatinamente su área y volumen de producción⁴, de manera que al 2017 se ubica

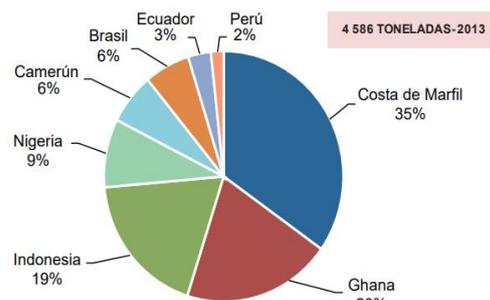


Figura 7: Mundo. Principales productores de cacao en grano.
 FUENTE: Romero (2017)- FAOSTAD.
 (Elaboración: DGPA-DEEA)

en el noveno lugar en importancia en el mundo, (Dos por ciento de la producción mundial); muestra una tasa promedio de crecimiento de 8,4 por ciento por año; solo superado por el incremento de México (8,6 por ciento) y Uganda (13,3 por ciento)».

La UNCTAD, reporta una relación de países productores de cacao en los cinco continentes:

- América del Norte: México
- América Central: Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Granada, Honduras, Jamaica, las Antillas, Nicaragua, Panamá y República Dominicana.
- América del Sur: Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela.
- África: Camerún, Costa de Marfil, Ghana, Nigeria, Príncipe y Santo Tomé.
- Asia: Indonesia, Malasia y Sri Lanka.
- Oceanía: Nueva Guinea y Samoa».

El mercado peruano se expande con nuevos compradores: Indonesia, Argelia, Corea del Sur. La Asociación de Exportadores peruanos en su balance 2019 considera que en los meses de enero- octubre consolidan las ventas del cacao en todas sus presentaciones (245 556,000 millón/US\$), 11 por ciento más que el año 2018 (220,5 millón/US\$); productos vendidos: Grano (54,3 por ciento), manteca de cacao (28 por ciento), chocolates (8,9 por ciento), cacao en polvo (5,3 por ciento) (López 2020).

Desde hace diez años la producción de cacao en grano viene incrementándose sostenidamente, creciendo a una tasa de 15,6 por ciento promedio anual. Cabe destacar que el Perú es considerado uno de los principales productores y proveedores de cacao fino y de aroma y el segundo productor de cacao orgánico a nivel mundial. Asimismo,

⁴ Información sobre producción y estadística agropecuaria en las principales zonas cacaoteras del Perú en el Anexo 3.

que el 60 por ciento de la biodiversidad existente de cacao (material genético), se encuentra en nuestro país, de ahí que, Perú es un importante abastecedor de cacao fino y de aroma, que viene teniendo una creciente demanda en el mercado» (Ministerio de la Agricultura y Riego 2019).

Romero (2017) señala importantes conclusiones tales como: «(a) La producción peruana, contrario al comportamiento mundial, muestra una tasa de crecimiento de 15,5 por ciento al año, en especial entre el 2009 y 2016. Con 87,3 mil Tm de producción y un área cosechada de 121,3 mil ha en el 2015. (b) La región San Martín se ha consolidado como el primer productor nacional de cacao (43 por ciento del total), en segundo lugar, la región Junín (18 por ciento) ambos con cacao Forastero. Han perdido importancia las regiones de Cusco (9 por ciento) y Ayacucho (6 por ciento). (c) En cuanto a las exportaciones peruanas de cacao, se aprecia un incremento sostenido, en especial a partir del 2004, con una tasa de 57 por ciento entre 2000- 2016. (d) Entre los principales mercados está la Unión Europea, con una participación promedio de 72 por ciento entre 2000- 2015. En el 2015 se ha elevado a 84 por ciento sobre el total. (e) El modelo de negocio de Perú debe basarse en la producción de cacao fino y de aroma, pues África es el gran productor de cacao convencional. (f) Se necesitan variedades finas o de aroma de alto rendimiento y con tolerancia a plagas y enfermedades, lo que garantiza mayor rentabilidad y sostenibilidad».

«El desarrollo sostenible va en función de tres grandes dimensiones: Ambiental, social y económico. Se busca lograr crecimiento económico, generando equidad social y económica y una sustentabilidad ambiental en el proceso, establecimiento, levante y manejo de un cultivo de cacao» (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural 2013).

El Ministerio de Agricultura y Riego señala la importancia a formación científica y técnica y el estudio de las propiedades organolépticas, biológicas, químicas, físicas, «Los países desarrollados invierten ingentes esfuerzos

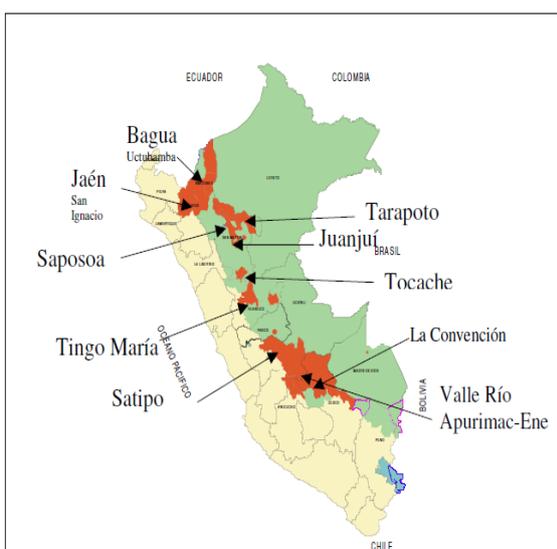


Figura 8: Principales zonas cacaoteras del Perú.
FUENTE: MINAG, AGROAMAZONÍA (2003)

en producir cosechas, procurando mejorar las propiedades organolépticas, biológicas, químicas, físicas y de productos a través de centros de investigación y experimentación conducidas por personas de sólida formación científica y técnica, Latinoamérica presenta limitaciones.

En el Perú, el cacao se acopia a través de intermediarios cuyo destino es la exportación, una exigua cantidad queda para la industria limeña de elaboración de chocolates; el grano de cacao utilizado internamente es de baja calidad, dado que normalmente no pasa por etapas de eliminación del sabor amargo, por la consecución del aroma propio del chocolate, ni la eliminación del exceso de humedad contenida en los granos» (Ministerio de Agricultura y Riego, AGROAMAZONÍA 2003).

2.1.2 Cultivo y cosecha

Los trabajos realizados por Hipólito *et al.* (2017) permiten constatar que el cacao se maneja a sombra, que el control del tamaño, la copa y la fertilización permiten desarrollar clones mejorados, mediante injertos que pueden elevar la producción que el control de plagas y enfermedades que da resistencia a antagonistas y a eventos climáticos extremos.

Importancia del cultivo del cacao y nivel tecnológico del cultivo

El cultivo del cacao es una actividad importante para el desarrollo económico del Perú.

Mincetur (2008) en cuanto a la importancia y nivel tecnológico del cultivo del cacao reporta lo siguiente: «La principal actividad económica de Satipo, es la producción de café, cacao y frutales. En los últimos años, se viene dando mayor impulso al cultivo de cacao, debido a las muy buenas condiciones edafoclimáticas para la siembra de cacao y a los precios atractivos en el mercado nacional e internacional. El cultivo del cacao principalmente se distribuye entre 300 y 1 000 m.s.n.m. de altitud, es sembrado generalmente en pequeñas unidades agropecuarias de producción familiar. Un 60 por ciento son plantaciones mayores de treinta años, abandonadas por causa de los problemas sociales de la década del 80; un 20 por ciento están entre diez a quince años, y un 20 por ciento son relativamente nuevas, muchas de ellas están en su primera fase de producción. Se estima que el 45 por ciento de los productores, conduce parcelas menores de dos hectáreas, 35 por ciento son áreas entre dos y cinco hectáreas, y el 30 por ciento restante son plantaciones mayores de cinco hectáreas. El manejo es variable, se estima que la mayor parte (70 por ciento) de los agricultores, poseen un nivel bajo de tecnología; actúan

como recolectores y obtienen rendimientos menores a 400 kg/ha/año. El 20 por ciento de los productores maneja una tecnología intermedia que le permite alcanzar rendimientos alrededor de los 600 kg/ha/año y sólo un diez por ciento aplica una tecnología mejorada cuyos rendimientos superan los 800 kg/ha/año, dependiendo del material genético y las densidades empleadas. Un aspecto crucial relacionado al manejo y nivel tecnológico usado en el cultivo es el problema fitosanitario. En plantaciones abandonadas y sin manejo (v.g. valle del río Ene), las mermas en la producción de frutos es producto del ataque de moniliasis, escoba de bruja y podredumbre parda, supera el 70 por ciento; mientras que, en parcelas con cierto tipo de manejo, las pérdidas están alrededor del 40 por ciento, y en parcelas manejadas adecuadamente, la incidencia del ataque de enfermedades ocasiona pérdidas menores al 20 por ciento. La cosecha de frutos se realiza con frecuencias que van desde los quince a treinta días, dependiendo de la época de cosecha y la coyuntura de los precios. Cuando los precios están bajos se cosecha en períodos más distantes, cuando los precios son altos las cosechas se hacen más frecuentes. Al igual que otras regiones, en las plantaciones antiguas visitadas, se observaron daños irreversibles en los cojines florales de muchas plantas, debido a la utilización inapropiada de herramientas o mala orientación del corte que definitivamente influyen en los rendimientos. El manejo posterior a la cosecha es deficiente en la mayoría de los productores. Según SENASA- Satipo, el 70 por ciento de los productores no realiza ningún proceso de fermentación y vende el producto escurrido y oreado; el 25 por ciento realiza un fermento incompleto entre dos a tres días, y sólo un 5 por ciento, fermenta y seca el producto de acuerdo con las recomendaciones técnicas».

Armijos (2002) indica que «La calidad del cacao es uno de los aspectos de mayor importancia en el proceso productivo cacaotero y según el nivel en que se logre conseguirlo determinará la mayor o menor demanda que tenga».

En cuanto al análisis de la determinación de productividad, se manejan términos de: Productividad agrícola, productividad biológica y productividad económica. (Silveira 1976) señala que «Cuando se considera el aumento de peso seco de la planta entera, por unidad de suelo, en un determinado intervalo de tiempo en biología se habla de productividad primaria. La productividad agrícola depende de la capacidad de almacenamiento (Productividad primaria) de ciertos órganos. No siempre interesa la productividad biológica máxima, porque muchas veces el óptimo ecológico es un condicionante del mejoramiento dependiente de algunos factores del medio como

fertilización, irrigación o control de heladas. Si estos mejoramientos exigieran costos de producción elevados podría ser antieconómica. Luego, el concepto de productividad económica podría ser inferior a la productividad biológica máxima».

2.1.3 Estructura morfológica y bioquímica de la semilla de *Theobroma cacao* L.

Es importante conocer sobre la estructura del cacao. «El fruto maduro de cacao está formado, de afuera hacia adentro, de las siguientes partes: Pulpa o epicarpio, mucílago y semilla; y la semilla por la testa, cotiledones y embrión. La semilla se encuentra al interior de la mazorca en celdas rodeada del mucílago. En su madurez fisiológica, dependiendo de la variedad, son blancas o moradas, dulces o amargas; su contenido de humedad es de aproximadamente 50 por ciento, base húmeda (b.h.). Luego del secado contiene 6 por ciento de agua, 12 por ciento de proteínas, de 42 a 45 por ciento de grasa, 30 por ciento de carbohidratos y 4 por ciento de fibra; tiene cafeína y teobromina» (Instituto de tecnología agropecuaria 2013).

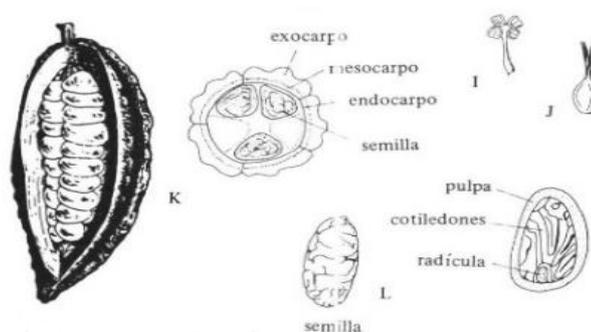


Figura. 9: Estructura morfológica de la semilla de cacao.
FUENTE: Instituto de tecnología agropecuaria (2013)

2.1.4 Procesamiento

«La planta de cacao produce mazorcas que contienen alrededor de cuarenta granos cada una. Se inicia el proceso postcosecha extrayendo las semillas y separándolas de la placenta; sigue fermentación y secado» (Freire 2010; Rigel y Liendo 2005).

Granos de cacao

El grano de cacao resulta del secado de las semillas del fruto del *Theobroma cacao* L. «Cada semilla consta de dos cotiledones y un pequeño embrión, todos cubiertos por piel (Cáscara). Los cotiledones almacenan alimento para su desarrollo, cuando la semilla germina da lugar a dos primeras hojas. Contienen grasa (Manteca de cacao). La cantidad de grasa y sus propiedades, tales como punto de fusión y dureza, dependen de la variedad de cacao y de las condiciones ambientales» (Food-Info.net 2017).

Fermentación

El primer proceso posterior a la cosecha del cacao es la fermentación microbiana. «La fermentación microbiana comienza inmediatamente las semillas de cacao se separan de la placenta manteniendo su mucílago. El proceso dura entre cinco a seis días, en este lapso, en los granos se desarrolla precursores químicos que producen sabores y aromas característicos del cacao» (Freire 2010). Inmediatamente se pasa a la deshidratación, los granos se secan para evitar sobre fermentación y su deterioro. «Existe varios métodos de secado naturales y artificiales; el comúnmente utilizado por pequeños productores artesanales es el tendal a sol abierto. En grandes plantaciones, se suele secar artificialmente» (Hii *et al.* 2009).

«Las semillas al ser fermentadas, causa diversos cambios químicos tanto en la pulpa que las rodea como dentro de ellas mismas. Estos cambios producen el desarrollo del sabor a chocolate, así como el cambio de color de las semillas. A continuación, estas se secan y se envían a la planta de procesamiento, para ser dispuestas como materia prima para la producción de: Masa de cacao, cacao en polvo y manteca de cacao. La primera etapa del proceso incluye el tostado de los granos que le producen el cambio en el color y el sabor, además de la remoción de la cáscara. Posteriormente, se lleva a cabo un proceso de alcalinización con el fin de alterar el sabor y el color» (Food-Info.net 2017).

Portillo *et al.* (2006) indican que «La fermentación involucra dos fases concatenadas. Primero, una fermentación microbiana que contribuye a la eliminación de la pulpa mucilaginoso de las semillas, la segunda que induce un conjunto de reacciones bioquímicas internas en los cotiledones, que hacen modificar la composición química de las semillas formando así los precursores del aroma. Inmediatamente después pasa a un proceso de deshidratación, donde los granos se secan para evitar la sobre fermentación y deterioro. El proceso de secado de granos tendrá cuatro funciones: (a) Disminuir el contenido de agua en los granos, (b) Evitar la germinación de semillas, (c) Conservar la máxima calidad del grano, (d) Alcanzar un grado de humedad que no permita el crecimiento de bacterias y hongos o retardar considerablemente el desarrollo de ácaros e insectos. Las semillas y granos almacenados estarán sujetos a los cambios ambientales, de índole física, biológica, y química. Los factores físicos tienen una influencia decisiva en el almacenamiento y transporte de los granos».

Nogales *et al.* (2006) indican que, «El secado natural por exposición al sol es comúnmente usado por los productores de las diversas regiones cacaoteras del país (Venezuela), debido

a que es un método simple, económico y que permite el manejo de pequeñas cantidades. Entre las desventajas de este método destaca el tiempo que tarda el proceso, la labor requerida, la necesidad de extensas superficies para secar los granos y además su dependencia de las condiciones climáticas (Jinap *et al.* 1994), condiciones que pueden variar de una zona a otra y en una misma zona durante el año (Ghosh y Cunha 1975), lo cual, va a influir sobre las horas de exposición diaria al sol y del tiempo necesario para el secado».

Para Sinche Quillatupa (2011) «El tiempo óptimo para la fermentación del cacao criollo puede ser de cuatro, seis u ocho días para la zona de Satipo».

Humedad

La humedad es una importante propiedad física del cacao a considerar, debido a que condiciona su comportamiento de almacenamiento y procesamiento.

Para que el grano de cacao conserve sus propiedades características durante el mayor tiempo posible de almacenamiento, son los considerados por (Portillo *et al.* 2006). «Los factores físicos más importantes son la humedad y temperatura, disponible en las estructuras de almacenamiento» (Siguencia 2013).

Rojas (2010) presenta un prolijo e ilustrativo reporte sobre las propiedades de diferentes granos y semillas, «Actualmente hay muchas investigaciones sobre propiedades en diferentes granos y semillas de leguminosas, gramíneas y otras especies en función de su humedad: Comino, cacao (*Theobroma cacao L.*) (Bart- Plange y Baryeh 2003); quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) (Vilche *et al.* 2003); amaranto (*Amaranthus cruentus*) (Abalone *et al.* 2004); lenteja (*Lens culinaris Medik*) (Amin *et al.* 2004); moth gran (*Vigna aconitifolia*) (Nimkar 2005); fenugreek (*Trigonella foenum-graceum L.*) (Altuntas *et al.* 2005); alcaparra (*Capparis L.*) (Dursun 2005); maíz, (*Zea mays saccharata Sturt*) (Coskun *et al.* 2006); linaza (*Linum usitatissimum*) (Selvi *et al.* 2006); sorgo (*Sorghum bilcolour L.*) moench (Mwithiga y Sifuna 2006); haba (*Vicia faba L.*) (Altuntas y Yildiz 2007); frijol barbunia (*Phaseolus vulgaris L. cv. 'Barbunia'*) (Cetin 2007); cilantro (*Coriandrum sativum L.*) (Coskuner y Karababa 2007); remolacha (*Beta vulgaris L.*) (Dursun *et al.* 2007); arroz (*Oryza Sativa L.*) (Varnamkhasti *et al.* 2007). En todas las investigaciones se observó una fuerte influencia de la humedad sobre las propiedades físicas de los granos y semillas. La humedad fue directamente proporcional a los cambios de tamaño, peso, forma, área proyectada, volumen, ángulo de reposo y coeficiente de

fricción, mientras que la densidad real, densidad aparente y porosidad decrece con la humedad. Las correlaciones encontradas por los autores fueron de tipo lineal».

«El contenido de humedad de materiales biológicos tiene una variada influencia en sus propiedades mecánicas y su comportamiento en los procesos de molienda» (Dziki 2007).

«Eventualmente, posterior a la cosecha, la humedad puede producir efectos negativos en las semillas de cacao. El secado, es un proceso simple que se acompaña de volteos periódicos, a fin de que los sabores y aromas se consoliden uniformemente al interior del grano de cacao y quede listo para su almacenamiento y tratamiento. El secado termina cuando los granos alcanzan una humedad promedio de 7 por ciento (Base húmeda), entonces se dice que son granos secos» (Nogales *et al.* 2006).

Nogales, *et al.* (2006) indican, teniendo en cuenta varios autores, que «La eliminación del exceso de humedad, que queda en el grano al finalizar la fermentación, es importante porque evita el desarrollo de mohos que deterioran la calidad (Rohan 1964) y facilita el almacenamiento (Cros y Jeanjean 1995; Jinap *et al.* 1994), manejo y comercialización del cacao. Sin embargo, la reducción de la humedad debe ser del 6 a 7 por ciento, máximo 8 por ciento (COVENIN 1995), si se reduce más el grano se vuelve muy quebradizo (Rohan 1964)».

“Cada tipo de semilla posee su propia estructura y propiedades fisicoquímicas. El conocimiento de la estructura física, la fisiología y la composición química de cada una de las partes de los granos, es fundamental para comprender los cambios que presentan en las diferentes fases del manejo postcosecha y en los procesos industriales. El contenido de humedad es el factor de mayor importancia en el comportamiento del grano durante el manejo, en especial en el almacenamiento y procesamiento. El alto contenido de agua es uno de los factores que pueden causar pérdidas en estos productos. Su control inadecuado en las operaciones de postcosecha puede producir calentamiento de la masa del grano, así como generar infestaciones de hongos y ataque de insectos» (Ospina 2001).

pH en la testa y cotiledón

Durá (2016) encuentra que «Los valores de pH correspondientes a cada una de las muestras de cacao estuvieron comprendidos entre 5,6 y 7,9».

2.1.5 Propiedades organolépticas

Las propiedades organolépticas del cacao están relacionadas con los sabores y la textura⁵.

«Las mazorcas y semillas de cacao muestran características físicas, mecánicas, químicas y organolépticas que, en las diferentes etapas de crecimiento, condicionan olores, sabores y cuerpo mostrando una marca de su identidad» (Salazar 2014).

Durá (2016) señala «El cacao natural contiene gran número de pigmentos de origen natural (flavonoides), que le confieren su típico color marrón claro. El tipo de pigmento y su cantidad depende tanto de la variedad del cacao (Trinitario, Forastero o Criollo), del origen geográfico, como de las diferentes etapas del procesado (Fermentación de los granos, tostado, alcalinización, ...) (ADM cocoa 2013)».

La fermentación es el primer proceso de transformaciones organolépticas del cacao, de su manejo depende la importancia del producto final. Las propiedades organolépticas son determinantes para el consumo del cacao. «Las propiedades organolépticas son el conjunto de descripciones de las sensaciones de las características físicas del cacao: Sabor, aroma, textura»; El sabor es una sensación que se percibe en las papilas gustativas de la lengua y en la pared de la boca, estimulada por ciertas sustancias solubles y permite encontrar los sabores básicos» (Voltz 1990; Ramos y Azócar 2000; Jiménez 2003).

Perfil de propiedad organoléptica de sabores

La intensidad de sabores (perfil organoléptico) de los diferentes genes o tipos de cacao se percibe mediante la degustación de los nibs: Dulce, ácido, salado, amargo y astringente.

(Voltz 1990; Ramos y Azócar 2000 y Jiménez 2003) clasifican las propiedades organolépticas, «Se clasifican como: Básicos, específicos y adquiridos, que los perfiles de intensidad de sabores se califican individualmente, para la degustación del licor de cacao y se sigue la metodología de Braudeau (1970) usando una escala internacional de 0 a 10 puntos».

⁵ Apéndice 5. Propiedades organolépticas y valoración de cacao de Llaylla.

Escala Criterio Internacional:

- 0 = Ausente
- 1 a 2 = Intensidad baja
- 3 a 5 = Intensidad media
- 6 a 8 = Intensidad alta
- 9 a 10 = Intensidad muy alta o fuerte»

Propiedad organoléptica de textura

Dan *et al.* (2007) señalan «La propiedad organoléptica es una manifestación sensorial y funcional de la estructura, mecánica y propiedades superficiales del alimento, detectada a través de varios sentidos: Visión, oído, tacto y sabor; el más importante es el tacto por la presión. Esta definición, conlleva al concepto de la propiedad sensorial de la textura que es sólo detectable por el ser vivo cuando come. El método instrumental cuantifica ciertos parámetros físicos, los cuales se interpretan en términos de percepción sensorial».

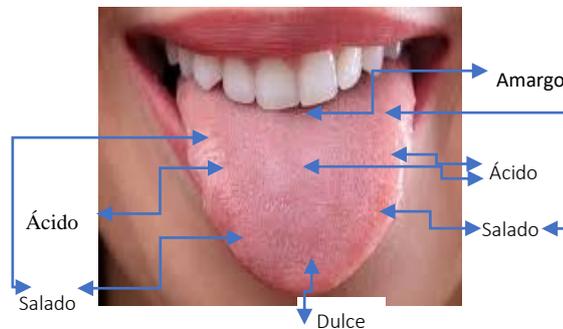


Figura 10: Papilas linguales: Distribución de sabores en la lengua

2.1.6 Propiedades físicas y mecánicas

La determinación de las propiedades físicas y mecánicas del cacao es el meollo de la investigación para la caracterización, aplicables al almacenamiento y transporte; además a procesos de clasificación y control de calidad, control de procesos entre otros.

Romero (2017) sobre las propiedades físicas del cacao dice «Los parámetros físicos permiten determinar la buena calidad del cacao (6 por ciento de humedad)».

Rojas (2010) se refiere al conocimiento y uso en ingeniería «El conocimiento de las propiedades físicas de los granos y semillas, constituyen información fundamental en ingeniería para adecuar y operar máquinas, diseñar y construir estructuras de almacenamiento, montar sistemas de transporte; además, es fundamental en el diseño de empaques, análisis de calidad y control de procesos (Ospina 2001; Castro 1996)».

Zambrano *et al.* (2010) reportan que la selección de tipos de cacao por los fabricantes de chocolate se evalúa «Entre los parámetros que influyen en la selección de un determinado tipo de cacao por fabricante de chocolate, se encuentran aspectos físicos tales como, tamaño del grano, porcentaje de cáscara, contenido de grasa, dureza de la manteca y la humedad. Por esto importa evaluar parámetros de calidad en cacao Criollo que representan gran interés de chocolateros artesanales e industriales, por los atributos organolépticos que contienen, permitiendo controlar y eliminar sabores extraños ocasionados por mohos, humo, acidez y la astringencia que son el resultado de los factores condicionantes de la calidad final de las almendras durante la postcosecha (Álvarez *et al.* 2007)».

2.2.6.A Propiedades físicas

La caracterización de las semillas y granos, se requiere conocer sus propiedades físicas como: Masa, forma, dimensiones axiales, tamaño, densidad, redondez, esfericidad, porosidad, rozamiento, rugosidad, etc.

A1 Índice de semilla

La masa de un cuerpo, normalmente se define a través de la segunda ley de Newton, también se utiliza el índice de masa. Arciniegas (2005) define la masa del cacao a través del índice de semilla como, «Según (IPGRI 2000) el índice de semilla está definido como el peso promedio en gramos de 100 semillas secas y fermentadas. Es común descartar los materiales con masa inferior a 1,1 g. Existe una alta variabilidad entre genotipos con relación a este índice, ejemplo, el cacao de tipo Trinitario presenta un índice de semilla bajo en relación con los de tipo Forastero. En algunos casos, se ha informado que la semilla proveniente de los frutos que son de forma amelonada presenta un rango de variación de masa de 0,9 a 1,3 g».

A2 Forma y tamaño

En la caracterización de las semillas, granos u otros cuerpos se deben considerar necesariamente las formas y las dimensiones axiales. Según Rojas (2010) «Parámetros mutuamente asociados, permiten describir cualquier producto. Criterios de redondez,

esfericidad y semejanza a determinadas formas geométricas se utilizan para determinar la forma y tamaño de una semilla, para esto se pueden utilizar fórmulas, las cuales se basan en las tres principales dimensiones ortogonales: Longitudinal (Eje mayor), ancho (Eje medio) y espesor (Eje menor)».

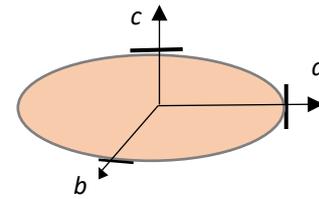


Figura 11: Dimensiones ortogonales

A3 Dimensiones axiales

«La forma y el tamaño en cualquier objeto físico son inseparables; en la descripción del cacao es imprescindible conocer las dimensiones axiales: Longitud (L) y ancho (A), diámetro aritmético D_a y geométrico D_g » (Altuntas 2007; Cetin 2007; Dursun *et al.* 2007). Longitud: $L = 2 A$, ancho: $A = 2 b$, grosor: $S = 2 c$, Diámetro aritmético: $D_a = \frac{(L+A+S)}{3}$, Diámetro geométrico: $D_g = (L \cdot A \cdot S)^{1/3}$

A4 Redondez

La redondez (d) indica que tanto se aproxima un objeto sólido cualquiera a una forma redonda. Waddell (1933) define la redondez operativa como «La relación entre el volumen de un grano y el volumen de la esfera que lo circunscribe es la razón entre radio de curvatura menor (r) y el radio del círculo máximo (R) inscripto $d = r/R$ ».

A5 Esfericidad

Dursun *et al.* (2007); Joshi (1993); Dutta *et al.* (1988) y Mohsenin (1970) proponen determinar la forma de un material biológico utilizando el concepto adimensional de esfericidad (φ). «La esfericidad es un concepto geométrico fundamental, se refiere a la igualdad isoperimétrica de una esfera. La esfericidad de un material biológico se determina

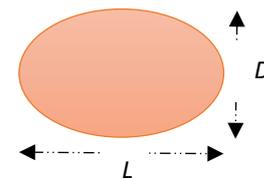


Figura 12: Dimensiones para determinar la esfericidad

a partir de las dimensiones axiales, hallando la razón entre el diámetro geométrico (D_g) y la longitud (L), ambos en milímetros». $\varphi = D_g/L$

A6. Área

La determinación del área involucra dos conceptos: Área superficial, área proyectada.

Área superficial. Jain y Bal (1997) señalan que «El área (total) superficial (S) del grano se utiliza para desarrollar procesos de clasificación y control de calidad del grano. Se determina con el mismo tamaño de muestra, las dimensiones ortogonales. Se aplica la ecuación $S = \frac{\pi A L^2}{2L-A}$, dónde: S : área superficial, (mm^2), A : ancho, (mm), L : longitud, (mm)».

Área proyectada. Según Rojas (2010), «El área proyectada y también las dimensiones ortogonales de las semillas, se determinan aplicando el método de procesamiento de imagen».

A7 Densidad

Cuando los granos están en contacto presentan espacios aireados entre ellos, dependiendo del grado de compactación la densidad (ρ) presenta determinados valores y por ende toman denominaciones específicas.

Palacio (2005), «Clasifica la densidad de acuerdo con el grado de compactación:

- Densidad aireada : Cuando las partículas se empaquen por gravedad.
- Densidad empacada : Cuando las partículas se someten a vibraciones por un tiempo determina y disminuye la porosidad».

Densidad a granel o volumétrica y densidad aparente o hidrodinámica

Rojas (2010) sobre la densidad a granel (ρ_b) y densidad hidrodinámica (ρ_p) señala su uso «Se usa la densidad a granel (o densidad volumétrica), como la razón de la masa entre el volumen total del producto, incluyendo los espacios intersticiales que dejan los materiales entre sí (empacadas), se mide mediante la ecuación:

$$\rho_b = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen (empacado)}}$$

Esta definición según Alther (1977); Chung y Ho L. (1985) y Moshenin (1986), es importante en el diseño de sistemas de almacenaje, empaque, deshidratación y transporte; mientras que la densidad aparente o hidrodinámica se define como la razón la masa entre el volumen real ocupado por las partículas incluyendo espacios vacíos, se toma en cuenta el volumen que ocupan los poros abiertos o cerrados, se determina mediante la ecuación:

$$\rho_b = \frac{\text{Masa de la partícula}}{\text{Volumen de la partícula (con poros)}}$$

La densidad aparente es un factor importante en el análisis de transferencia de masa y calor a través de los granos en el control de calidad, en la evaluación, cálculo y diseño de transporte, limpieza y clasificación, es apropiado en trabajos con sistemas fluidizados».

A8 Porosidad

Rojas (2010) conceptualiza y habla sobre el rol de la porosidad (ε) de la siguiente manera: «La porosidad es la cantidad de espacios vacíos que dejan los granos entre sí dentro de un recipiente, los cuales son ocupados por el aire. Se expresa como la relación entre el volumen de dichos vacíos y el volumen total. La porosidad juega un papel importante en el secado y en los procesos de aireación de los granos ya que de ella depende el movimiento y la resistencia que presenta el aire al atravesar una capa gruesa de grano».

Moshenin (1986) considerando la utilidad de la porosidad define: «La porosidad de un material biológico como un factor de empaque. La porosidad ε (por ciento) es el porcentaje de espacios vacíos del material no consolidado del lecho, se define como la razón entre el volumen de huecos y el volumen total del lecho», se mide mediante la ecuación:

$$\varepsilon = \frac{\text{Volumen ocupado por fracción de vacío (volumen de poros)}}{\text{Volumen total del lecho}}$$

Altuntas (2007) también señala sobre la utilidad del concepto de porosidad, «Encontrar la porosidad en estado empaquetado a partir de la ecuación anterior, dado por Moshenin, tiene limitaciones, debido a que, para el cálculo del volumen de poros se requiere de equipos altamente tecnológicos, debido al estado empaquetado de las partículas, la densidad aparente (ρ_p), la densidad a granel (ρ_b) y la porosidad (ε), se relacionan mediante la ecuación:

$$\rho_b = \frac{\rho_p}{(1-\varepsilon_m)}$$

Por esta razón es preferible hallar ε ($\varepsilon < \text{uno}$) a partir de los valores de la densidad aparente y la densidad a granel utilizando la ecuación:

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_a}\right)$$

La porosidad es de gran utilidad en diversos procesos, como el paso de aire para el secado, almacenamiento, diseño de silos, separación de elementos indeseables, etc.»

«Un lecho poroso es un conjunto de partículas sólidas que dejan huecos o conductos entre sí, los cuales son ocupados por fluidos» (Altuntas y Yildiz 2007).

A9 Rozamiento

Cuando dos cuerpos en contacto físico están en movimiento relativo, o tienden al movimiento, dependiendo principalmente de las características de rugosidad de las superficies en contacto, aparece una fuerza de rozamiento (f_r) de oposición tangencial, proporcional a la fuerza normal (N) de magnitud $f_r = \mu N$, donde (μ): Coeficiente de rozamiento. Rojas (2010) señala: «según (Ospina 2001 y Ruiz 2000) el coeficiente de rozamiento es fundamental para el diseño de máquinas industriales y estructuras de almacenamiento, operaciones de acondicionamiento, transporte y beneficio de granos; sostiene la importancia para determinar pérdidas de potencia a consecuencia del rozamiento con las superficies de los equipos y disminución de daños mecánicos. Encontró el valor más alto de coeficiente de rozamiento estático en semillas de cacao en láminas contrachapadas, menor en lámina de acero y caucho en un rango de humedad de 5 a 24 % b.h».

«Cuando un cuerpo sobre una superficie plana se desplazará únicamente si vence la fuerza de rozamiento. La fuerza requerida para iniciar el desplazamiento es denominada la fuerza de rozamiento estática. Después de iniciado el movimiento, la fuerza de rozamiento es dinámica decrece y el movimiento puede mantenerse» (Ospina 2001).

A10 Ángulo de reposo

El concepto de ángulo de reposo se usa para estimar dimensiones de almacenamiento para su procesamiento. Jha (1999), sostiene: «El ángulo de reposo es la relación entre el alto y la longitud de la base de una pila de un material dado, $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{2H}{D} \right)$, siendo: θ = ángulo de reposo, H = altura del montón (mm), D = diámetro de la base del montón (mm)»

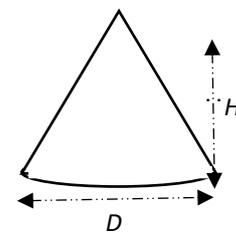


Figura 13: Dimensiones del ángulo de reposo

A 11 Rugosidad

La rugosidad es una propiedad superficial de los cuerpos. Toda superficie contiene irregularidades y asperezas de diferente longitud de onda, que se superponen a la forma de la pieza y definen su topografía. Las irregularidades en la superficie de la mazorca se determinan considerando los picos



Figura 14: Rugosidad del cacao.
Estación Experimental.

y valles normalmente de amplitud variable y los espaciados entre surcos, incluyendo irregularidades de corto alcance en el espacio y la textura superficial. La rugosidad influye en aspectos como la adhesión y retención de microorganismos.

2.1.6.B Propiedades mecánicas

Según diferentes procesos y usos el conocimiento de las propiedades mecánicas⁶ de los granos es importante. Al cacao se le puede considerar como un material de ingeniería de naturaleza viscoelástica anisotrópica. En cuanto a la recolección y manipulación mecánica de frutos, es importante estudiar el impacto de la humedad y las acciones reológicas. Varios autores hacen referencia sobre estas consideraciones. «Las principales propiedades reológicas (Mecánicas) de los materiales son la elasticidad y la viscoelasticidad, que consiste en elasticidad amortiguada, es decir, son dependientes del tiempo» (Godoy 2014). «Las propiedades mecánicas definen el comportamiento de un material en respuesta a la acción de cargas estáticas o cargas dinámicas, la reología también estudia la deformación y el flujo de la materia» (Muller 1978; Mohsenin 1986 y Sharma *et al.* 2003).

Rojas (2010). «Las propiedades mecánicas en productos agrícolas, son importantes en el diseño de equipos de operación con máxima eficiencia con calidad del producto final (Correa *et al.* 2007). Los granos durante las operaciones de recolección, transporte y almacenaje se someten a muchas presiones de fuerza estáticas y dinámicas como altas velocidades de impacto, las cuales causan magulladuras, arrugas y fracturas, que incrementan la susceptibilidad al deterioro durante el almacenamiento (Bargale *et al.* 1995). Cuando los granos son sometidos a fuerzas que exceden su resistencia mecánica, el grano se rompe o se agrieta (Altuntas y Yildiz 2007). La humedad altera el comportamiento mecánico de las semillas, por los cambios de la matriz estructural del almidón y la proteína, volviendo el producto suave y plástico (Murty y Bhattacharya 1998)». Ruíz (2000), en cuanto al comportamiento reológico de los materiales y su aceptabilidad dice «Existe tres razones fundamentales para el estudio del comportamiento reológicas de los materiales: El conocimiento profundo de su estructura, el diseño de máquinas adecuadas en su funcionamiento que no produzcan daños y la determinación de la calidad de los productos para su aceptabilidad por el consumidor».

⁶ Anexo 6. Estudio detallado de las propiedades, caracterización reológica y modelos mecánicos.

Muller (1978) y Sharma (2003) mencionan que, «La reología es una ciencia que estudia la mecánica de los cuerpos deformables, esto es, el flujo de materiales, las principales razones para su estudio son:

- Primero : Contribuye al conocimiento de la estructura del cuerpo.
- Segundo : Apoya el control y elaboración de procesos.
- Tercero : Aporta las bases para el diseño y aplicación de máquinas y equipos.
- Cuarto : Relaciona de forma directa la calidad y la aceptación de los productos».

Caracterización reológica de las frutas

«En las prácticas de manipulación, transporte y acondicionamiento corrientemente los frutos son sometidos a compresiones transversal y/o longitudinal, incluso llegan al grado de fuerzas de fractura; dependiendo de las características reológicas intrínsecas del fruto les ocasiona daños mecánicos diferentes que afectan una combinación de múltiples factores o características físicas, químicas, térmicas y mecánicas» (Mohsenin 1986; Stroshine 2000; Bourne 2002 y Márquez 2009).

«La fractura de un vegetal es un daño mecánico ocasionado por una fuerza externa que puede ocasionar cambios de sabor, alteración química y color incluso sin llegar a romper la superficie del producto» (Márquez 2009). «La fractura frágil es aquella en la cual no existe o es muy pequeña la deformación plástica antes de la fractura y es caracterizada por una baja absorción de energía, mientras que, en la fractura dúctil, existe una deformación plástica con alta absorción de energía antes de la ruptura» (Bourne 2002).

«Los materiales biológicos presentan un comportamiento viscoelástico, es decir dependiendo de las condiciones de carga a que sean sometidos, pueden exhibir comportamientos combinados de líquido y sólido» (Stroshine 2000).

La experiencia dice que debido a la viscoelasticidad la respuesta elástica de los cuerpos biológicos no es igual al de los cuerpos inertes, en general son una fracción de estos.

El comportamiento del cacao se encuentra entre sólido elástico no hookoniano y viscoelástico inelástico, es importante el efecto del tiempo sobre estas relaciones cuando la respuesta se aproxima a ser viscoelástica. Según las características reológicas de un fruto vegetal, se producen impactos mecánicos en su calidad. Villaseñor *et al.* (2006) señalan que, «Desde el momento en que un fruto es separado de la planta, se vuelve

susceptible a factores externos e internos que conducen a la pérdida prematura de la calidad».

B1 Deformación

Las variaciones de las propiedades físicas del cuerpo dependen de las fuerzas aplicadas. La deformación es un efecto de una acción sobre un cuerpo, se manifiesta como el desplazamiento relativo entre las partículas internas del cuerpo que pueden cambiar su volumen, forma o de ambos. Las acciones podrían destruir las fuerzas de cohesión intermoleculares. «Es el desplazamiento relativo permanente que sufren los puntos de un cuerpo sometido a una carga en general va acompañada de una variación permanente de volumen o de forma» (Sharma 2003).

B2 Esfuerzo

Físicamente, el esfuerzo (σ) se define como la relación entre la magnitud de la fuerza ($F = |\vec{F}|$) aplicada sobre el cuerpo entre el valor del área (A) de la sección transversal de la superficie sobre la que actúa: $\sigma = F/A$

El esfuerzo en términos del modo de aplicación de la fuerza se puede clasificar como: Axial normal (Compresión o tensión), cortadura (Tangencial); en términos de la deformación en isotrópico y distorsional. «Según la aplicación de la fuerza el esfuerzo toma la denominación axial normal de tensión (Expansión), presión (Compresión), o de corte (Deformación tangencial) y según la propiedad del medio puede ser isotrópico o anisotrópico» (Sharma *et al.* 2003).

Sobre indicadores elásticos (Castro y de Hombre 2007) señalan «El módulo de Young (Y), el coeficiente de Poisson (μ), el módulo de rigidez (τ) y el módulo de compresión volumétrica (B) se consideran medidas fundamentales dentro de las propiedades reológicas de los alimentos, y se pueden relacionar a través de algunas expresiones matemáticas».

B3 Coeficiente de Poisson

Las semillas al ser manipuladas sufren daños de diversa índole. Estos se cuantifican utilizando indicadores elásticos, uno de ellos es el coeficiente de Poisson. (Sharma *et al.* 2003) describen: «Cuando un material se comprime experimenta una deformación longitudinal y lateral. La relación de la deformación lateral y la deformación axial por

debajo del límite proporcional del material $\mu = \frac{\varepsilon_{lateral}}{\varepsilon_{axial}} = \frac{\Delta d/d_0}{\Delta l/l_0}$, se llama relación de Poisson; varía de cero a 0,5, los elastómeros como el hule o caucho se caracterizan por presentar valores cercanos a 0,5, las espumas flexibles o la miga de pan se encuentran valores cercanos a 0; los plásticos y metales presentan valores intermedios».

B4 Módulo de elasticidad

Rojas (2010) menciona «ASABE 2006 refiere que, el módulo de elasticidad es una medida de la rigidez o la resistencia a la deformación de un material. También es la relación entre esfuerzo y la deformación correspondiente, por debajo del punto de fluencia o de deformación elástica» (Mohsenin 1986). «Realmente, los materiales biológicos no son puramente elásticos, para su caracterización se utiliza el módulo de elasticidad aparente o módulo de deformabilidad».

«El módulo de deformabilidad se obtiene a partir de la deformación total, deformación elástica (Deformación recuperable) más deformación plástica (Deformación no recuperable), solo requiere de la curva de esfuerzo deformación, obtenida de la prueba de compresión. El módulo de deformabilidad es el parámetro mejor utilizado para determinar el comportamiento mecánico de un material biológico.» (Couto 2002).

B5 Módulo de Young

El módulo de Young (Y) es un indicador elástico, el cual representa la resistencia que ofrece un cuerpo sometido a un esfuerzo (σ) de tensión (o compresión) respecto a su deformación relativa (Unitaria) lineal (ε); se interpreta como la máxima fuerza (F) sobre la sección transversal del cuerpo de área (A) capaz de soportar, dentro del comportamiento netamente elástico.

$$Y = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\Delta L/L}$$

«Se conviene en denominar al módulo de Young, módulo de deformabilidad el cual indica la resistencia que ofrece el material biológico a la acción de un esfuerzo tensional (o compresor), es la suma de las deformaciones elástica y plástica» (Barreiro y Ruiz- Altizen 1996). «De acuerdo con la aplicación específica, en cuanto al material y su geometría se plantea diferentes ecuaciones para el cálculo del módulo de Young» (Mohsenin 1986). Mientras que (Barreto y Ruiz 1996) señalan «Como los materiales biológicos no

responden cabalmente a la definición anterior, se conviene en denominar al módulo de Young (Y) como módulo de deformabilidad, el cual indica la resistencia que ofrece el material biológico a la acción de un esfuerzo F tensional; en este caso la suma de las deformaciones (D) elástica y plástica; se usa un determinado punto en la curva fuerza-deformación para calcular la deformación unitaria, en la expresión del módulo el cual se determina aplicando la fórmula (Mohsenin 1986)». Se considera el diámetro promedio (d) de la esfera inscrita se considera desde el punto de contacto de aplicación de la fuerza, entre el material y la sonda (m).

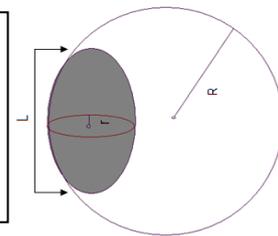
$$Y = \frac{0,338 F (1 - \mu^2)}{D^{3/2}} \left[\frac{3}{d} \right]^{3/2}$$

B6 Módulo de elasticidad aparente (E_p)

Rojas (2010) indica que «El módulo proporcional de deformación, o módulo de elasticidad aparente, llamado así por ASABE (2006), es el esfuerzo de compresión o tracción que se requiere para producir una determinada deformación permanente en un material que generalmente es del 0,2 al 0,5 por ciento de su longitud inicial.

Debido a la dificultad para obtener formas geométricas bien definidas, como es el caso de los granos de cacao, para calcular el módulo de elasticidad aparente (E_p) se utiliza el método propuesto por Mohsenin

Figura 15:
Esquema de cálculo de radios de curvatura de semilla en plano horizontal



(1986) de compresión de materiales biológicos de forma convexa, el método se basa en la ecuación de Hertz de la teoría esfuerzo de contacto aplicada en mecánica de sólidos, usa pruebas de compresión de materiales intactos como: Semillas, frutas, hortalizas, huevos etc., donde los platos planos de compresión hacen contacto con un cuerpo de forma convexa. Se aplica la fórmula:

$$E_p = \frac{0,338 k^{3/2} F (1 - \mu^2)}{D^{3/2}} \left[\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_1} \right)^{1/3} + \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{1/3} \right]^{3/2}$$

Dónde: 0,338: Constante

k: Constante, se determina a partir del $\cos \beta$

D: Deformación de la semilla (m.)

F: Fuerza de compresión (N)

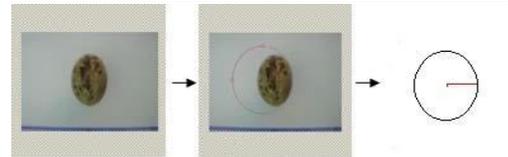
μ : Relación de Poisson

r_1, R_1 : Radios de curvatura de la semilla convexa en contacto con el plato superior (m.)

r_2, R_2 : Radios de curvatura de la semilla convexa en contacto con el plato inferior (m.)



figura 16: Radio de curvatura a) mayor (R), plano horizontal.



b) curvatura menor (r), plano horizontal.
FUENTE: Rojas 2012

Rojas (2010) calcula «Los radios de curvatura R y r usando la circunscripción de los dos ejes del grano en contacto con los platos del equipo de medida. La circunscripción se determina mediante imágenes de semillas en tres planos proyectados. Se diagrama la circunscripción de cada eje, para determinar el radio de la circunferencia formada en los dos ejes de la superficie de contacto de la semilla y se miden las dimensiones ortogonales y el área proyectada. La constante k se halla a partir del ángulo de curvatura β de las superficies de contacto, entre el plano normal del plato de compresión y la curvatura del cuerpo (Cuadro 2) de la tabla de (Kosman y Cunningham 1962), esta se usa cuando los planos de curvatura de dos cuerpos en contacto no coinciden (Mohsenin 1986)».

$$\cos \beta = \frac{\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_1}\right)}{\left(\frac{1}{r_2} + \frac{1}{R_2}\right)}$$

Cuadro 2: Valores de la constante k para los valores de las ecuaciones dada por Kosman y Cunningham 1962

β	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Cos β	0,6428	0,5736	0,500	0,4226	0,3420	0,2588	0,1736	0,0872	0,0
k	1,198	1,235	1,267	1,293	1,314	1,331	1,342	1,349	1,35

FUENTE: Rojas (2010)

Couto *et al.* (2002) señalan que “el módulo de deformabilidad (E_p) es función del coeficiente de Poisson (μ), el cual se asume como constante para cada material. Para pruebas en el grano de cacao en los planos longitudinal y horizontal se considera la simetría entre los extremos longitudinales y horizontales de la semilla ($r_1 = r_2$) y se utiliza la ecuación simplificada:

$$E_p = \frac{E}{(1-\mu^2)} = \frac{0,338 k^{3/2} F}{D^{3/2}} \left[2 \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_1} \right)^{1/3} \right]^{3/2} \gg$$

Couto *et al.* (2002) indican que «Para el caso del plano transversal, dado que los dos extremos de la semilla no son simétricos, se debe utilizar la ecuación:

$$E_p = \frac{E}{(1-\mu^2)} = \frac{0,338 k^{3/2} F}{D^{3/2}} \left[\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_1} \right)^{1/3} + \left(\frac{1}{r_2} + \frac{1}{R_2} \right)^{1/3} \right]^{3/2} \gg$$

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales y equipos utilizados en los procedimientos de monitoreo, manejo, descripción, mediciones experimentales y tratamiento de datos.

3.1.MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales y equipos utilizados para el monitoreo y la metodología experimental aplicada en el desarrollo de la investigación.

3.1.1 Materiales

Granos de cacao seleccionados por granulometría en tres grupos: Chico, mediano y grande.



3.1.2 Equipos

- Micrómetro marca Litz profesional 0 – 23 x 0,01 mm
- Pie de rey: Vernier Capiper U.S.A.: 150 x 0,02 mm (6” x 1/1 000 in)
- Pie de rey digital Litz profesional: Capiper: 0 – 150 mm / 6 inch
- Reglas milimetradas
- Balanza analógica de tres barras. Neuhaus
- Balanza digital. Electronic Compactac Scala SF-400 A
- Balanza digital. Luxe scale



- Estilete Cuntter D Japan



- Analizador electrónico de suelos, mide pH, humedad, fertilidad y luminosidad. Nat core 4 terra



- Termómetros: Analógicos de mercurio y de alcohol



- Termómetros digitales



- Termómetro láser



- Cámara Samsung D860, digital stabilization, 8,2 mega pixels, 3x optical zoom (6,3 – 18,9 mm)



- {Cámara Lumix Panasonic Modelo n° DMC-F3 DMC-F312, mega pixels, 4x optical zoom. 2,8 mm wide



- Laptop Toshiba, modelo Satélite U55-A. Con Office 2013



- Equipos experimentales de diseño propio

- Equipos equipo de testado G610 i



3.2 EXPERIMENTACIÓN

La fase experimental presenta la siguiente metodología:

- Fase de experimentación: Acopio, fermentación, secado y tratamiento del material, realizada en la Estación Experimental.
- Análisis y determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los granos cacao, realizada en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Físicas (FCF) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

3.2.1 Análisis previos

Previamente a la fase de experimentación y determinación de propiedades físico-mecánicas, se realizaron las siguientes actividades:

- Análisis de suelo de la Estación Experimental en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina y con un analizador electrónico de suelos,
- Análisis taxonómico en Herbario San Marcos. Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos con la finalidad de certificación.

Cuadro 2: Laboratorios de análisis, certificación y de experimentación de cacao

Análisis y Experimentación	Laboratorio
Análisis de Suelo de Estación Experimental.	1. Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes. Facultad de Agronomía, Dpto. de Suelos, Universidad Nacional Agraria La Molina 2. KIPATSI. Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes. Análisis de caracterización. Río Negro Satipo
Análisis taxonómico del cacao: Certificación.	Herbario San Marcos. Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Experimentación y determinación de propiedades físico- mecánicas.	Laboratorio de “Calor, Termodinámica, Fluidos y Ondas”, FCF, Universidad Nacional Mayor de San Marcos

3.2.2 Colecta y tratamiento de material

Procesos y tratamiento del material:

- 1) Acopio y separación de semillas.
- 2) Fermentación (Monitoreo de temperatura de muestra de semillas).
- 3) Secado de granos.
- 4) Descarte: Separación de impurezas (Material vegetal, granos inmaduros, no fermentados y dañados).
- 5) Selección de granos: Por granulometría en tres tamaños (Chico, mediano, grande).
- 6) Tratamiento y medida de la humedad.
- 7) Mediciones y análisis de granos.

Acopio y separación de semillas

Se procedió al acopio de mazorcas maduras y sanas, luego a la separación de las semillas de la placenta conservando su mucílago.

Fermentación

Para el proceso de fermentación se construyó un fermentador, contenedor de madera de dimensiones: 80 cm x 50 cm x 30 cm. Con el fin de facilitar el drenaje de las exudaciones del mucílago que cubren las semillas frescas se consideró en la base inferior ocho ranuras de medio centímetro de luz separadas una distancia de 10 cm.

Se depositó las semillas recién extraídas de las mazorcas, se creó un microclima adecuado cubriendo la muestra con un cobertor (Sacos vacíos de yute y nylon). libre de vientos y de luz brillante. Se tomó una cantidad de granos sin fermentar como muestra testigo para fines de comparación.

Medida de pH en la testa y cotiledón

Para la caracterización química de semillas, se midió el pH de la testa y el cotiledón de cada una de las muestras con el analizador electrónico de pH.

Medida de humedad

La deshidratación de las semillas se realizó con dos métodos de secado:

- a. Secado tradicional natural al soleo. Las semillas se extendieron sobre el piso de tierra/ pastos, en mantadas de dimensiones de diez metros por cinco metros y se acompañó de volteos periódicos de granos, tres a cuatro veces por día.
- b. Secado en un horno solar, construido expresamente para este estudio, las semillas se extendieron sobre la superficie de dos mesas en paralelo, de dimensiones de quince metros por dos metros a un metro del piso ubicadas dentro del horno. Se acompañó de volteos periódicos de granos de tres a cuatro veces al día.

Para la medida de la humedad se utilizó el equipo de testado G610 i.

Caracterización de grano

La caracterización macroscópica de los granos de cacao se hizo estudiando su morfología, midiendo y analizando tanto su configuración geométrica como sus propiedades físicas y mecánicas.

Procedimiento descriptivo, de medición y de análisis de datos

Primero se hizo el estudio de las características morfológicas del cacao: Árbol, raíz, flor, hoja, fruto, semilla.

Segundo se clasificaron los granos por tamaño, se hicieron las mediciones y los análisis físico- mecánica de grano, en general veinte repeticiones por caso.

Valoración de las variables organolépticas

Las variables organolépticas se evaluaron cualitativamente, con una valoración sensorial, sujeta a la apreciación según las experiencia, habilidad y destreza de los catadores: Un ingeniero y una bachiller del organismo DE VIDA que por un periodo capacitaron a cacaoteros lugareños seleccionados.

Caracterización físico-mecánica de la mazorca y el grano de cacao

Se acondicionó y normalizó los datos construyendo tablas, gráficas e hicieron análisis matemáticos para describir y caracterizar el grano.

Rugosidad de la mazorca

La rugosidad se determinó estudiando la topografía que presenta la superficie de la mazorca de cacao, sus irregularidades y asperezas y la textura superficial que como se sabe condicionan aspectos como adhesión y retención de microorganismos.

3.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICA

Etapas en la determinación de propiedades macroscópicas físicas y mecánicas de granos:

- a. Acopio y separación de los granos sanos y buenos de los no maduros, deteriorados y con mal olor.
- b. Clasificación de tamaño de grano: Grande, mediano, chico. Por el método granulométrico.
- c. Medición y análisis de los parámetros físicos de grano: Masa, índice de masa, peso, dimensiones axiales, dimensiones ortogonales, tamaño, forma, área superficial, área superficial proyectada, redondez, esfericidad, densidad, porosidad, coeficiente de rozamiento, ángulo de reposo, rugosidad y porosidad.
- d. Medición y análisis de los parámetros de grano: Esfuerzo, deformación, coeficiente de Poisson, y módulos elásticos, módulo de elasticidad aparente y punto de rotura.

A. Masa - Índice de semilla

Medida de la masa, muestras de cien granos por tamaño (Chico, mediano, grande), tomadas al azar en una balanza digital. El promedio se denomina índice de semilla.

B. Peso

El peso, newtonianamente, es la acción que ejerce la fuerza de gravedad de la Tierra sobre un objeto.

Peso (Grano) = Masa por aceleración de la gravedad (En laboratorio)

El valor de la aceleración de la gravedad en el laboratorio (g_{Lab}) se calculó mediante el método del sistema oscilante aplicando las siguientes ecuaciones:

$$T^2 = \frac{4\pi^2 m}{k} + \varepsilon \quad \varepsilon = \frac{4\pi^2 m_{\text{efectiva}}}{k} \quad g = \frac{4\pi^2}{T^2} x$$

Dónde: x: Elongación

T: período de oscilación

m_{efectiva} : Masa efectiva del resorte,

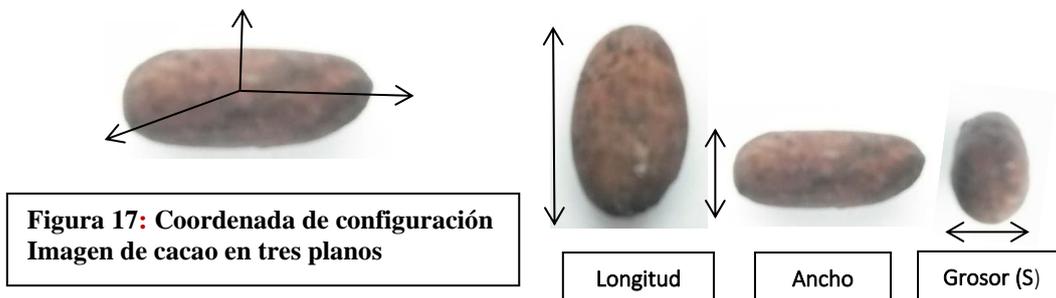
(k): Constante elástica del resorte.

C. Dimensiones, tamaño y forma

Las dimensiones y forma son indicadores que permiten describir geoméricamente al grano y construir criterios de redondez y de esfericidad. El tamaño es la medida de las longitudes del grano, la forma se construyó indicando qué tanto se aproxima el grano a una determinada forma geométrica.

D. Dimensiones axiales

Las dimensiones axiales del grano se midieron con un pie de rey y un micrómetro (en milímetros): Largo, ancho, grosor y diámetros.



- Largo (L): Distancia medida desde la base del embrión hasta el ápice.
- Ancho (A): Distancia medida de la parte más ancha del grano.
- Espesor (S): Distancia entre las partes más sobresaliente y gruesa del grano.
- Diámetros: Medio aritmético (D_a) y diámetro medio geométrico (D_g)

Mohsenin (1970) citado por Dursun (2005) para determinar el tamaño de grano propone como criterio usar la medida de los diámetros medio geométrico (D_g) y diámetro medio aritmético (D_a), utilizar la longitud $L=2a$, el ancho $A=2b$ y el espesor (grosor) $S=2c$ en la fórmula:

$$D_a = \frac{1}{3}(L + A + S) \quad D_g = (L * A * S)^{1/3}$$

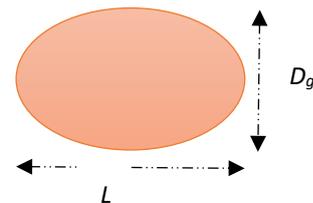


Figura 18: Dimensiones para la determinación de esfericidad

E. Redondez

La redondez (d) indica que tanto se aproxima un objeto sólido cualquiera a una forma redonda. En este caso se aplicó la fórmula dada por Wadell (1933), razón entre radio de curvatura menor (r) y el radio del círculo máximo inscrito (R). $d = r/R$

F. Esfericidad

La esfericidad del grano de cacao se determinó a partir de las dimensiones axiales utilizando la fórmula propuesta en el ítem 2.1.5 A5. $\varphi = D_g/L$

G. Área

Área superficial

El área superficial total (S) que encierra el grano se obtuvo aplicando la fórmula:

$$S = \frac{\pi A L^2}{2L - A}$$

Área proyectada

El área proyectada (A_p) (mm^2) sobre un plano del grano se determinó aplicando el método de procesamiento de imagen analógico con una cámara digital. Se tomó imágenes de cada grano seco y sano al azar. Se colocó en el centro de un fondo milimetrado a iguales condiciones de iluminación y distancia en tres planos diferentes: Longitudinal, transversal y horizontal, el área se obtuvo con un conteo óptico del número de cuadrados de 1 mm^2 .

H. Densidad

Densidad absoluta

La densidad es una propiedad general de la materia (Cantidad escalar), se define como la razón de la masa m (Propiedad intrínseca de la materia), entre el volumen V del cuerpo (Propiedad general) $\rho = m/V$

La densidad entre otros parámetros depende de la porosidad y la humedad; no permite determinar el tipo de sustancia de que está constituida el cuerpo. Las unidades en el SI son (kg/m^3) pero frecuentemente, para valores pequeños se le suele expresar en el sistema CGS (g/cm^3). Como el grano de cacao tiene forma oblonga, su densidad se calculó aplicando el método de Arquímedes. El volumen se midió utilizando el método de inmersión en una probeta graduada de trescientos centímetros cúbicos. Se utilizó una cantidad dada de granos en un volumen de agua destilada, se tomó el volumen de granos igual al volumen de agua desplazada y se registró por lectura directa en la escala de la probeta graduada.

$$\rho_s = \frac{\text{Masa de la partícula}}{\text{Volumen de la partícula (Sin poros)}}$$

Densidad relativa (ρ_r)

Se midió la densidad del grano de cacao en relación con la densidad del agua (Pura).

Densidad a granel (ρ_b)

La densidad a granel (ρ_b) se determinó introduciendo una cantidad de granos empacados en dos probetas graduadas de 400 cm³ y 500 cm³, la masa se midió en una balanza digital y se calculó la razón de la masa entre el volumen de los granos.

$$\rho_b = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen (Empacado)}}$$

Densidad hidrodinámica o aparente (ρ_p)

La densidad hidrodinámica se determinó tomando en cuenta el volumen que ocuparon los granos con poros abiertos y cerrados.

$$\rho_b = \frac{\text{Masa de la partícula}}{\text{Volumen de la partícula(Con poros)}}$$

I. Porosidad

La porosidad (ε) se encontró tomando el porcentaje de espacios vacíos de la muestra de cacao, definido como la razón entre el volumen de huecos y el volumen total.

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_a}\right)$$

J. Rozamiento

Para el cálculo experimental del coeficiente de rozamiento estático (μ_s) se diseñó y construyó un montaje experimental, consistente de un arreglo de acoplamiento de láminas intercambiables, un contenedor liviano y un sensor de fuerza (Figura 19). Sobre la lámina deslizante se colocó el contenedor casi lleno de los granos ya pesados y se le aplicó una fuerza horizontal. El coeficiente (μ_s) se obtuvo mediante la razón de la magnitud de la fuerza de rozamiento estática (\vec{f}_r) entre la magnitud de la fuerza normal.

$$\mu = \frac{f_r}{(m_{\text{cacao}} + m_{\text{contenedor}})g}$$

Se escogieron láminas de materiales comúnmente empleados en las máquinas transportadoras usadas en las plantas de procesamiento agroindustrial: Aluminio, latón,

aglomerado de madera, vidrio y polivinilo de cloruro (PVC). Se cuidó que sólo los granos entren en contacto con la lámina móvil y la propuesta de Amin *et al.* (2004) que los pesos y las fuerzas de rozamiento en la polea y el cable conectado se consideran despreciables.

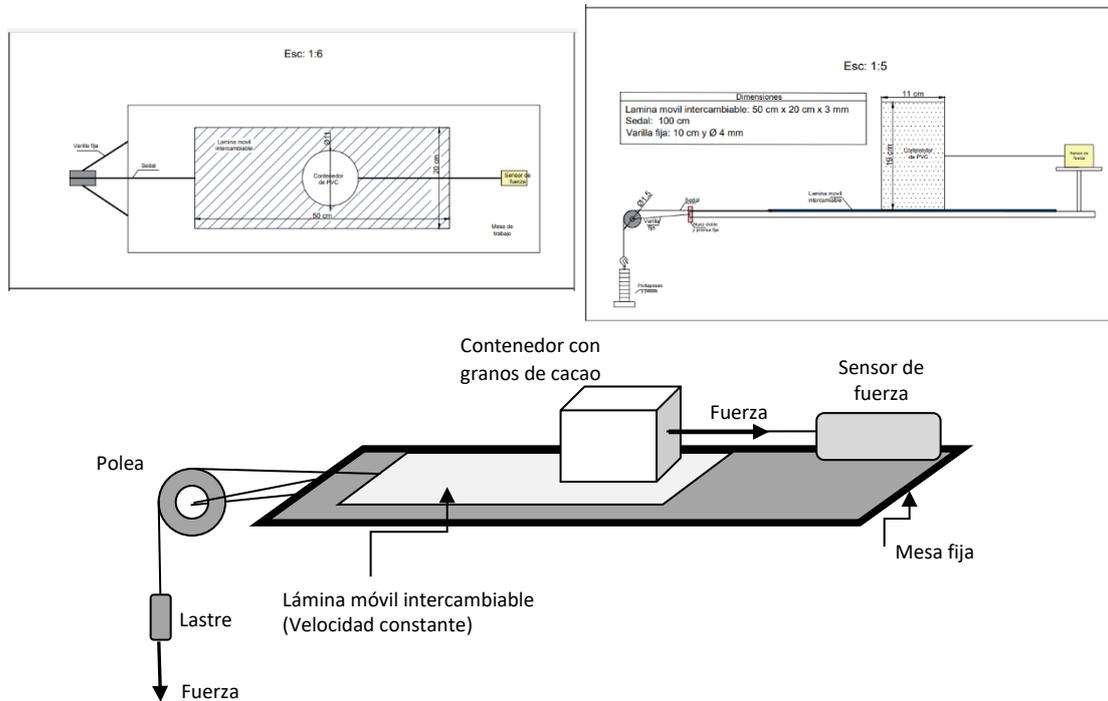


Figura 19: Evaluación del coeficiente de rozamiento. (a) Planos, (b) Montaje experimental

K. Ángulo de reposo

Para el cálculo experimental del del ángulo de reposo se diseñó y construyó un arreglo experimental consistente de un contenedor (Tubo de PVC de cuatro pulgadas) abierto en ambos extremos, fijo a un soporte universal, su base descansa perpendicularmente sobre una plataforma horizontal móvil a una determinada altura de un nivel de referencia (Figura 20.a).

Se dejó descender verticalmente la placa móvil, procurando mantener una rapidez constante para evitar variabilidades por efecto propio de un movimiento no uniforme.

Los granos fueron cayendo sobre la lámina y finalmente formó una pila cónica (Figura 20.b). El ángulo de reposo se determinó utilizando las medidas de (D) y (h) de la pila según la fórmula:

$$\theta = \text{tg}^{-1} \left(\frac{2H}{D} \right)$$

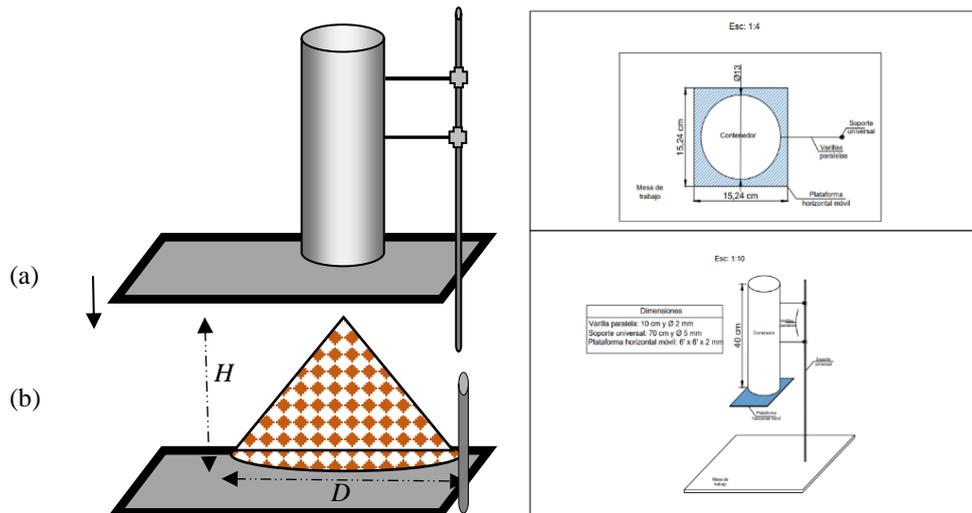


Figura 20: Montaje experimental

a) Evaluación del ángulo de reposo.

b) Determinación del ángulo de reposo

L. Acción de la humedad

Determinación del efecto de la humedad sobre la semilla de cacao.

Tres contenedores con granos de cacao se sometieron a:

Primero Uno a la intemperie bajo la acción de la precipitación pluvial.

Segundo Uno en un ambiente húmedo (Humedal).

Tercero: Testigo en un ambiente seco, cerrado y techado.

Por un lapso de una semana, se monitoreó el impacto de la humedad sobre las propiedades organolépticas y las propiedades físicas y mecánicas.

3.3.4 Caracterización mecánica

Los granos de cacao se sometieron a diferentes cargas y esfuerzos, se observó las diferentes respuestas reológicas intrínsecas.

Evaluación de las características mecánicas

A fin de reducir pérdidas de valor comercial del cacao y se mejore las técnicas de empaque, transporte, manejo y control de daños mecánicos, se vio la conveniencia de analizar el comportamiento elástico del grano y la determinación de sus propiedades mecánicas. En ingeniería, utilizan estimadores reológicos para caracterizar materiales. Para esto, se construyó modelos reológicos y se utilizaron fundamentos físicos básicos según el comportamiento mecánico, identificando las cargas y esfuerzos

correspondientes. Experimentalmente, se determinaron las siguientes características mecánicas del grano: Módulo proporcional de deformabilidad, fuerza de ruptura y deformación en el punto de ruptura. Se utilizaron individualmente granos secos y sanos, tomando al azar cada posición (Longitudinal, horizontal y transversal).

A. Deformación relativa o unitaria

Se estudiaron las acciones de fuerzas externas sobre los granos respecto a las deformaciones que sufren las cuales microscópicamente, se manifiestan mediante desplazamientos relativos entre las moléculas (Partículas) que conforman el grano. Durante estas acciones, resultan alterados su volumen y/o la forma, manteniéndose constantes, las fuerzas moleculares de cohesión entre partículas. El tipo de esfuerzo depende de las propiedades físicas propias del grano. La deformación relativa (o unitaria) lineal (ϵ), idealmente es tal que ΔL tienda al valor L_0 , $(\Delta L/L_0 \rightarrow 1)$

Se la define como la razón de la deformación relativa lineal (ΔL) y la longitud original (L_0).

$$\epsilon = \Delta L/L_0$$

B. Esfuerzo

El esfuerzo (σ) sobre el grano se encontró como la relación entre la magnitud de la fuerza (F) aplicada y el área (A) de la sección transversal de la superficie actuante.

$$\sigma = F/A$$

C. Coeficiente de Poisson

Al estirar o comprimir un grano, este cambia su configuración geométrica tanto su diámetro o longitud lateral (Δd) como su longitud axial (ΔL) respecto sus dimensiones originales (d_0) y (L_0). El coeficiente de Poisson (μ) se encontró relacionando la deformación relativa lateral ($\epsilon_{lateral}$) respecto a la deformación relativa longitudinal (ϵ_{axial}) del grano.

$$\mu = \frac{|\epsilon_{lateral}|}{|\epsilon_{axial}|} = \frac{|\Delta d/d_0|}{|\Delta L/L_0|}$$

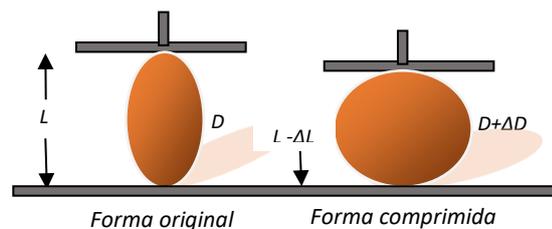


Figura 21: Cálculo del coeficiente de Poisson. Modelo experimental de deformación axial y lateral

La Figura 21, representa un modelo para determinar el coeficiente de Poisson. Se hicieron mediciones antes y después de la deformación.

D. Módulo de deformabilidad como módulo de Young

Para la determinación del grado de elasticidad de un cuerpo, se utilizó un indicador que representa la resistencia de un material sometido a un determinado esfuerzo (tensión o compresión), respecto a su deformación relativa, el módulo de Young (Y) el cual es y se interpreta, como la máxima fuerza que se le aplica al cuerpo, que es capaz de soportar dentro de un comportamiento netamente elástico. Se le define como la razón del esfuerzo (σ) entre la deformación relativa lineal (ϵ), es característico de cada material inerte e independiente de la forma y tamaño del cuerpo empleado, responde a la ley de Hooke.

Los materiales biológicos como el cacao no responden exactamente a esta definición, Barreiro lo llamó módulo de deformabilidad, y se calculó aplicando la fórmula de

(Mohsenin 1986):

$$Y = \frac{0,338 F (1-\mu^2)}{l} \left[\frac{3}{d} \right]^{3/2}$$

Donde: Y : Módulo elástico de deformabilidad de Young (Pa).

F : Fuerza aplicada (N), μ : Coeficiente de Poisson (Adimensional).

D : Deformación del material, extraída de la curva promedio experimental de esfuerzo versus deformación para cada día de evaluación de la firmeza, en la zona elástica del material (m).

d : Diámetro promedio de la esfera inscrita en el punto de contacto de aplicación de la fuerza, entre el material y la sonda (m).

E. Módulo de elasticidad aparente

A juicio de Rojas (2010), Couto *et al.* (2002) y Mohsenin (1986) a partir de la teoría esfuerzo de contacto aplicada en mecánica de sólidos se puede hacer ensayos en materiales agrícolas como las semillas. El módulo de deformabilidad se obtiene a partir de la deformación total, deformación elástica (deformación recuperable) más deformación plástica (deformación no recuperable), solo requiere de la curva de esfuerzo deformación, obtenida de la prueba de compresión. El módulo de deformabilidad es el parámetro mejor utilizado para determinar el comportamiento mecánico de un material biológico, módulo de elasticidad aparente, llamado así por ASABE (2006), es el esfuerzo de compresión o tracción que se requiere para producir una determinada deformación permanente en un material que generalmente es del 0,2 al 0,5 por ciento de su longitud

inicial. Debido a la dificultad para obtener formas geométricas bien definidas, para calcular el módulo (E) se utiliza el método de compresión de materiales biológicos de forma convexa. El método se basa en el uso de la ecuación de Hertz de la teoría esfuerzo de contacto aplicada en mecánica de sólidos, se utiliza en pruebas de compresión de materiales intactos como: semillas, frutas, hortalizas, huevos etc., donde los platos planos de compresión del equipo hacen contacto con un cuerpo de forma convexa. Se aplica la fórmula:

$$E_p = \frac{0,338 k^{3/2} F (1 - \mu^2)}{D^{3/2}} \left[\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_1} \right)^{1/3} + \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{1/3} \right]^{3/2}$$

D: Deformación de la semilla (m)

0,338: Constante

F: Fuerza de compresión (N)

μ : Relación de Poisson

r_1, R_1 : Radios de curvatura de la semilla convexa en contacto con el plato superior (m)

r_2, R_2 : Radios de curvatura de la semilla convexa en contacto con el plato inferior (m)

k: constante, se determina a partir del $\cos \beta$.

Los radios de curvatura R y r se calculan usando la circunscripción de los dos ejes del grano en contacto con los platos del equipo (Figura 2). Para determinar la circunscripción se usa las imágenes en los tres planos proyectados de las semillas de la prueba de compresión. Se diagrama la circunscripción de cada eje para determinar el radio de la circunferencia formada en los dos ejes de la superficie de contacto de la semilla para medir las dimensiones ortogonales y el área proyectada. Para determinar el valor de la constante k , inicialmente se calcula el ángulo formado entre el plano normal del plato de compresión y la curvatura del cuerpo, se determina con la ecuación:

$$\cos \beta = \frac{\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_1} \right)}{\left(\frac{1}{r_2} + \frac{1}{R_2} \right)}$$

Dónde β es el ángulo de curvatura de las superficies de contacto.

La constante k se halla a partir del ángulo de curvatura β del Cuadro 3, la cual se deriva en una forma simplificada de otra extensa tabla dada por (Kosman y Cunningham 1962).

Cuadro 3: Valores de la constante k para los valores de las ecuaciones dada por Kosman y Cunningham 1962

β	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Cos β	0,6428	0,5736	0,500	0,4226	0,3420	0,2588	0,1736	0,0872	0,0
k	1,198	1,235	1,267	1,293	1,314	1,331	1,342	1,349	1,35

FUENTE: Rojas (2010)

El módulo de deformabilidad E_p es función del coeficiente de Poisson (μ), el cual se asume como constante para cada material. Para pruebas en el grano de cacao en los planos longitudinal y horizontal se considera la simetría entre los extremos longitudinales y horizontales de la semilla $r_1 = r_2$ y se utiliza la ecuación simplificada:

$$E_p = \frac{E}{(1 - \mu^2)} = \frac{0,338 k^{3/2} F}{D^{3/2}} \left[2 \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_1} \right)^{1/3} \right]^{3/2}$$

E: Módulo de deformabilidad o elasticidad aparente (Pa)

D: Deformación de la semilla (m)

F: Fuerza de compresión (N)

μ : Relación de Poisson (adimensional)

k: Constante. Como el ángulo de contacto entre el material y el eje de aplicación de la fuerza fue recto se aplicó el criterio de Hertz, se tomó: $k = 0,338$, pero si el ángulo no fuere recto, se debe tomar: $k = 0,531$

r_1, R_1 : Radios de curvatura de semilla convexa en contacto con el plato superior (m)

r_2, R_2 : Radios de curvatura de semilla convexa en contacto con el plato inferior (m).

Indican también que, para casos de plano transversal.

Dado que los dos extremos de la semilla no son simétricos, se debe utilizar la ecuación:

$$E_p = \frac{E}{(1 - \mu^2)} = \frac{0,338 k^{3/2} F}{D^{3/2}} \left[\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_1} \right)^{1/3} + \left(\frac{1}{r_2} + \frac{1}{R_2} \right)^{1/3} \right]^{3/2}$$

F. Determinación del punto de rotura

Para la determinación del punto de rotura se diseñó y construyó un montaje experimental. El arreglo consistió en un compresor y un sensor de fuerza (Figura 22). Para evitar fuerzas no deseadas, las pruebas de compresión uniaxial se realizaron lentamente con rapidez constante. A partir de la información que se registre, se determina el módulo proporcional de deformabilidad, la fuerza de ruptura y la deformación en el punto de ruptura respectivo.

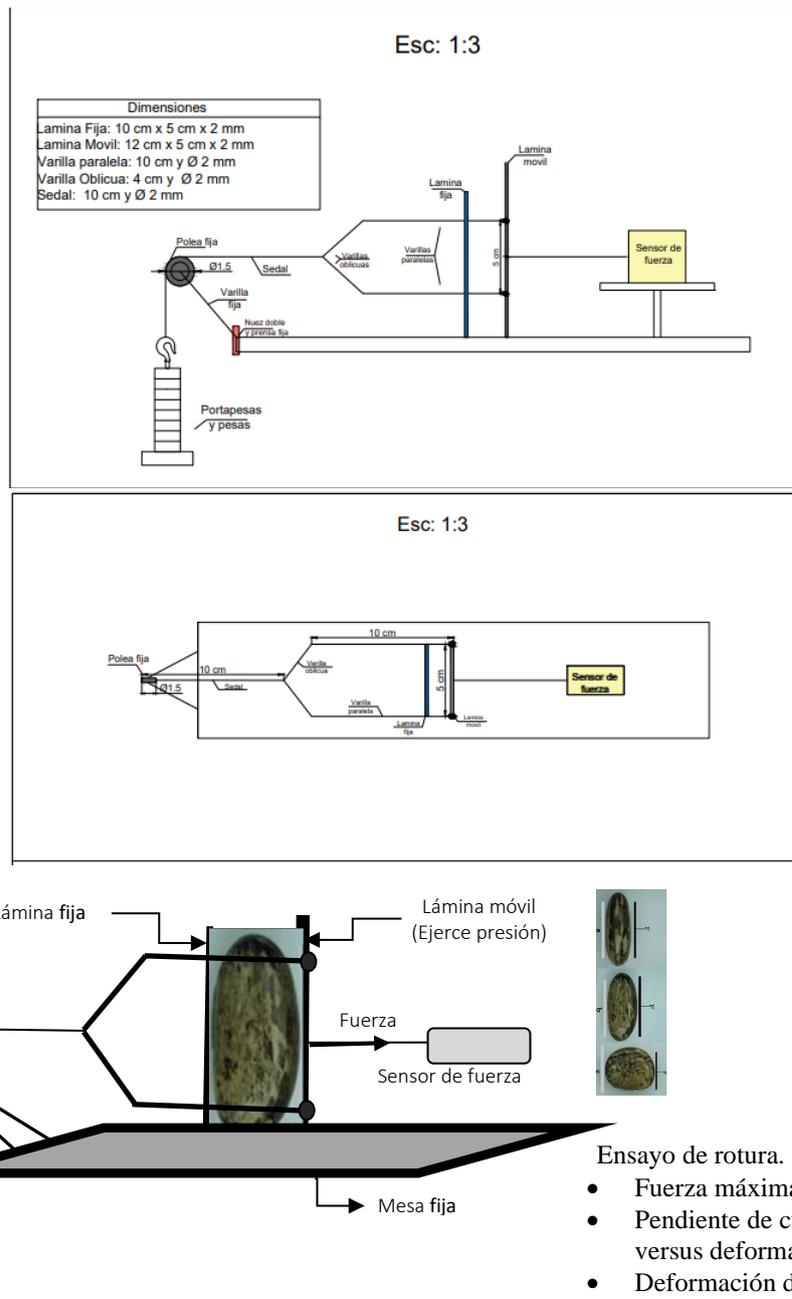


Figura 22: Evaluación de la compresión uniaxial, entre dos láminas planas del grano de cacao en los tres planos axiales: (a) Plano horizontal, (b) Plano transversal, (c) Montaje experimental (d) Semillas en posición: Horizontal, transversal y longitudinal

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del estudio de las características morfológicas y de las propiedades físicas y mecánicas del cacao (*Theobroma cacao L.*), producido en Llaylla- Satipo. Cosechas: 2007 y 2019.

- Característica de la Estación Experimental en Llaylla
- Condiciones meteorológicas y climáticas en Satipo y del Distrito de Llaylla
- Taxonomía
- Características morfológicas del cacao criollo
- Valoración de las propiedades organolépticas
- Características y propiedades físicas y mecánicas del grano de cacao

4.1 ESTACIÓN EXPERIMENTAL

- Altitud: 1 100 m.s.n.m.
- Humedad relativa promedio: 55,4 por ciento
- Temperatura máxima promedio: 32 °C
- Temperatura mínima promedio: 24 °C
- Precipitaciones: De 2 000 a 3 000 mm/año

Suelo en la Estación Experimental

Los suelos de la selva por lo general son débiles, son constantemente lavados por la abundante precipitación en la zona, sobre todo en laderas. El cacao requiere de un suelo arcillo-arenoso o arcilloso, con buen drenaje natural, permeable, penetrable, inmóvil, continuo, suficientemente profundo y acidez moderada para que su sistema radicular se desarrolle con libertad

El suelo de la Estación Experimental se acerca a las características descritas, pero es fuertemente ácido y bajo en materia orgánica (Cuadro 4). Para el desarrollo del proyecto, primero se removió la tierra con tractor y se barbechó, se bajó la acidez mediante enmiendas con cal agrícola y dolomita. Después se sembraron las plantas y se esperó a las primeras cosechas para enriquecer el suelo con materia orgánica. Periódicamente se aplica abonamiento con guano, roca fosfórica y compost. Durante el manejo de las plantas

de cacao, se midieron los componentes del suelo con el analizador electrónico de suelos y se mandó a analizarlos en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Cuadro 4 Certificación: Análisis de suelo de la estación experimental, Satipo – Llaylla.

Altitud: 1100 msnm. Cultivo: Cacao

Caracterización	Análisis de suelos, plantas, aguas, y fertilizantes. Laboratorio: a) Departamento de Suelos- Facultad de Agronomía - Universidad Nacional Agraria La Molina; fecha 2009/11/13. b) KIPATSI. Fecha 2010/07/23. Densidad ,50 x 3,50
Resultado del análisis	a) pH (1:1) = 4,89, C.E (1:1) dS/m = 0,05, CaCO ₃ =0,00 % b) pH 3,78, CO ₃ Ca=0,00 %
	a) Materia orgánica = 1,46 %, fósforo = 2,0 ppm, potasio (K) = 95 ppm b) Materia orgánica = 2,13 %. fósforo = 0,07 mg/kg, potasio (K) = 1058,70 mg/kg,
	Análisis mecánico: a) Arena = 37 %, limo = 22 %, arcilla= 41 %; b) Arena = 87,88 %, limo = 9,34 %, arcilla= 2,7 %;
	Clase textural a) Materia orgánica = Ar (arcilloso); b) Arenoso
	Cationes intercambiables a) CIC (me/100 g, miliequivalentes/100 g de suelo): Ca ⁺² = 3,41, Mg ⁺² = 0,98, K ⁺ = 0,22, Na ⁺ = 0,23, Al ⁺³ +H ⁺ = 1,60; suma cationes = 6,44, suma bases = 4,84. Sat. bases = 35 %. b) Ca ⁺⁺ =1,40 - meq/100g, Mg ⁺⁺ =0,81 meq/100g, K ⁺ =5,0 meq/100g, Al+075 meq/100g, S.AI=9,38%
Interpretación	Suelo: Fuertemente ácido, muy ligeramente salino, bajo en materia orgánica, fósforo disponible bajo, potasio disponible bajo, relaciones catiónicas normales.

4.2 CONDICIONES METEOROLÓGICAS Y CLIMÁTICAS EN SATIPO Y LLAYLLA

La atmósfera de la zona eventualmente presenta inestabilidad vertical, debido a campos de presión planos con pequeños gradientes de presión irregulares, se forman nubes cumulonimbos congestus, eventualmente de gran desarrollo vertical, cargada de electricidad estática que generan tormentas con descargas eléctricas (Rayos), gran iluminación instantánea (Relámpagos), posterior grandes ruidos (Truenos) y abundante precipitación pluvial. Las condiciones atmosféricas predominantes determinan la buena calidad del aire.

Satipo tiene cuatro condiciones climáticas: Húmedo cálido, húmedo y semicálido, muy húmedo y cálido, muy húmedo y semicálido (Cuadro 5). En los meses más cálidos, junio, julio y agosto se presentan vientos más intensos, variando eventualmente de ligeros a moderados. En agosto del 2015 se presentó en Llaylla un evento extraordinario, con

ventarrones, vientos extremos y fuertes precipitaciones pluviales y granizadas, no visto antes de esa fecha por los pobladores de la zona, probablemente debido al calentamiento global. Estos eventos anómalos se han visto en zonas alejadas en las alturas de la cordillera. El 21 de setiembre del 2021 se ha presentado nuevamente en Llaylla, otro evento extraordinario de características análogas al 2015 pero de mayor magnitud, probablemente debido al cambio climático global presente actualmente en el planeta.

Cuadro 5: Satipo: Condiciones climáticas

Húmedo cálido	Temperaturas de 20 °C a 32 °C y precipitaciones en el rango de 2 000 a 3 000 mm. (Puerto Ocopa y Puerto Prado).
Húmedo y semicálido	Temperatura máxima de 32 °C a 34 °C y temperatura mínima de 24 °C a 26 °C (Satipo, Mazamari, Llaylla , Pangoa y Rio Negro)
Muy húmedo y cálido	Temperatura promedio de 25 °C y precipitaciones de 2 600 mm. No hay estación seca definida (Río Tambo, cerca al valle del Urubamba)
Muy húmedo y semicálido	Temperatura promedio de 22 °C y una precipitación de 2 300 mm (Santa Cruz y Gran Pajonal).

FUENTE: Consejo Provincial de Satipo

Satipo, denominada Capital Ecológica de la Selva Central, es la provincia más extensa de Junín, está ubicada en la parte oriental de la región. Es típico territorio de selva alta y selva baja, clima cálido y al mismo tiempo húmedo y lluvioso, con numerosos valles. reservas naturales, incontables bosques, caudalosos ríos y marcado contraste geográfico.

En el Distrito de Llaylla, el clima es cálido templado y húmedo; la temperatura promedio es de 28 °C, menor y más agradable que la ciudad de Satipo y alrededores, es apropiado para producción de cacao. El riego se da en condiciones de secano. El agua es abundante en los meses de diciembre a marzo debido a la gran precipitación estacional, en los otros meses disminuye.

Aspectos básicos de fertilización

El árbol cacaotero absorbe del suelo minerales y según se recomienda para ayudarlo se aplican abonos orgánicos compuestos de nitrógeno, fósforo y potasio en proporción uno-cuatro- dos, silicio y magnesio además de cal para bajar la acidez. Las bacterias reciclan el material orgánico que cae al suelo. A partir de la segunda cosecha se realizan enmiendas periódicas.

4.3 TAXONOMÍA

Una muestra de cacao (Fruto y hojas) se envió al Herbario San Marcos del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos con fines de evaluación y certificación. Según el sistema de Clasificación de Cronquist (1988), arrojó la siguiente posición taxonómica,

DIVISIÓN: *MAGNOLIOPHYTA*

CLASE: *MAGNOLIOPSIDA*

SUBCLASE: *MALVALES*

FAMILIA: *STERCULIACEAE*

GÉNERO: *Theobroma*

ESPECIE: *Theobroma cacao L.*

Nombre corriente: *Cacao*

4.4 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Los resultados de la caracterización morfológica del cacao (*Theobroma cacao L.*) de la variedad criollo: Árbol, flores, hojas, frutos se presentan en fichas (Tablas) de levantamiento de datos estándares.

4.4.1 Árbol

El cacaotero es un árbol que desarrolla un tronco recto único, una altura de 2,50 m a más de diez metros. Para facilitar la cosecha se detuvo su crecimiento a una altura de alrededor de tres metros.

Forma un piso conformado de tres a seis ramas, el árbol tiende a dar la forma de un paraguas invertido el cual presenta sombra limitada.

Las características cualitativas y cuantitativas se presentan en el Cuadro 6.



Cuadro 6: Árbol de cacao: características cualitativa y cuantitativa

Fotografía. Árbol cacaotero de la Estación Experimental

Arquitectura	Erecta	
	Pendulosa	
	Intermedia	X
Vigor	Débil	X
	Intermedio	
	Vigoroso	
Altura	3 a 10 m (Talla chica)	
Copa	Baja, densa y extendida	
Tronco	Crecimiento dimórfico	
Ramas	Plagiotrópicas (en abanico)	
Corteza	Externa: Color castaño oscuro, agrietada, áspera y delgada	
	Interna: Color castaño, sin sabor	

4.4.2 Raíz

El cacao se siembra por semilla (En almácigo y luego se trasplantan al suelo), desarrolla un sistema de raíz pivotante que penetra en el suelo a una profundidad mayor de dos metros, superficialmente se desarrolla lateralmente de manera extensa. Su sexualidad es hermafrodita (Cuadro 7).

Cuadro 7: Raíz del árbol de cacao

Sistema radical	Pivotante
Profundidad de penetración	> 2 m
Sistema superficial	Extenso, de raíces laterales
Sexualidad	Hermafrodita

6.4.3 Flor

Características

La flor del cacao crece aproximadamente a los tres años en el tronco maduro. La floración inicia aproximadamente a los veinte meses de sembrado y continúa durante el año. Para su estudio, se tomaron muestras de cinco flores recién abiertas sin señas de enfermedad del árbol.

Cuadro 8: Flor del cacao características: cualitativa y cuantitativa

(Fotografiadas en la Estación Experimental)



Características cualitativas

Las características cualitativas y cuantitativas de la flor son (Cuadro 8):

Pigmentado (P), Medianamente Pigmentado (MP), No Pigmentado (NP):

- Color del pedúnculo (CP). Se observa coloración blanca a verde.
- Pigmentación del sépalo (PS). Se observa, pigmentación rojiza o verde.
- Filamento estaminal (FE). MP.

Presenta inflorescencia cimosa, con

numerosas flores. Órgano masculino de la flor formado por dos verticilos, compuesto

Presentación	En racimos en tronco y ramas
Color	Rosado, púrpura y blanca
Talla (cm)	Pequeña: Largo = 0,7 Diámetro = 0,3
Forma	De estrella
Pétalos	5
Sépalos	5
Color del pedúnculo	Verde rojizo
Antocianina presente en los sépalos exteriores	Ligera
Orientación de los sépalos	Reflexed
Antocianina en el pétalo de la lígula	Presente
Antocianina en el filamento del estaminoide	Intermedio

cada uno por cinco estambres y cinco estaminoides en posición alterna unidos en la base formando un pequeño tubo. Estambres blanquecinos de filamentos cortos que terminan en antenas bilobuladas.

Características cuantitativas

- Largo de sépalo (LS). Distancia del punto de unión con receptáculo hasta ápice.
N = 5
- Ancho de sépalo (AS). Distancia entre bordes laterales en la parte más ancha.
N = 5
- Largo lígula (Pétalo) (LL). Parte de la inserción del ribete de cogulla hasta ápice.

La forma del sépalo y la lígula de los árboles se calculan con la relación largo/ancho.

El tamaño de la flor es de 7 a 25 mm, medida desde la base del pedúnculo a la punta de los pétalos y de cuatro a seis milímetros de diámetro. Solo se encuentran insertadas en el vértice de las hojas del tallo principal y de las ramas, sostenidas por sus pedúnculos.

4.4.4 Hoja

En el estudio de las características cualitativas y cuantitativas de la hoja se tomaron veinte hojas por árbol, de ramas maduras y limpias; se analizan a partir del ápice (Cuadro 9).

Características cuantitativas

Se mide la hoja considerando tangentes trazadas en ambos bordes laterales, paralelo a la línea del largo. Largo de la hoja (LH). Distancia desde el punto de inserción del pecíolo en la base del limbo hasta el ápice. Ancho de la hoja (AH). Relación largo/ ancho (L/A). Este valor se obtiene dividiendo el largo entre el ancho de la hoja.

Las hojas maduras tornan a color verde oscuras, de consistencia coriáceas en posición sub horizontal, forma oblonga- elípticas, dimensiones promedio de veintiséis centímetros de largo y siete centímetros de ancho, son enteras, penninervias; su área depende principalmente de la cantidad de luz que reciben. Las hojas que viven a pleno sol son más pequeñas, gruesas y coriáceas respecto a las que se encuentran bajo sombra. Se distribuyen alternadamente en las ramas laterales, el pecíolo mide de siete a nueve centímetros de largo y forma un espiral con dos a tres centímetros del eje vertical.

Cuadro 9: Hoja del cacao: Características cualitativas y cuantitativas

		Disposición	Alternas		
		Largo (cm)	25 - 32		
		Ancho (cm)	6 - 10,1		
		Base	Aguda		
			Obtusa	X	
			Redondeada		
			Cordiforme		
		Ápice	Puntiaguda		
			Acuminado corto		
			Acuminado largo	X	
		Pecíolo	Sin pulvinus		
			Con pulvinus	X	
		Textura	Chartaceous	X	
Coriacea					
		Color hojas jóvenes	Antocianina ausente	Verde luminoso	
				Intermedio	X
			Verde intenso		
		Antocianina presente	Rojizo luminoso		
			Intermedio		
			morado intenso	X	
Sensación al tacto hojas jóvenes		Velludas	X		
		No velludas			
Color hojas maduras		Antocianina ausente	Verde intenso		

Características cualitativas

Forma de la hoja. Se toma la relación LH/LBA para clasificar la forma de acuerdo con los siguientes parámetros:

$$L/LBA < 2 = \text{Ovalada}, \quad L/LBA > 2 = \text{Elíptica}, \quad L/LBA = 2 = \text{Oblonga}$$

Ángulo Basal (AB). Se expresa en grados, refiriéndose al ángulo formado por las tangentes trazadas en los bordes del limbo y el punto de inserción del pecíolo, clasificándola según su mayor o menor abertura:

$$\text{Ángulo} < 90^\circ = \text{Agudo} \quad \text{Ángulo} > 90^\circ = \text{Obtuso}$$

Ángulo Apical (AA). Este dato resulta de la medición de la abertura del ángulo formado por la tangente trazada desde el ápice del limbo con los bordes, se le clasifica como:

$$\text{Ángulo} < 90^\circ = \text{Agudo} \quad \text{Ángulo} > 90^\circ = \text{Obtuso}$$

Las hojas jóvenes del cacaotero presentan pigmentaciones, que dependen en cierta forma de los tipos de cultivos; se observa colores que van desde el verde intermedio (por la no presencia de antocianina), al rojizo intermedio (Presencia de antocianina), base obtusa,

ápice Acuminado largo, peciolo con pulvinus, textura Chartaceous, sensación al tacto velludas.

4.4.5 Fruto

El fruto del cacaoero es una mazorca, en su interior se halla un conjunto de semillas cubiertas por una sustancia mucilaginosa blanquecina de sabor agridulce, conformada por azúcares y ácido cítrico en proporciones variables. Para el estudio de sus características se colectó aleatoriamente veinte mazorcas fisiológicamente maduras (Cuadro 10).

Determinación de las características cualitativas

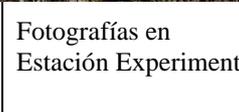
Cuando el fruto es inmaduro, toma un color verde intermedio, al madurar toma una coloración rojiza ligera (Debido a la presencia de antocianina en el lomo), amarilla intermedia, violeta o según el tipo. Tiene forma oblonga, constricción basal ligera, forma de ápice agudo, rugosidad intermedia, característicos surcos pronunciados.

Determinación de las características cuantitativas

Medidas de n = 20 de frutos sanos:

- a) Largo del fruto (LF). Distancia desde la base en unión del pedúnculo hasta el ápice.
- b) Ancho del fruto (AF). Se mide en la parte más ancha de la mazorca.
- c) Peso del fruto (PF). Peso total de la mazorca.
- d) Peso de cáscara (PC). Una vez separadas las semillas, se pesa la cáscara.
- e) Espesor de cáscara en lomo (EL). Se considera para la medida la parte más gruesa.
- f) Espesor del surco (EF). Se mide la parte intermedia entre los dos lomos.
- g) Número de semillas/fruto (NSF). Se considera solo semillas con desarrollo normal.

Cuadro 10: Fruto del cacao: Criollo: Características cualitativa y cuantitativa. Tamaños: chico, mediano y grande (Columna tres)

Color fruto inmaduro	Verde ligero			
	Verde			
	intermedio	X		
	Verde oscuro			
	Otros			
Intensidad de la antocianina en los lomos (Inmaduro)	Ausente			
	Ligera	X		
	Intermedia			
	Intensa			
Color del fruto maduro	Amarillo	Ausente		
		Ligera		
		Intermedia	X	
		Intensa		
	Rojo	Ausente		
		Ligera	X	
		Intermedia		
	Intensa			
Masa (kg)		1,1 – 1,3 - 1,4		
Largo (cm)		18 – 17 - 23,9		
Ancho (cm)		9,5 - 9,9 - 12		
Forma	Oblonga	X		
	Elíptica			
	Ovoidal			
	Redondeada			
	Esferoide			
Constricción basal	Ausente			
	Ligera	X		
	Intermedia			
	Pronunciada			
Forma del ápice	Atenuada			
	Aguda			
	Obtusa			
	Redondeada	X		
	Mamiforme			
Rugosidad de la superficie	Ausente			
	Ligera			
	Intermedia	X		
	Pronunciada			
Grosor de la cáscara (cm)	1,56 – 2,0 – 2,8			Fotografías en Estación Experimental
Temperatura interna (°C)	26			
Característica de los surcos	10, pronunciado			
Semillas (por mazorca)	30 a 40	Dispuestas en presentación axial e incrustadas		

Forma de la mazorca

Interesa la relación largo/ancho del fruto. Medidas promedio (Cuadro 11).

Cuadro 11: Fruto (Mazorca): Características cuantitativas

Masa	Dimensiones			Temperatura interna	Número de surcos
	Largo	Ancho	Grosor cáscara		
1,4 kg	23,9 cm	9,9 cm	1,56 cm	26 °C	10

Rugosidad de la mazorca

La mazorca del cacao, tanto Criollo como Forastero, presentan en su superficie topografía de rugosidad irregular, de corto alcance espacial que forman valles y picos de amplitud variable, en forma de surcos en número de diez y profundidades de dos a ocho milímetros. Entre surcos, se encuentran asperezas de profundidades del orden de fracciones de milímetros.



Figura 23: Rugosidad de la mazorca de cacao. Estación Experimental

Cuadro 12: Rugosidad en la superficie de la de la mazorca

	Criollo	Forastero	Trinitario
Rugosidad	Rugoso intermedio o ligeramente liso	Liso o medio	Variable

Cuadro 13: Mucílago. Característica cualitativa

Color	Blanco	x	
	Amarillento		
Disposición de semillas	Ordenadas	x	
	Desordenadas		
Consistencia	Adhesiva		
	No adhesiva	x	
Sabor	Dulce		
	Afrutado	x	
	Acido		
	No definido		
Apariencia	Algodonosa	x	
	Abundante		
	Película		

Mazorca, corte longitudinal. Estación Experimental

4.4.6 Semilla

Se tomaron veinte frutos sanos al azar y se evalúan cinco semillas frescas por fruto.

Características cualitativas

- Color de semilla (CS). Al evaluar los colores en una escala, se observa que los cotiledones de las semillas de las variedades Criollos y Trinitarias, en su mayoría muestran color violeta claro, mientras que, el de Forasteros, presenta color violeta oscuro. El punto óptimo de la pulpa es color crema perlado y brillante.
- Para definir la forma de la semilla, se considera la relación largo/ ancho.

Características cuantitativas

- Peso semilla húmeda con pulpa y testa (g) (PSHPT). Se pesan cinco semillas/ fruto.
- Peso de la pulpa y testa (PPT). Valor obtenido de la diferencia entre el peso de la semilla húmeda con pulpa y testa y del peso de aquella que esta sin pulpa y testa.
- Largo de semilla (LS).
- Ancho de semilla (AS).
Se consideró la parte más ancha de la semilla.
- Espesor de la semilla (ES).
- Peso de la semilla seca (PSS). Las cinco semillas de cada mazorca se colocan junto a los granos grandes de cacao en proceso de fermentación, de manera que también tengan este proceso y luego se le seca al natural y al 7 por ciento de humedad, finalmente se pesan.

Se encuentra que las semillas están dispuestas ordenadamente, miden de 12 a 40 mm de longitud, diámetro medio de 10 a 20 mm, recubiertas con mucílago de apariencia algodonosa color blanquecino y consistencia no adhesiva; sabor afrutado dulcete, floral o agridulce según el tipo (Cuadro 14).

El embrión se encuentra cubierto por el tegumento conformado por dos cotiledones imbricados, en la variedad Criollo son blancos, Forasteros morado y Trinitario de tinte violeta bajo; todos estos caracteres dependen de factores genéticos del árbol y de la constitución genética del polen con que se poliniza. La semilla seca toma una coloración blanco grisáceo o crema, forma oblonga (Cuadro 13).

4.5 FERMENTACIÓN, TEMPERATURA, SECADO Y MEDIDA DE HUMEDAD

Se sabe que durante la fermentación el cacao desarrolla sus propiedades organolépticas. En las semillas, se producen procesos químicos que dan lugar a precursores de sabores y aromas características del chocolate. Se separa una muestra testigo y otra se deposita en el lecho de fermentación construido de madera, de medidas 80 cm x 50 cm x 30 cm, hasta una profundidad de 25 cm. Se observa que desde el segundo día la coloración de las semillas cambia de blanco grisáceo a chocolate claro en el sexto día (Figura 24).

Se ha realizado el estudio de dos períodos, del 2007 (Cosecha marzo- abril) y del 2019 (Cosecha agosto- setiembre).

Cuadro 14: Semilla de cacao: Características cualitativas y cuantitativas

Color	Blanco		
	Blanco grisáceo o crema	X	
	Púrpura claro		
	Púrpura intermedia		
	Púrpura oscura		
Forma	Oblongo	X	
	Elíptica		
	Ovada		
Masa (g)		1,6	
Largo (cm)		2,29	
Ancho (cm)		1,19	
Grosor (cm)		0,94	
Sabor		Amargo / astringente	
			Semillas con mucílago. Estación Experimental

Con el fin de homogeneización a las cuarenta y ocho horas de iniciado la fermentación se remueve manualmente la muestra la con una pala de madera desde la parte superior hacia el fondo y viceversa tres veces por día. En este proceso la semilla pierde el embrión y su capacidad de reproducción, por esto en adelante se hablará no de semilla sino de grano. No se usan activadores de bacterias los que aceleran los procesos de fermentación, aunque en ambos casos los resultados de cambio de coloración son análogos.

Temperatura del cacao durante la fermentación

En la Estación Experimental se midió:

- (a) Temperatura del aire.
- (b) Temperatura máxima de fermentación de semillas.

2007:

- (a) 20 °C a las 08:00 h.
- (b) El cuarto día presenta un máximo de 52 °C.

2019:

24°C 12:00 h. el cuarto día presenta un máximo de 42,2 °C.

Se observó que en ambos periodos la mayor temperatura se presentó al cuarto día, pero en el 2007 el pico fue mayor; se asume es por la estacionalidad.

Cuadro 15: Temperatura del proceso de fermentación. (°C)

Día	2007	2019
1	32,1	30,2
2	38,0	40,2
3	40,2	40,6
4	52,0	42,2
5	30,6	39,2
6	30,1	36,2



Figura 24: Fermentación del cacao, cambio de temperatura y color. Del 09 al 14 de marzo del 2007. Fotografías en Estación Experimental

Secado del cacao: respuesta a la humedad

En el 2007 la deshidratación se realizó con el método natural de tendal (Con mantadas) al sol, mientras que en el 2019 se realizó con un secador solar construido en la Estación Experimental con asesoramiento de DEVIDA – Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas, donde la temperatura llega a más de 70 °C. Ambos procesos de secado fueron acompañados de volteos periódicos y terminó en mucho menor tiempo, cuando los granos alcanzaron una humedad de 7,0 por ciento (b.h.) el 2007 y 7,2 por ciento el 2019 medida con el testado G610 i (Figura 25).



Figura 25: Medida de humedad. Testado G610 i.

4.6 PREPARACIÓN DEL LICOR DE CACAO

Se escogen granos de cacao secos, libres de sabores secundarios especialmente de humo, moho y acidez excesiva, se someten a torrefacción a fin de que los precursores del sabor se combinen y produzcan olores y sensaciones típicas del chocolate y demás notas sensoriales. El tostado además facilita la eliminación de la cascarilla (Figura 26). La temperatura en el interior del tostador se mantiene siempre homogenizada, evitando circulaciones de aire. Finalmente, moliendo se obtiene el licor de cacao⁷.



Figura 26: Preparación del licor de cacao

⁷ Anexo 7. Procesamiento de tostado y obtención del licor de cacao en la Estación Experimental.

4.7 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS

La valoración de las propiedades organolépticas del cacao⁸ producido en Llaylla se obtuvo con dos catadores: Ing. Gilberto Yupanqui, Br. Deysi Granados Phala (Industrias alimentarias) y diez personas dueños y trabajadores de cacaotales de Llaylla quienes concluyen que el cacao de la Estación Experimental tiene buena intensidad.

4.8 RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL CÁLCULO DE PROPIEDADES FÍSICAS

Se experimenta con granos de cacao por tamaño de grano: Grandes (Longitud mayor de 30,0 mm), medianos (Longitud entre 25,0 mm) y chicos (Longitudes menores de 25,0 mm). Se realizan varias medidas según el ensayo. Los resultados de las características físicas de los granos de cacao se presentan en tablas que corresponden a las medidas correspondientes.

4.8.1 Acción de la humedad

El experimento dura una semana, se usan tres contenedores con igual cantidad de semillas, cada uno de masa 1 kg. Un contenedor abierto a la intemperie y la acción la precipitación pluvial, un contenedor abierto en una zona de humedales (Ambiente húmedo) y un contenedor cerrado (Testigo) en un ambiente techado. Resultados:

- a) En la muestra testigo de cacao, no sometida a la humedad, las propiedades organolépticas, físicas y mecánicas no sufrieron alteración.
- b) Las otras muestras fueron impactadas drásticamente.
 - a. No desarrollaron propiedades organolépticas típicas del cacao. Tomaron coloración oscura, sabor y aroma desagradables y olor a podrido.
 - b. La configuración geométrica fue afectada significativamente: Aumentaron en tamaño, volumen y área proyectada: El ángulo de reposo disminuyó y el coeficiente de rozamiento aumentó significativamente. Mientras que el grado de esfericidad de los granos no se alteró y se mantuvo en su orden de magnitud.
- c) Las propiedades mecánicas fueron impactadas también significativamente, todos los índices elásticos fueron alterados.

⁸ Anexo 5. Catadores y propiedades organolépticas.

4.8.2 Masa y número de granos

La masa de granos de cacao se toma por número de granos independiente del tamaño.

En 2019 es 11,11 por ciento mayor que en 2007. Promedio = $1,41 \pm 0,05$ g (Cuadro 16).



Figura 27: Medida de la masa de granos de cacao.
Estación Experimental

Cuadro: 16. Masa granos

Muestra	Número de granos	Masa ($\pm 0,05$ g)
2007	405	600
	01	1,48
2019	405	540
	01	1,33
Promedio/ unidad	01	1,41

4.8.3 Número de granos en cien gramos

Se toman al azar granos enteros, fermentados, secos y sanos. En 2019 la producción es 33,94 por ciento menor número de granos por cada 100 g respecto a 2007 (Cuadro 17).

Promedio = 71

Cuadro 17: Número de granos por 100 g de masa

Muestra	Masa	Granos secos 100 g			
	Tamaño	Chicos	Medianos	Grandes	Promedio
2007	Número	107	81	56	81,3
2019		92	67	50	60,7

4.8.4 Masa de cien granos

Se toman cien granos fermentados, secos y sanos. En 2019 es 23,04 por ciento mayor respecto a 2007 (Cuadro 19). Promedio = $149,8 \pm 0,05$ g

Cuadro 18: Masa de 100 granos

Muestra	Tamaño	Granos secos ($\pm 0,05$ g)			
		Chicos	Medianos	Grandes	Promedio
2007	Masa (g)	95	123	173	130,30
2019		126	166	204	169,30

4.8.5 Peso

Cuadro 19: Peso de 100 granos cacao

Muestra	Tamaño	Granos secos			
		Chicos	Medianos	Grandes	Promedio
2007	Peso ($\pm 0,05$ N)	0,930	1,204	1,694	1,273
2019		1,370	1,293	1,980	1,657

Se toma la masa de 100 g de granos y la magnitud de la aceleración de la gravedad medida en el laboratorio ($g_{\text{laboratorio}} = 9,79 \text{ m/s}^2$). En 2019 el peso de 100 granos es mayor en 23,17 por ciento respecto a 2007 (Cuadro 19). Promedio = 1,465 N

4.8.6 Dimensiones axiales

Resultado de las dimensiones axiales: Diámetro medio aritmético (D_a) y diámetro medio geométrico (D_g) de 160 granos secos y sanos tomados al azar⁹.

Cuadro 20: Dimensiones axiales de granos (mm)

Muestra	Tamaño	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Diámetro métrico Aritmético (D_a) ($\pm 0,05$ mm)	Diámetro métrico Geométrico (D_g) ($\pm 0,05$ mm)
2007	Chico	22,78 \pm 1,54	14,20 \pm 1,65	9,00 \pm 1,4	15,33	14,28
	Mediano	26,78 \pm 1,41	15,16 \pm 1,53	9,72 \pm 2,28	17,22	15,80
	Grande	32,55 \pm 2,05	20,74 \pm 3,23	14,92 \pm 3,75	22,74	21,60
	Promedio parcial	27,57 \pm 1,54	15,36 \pm 1,73	10,58 \pm 1,83	17,89	16,45
2019	Chico	23,56 \pm 1,05	12,66 \pm 2,53	10,18 \pm 1,03	15,47	14,48
	Mediano	27,94 \pm 1,44	14,27 \pm 1,53	10,08 \pm 1,14	17,43	15,90
	Grande	31,80 \pm 1,14	15,12 \pm 1,3	9,56 \pm 0,93	19,16	16,63
	Promedio parcial	27,80 \pm 1,22	14,02 \pm 1,87	9,94 \pm 0,98	17,35	15,67

Se observa que las medidas del 2019 respecto al 2007 presenta:

- En promedio las longitudes de granos chicos y medianos son mayores.
- En promedio el ancho de granos chicos, medianos son menores.
- El espesor de los granos chicos y medianos son mayores, pero de los grandes son menores.
- En promedio el diámetro métrico aritmético de los granos chicos y medianos son ligeramente mayores mientras que de los grandes son menores.
- En promedio el diámetro métrico geométrico de los granos chicos y medianos son mayores mientras que los grandes son menores.

⁹ Anexo 8. Resultados parciales medidas de las dimensiones axiales del grano de cacao de Llaylla.

4.8.7 Forma: Esfericidad

Se usa las dimensiones axiales encontradas en la sección anterior. En 2019, respecto al 2007, los granos de cacao chicos y medianos tienen prácticamente la misma esfericidad, mientras que los grandes son mayores (Cuadro 21). Promedio 0,56

En las tres variedades de cacao, la forma del grano es oblongo, en los extremos del fruto predomina la forma ovalada- aplanada; en la variedad Criollo, su parte central es ovalada-globosa; mientras que la variedad Forastero es ovalada plana.

Cuadro 21: Esfericidad del grano ($\pm 0.07 \text{ mm}^2$)

Muestra	Chico	Mediano	Grande
2007	0,63	0,56	0,46
2019	0,61	0,57	0,52
Promedio	0,62	0,57	0,49

4.8.8 Área superficial

En el 2019 el 42,63 por ciento de los granos chicos tienen mayor área superficial, mientras que los granos medianos y grandes tienen menor área superficial respecto al 2007 (Cuadro 22).

Cuadro 22: Área superficial del grano ($\pm 0.07 \text{ mm}^2$)

Muestra	Chico	Mediano	Grande	Promedio
2007	707,92	866,40	1 556,21	1 043,51
2019	614,65	589,42	990,82	731,63
				887,57

4.8.9 Área proyectada

Los resultados se muestran en el Cuadro 23. Promedio $79,87 \pm 0,07 \text{ mm}^2$.

Cuadro 23: Área superficial proyectada del grano ($\pm 0.07 \text{ mm}^2$)

Muestra	Chico	Mediano	Grande	Promedio
2007	88,8	80,74	76,16	79,87

4.8.10 Densidad

Densidad absoluta

En el 2019 la densidad absoluta es menor que en 2007 (Cuadro 24). Promedio $0,59 \pm 0,07 \text{ g/cm}^3$



Figura 28: Granos de tres tamaños

Cuadro 24: Densidad absoluta de granos secos

Tamaño	Muestra 2007			Muestra 2019		
	Chico	Mediano	Grande	Chico	Mediano	Grande
Masa de grano ($\pm 0,05$ g)	95	123	173	126	166	204
Volumen (ml $\pm 0,05$)	150	200	250	250	300	
Densidad grano ρ_a ($\pm 0,07$ g/cm ³)	0,63	0,615	0,692	0,504	0,553	
Densidad Promedio ρ_a ($\pm 0,07$ g/cm ³)	0,646			0,529		

Densidad a granel

En 2019, respecto a 2007 los granos son de mayor densidad a granel de cacao. Promedio $0,56 \pm 0,07$ g/ cm³



Figura 29: (a) Agua destilada. (b) Granos en agua destilada

Cuadro 25: Densidad a granel de granos secos

Tamaño de grano	Muestra 2007			Muestra 2019		
	Chico	Mediano	Grande	Chico	Mediano	Grande
Masa ($\pm 0,05$ g)	95	123	173	126	166	204
Volumen ($\pm 0,05$ ml)	200	250	360	210	250	
Densidad ρ_a ($\pm 0,07$ g/ cm ³)	0,48	0,49	0,48	0,60	0,66	
Densidad promedio ρ_b (g/ cm ³)	0,48			0,63		

Densidad aparente (ρ_{ap})

2007: $0,65 \pm 0,07$ g/cm³ 2019: $0,53 \pm 0,07$ g/cm³. Promedio $0,59 \pm 0,07$ g/cm³

En el 2019 la densidad hidrodinámica se reduce respecto al 2007.

4.8.11 Porosidad

2007: $\varepsilon = 25,23$ por ciento 2019: $\varepsilon = -19,40$ por ciento

En el 2019 se reduce la porosidad respecto 2007

4.8.12 Rozamiento

Se encuentra que, el rozamiento estático (μ) presenta menores valores en láminas de aluminio o de melamina (Cuadro 26).



Figura 30: Determinación experimental, coeficiente de rozamiento estático

Cuadro 26: Coeficiente de rozamiento estático de diferentes materiales

Material de transporte	Latón ¹⁰	Vidrio ¹¹	Triplay ¹²	Vinyl ¹³	Melamina ¹⁴	Aluminio ¹⁵
Coeficiente de rozamiento estático	0,48±0,17	0,44± 0,14	0,39± 0,22	0,30± 0,32	0,24± 0,42	0,23± 0,40

4.8.13 Ángulo de reposo ϑ

La pila de granos precipitados toma una forma pirámide: Se mide Altura H, diámetro de la base D. Resultado (Cuadro 27): Ángulo de reposo $\vartheta = 86,5^\circ$

Cuadro 27: Ángulo de reposo ϑ en pilas de granos

	H ($\pm 0,5$ cm)	D ₁ (cm)	D ₂ (cm)	P _{romedio} ($\pm 0,5$ cm)
1	5,0	15,7	15,6	15,70
2	6,0	14,7	15,2	14,95
3	5,8	16,2	15,7	15,95
4	5,3	16,6	14,7	15,65
5	6,0	15,6	14,7	15,15
6	5,9	15,7	15,4	15,55
7	5,7	16,4	15,5	15,95
8	5,9	15,3	15,4	15,35
9	5,1	15,6	14,9	15,25
10	5,4	15,8	16,1	15,95
Promedio	5,5			15,55
Ángulo de reposo		$18,26 \pm 0,7 \equiv 86,5^\circ$		

4.9 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

A partir del 2019 se obtienen propiedades las mecánicas de los granos de cacao.

4.9.1 Coeficiente de Poisson

Valor promedio del coeficiente de Poisson (Cuadro 28): Promedio = $\mu = 0,12$.

¹⁰ Latón, es una aleación de cobre y zinc.

¹¹ Vidrio, es un material cerámico amorfo transparente de buena dureza y fragilidad; se encuentra en forma natural y artificial de múltiples usos.

¹² Triplay, confeccionado con residuos de madera.

¹³ Vinilo, es un compuesto orgánico.

¹⁴ Tablero aglomerado recubierto de melamina, es una sustancia química plástica tiene un elevado contenido en nitrógeno, es tóxico, por lo que no se recomienda su uso.

¹⁵ Lámina de aluminio.

Cuadro 28: Coeficiente de Poisson μ del grano

D (mm)	ΔD (mm)	L (mm)	ΔL (mm)	μ
23,17	0,57	12,74	1,98	0,16
24,44	0,79	13,12	1,22	0,35
27,11	0,30	14,50	1,11	0,00
23,59	0,54	14,36	1,45	0,01
26,14	0,16	12,72	1,02	0,09
Promedio μ				0,12

4.9.2 Módulo de Young (Y)

Valor promedio del módulo de Young (Cuadro 28): Promedio = $Y = 1,52 \times 10^{-4} \pm 0,2$ Pa

Cuadro 29: Módulo de Young (Y) del grano

Fuerza de ruptura (N \pm 0,05)	Coefficiente de Poisson μ	D (mm \pm 0,05)	d (mm \pm 0,05)	Y (x10 ⁻⁴ Pa)
18,70	0,12	1,97	15,33	1,27
22,56	0,12	2,49	15,33	1,31
22,56	0,12	1,17	17,22	2,01
20,07	0,12	2,26	15,33	1,25
18,11	0,12	1,02	17,22	1,77
Promedio de Y				1,52 \pm 0,2

4.9.3 Fuerza y deformación en el punto de ruptura

La menor deformación se presenta en granos de masa 1,8 g en el punto de ruptura de 0,91 mm, para una fuerza de ruptura de 18,1 N y la mayor deformación en el punto de ruptura de 1,98 mm se presenta para una fuerza de ruptura de 19,09 N en granos de cacao de masa de 2,0 g. (Cuadro 30).



Figura 31: (a) Determinación de la fuerza de rotura. (b) Acercamiento. FCF Lab.223

Cuadro 30: Punto de ruptura del grano

Masa del grano (\pm 0,05 g)	Fuerza de ruptura (\pm 0,05 N)	Deformación en el punto de ruptura (\pm 0,05 mm)
1,60	22,56	1,22
1,70	20,07	1,45
1,80	18,11	0,91
2,00	19,09	1,98

Se utiliza sus dimensiones axiales para determinar el módulo de elasticidad aparente. Para coeficientes de Poisson muy bajos presentan valores entre 30 Pa y 40 Pa, mientras que para coeficientes mayores presentan valores entre 10 Pa y 30 Pa.

4.9.4 Producción

Según la data de la Estación Experimental, en 2007, se cosechó 2 943 N por hectárea, en 2019, se incrementó a 5 886 N por hectárea. Por consiguiente, se induce que este es el resultado de un mejor manejo postcosecha, debido entre otros, a un mayor conocimiento de las propiedades físico- mecánicas que mejoraron las actividades sociales de manejo. Además, a partir de las medidas las propiedades organolépticas del grano de cacao, se encuentra que evidentemente mejoró la calidad del producto. En consecuencia, considerando los conceptos de productividad biológica, ecológica y económica, se induce que la productividad ha mejorado y por ende mejorado las oportunidades y la condición de vida de los agricultores emprendedores que nos acompañan.

Cuadro 31: Módulos de elasticidad aparente del grano

K	Fuerza de ruptura (N)	Coefficiente de Poisson μ	D (mm)	r₁ (mm)	R₁ (mm)	r₂ (mm)	R₂ (mm)	Módulo de elasticidad aparente ($\pm 0,02$ Pa)
1,86	18,70	0,160	1,97	5,49	11,39	5,49	7,1	12,42
1,86	22,56	0,350	2,49	4,55	11,39	4,55	7,1	9,74
1,86	22,56	0,001	1,17	4,67	13,39	4,67	7,58	37,62
1,86	20,07	0,006	2,26	4,77	11,39	4,77	7,1	33,38
1,86	18,11	0,090	1,02	5,38	13,39	5,38	7,58	26,91

4.9.5 Resumen de resultados

Propiedades de los granos de cacao variedad de cacao criollo del distrito de Llaylla

Las características morfológicas del cacao criollo producido en la Estación Experimental: Árbol, flores, hojas, frutos; presentan resultados análogos a los reportados en la literatura.

1. De las propiedades morfológicas del grano de cacao

Árbol: Arquitectura intermedia, vigor débil, altura de tres a diez metros, copa baja, densa y extendida, tronco de crecimiento dimórfico, ramas Plagiotrópicas (En abanico), corteza externa color castaño oscuro, agrietada, áspera y delgada, interna color castaño, sin sabor.

Hojas: Disposición alterna, largo 25- 32 cm, ancho 6- 10,1 cm, base obtusa, ápice acumulado largo, peciolo con pluvienius, textura Chartaceus, hojas jóvenes velludas de color verde intermedio y morado intenso por la presencia de antocianina, en hojas maduras color verde intenso.

Flor: Las flores son de color blanquecino con ligeros rayos rojizos. Largo 7 mm, diámetro 3 mm; coloración del pedúnculo rojo y verde, pigmentación del sépalo: Rojo y verde, 5 pétalos blancos, 5 sépalos blancos con orientación réflex.

Fruto: El fruto del cacao tiene: Masa 1,1 kg- 1,4 kg, largo 10 cm- 30 cm, ancho 9 cm- 12 cm, forma. Oblonga, predominan ovalada- aplanada en los extremos, ovalada- globosa en el centro de, tiene 20- 30 semillas; color en inmaduros verde intermedio, en maduros amarillo intermedio y rojo ligero; contricción basal ligera, ápice redondeado, rugosidad intermedia, grosor de cáscara 1,56 cm- 2,8 cm, 10 surcos pronunciados.

Semilla: Cotiledones del cacao variedad Criollo, de color violeta claro (Similar al Trinitario). Disposición ordenada, consistencia no adhesiva, apariencia algodonosa; masa 1,6 g, largo 2,29 cm, ancho, 1,92 cm, espesor 0,94 cm; color violeta oscuro y violeta claro, sabor afrutado en semillas cosechadas y amargo astringente en semillas secas.

2. De la fermentación

Se encontró que el tiempo adecuado de fermentación del cacao es seis días, al cuarto día llega a la temperatura máxima, oscila entre 46 °C y 52 °C.

El manejo riguroso de protocolos aplicados durante la fermentación y secado dio como resultado que el cacao produjeran sabores, aromas y textura propios del chocolate de cacao, de intensidad alta concordante con lo reportado en la literatura dada, Rivera *et al* (2012) y otros.

3. De las propiedades físico-mecánicas del grano de cacao

Medidas de propiedades físicas y mecánicas del grano de cacao:

Las medidas consideradas son valores del 2007 y 2019.

Temperatura: Durante la fermentación, el control es importante, sobre todo los dos últimos días donde llega al máximo, el grado de fermentación que se obtiene es 90 por ciento bueno.

Secado: El grano seco llega a alrededor de 7 por ciento (Base húmeda).

Masa de cien granos: Aumentó 30 g en promedio.

Peso: Aumentó en 0,38 N.

Dimensiones axiales: La longitud de granos chicos y medianos aumentaron, mientras del grano grande disminuyeron, en promedio es ligeramente mayor. El ancho disminuyó. En espesor solo los granos chicos disminuyeron. El diámetro aritmético de los granos chicos y medianos aumentaron, pero en promedio disminuyeron ligeramente. El diámetro geométrico de granos chicos y medianos son similares, mientras que los granos grandes disminuyeron considerablemente y en promedio también.

Forma de grano: La esfericidad en ambos años son similares, oblonga diversa, predominando la forma ovalada- aplanada y la ovalada- globosa.

Área superficial: Se redujo significativamente.

Área proyectada: Promedio $79,87 \pm 0,07 \text{ mm}^2$ (Solo se muestreó el 2007).

Densidad absoluta: En 2019 es menor.

Densidad a granel: En 2019 es significativamente mayor.

Densidad aparente: En 2019 es mayor. Promedio $0,59 \pm 0,07 \text{ g/cm}^3$.

Porosidad: En 2019 se presenta una reducción del 25,23 por ciento.

Coefficiente de rozamiento estático: Latón $0,48 \pm 0,17$, vidrio $0,44 \pm 0,14$, triplay $0,39 \pm 0,22$; son menores sobre superficies de vinyl $0,24$, melamina $0,24 \pm 0,42$ y aluminio $0,23 \pm 0,40$.

Ángulo de reposo: Promedio $86,5^\circ$.

Coefficiente de Poisson: Promedio $0,12$.

Módulo de deformabilidad: Promedio de $1,52 \pm 0,2 \times 10^{-4} \text{ Pa}$.

Deformación en el punto de ruptura: Entre $0,91 \pm 0,5 \text{ mm}$ a $1,98 \pm 0,5 \text{ mm}$.

Fuerza de ruptura: Entre $18,11 \pm 0,5 \text{ N}$ y $22,56 \pm 0,5 \text{ N}$

Módulo de elasticidad: Entre $9,74 \pm 0,5$ a $37,62 \pm 0,5 \text{ Pa}$.

Se observa que, como el cacao es un material de origen biológico, a diferencia de los materiales no- orgánicos (Inertes), presentan valores variablemente menores tanto en sus propiedades físicas y sobre todo en sus propiedades mecánicas.

Comparando los valores obtenidos de la configuración geométrica, en cuanto dimensiones axiales y con las propiedades físicas del grano de cacao, con lo reportado en la literatura, se encuentra concordancia.

En todas las demás propiedades trabajadas, no se encuentran reportes en la literatura (Cuadro 32). Constituyen un aporte de la investigación.

4. De la reducción de merma

En los procesos postcosecha: Acopio, fermentación, secado y considerando la data histórica de la Estación Experimental al 2019, se encuentra una reducción en la merma mayor de 40 por ciento.

Cuadro 32: Resumen de resultados de cálculos de propiedades físicas del grano de cacao

Propiedad física	Resultados. 2019 versus 2007	Promedio
Acción de la humedad	La muestra testigo no sufrió alteraciones. Las muestras sometidas a humedad fueron impactadas drásticamente alterando sus propiedades organolépticas, físicas y mecánicas	
Masa ($\pm 0,05$ g)	11,11 por ciento menor	1,41 g
Número de granos en cien gramos	33,94 por ciento menor	71
Masa de cien granos ($\pm 0,05$ g)	23,04 por ciento mayor	149,8 g
Peso ($\pm 0,05$ N)	23,17 por ciento mayor	1,47 N
Dimensiones axiales ($\pm 0,05$ mm)	Longitud: Granos chicos y mediano son ligeramente mayores, los grandes menores Ancho: Todos son menores Espesor: Granos chicos y medianos son mayores, los grandes son menores Diámetro métrico aritmético: Granos chicos y medianos son ligeramente mayores, los grandes son menores Diámetro métrico geométrico: Granos chicos y medianos son mayores, los grandes son menores	L = 27,57 H = 15,36 e = 10,58 D _a =17,89 D _g =16,45
Esfericidad (ϕ)	Los granos chicos y medianos son iguales Los grandes son mayores	0,56
Área superficial ($\pm 0,07$ mm²)	42,63 por ciento de granos chicos tienen mayor área, los granos medianos y grandes tienen menor área	887,57
Área proyectada ($\pm 0,07$ mm²)	79,87 mm ²	79,87
Densidad absoluta ($\pm 0,07$ g/cm³)	Menor	0,59
Densidad granel granos secos ($\pm 0,07$ g/cm³)	Mayor	0,56
Densidad hidrodinámica ($\pm 0,07$ g/cm³)	Menor	0,495
Porosidad (Por ciento)	ϵ (2012) = 25,23 ϵ (2019) = -19,4, Drástica reducción	
Productividad	Mayor	
Coefficiente de rozamiento (μ)	Las láminas más convenientes que utilizar: <ul style="list-style-type: none"> • Aluminio 0,13 • Melamina 0,12 	
Ángulo de reposo ϑ	$\vartheta = 86,5^\circ$	86,3°

Cuadro 33: Resultados de cálculos de propiedades mecánicas de grano cacao. 2019

Propiedad mecánica	Promedios
Coefficiente de Poisson (μ)	0,10
Módulo de Young ($\pm 0,02$ Pa)	$1,52 \times 10^{-4}$
Fuerza rotura ($\pm 0,05$ N)	19,96
Deformación en el punto de ruptura ($\pm 0,05$ mm)	1,39
Módulo de elasticidad aparente ($\pm 0,02$ Pa)	24,02

Cuadro n° 34. Comparación de valores obtenidos de las propiedades físicas del grano de cacao con otros autores

Propiedad física	Promedios Llaylla	Rivera 2018 CCN- 51 ICS- 6	Clímaco 2010 (Grano seco)	Sánchez 2007	Zambra no 2010	Ayestas 2009	Martínez 2007
Acción de la humedad	Monitoreo constante						
Masa (g)	1,41 ± 0,05	1,44 ± 0,01	1,57	1,59			2,5 ± 2,9
Número de granos en cien gramos	71			96,1	75- 78		
Masa de cien granos- índice de masa- (± 0,05 g)	149,8			110,3	128,8- 159,4		
Peso (±0,05 N)	1,465						2,3 ± 2,9
Dimensiones axiales (mm)	2007 (± 0,05) L= 27,57 h= 15,36 e= 10,58 D_a = 17, 89 D_g = 16, 45 2019(± 0,05) L= 27,80 h= 14,02 e= 9,94 D_a = 17, 35 D_g = 15, 67	CCN-51 24,82 ± 1,89 13,97 ± 0,89 9,74 ± 1,21 ICS- 6 24,18 ± 2,36 13,25 ± 1,38 9,35 ± 1,07	24,8 13,4 9,5			27 14 9	22,2 12 16± 0,15
Esfericidad	0,56						
Área superficial (± 0,07 mm ²)	887,57						
Área proyectada (± 0,07 mm ²)	79,87						
Densidad absoluta (± 0,07 g/cm ³)	0,59						
Densidad granel granos secos (± 0,07 g/cm ³)	0,56						
Densidad hidrodinámica (± 0,07 g/cm ³)	0,59						
Porosidad (Por ciento)	25,23 19,40	53,3 ± 0,9 64,6 ± 1,0					
Coefficiente de rozamiento	Aluminio 0,23 ± 0,40 Melamina 0,24 ± 0,42						
Ángulo de reposo ϑ	86,5°C						
Coefficiente de Poisson	0,12						
Módulo Young (±0,07 Pa)	1,52 x 10 ⁻⁴						

Continuación del Cuadro nº 34

Deformación en el punto de ruptura (mm)	1,4						
Fuerza rotura (N)	18,11- 22,56						
Módulo de elasticidad aparente (Pa)	9,74- 37,62						

V. CONCLUSIONES

1. La determinación de las propiedades macroscópicas, físicas y mecánicas del grano de cacao (*Theobroma cacao L.*), variedad Criollo del distrito de Llaylla, microcuenca del Río Chalhuanayo, Satipo, contribuye en la construcción de conocimientos, que al internalizarlos coadyuva a mejorar protocolos de manejo, minimizar mermas en la producción, acrecentar la producción y maximizar su productividad. Con esta metodología, se mejora las oportunidades y condición de vida de los agricultores artesanales emprendedores.
2. Las propiedades físicas del grano (Variedad Criollo) estudiadas (Cuadro 32) son: Humedad, masa, peso, tamaño, esfericidad, área superficial, área proyectada, densidad aparente, densidad a granel, porosidad, ángulo de reposo, coeficiente de rozamiento estático. Están en concordancia con lo reportado por otros investigadores.
3. Controlando la humedad (En la fermentación y secado del grano) se puede optimizar la calidad.
Los granos secos tratados tienen una humedad entre 7,0 y 7,2 % (b.h.). Valores concordantes con el reportado por otros investigadores.
Cuando la humedad sobrepasa el 10 % (b.h.), se encuentra que afecta considerablemente a los granos; es decir, sus propiedades organolépticas se alteran, tienen: Olor a podrido, sabor y aroma desagradables; dimensiones geométricas aumentados (Tamaño, área proyectada y volumen); las cantidades físicas se alteran (Ángulo de reposo disminuye, coeficiente de rozamiento aumenta significativamente); las cantidades mecánicas se alteran (Propiedades elásticas); pero, la esfericidad de la semilla casi no cambia.

4. Al grano de cacao se le puede clasificar entre sólido elástico no hookoniano y viscoelástico inelástico, eventualmente en el tiempo la respuesta elástica se aproxima a la viscoelasticidad.

Como la respuesta elástica del grano de cacao no es igual al de los cuerpos inertes presenta valores que son una fracción de los sólidos inertes.

5. Conociendo sus parámetros físicos (Cuadro 32), estos pueden ser utilizados como indicadores para el mejoramiento de técnicas y protocolos en los procesos de acopio, empaque, almacenamiento y transporte.

6. Se ha obtenido cuantitativamente (Cuadro 33) propiedades mecánicas del grano de cacao (Variedad Criollo), aplicando pruebas reológicas: Fuerza de ruptura, deformación en el punto de ruptura y módulo proporcional de deformación.

Identificando cantidades mecánicas, estas servirán para minimizar roturas, deterioro y pérdida de granos; así como mejorar la productividad del cacao durante su almacenamiento y transporte.

7. Considerando los resultados obtenidos en el trabajo, calculando la cosecha por hectárea y la reducción de la merma (Más de 40 %); aplicando conceptos de productividad biológica (Aumento de peso seco de la planta entera, por unidad de suelo, en el tiempo), productividad agrícola (Dependiente de la capacidad de almacenamiento) y económica (Costos de producción); se concluye que los agricultores artesanales podrán alcanzar mayor producción y mejorar su productividad.

Se espera que en los procesos de transporte y almacenamiento (Fuera del alcance de este trabajo) se pueda obtener reducciones mayores a 25 %.

VII. RECOMENDACIONES

1. Con fines comparativos, se buscó en la literatura reportes de medidas de propiedades físicas y mecánicas del grano de cacao. Hasta en 2010 se encontró registros de propiedades de masa, número de granos en cien gramos y dimensiones axiales y de medidas axiales. Recientemente, en el 2018 se encuentra un reporte sobre porosidad. Las medidas en este estudio son concordantes con lo reportado en la literatura. Del resto de propiedades trabajadas no se encontraron reportes, en consecuencia, se deben considerar como un aporte de la investigación.
2. En Llaylla, se ha encontrado que existe las tres variedades de cacao (*Theobroma cacao L.*): Criollo, Forastero y Trinitario. Además, se encuentra una amplia gama de genotipos. Últimamente, en la Estación Experimental se está ensayando con injertos. Esto amerita investigar juntamente con grupos de investigación multidisciplinarios.
3. Dos factores más relevantes que se debe tener en cuenta para el procesamiento del grano de cacao son la temperatura y tiempo de tostado. Un tiempo corto o excesivo y alta temperatura de tostado (Mayores a 155° C) influyen negativamente en la buena obtención de las propiedades organolépticas (Sabor y aroma) del licor de cacao y el desarrollo de las características típicas del chocolate. Preocupa el impacto del calentamiento global, por esto se recomienda realizar un estricto monitoreo del abrigo con la temperatura.
4. El fermentado y secado son procesos claves para el desarrollo de las propiedades organolépticas del cacao. No debe de haber una humedad mayor del 10 % b.h., es un factor que impacta negativamente sobre el cacao. La humedad, pluvial y producto del ambiente, afecta a la semillas y granos del cacao; cambia significativamente y de diferente forma sus propiedades organolépticas (Olor a podrido, sabor y aroma desagradables), geométricas (Aumento de tamaño, área proyectada y volumen), físicas (El ángulo de reposo disminuye y el coeficiente de rozamiento aumenta significativamente). Para el transporte de los granos en láminas transportadoras se recomienda utilizar material de latón. La esfericidad de la semilla casi no cambió. Se recomienda que, en todo momento, más aún durante el secado, se evite todo contacto con la humedad. Se proteja de las precipitaciones pluviales y durante su almacenamiento esté en ambientes secos.

5. Se recomienda que los granos pequeños, los afectados por enfermedades y con mal olor, por su impacto negativo sean descartados para consumo humano e industrial. Sin embargo, se pueden reciclar para producir abono o algún otro uso. Toda esta metodología es aplicable a procesos de otros productos vegetales como, por ejemplo, los frutales y podría ser usada para el diseño de instrumentos y máquinas para industrialización del cacao.
6. Se recomienda promover y concientizar en estudiantes, instituciones científicas y autoridades la importancia del cacao y la ampliación de áreas de su cultivo a fin de mitigar la alta tala de árboles, mejorar las condiciones ambientales y generar fuentes de ingresos agro- socioeconómicos de las comunidades

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altuntas, E. 2007. Efecto del contenido de humedad sobre algunas propiedades físicas y mecánicas de los granos de haba (*Vicia faba L.*). Journal of Food Engineering, 78 (1): 174- 183. Artículo en Journal of Food Engineering 78 (1): 174- 183. Enero con 881 lecturas DOI: 10.1016 / j.jfoodeng.

Altuntas, E. y Yildiz, M 2007. Effect of moisture contain on some physical and mechanical properties of fava bean (*Vicia faba L.*) grains, Journal of Food Engineering 78: 174- 183.

American Society of Agricultural Biological Engineering (ASABE) 2006. Standards engineering practices data. 53rd Ed. EE. UU.: 950 p.

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. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA-Miranda). Revista Científica UDO Agrícola 10 (1): 76- 87.

Álvarez, C. 2007. Caracterización física y química de almendras de cacao fermentadas, secas y tostadas cultivadas en la región de Cuyagua, estado Aragua. Agronomía Trop., dic.v.57 n.4 Maracay.

Amin, M.; Hossain, M.; Roy, K. 2004. Effects of moisture contain on some physical properties of lentil seeds. Journal of Food Engeneering 65: 83- 87.

Arciniegas, A. 2005. Caracterización de árboles superiores de cacao (*Theobroma cacao L.*). Tesis para optar al grado de Magíster Scientiae. Escuela de Postgrado CATIE, Escuela De Postgrado Turrialba, Costa Rica.

Armijo, A. 2002 Caracterización de la acidez como parámetro químico de calidad en muestras de cacao (*Theobroma cacao L.*) fino y ordinario de producción nacional durante la fermentación. Tesis Lic. Química. Quito. Ecuador. PUC.

Ávalos, A.; Porres, M.; Pöll, E.; Dardón, E.; Arévalo, L. 2012. Caracterización agronómica, botánica y molecular de clones de cacao tipo Criollo y mejorado de la zona sur de Guatemala. Revista de la, Universidad del Valle. Guatemala.

- Ayesta, E. 2009. Caracterización morfológica de 100 árboles promisorios de *Theobroma cacao* L. en Aslala. EAAN, Nicaragua. Tesis Ing. Agrónomo UNA. Managua. Nicaragua.
- Barrientos Felipa, P., Cortez de Uceda, G., Macines Romero, R., Sanabria Montañez, C., Lama More, A., Huamaní Gallegos, C., & Rodríguez Córdova, N. 2014. La producción de cacao y su efecto en la comercialización internacional. (Ponencia). XVII Seminario Taller de Investigación Económica. Lima, Perú.
- Barreiro, P. y Ruiz- Altisent, M. 1996. Propiedades mecánicas y calidad de frutos. Definiciones y medidas instrumentales. ETSIA. Dpto. Ingeniería Rural. Madrid. Fruticultura Profesional nº 77 marzo/abril.
- Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales 1993. 500 años de la América Tropical. Venezuela.
- Bourne, M. 2002. Food texture and viscosity. Concept and measurement 2nd. ed. New York: Academic Press. 416 p.
- Braudeau, J. 1970. El Cacao, traducido por A. Hernández C., Barcelona, España, Editorial Blumé, 185 234 p.
- Castro, E. y de Hombre, R. 2007. Parámetros mecánicos y textura de los alimentos. Universidad de Chile.
- Castro, G. 1996. Propiedades físicas de los productos vegetales, su sentido físico y aplicaciones. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Medellín. Colombia.
- Cetin, M. 2007. Physical properties of barbunia bean (*Phaseolus vulgar is L. cv. 'Barbunia'*) seed. Journal of Food Engineering; 80: 353– 358.
- Consejo provincial de Satipo 2017. Memoria institucional 2016. Perú.
- Consejo Provincial de Satipo. Portal.
- Couto, S.; Batista, C.; Peixoto, A.; Davilla, I. 2002. Comportamento mecánico de frutos de café: módulo de derformidade, Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental, 6 (2): 285- 294.
- Cronquist, A. 1981. An integrated system of classification of flowering plants. Columbia University Press, Nueva York.

Dan, Haruka; Azurna Teruaki; Kohyama, K. 2007. Characterization of spatiotemporal stress distribution during food fracture by image texture analysis methods. *Journal of Food Engineering* 81 429– 436.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877406007023>.

Durá Esteve, S. 2016. Estudio del valor nutricional y funcional de cacao en polvo con diferentes grados de alcalinización. Máster en Ciencia e Ingeniería de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. España.

Dursun, N. y Dursun, E. 2005. Some Physical Properties of Caper Seed. *Biosystems Engineering*; 92 (2):237–245.

Dursun, I.; Tugrul, K. y Dursun E. 2007. Some physical properties of sugar beet seed, *Journal of Stored Products Research*. 43, 149– 155.

Dutta, S.; Nema, V.; Bhardwaj, R. 1988. Physical properties of gram. *Journal of Agricultural Engineering Research.*, 39: 259– 268.

Dziki D.; Dairiusz 2007. The crushing of wheat kernels and its consequence on the grinding process. *Powder Technology.*:1– 6.

Food-Info.net 2017. Wageningen University, The Netherlands.

Fowler, M. S. 1999. Cocoa beans: From tree to factory. In *Industrial Chocolate Manufacture and Use*, 3rd Ed. Beckett, S. T. (Ed.). Oxford: Blackwell Science, pp. 8- 35.

Freire, J. 2010. El Cacao: todo lo que necesita saber sobre el cultivo, optimización productiva, calidad y comercialización. Nestlé. Quito.

García, L. 2017. Recursos genéticos, genética y mejoramiento del cacao. Editado en la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.

García, C. L. 2000. Grupos y Variedades de Cacao. En: *Cultivo del Cacao en la Amazonía Peruana*. (Arca, M, ed.) INIA, Lima, Perú. pp: 15- 26.

Godoy, L. 2014. Análisis del efecto del fresado y pulido en la rugosidad y resistencia mecánica de distintas superficies cerámicas. Facultad de Odontología, Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

Ghosh, B. and Cunha, J. 1975. Effect of season on sun drying of cocoa beans in Brazil. *Turrialba*. 25(4):396-403.

Hipólito-Romero, E; Carcaño- Montiel, M; Ramos- Prado, J; Vázquez- Cabañas, E; López Reyes, B; Ricaño- Rodríguez, J. 2017. Efecto de inoculantes bacterianos edáficos mixtos en el desarrollo temprano de cultivares mejorados de cacao (*Theobroma cacao L.*) en un sistema agroforestal tradicional del norte de Oaxaca, México. *Revista Argentina de Microbiología*.

Hii, C.L.; Ley, M.; Cloke, M; Suzannah S. 2009. Thin layer drying kinetics of cocoa and dried product quality. *Biosyst. Eng.* 102(2), 153- 161. Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2008.10.007.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S153751100800322X?via%3Dihub>.

Hollemberg N., Bayar V., Chamorro F., Motta J. 2007. Does Flavanol Intake Influence Mortality from Nitric Oxide-Dependent Processes? Ischemic Heart Disease, Stroke, Diabetes Mellitus, and Cancer in Panama. *Int J Med Sci.*; 4: 53- 58.

INIA. Mayo 2019. Sistematización de los subproyectos de cacao financiados por el Instituto Nacional de Innovación Agraria a través del Programa Nacional de Innovación Agraria. Primera edición: Instituto Nacional de Innovación Agraria– INIA.

Jain, R. y Bal, S. 1997. Properties of Pearl millet. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 66: 85– 91.

Jha, S. 1999. Physical and hygroscopic properties makhana. *Journal of Agricultural Engineering Research*; 72 (2): 145– 150.

Jiménez, J. 2003. Prácticas del Beneficio del cacao y su calidad organoléptica. Mimeografiado, Quevedo EC. 16 p.

Jinap, S., Dimick, P. & Hollender, R. 1995. Flavour evaluation of chocolate formulated from cocoa beans from different countries. *Food Control*, 6, 105– 110.

Jinap, S. and Dimick, P. 1994. Effect of drying on acidity and volatile fatty acids content of cocoa beans. *J. Sci. Food Agric.* 65: 67- 75.

Joshi, D. 1993. Physical properties of pumpkin seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research.*; 54: 219- 229.

Kattenberg, H. & Kemmink, A. 1993. The flavor of cocoa in relation to the origin and processing of the cocoa beans. In: *Food Flavor, Ingredients and Composition* (Edited by G. Charalambous). Pp. 1– 22. New York: Elsevier.

- Lecumberri, E., Mateos, R., Izquierdo- Pulido, M., Rupérez, P., Goya, L., & Bravo, L. 2007. Dietary fiber composition, antioxidant capacity and physic chemical properties of a fiber- rich product from cocoa (*Theobroma cacao L.*). Food Chemistry, 104(3), 948-954.
- López Cuadra, Y., Cunias Rodríguez, M. y Carrasco Vega, Y. 2020. El cacao peruano y su impacto en la economía nacional. Universidad y Sociedad vol.12 - n°.3 Cienfuegos.
- Márquez, C. 2009. Caracterización fisiológica, fisicoquímica, reológica, nutraceútica, estructural y sensorial de la guanábana (*Annona muricata L.* CV. ELITA). Departamento de Ciencias, Agronómicas Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
- Ministerio de la Agricultura y Riego 2019. Observatorio Commodities setiembre 2019: Cacao. <http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/index.php/e-economiadesarrollo-y-sociologia-rural/e71-comerciointernacional/911-observatorio-de-commodities-cacaoabril-jun>.
- Ministerio de Agricultura y Riego 2003. Programa para el Desarrollo de la Amazonía, PROAMAZONIA. Caracterización de las Zonas Productoras de Cacao en el Perú y su Competitividad. Informe Final. Lima.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural 2013, dic. Guía ambiental para el cultivo del cacao. Colombia.
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo 2008. M &O Consulting S.A.C. Estudio de caracterización del potencial genético del cacao en el Perú. Consultoría: 24/2007/PNRC/LOTE 2, Informe Final. “Proyecto de cooperación UE- Perú en materia de asistencia técnica relativa al comercio - Apoyo al programa estratégico nacional exportaciones (PENX 2003- 2013). Lima, septiembre.
- Mojica Pimiento, A, Paredes Vega, J. 2006. Características del cultivo del cacao en Santander. Centro Regional de Estudios Económicos. Bucaramanga, Colombia.
- Mohsenin, N. 1986. Physical Properties of Plant and Animal Materials, seconded. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- Moreno Ríos, E. 2019. Identificación y selección de árboles promisorios de cacao (*Theobroma cacao L.*) con enfoque participativo en el distrito de Uchiza. Tesis para optar

el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Perú.

Muller, H. 1978. An introduction to food rheology. Traducido al español: Burgos Justino Gonzáles. España: ACRIBIA; P.15- 41.

Municipalidad provincial de Satipo 2017. Memoria institucional 2016. Perú.

Nogales, J.; Graziani De Fariñas, L; Ortiz De Bertorelli, L. 2006. Cambios físicos y químicos durante el secado al sol del grano de cacao fermentado en dos diseños de cajones de madera. *Agronomía Trop.* 56(1): 5- 20. 2006.

Ospina Machado, J. 2001. Características físico mecánica y análisis de calidad de granos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrícolas. Departamento de Ingeniería Agrícola Bogotá: P. 225.

Palacio Betancur, L. 2005. Caracterización de propiedades fluido dinámica de Lechos fluidizados en frío con mezclas de carbón- biomasa usadas en procesos de co-gasificación. Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Investigadora del Instituto de Energía y Termodinámica de U.P.B. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Mecánica. Medellín.

Portilo, E.; Graziani L. y Cros E. 2006. Efectos de algunos factores postcosecha sobre la calidad sensorial del cacao criollo porcelana (*Theobroma cacao L.*).

Quiñones M., Espinoza, E., Yovera, F., Cuchilla, Y., Castro., D. 2018. Identificación, georreferenciación y caracterización morfológica de árboles superiores de *Theobroma cacao L.* 1753 cultivar cacao blanco de Piura, Perú. *The Biologist (Lima)*, 16 (1), ene-jun: 105- 117.

Ramos G., Ramos, P. y Azócar, A. 2000. Beneficio del Cacao, Manual del Productor de cacao, p. 58- 69. Mérida Venezuela.

Rigel J. L. 2005. Procesamiento del cacao para la fabricación de chocolate y sus subproductos. INIA Divulga 6 septiembre- diciembre.

Rivera G. J. 2018. Correlación de la porosidad con el grado de fermentación del grano de cacao peruano (*Theobroma cacao L.*). Tesis para optar título profesional. Facultad de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Rojas, A. 2010. Caracterización físico-mecánica de la semilla de vitabosa. Tesis para la obtención de Magister en Ciencias y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Agropecuarias, postgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad de Colombia, Medellín, Colombia.

Romero, A. 2017 “Estudio del cacao en el Perú y el mundo” Un análisis de la producción y el comercio. Ministro de Agricultura y Riego, MINAGRI, Dirección de Política Agraria. Perú.

Romero C. A.; Bonilla, J. A.; Santos E.G.– Peralta, E. L. 2010. Identificación Varietal de 41 Plantas Seleccionadas de Cacao (*Theobroma cacao* L.) Provenientes de Cuatro Cultivares Distintos de la Región Amazónica Ecuatoriana, Mediante el Uso de Marcadores Microsatélites. Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral Revista Tecnológica ESPOL– RTE, Vol. 23, N. 1, 121-128, diciembre. Campus Gustavo Galindo. Guayaquil, Ecuador.

Ruiz, 2000. Propiedades físicas de productos agrícolas. Documento fotocopia. P. 2- 22.

Sáenz, R.; López, B. J.; Olortegui, E. 2009. Situación y perspectivas de la cadena de cacao- chocolate en el Perú. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Sharma K., Mulvaney, S. y Rizvi, S. 2003 Ingeniería de alimentos. México: Limusa: 20-44.

Salazar, L. 2014. Estudio previo para el tratamiento de propiedades del cacao. XXIII Simposio Peruano de Física, 6- 10 de octubre. Sociedad Peruana de Física. Cusco.

Sánchez Campuzano, V. 2007. Caracterización organoléptica del cacao (*Theobroma cacao* L.), para la selección de árboles con perfiles de sabor de interés comercial. Tesis para obtención del título de ingeniero agrónomo. Universidad Técnica Estatal De Quevedo, Facultad De Ciencias Agrarias, Escuela De Ingeniería Agronómica. Ecuador.

Siguencia, J. 2013. Evaluación de un secador solar inclinado con absorbedor de zeolita para granos de cacao CCN51. Tesis. Magister. Universidad de Cuenca, Facultad De Ciencias Químicas, Maestría En Planificación Y Gestión Energética. Ecuador.

Silveira da Mota, F. 1976. Meteorología agrícola. 2da edición. Librería Nobel S. A. Sao Paulo. Brasil.

- Sinche Q. E. 2011. Evaluación del tiempo de fermentación de cacao criollo (*Theobroma cacao L.*) para la obtención de la pasta. Tesis para obtención de título profesional. Universidad del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agrarias.
- Soria, V. 1966. Principales variedades de cacao cultivadas en América Tropical. Primera Edición, Editorial Orton IICA/CATIE, Turrialba- Costa Rica, pág. 261- 266.
- Stroshine, R. 2000. Physical properties of agricultural materials and food products. Department of Agricultural and Biological Engineering Purdue University West Lafayette, Indiana.
- Torres, M. 2012. Influencia de las características y procesado del grano de cacao en la composición fisicoquímica y propiedades sensoriales del chocolate negro. Tesis Doctoral. Universitat Rovira I Virgili, Departamento de Bioquímica I Biotecnología Reus.
- Vera, J.; Vallejo, C.; Párraga, D.; Macías, J. 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.
- Villaseñor, C.; Chávez, S.; Saucedo, C.; Salazar A.; León, L.; Hernández, L. 2006 Comportamiento mecánico y fisiológico de frutos de melón (*Cucumis Meló L.*) bajo presión axial. Revista Fitotecnia Mexicana, abril- junio, año/ vol. 29, número 002, p. 157- 162.
- Voltz, M. 1990. Glossary of terms for sensory evaluation of cocoa materials, NESTLE Research centre Lausaune. 12 p.
- Wadell, H. 1933. Sphericity and roundness of rock particles, Journal of Geology 41.
- Zambrano, A.; Gómez, A.; Ramos, G.; Romero, C.; Lacruz, C.; Rivas, E. 2010. Caracterización de parámetros físicos de calidad en almendras de cacao criollo, trinitario y forastero durante el proceso de secado. Agronomía Trop. 60(4): 389- 396.
- Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C. *et al.* 2018. El uso y domesticación de *Theobroma cacao* durante el Holoceno medio en el alto Amazonas. Nat Ecol Evol 2, 1879– 1888. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0697-x>

IX. ANEXOS

Anexo 1: Contenido alimenticio del cacao

Durá (2016) sobre las propiedades alimenticias del cacao hace las siguientes referencias: «Además de sus propiedades sensoriales, el cacao natural en polvo destaca por un gran número de componentes funcionales que, cada vez más se asocian con beneficios para la salud cardiovascular. Estas propiedades saludables se les confieren principalmente a los polifenoles antioxidantes presentes en el cacao los cuales están relacionados con un gran número de efectos beneficiosos para la salud (Wollgast y Anklam 2000). El cacao es rico en compuestos antioxidantes como los polifenoles, los flavonoles son los componentes mayoritarios, entre los que se encuentran proantocianidinas (58- 65 por ciento), catequinas (29- 38 por ciento) y antocianidina (1,7- 4 por ciento) (Biehl y Ziegleder 2003; Wollgast y Anklam 2000). Estos polifenoles son similares a los que se pueden encontrar en productos como el vino, el té o ciertos vegetales, y contribuyen a la formación de precursores del sabor en el cacao y en el chocolate (Afoakwa *et al.* 2008)» y sobre la caracterización del perfil funcional de cacao referencia «Desde el punto de vista funcional, los componentes más interesantes del cacao en polvo son además de la fibra, las metilxantinas (cafeína y teobromina) y los polifenoles. Las metilxantinas son un grupo de alcaloides estimulantes del sistema nervioso central, encontrados sobre todo en cacao, café y té con efecto también en los sistemas gastrointestinal, respiratorio y renal (Li *et al.* 2012). Las metilxantinas más importantes en los productos provenientes del cacao son la teobromina y la cafeína, aunque también se pueden encontrar trazas de teofilina (del Rosario Brunetto *et al.* 2007). Dependiendo del grado de fermentación y del tipo de cacao en polvo el contenido en teobromina y cafeína oscila entre 1- 3 por ciento y 0,1- 0,5 por ciento, respectivamente».

Anexo 2: Usos y aplicaciones del cacao

Los principales usos y aplicaciones del cacao y sus derivados son:

- Chocolatería.
- Alimentación y nutrición
- Industria farmacéutica
- Medicina
- Fabricación de productos de belleza
- Ornamental
- Elaboración de jabones
- Astringentes
- Emoliente y licores



Figura 32. Cacao de Llaylla para diversos usos. Estación Experimental

A partir de las semillas del cacao se obtiene el cacao en grano, productos intermedios (Licor de cacao, manteca de cacao, pasta de cacao y cacao en polvo) y la elaboración de chocolate. En términos de equivalente en grano, el chocolate en sus diversas formas es el de mayor consumo, pero productos intermedios como los nibs o viruta el cacao en polvo y la manteca de cacao son muy utilizados en gastronomía y otras diversas áreas.

Cuadro 35 Usos del Cacao y sus derivados

Producto Usos del Cacao y sus Derivados	
Manteca de cacao	Elaboración de chocolate y confitería, y también puede ser usado en la industria cosmética (Cremas humectantes y jabones) y la industria farmacéutica
Pulpa de cacao	Producción de bebidas alcohólicas y no alcohólicas
Cáscara	Puede ser utilizado como infusión y para comida de animales
Cenizas de cáscara de cacao	Puede ser usado para elaborar jabón y como fertilizante de cacao, vegetales y otros cultivos
Jugo de cacao	Elaboración de jaleas y mermeladas
Polvo de Cacao	Puede ser usado como ingrediente en casi cualquier alimento: Bebidas chocolatadas, postres de chocolate como helados y mousse, salsas, tortas y galletas
Pasta o licor de Cacao	Se utiliza para elaborar chocolate

Elaboración: (Infocafe 2020)

Anexo 3: El cacao peruano y su impacto en la economía nacional

El despertar de los países latinoamericanos trajo consigo un desarrollo exponencial en productos que antes se exportaban como materia prima y hoy se están convirtiendo en mayor fuente de exportación en los grandes mercados. Tal es el caso, del cacao en Perú. Apoyados en la metodología cualitativa, se pretende usar técnicas como la observación y recolección de la información para determinar el aporte sustancial de este producto en desarrollo a la economía peruana. (López 2020).

Los siguiente cuatro cuadros son extraídos de publicaciones de: Ministerio de Agricultura y Riego (2019), International Cocoa Organización Secretaría: Worl Bank (2020), INFOCAFÉ (2020).

Tabla 2. Mundo: producción de cacao por principales países.

	2013/2014	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018*
Total, Mundo	4 370	4 252	3 997	4 739	4 645
Costa de Marfil	1 746	1 796	1 581	2 020	2 000 2
Ghana	897	740	778	970	900
Indonesia	375	325	325	270	240
Brasil	228	230	141	174	190
Nigeria	248	195	200	245	260
Ecuador	232	261	232	290	280
Camerún	211	232	211	246	240
Perú	81	92	105	115	120
R. Dominicana	70	82	80	57	70
Colombia	49	51	53	55	55
SUBTOTALES	4 137	4 004	3 700	4 441	4 355

Fuente: Perú. Ministerio de la Agricultura y Riego (2019).

Al cierre del año 2018 Costa de Marfil era el mayor exportador (Tabla 2) de cacao del mundo seguido por Ghana e Indonesia. El crecimiento de la exportación mundial del grano de cacao se ha mantenido de forma creciente a un 8,8% por año considerando un rango entre el 2013-2017. Donde se destacan países como Malasia, Camerún y Costa de marfil. En cambio, las exportaciones en Perú se mantienen a un 16,7% por año.

Al cierre del 2018 el precio de este producto aumentó con respecto al año anterior (Tabla 3) promediando de forma oscilada los 2660\$ /por toneladas proyectando una subida de precio para el año 2019 en \$2800 us. /ton.

1.1.3. VOLUMEN PRODUCIDO Y PRECIO EN CHACRA

La producción nacional de cacao registró un gran impulso desde el año 2010. En el 2016 registró un récord histórico de volumen producido (107 922 toneladas) y de precio promedio recibido en chacra por el productor (7,94 soles por kilo). Si bien el 2017 registró un nuevo récord histórico de volumen producido, alcanzando 124 977 toneladas métricas, el precio disminuyó significativamente a 5,49 soles por kilo, como consecuencia de la caída del precio internacional.

GRÁFICO 2: Volumen producido (Tm) y precio en chacra (S/ x kg)



Fuente: MINAGRI

Al cierre del 2018 el precio de este producto aumentó con respecto al año anterior (Tabla 3) promediando de forma oscilada los \$2660 /por toneladas proyectando una subida de precio para el año 2019 en \$2800 us. /ton.

Tabla 3. Precios mensuales internacional - (Cacao en grano Organización Internacional del Cacao).

Mes	Precio	Tasa de cambio
sep. 2019	2,31	-
oct. 2019	2,44	5,63 %
nov. 2019	2,52	3,28 %
dic. 2019	2,44	-3,17 %
ene. 2020	2,60	6,56 %
feb. 2020	2,72	4,62 %
mar. 2020	2,34	-13,97 %

Fuente: International Cocoa Organización Secretaria; World Bank.

El consumo a gran medida de la producción de cacao mundial se comportaba de la siguiente manera (Figura 1).

Tabla 4. Distribución por Variedad de Cacao.

Distribución por Variedad de Cacao			
Grupo Genético	%	Variedad	%
Trinitario	53,3	Huallaga Central	21,5
		Río Apurímac	15,4
		Alto Marañón	9,4
		La Convención	7,0
Forastero Amazónico	37,3	La Convención	28,0
		Huallaga Central	9,3
Criollo	9,4	Zona Norte	9,4

Fuente: (Infocafe, 2020)

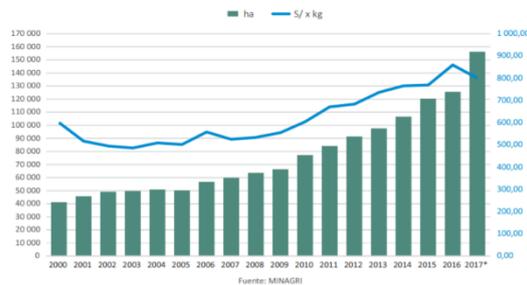
Estadísticas INIE (2019): producción en chacra, superficies cosechadas de cacao y productos de agroexportación del Perú

Hasta el 2016, el grano de cacao convencional registraba una tendencia creciente, tanto en precio de exportación como en volumen, año donde alcanzó el máximo de volumen, exportando de 41 966 Tm y a un precio por kg de US\$ 3,04, después ha ido bajando, En enero- junio del 2018, el volumen exportado fue 18 402 Tm y el precio promedio de US\$ 2,36 por kilo. Los siguientes tres cuadros son extraídos de las revistas del INEI (2018).

1.1.4. SUPERFICIE COSECHADA Y RENDIMIENTOS

El impulso de la producción desde el 2010 se generó a partir de aumentos significativos tanto de la superficie cosechada como del rendimiento por hectárea. En 2016 se registraron records históricos en superficie cosechada llegando a 125 580 hectáreas y rendimientos de 859 kilos por hectárea. En el 2017 se registró un nuevo récord histórico de área cosechada alcanzando 156 221 hectáreas, pero el rendimiento disminuyó a alrededor de 800 kilos por hectárea.

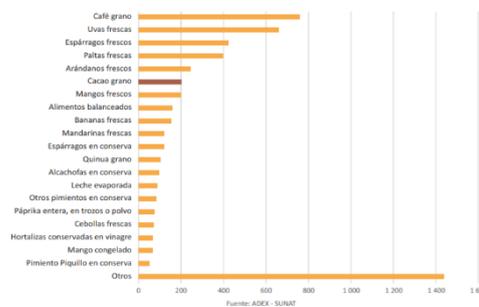
GRÁFICO 3: Superficie cosechada (ha) y rendimiento (kg/ha)



1.1.9. PRINCIPALES PRODUCTOS PERUANOS DE AGROEXPORTACIÓN

Según producto específico y de acuerdo a las correspondientes partidas arancelarias, el cacao en grano es el derivado de cacao que más destaca dentro de las exportaciones agropecuarias peruanas. En el año 2016 ocupó la sexta posición con US\$ 202,30 millones.

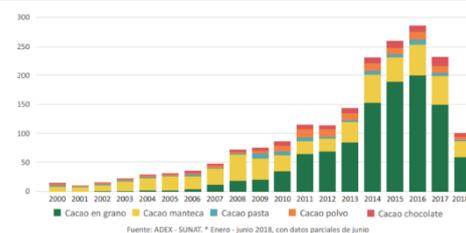
GRÁFICO 8: Principales productos de agroexportación peruanos (millones de US\$)



1.1.10. EXPORTACIÓN DE LOS PRINCIPALES DERIVADOS DEL CACAO

La exportación de derivados de cacao peruano mostraba una tendencia creciente hasta 2016, sin embargo, la disminución del precio internacional causó una baja en el 2017, tanto del valor como del volumen exportado. En 2017 el valor exportado fue US\$ 232,13 millones, correspondiendo los mayores porcentajes al cacao en grano (64,1 %) y a la manteca de cacao (21,7 %). En enero-junio 2018 el valor exportado ha sido US\$ 101,11 millones, con mayores proporciones de cacao en grano (57,8%) y manteca de cacao (27,5%).

GRÁFICO 9: Perú: Valor exportado de los principales derivados del cacao (millones de US\$)



Anexo 4: Notas agrometeorológicas

Fertilidad de suelos. Dependiendo de la acción conjunta de una serie de condiciones físicas, químicas, biológicas y antrópicas, determinan el buen desarrollo de las plantas. Las condiciones físicas para que un suelo será cultivable, deben ser: Permeable, penetrable, inmóvil y continuo y suficientemente profundo, tal que el sistema radicular de la planta pueda desarrollarse con libertad, contener la debida proporción de elementos constitutivos indispensables y suficiente cantidad de agua.

Nutrición vegetal. En principio, la alimentación mineral de la planta comprende fenómenos osmóticos y de capilaridad, mediante la cual, la planta absorbe del suelo los nutrientes minerales necesarios. Los elementos minerales y sus proporciones nutren cada materia vegetal; se clasifican en dos grandes grupos:

- Elementos plásticos. Constituyen más del 99 por ciento en peso de la materia viva de la planta, absorbido directamente del agua y aire: Carbono, oxígeno, hidrógeno.
- Oligoelementos (Microelementos). Constituyentes de la planta en ínfima cantidad, pero fundamental en su metabolismo: Hierro, manganeso, cobre, zinc, boro y molibdeno. La insuficiencia de estos genera desequilibrios nutricionales y patologías.

Agua y planta. En la constitución de la planta, más del 90 por ciento es agua. Ésta disuelve los principios nutritivos minerales del suelo y mediante absorción, los transporta vía raíces, a través de capilares a órganos de asimilación de la planta. El agua proviene de precipitaciones pluviales, la que se pierde por escurrimiento, evaporación superficial e infiltración. Las plantas absorben mayor cantidad de agua durante sus períodos críticos vegetativos: Brotación, floración, fructificación, etc. Por esta razón desde siempre se buscan métodos artificiales a fin de minimizar las limitantes y obtener mejores rendimientos de cosecha. La cantidad de agua de riego depende de diferentes factores: Estacionalidad, clima, naturaleza y disposición del suelo, especies cultivadas, época de cultivo, duración de la vegetación, sistema de riego.

Abono y fertilización. Los abonos y fertilizantes son todas sustancias nutritivas bio asimilables que se incorporan al suelo; estas se clasifican según su origen: Mineral, orgánico o mixto. También como: Nitrogenados, fosfatados y potásicos.

Los principios básicos de la fertilización:

- Devolver mayores cantidades de fertilizantes que la extraída.
- La insuficiencia de uno de los elementos limita el normal crecimiento de la planta.
- El éxito, está sujeta al mejoramiento racional simultáneo de cada una de las técnicas culturales.
- La elevación de dosis podría ser antieconómica.

Factores meteorológicos

Los factores meteorológicos y climáticos más importantes para el desarrollo del cacao son: La temperatura y la precipitación atmosférica, otros son el viento, la radiación solar y la humedad relativa. El cacao se desarrolla bajo sombra, aunque mucha sombra es factor de propagación de enfermedades.

Temperatura

La temperatura se relaciona con la manifestación macroscópica de la energía interna y la cantidad de energía radiante que reciben/emiten los cuerpos. Los diversos grados de exposición de las superficies de la planta generan gradiente térmico que ocasionan reacciones físicas y químicas, además de otras respuestas.

Variaciones de temperatura, humedad en determinados porcentajes y otros fenómenos meteorológicos generan respuestas biológicas que pueden ser favorables o desfavorables, tales como, en laderas de montaña: Temperatura atmosférica, oscilaciones térmicas, oscilación anual, oscilación diurna.

«La temperatura más adecuada para la siembra en promedio es de alrededor 24 °C, con mínimas de 18 °C y máximas de 30 °C. Temperaturas muy altas pueden provocar alteraciones fisiológicas en el árbol, el cacao debe ser cultivado bajo sombra de manera que los rayos solares no incidan directamente e incrementen su temperatura, induce a mucha floración con poca fecundación; temperaturas muy bajas afectan la rapidez de crecimiento vegetativo, el desarrollo del fruto y disminuye la floración; un descenso de nueve grados centígrados entre la tarde y la noche pueden provocar marchitez fisiológica en las mazorcas». Fuentes: Ministerio de Agricultura y Riego 2003.

Humedad Relativa

«La dilución de contaminantes en el aire, se favorece por el aumento de la humedad relativa por un proceso de remoción o deposición húmeda» (Chávez 2009).

Presión

Las variaciones de temperatura provocan variaciones de presión que mantiene en equilibrio la atmósfera. Se establece relaciones recíprocas de distribución de temperatura entre la atmósfera, los continentes y los océanos. Para su análisis se construye mapas de isolíneas de presión, viento y temperatura y sus variaciones. Un calentamiento mayor en una zona que la circundante produce movimiento convectivo del aire, este puede ser vertical, horizontal, centrípeta en la capa inferior y centrífuga en la capa superior con acumulación de aire esparcidas desde el centro, de esto resulta en el nivel inferior generación de una baja de presión contraria al nivel superior. En zonas geográficas de alta temperatura relativa se generan bajas presiones y de baja temperatura relativa altas presiones. Estos fenómenos dinámicos se conocen como oscilaciones béricas: Continental, anual sencilla; oceánica, anual sencilla litoral, doble oscilación anual, ártico.

Viento

El viento es aire en movimiento. Normalmente, el aire se mueve desde zonas de mayor a menor presión barométrica paralela a la superficie terrestre. Por lo general, el movimiento convectivo vertical es pequeño en relación con el superficial. La dirección del viento se indica desde el punto del horizonte de donde procede, varía según las horas del día y las estaciones del año. Vientos típicos son: Alisios, monzónicos y locales; en el sur de Perú las paracas. Vientos continuos pueden provocar desecamiento, muerte y caída de hojas. En zonas costeras, se suele emplear cortavientos para evitar daños en el cacao. Como cortavientos conviene usar especies arbóreas del lugar (Frutales, maderables), dispuestas alrededor de los cultivos. Un terreno para el cultivo de cacao debe ser abrigado de vientos.

Evaporación

La evaporación es el producto de un cambio de fase de líquido a vapor. En la atmósfera se debe a variaciones de la temperatura diaria y estacional, máxima al mediodía y mínima en el orto; mayor en estío, menor en invierno; en general, disminuye del ecuador hacia los polos. La humedad atmosférica se genera por evaporación del agua en mares, ríos y lagos, además de suelos y seres vivos. El vapor acuoso atmosférico se condensa cuando

llega a la saturación. Pequeños corpúsculos como iones y polvo atmosférico sirven de núcleos higroscópicos de condensación. A temperaturas bajas, el agua condensada puede formar hielo y eventualmente cristalizar.

Efectos Topográficos en la meteorología

Los valles producen microclimas propios. Las laderas de los valles durante el día absorben el calor del Sol y se calientan, por la noche lo disipan, que es absorbido por el aire fresco del valle estableciendo corrientes convectivas.

Precipitación

La precipitación es agua atmosférica líquida o sólida que cae de las nubes por acción de la fuerza de gravedad terrestre:

1. Lluvia. Agua que llega al suelo como gotas. Cuando las gotas son pequeñas se le denomina llovizna y garúa.
2. Nieve. Agua atmosférica que llega al suelo cristalizada directamente del vapor acuoso debido a temperaturas muy bajas. Presenta forma esponjosa y blanca.
3. Granizo. Constituido por trozos de hielo algo opacos, eventualmente translúcido, se originan en nubes cumulonimbos; llegan al suelo en tamaño entre dos y cinco milímetros.
4. Pedrisco. Son granizos de mayor tamaño que pueden llegar a más de 50 mm y pesar algo más de 100 g y producir daños.

La precipitación se mide en milímetros, es la principal fuente de agua de poblaciones y de los plantíos de secano, como el cacao, pero que requiere de suelos con buen drenaje natural (No prospera en humedales). Tiene efecto limpiador de la atmósfera.

Estabilidad Atmosférica

La estabilidad de la atmósfera es la capacidad de no modificar el estado del entorno, se opone al desarrollo de nubes de tipo cúmulo y cumulonimbus; depende de la dinámica y termodinámica atmosférica. Se producen diferentes niveles según la diferencia de temperatura entre estratos de aire circundantes y posibles situaciones de capacidad de dispersión de la atmósfera. Se puede categorizar como neutra o inestable. Se clasifica en base a observaciones y se fundamenta en la estabilidad cerca del suelo dependiendo de la radiación solar neta y la velocidad del viento.

Inestabilidad atmosférica

Según la estacionalidad, cuando en la atmósfera se forman grandes nubes de desarrollo vertical denominadas cumulonimbus congestus, se presenta inestabilidad vertical debido a campos de presión planos, pequeños gradientes de presión irregulares, cargada de electricidad estática que forman tormentas con descargas eléctricas, rayos, relámpagos de gran iluminación instantánea y truenos de enorme sonido.

Radiación Solar

Del 100 por ciento de la energía proveniente del cosmos, el 99,97 por ciento corresponde a radiación solar, que es la principal fuente de energía para el desarrollo de los ciclos hidrológico del agua, biológico de los seres vivos y la degradación de materiales inertes como las rocas; produce procesos físicos, químicos y biológicos. La energía solar irradiada se mide en longitud/ frecuencia de onda. Del espectro electromagnético, para plantas interesa el rango visible y el infrarrojo.

Anexo 5: Propiedades organolépticas

Clasificación de variables organolépticas.

Las variables organolépticas se suelen clasificar de las tres formas siguiente:

a) Sabores básicos

Los sabores básicos son: Ácido, amargo, astringente, dulce y salado.

- **Ácido.** Debido a la presencia de ácidos volátiles y no volátiles, es un sabor que se percibe a los lados y centro de la lengua. Relacionado con frutas cítricas y vinagre.
- **Amargo.** Sabor fuerte, debido a la fermentación incompleta. Se percibe en el posterior del paladar o en la garganta. Relacionado con café, cerveza caliente y toronja.
- **Astringente.** La astringencia es debido a la falta de fermentación de la semilla. Más que sabor es una sensación que produce salivación, causa contracción de la superficie mucosa de la boca, deja una sensación seca y áspera en la lengua, se percibe en toda la boca, lengua, garganta inclusive dientes. Se percibe sabor floral después amargo, análogo al producido por las hojas de plátano.
- **Dulce.** Sabor agradable percibido en la punta de la lengua.
- **Salado.** Produce salivación. Se percibe a los lados de la lengua.

b) Sabores específicos

Sabor a cacao, floral, frutal, nuez, jamón ahumado, etc.

- A cacao, describe el sabor típico a granos de cacao bien fermentados, tostados y libres de defectos. Referencia, barras de chocolate de cacao fermentado.
- A floral, aquellos licores con sabor y aroma a flores, casi perfumado. Referencia, flores de cítricos.
- A frutal, caracterizados por licores con sabor a fruta madura. Describe una nota de aroma a dulce agradable. Referencia fruta seca o cacao fresco almacenado.
- A nuez, describe un sabor similar a la nuez, característico del cacao Criollo y Trinitario.

c) Sabores adquiridos

- Sabor a químico/ contaminado, picante, crudo verde, fermentación defectuosa, etc.
- Moho, generalmente debido a una sobrefermentación de las almendras o a un incorrecto secado. Describe licores con sabor mohoso. Referencia: Sabor a pan viejo o musgo.
- Crudo/ verde, se presenta con aroma desagradable, generalmente debido a la falta de fermentación o falta de tostado.

Cuadro 36. Sabores y sensaciones

Dulce	Armoniza, pacífica y tonifica. Refrescante, tierra y agua	Tiene cualidades de ser fresco, pesado y grasos. Aumenta la masa de tejidos. Da satisfacción y llenura. Fortifica al paciente débil y delgado, es útil en condiciones de deficiencias. Coherentemente es una mezcla de varios sabores, por ello tiene la facultad de equilibrar a los otros sabores. Relaja los nervios
Ácido	Concentra la energía, detiene hemorragias y sudoraciones	Es pesado y caliente; mejora la digestión y tiene un efecto regulador sobre el hígado. El ácido es fuego en presentación líquida, promueve la eliminación de fluidos, disminuye los espasmos y temores, mejora el apetito y la digestión.
Salado	Da peso, suaviza masas y bultos	Tiene propiedades pesadas y calientes. Aumenta el fuego digestivo. Ayuda al cuerpo a eliminar sus desechos, purga los intestinos y tiene un efecto laxante. Reduce el embotamiento estomacal. Incrementa la complacencia y da ganas de vivir. Estimula el apetito.
Amargo	Quema gasa, purga el calor	Tiene un efecto descendente sobre la energía, ahoga el calor y refresca. Sabor usado para apagar el fuego y quemar la grasa. Reduce flema, catarros, colesterol. Es liviano, refrescante y seco.
Astringente	Reseca, refrigera y concentra la energía	Astringencia, arruga la boca y frunce la lengua, por lo que a nivel emocional induce a la introversión; es antiafrodisíaco. Su efecto térmico es refrescante y su efecto posdigestivo es pungente.
Pungente picante	Promueve circulación, dispersa y expande	Combina fuego y aire. Efecto calórico, carminativo (Disminuye grasas) y diaforético (Promueve la transpiración). Liviano, término y seco.

FUENTE: Barrio Healey (2010)

«En los tres perfiles de sabores individualmente se califica la degustación del licor de cacao usando una escala internacional de 0 a 10 puntos» (Braudeau 1970).

Escala Criterio:

0 = Ausente

1 a 2 = Intensidad baja

3 a 5 = Intensidad media

6 a 8 = Intensidad alta

9 a 10 = Intensidad muy alta o fuerte

Propiedad organoléptica de textura

La propiedad organoléptica «Es sensorial y una manifestación funcional de la estructura, mecánica y propiedades superficiales del alimento detectadas a través de los sentidos de la visión, oído, tacto y el sabor». (Dan *et al.* 2007). Esta definición conlleva a conceptos importantes como:

- Textura propiedad sensorial, solo detectable al ingerir alimentos a la boca (Comer), el método instrumental cuantifica ciertos parámetros físicos que se interpretan como percepción sensorial.
- Es detectada por varios sentidos, los más importantes son el sentido del tacto y presión.

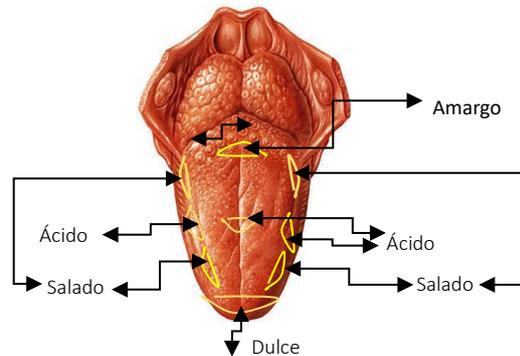


Figura. 33 papilas lingüales: Distribución de sabores en la lengua

Relaciones de definiciones de propiedades relacionadas con la textura.

Cuadro 37. Propiedades organolépticas de la textura

Definiciones	Definición Física	Definición Sensorial
Propiedades Primarias		
Dureza	Fuerza necesaria para atribuir una deformación causada	Fuerza requerida para comprimir una sustancia entre los dientes molares (En el caso de sólidos) o entre la lengua y el paladar (En el caso de semisólidos).
Cohesividad	Grado en el cual un material puede ser deformado antes de que se rompa.	Grado en el cual una sustancia se comprime entre los dientes antes de romperse.
Viscosidad	Rapidez de flujo por unidad de fuerza.	La fuerza requerida para dibujar un líquido con una cuchara sobre la lengua.
Elasticidad	Tasa a la cual un material deformado vuelve a su condición no deformada después de que la fuerza deformante se retira.	El grado en que un producto vuelve a su forma original. OND = CE se ha co- prensados entre los dientes.
Adhesividad	El trabajo necesario para superar las fuerzas atractivas entre la superficie del alimento y la superficie de los otros materiales con los que el alimento entra en contacto.	Fuerza requerida para remover el material que se adhiere a la boca (Generar el paladar) durante el proceso normal de comer.
Propiedades Secundarias		
Fracturabilidad	Fuerza con la cual se fractura un producto con alto grado de dureza y bajo grado de cohesividad.	Fuerza con la cual una muestra se desmenuza, agrieta o destroza.
Masticación	Energía requerida para masticar un alimento sólido a un estado preparado para ingerir: Un producto duro, cohesivo y elástico.	Tiempo requerido para masticar la muestra, a rapidez de fuerza de aplicación constante, para reducirla a una consistencia adecuada para ser ingerido.
Gomosidad	Energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo a ingerir: Producto de bajo grado de dureza y alto grado de cohesividad.	Densidad que persiste a lo largo de la masticación, energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para ingerir.

FUENTE: Dan *et al.* (2007)

Valoración de las propiedades organolépticas del cacao de Llaylla

La valoración de las propiedades organolépticas del cacao producido en Llaylla fue realizada por catadores, quienes determinaron que el cacao es de buena intensidad.

Expertos de DEVIDA: Ing. Gilberto Yupanqui, Br. Deysi Granados Phala (Industrias alimentarias)

Conocedores, dueños y trabajadores de cacaotales de Llaylla: Luisa, Gloria, Raquel, Roberta, Sonia, Nicanor, Pablo, Leonel, Félix, Domingo, Máximo, Juan, Luis y otros.

Anexo 6: Modelos mecánicos

Propiedades mecánicas más relevantes¹⁶

Propiedades reológicas: Se clasifican como cualitativa y cuantitativa.

Propiedades cuantitativas

Deformación unitaria o relativa. Es el cambio de la configuración de un cuerpo respecto a su configuración original, es una cantidad adimensional (m/m).

Tensión. Es un esfuerzo por tensión, fuerza perpendicular y saliente ejercida sobre una determinada superficie (N/mm^2).

Resistencia. Es el esfuerzo por presión, tensión o cortadura máximo que un material es capaz de soportar (N/mm^2).

Límite elástico. Es la tensión máxima que un material puede soportar antes que empiece la deformación permanente (N/mm^2).

Límite de fluencia. Es la primera tensión de un material, menor que la máxima alcanzable, para la cual se produce un incremento de la deformación unitaria sin incremento significativo de tensión (N/mm^2); se relaciona con la fractura de la microestructura del material.

Punto de rotura. Es el punto de la curva fuerza- deformación o tensión- deformación unitaria para el que se produce una fractura en la macroestructura del cuerpo (N, m) o (N/mm^2 , m/m).

Deformación permanente o deformación plástica. Cuando el cuerpo no regresa a su configuración original una vez cesada la acción de deformación (m/m).

Módulo de Young. Es la razón del esfuerzo por tensión o presión entre la deformación unitaria por debajo del límite elástico (N/mm^2 : m/m), para cuerpos inertes. La elasticidad tal y como se define según la ley de Hooke no se da en materiales biológicos. Por

¹⁶ Adaptación del artículo Propiedades mecánicas y calidad de frutas. Definiciones y medidas instrumentales de Barreiro P. - Ruiz-Altisent M. (1996).

convención, para mantener la pureza del término módulo de elasticidad se suele usar el término módulo de deformabilidad.

Grado de elasticidad. Es la relación entre la deformación elástica y la suma de las deformaciones elásticas y plásticas. Se determina sometiendo un material a una carga y posterior a una descarga total (m/m).

Grado de plasticidad. Es la relación entre la deformación plástica y la suma de las deformaciones elástica y plástica. Se determina sometiendo un material a una carga y posterior descarga hasta la total eliminación de esta (Cantidad adimensional, m/m). Es una cantidad complementaria al grado de elasticidad.

Tenacidad. Es el trabajo necesario para causar la rotura de un material (J).

Deformabilidad (Stiffness). Se define por la pendiente de la primera porción lineal de la curva fuerza- deformación (N/mm). La relación tensión- deformación unitaria en la región más o menos elástica de la curva se asocia al módulo de Young.

Presión de turgencia (N/mm²). También denominada turgor o turgencia, mide el estado de hidratación de un material biológico.

Propiedades cualitativas

Textura. Término genérico de calidad, describe la percepción en la boca de las características que tienen que ver con el sentido del tacto, propiedades cinestésicas o manifestación de las propiedades reológicas.

Elasticidad. Estabilidad y fortaleza para mantener su condición estable. Es la capacidad de un material de sufrir deformación y recuperarse.

Plasticidad. Es la capacidad de un material de sufrir deformación no recuperable.

Firmeza. Consistencia de los frutos, se determina como la fuerza necesaria para deformar la superficie de un fruto con el pulgar. Es un atributo textural en frutas y hortalizas. Se utiliza en relación con el establecimiento del momento óptimo de la recolección a la evaluación de la calidad durante el almacenamiento, a la comercialización en fresco o al procesado inicial de los productos. La firmeza se determina a través de distintas cantidades, como la resistencia a rotura, el módulo de elasticidad, la no- deformabilidad o cualquier otra cantidad proporcional a las anteriores.

Caracterización reológica de las frutas

«De los atributos reológicos se tiene la textura y la firmeza de los frutos, las cuales están influenciadas por la estructura, la fisiología y las características bioquímicas de cada vegetal. Los cambios sufridos por los procesos normales de la maduración hacen compleja la evaluación; por lo tanto, se deben hacer estimaciones durante toda la etapa de vida útil o postcosecha del material biológico, para conocer con certeza su comportamiento» (Abbott y Harker, 2005; Márquez, 2008).

«El deseo de comprender mejor el comportamiento de los materiales reales por medio de modelos idealizados sencillos de manejar, llevó a imaginar los cuerpos viscoelásticos, dotado de propiedades elásticas y propiedades viscosas, que se manifiestan de diferentes maneras, según los modelos de Kelvin, Maxwell y Burger» (Levi 1975; Osorio; 2004; Márquez 2008).

Modelos mecánicos

Modelo mecánico de Maxwell. «Relaciona un resorte equivalente al sólido hookoniano y un fluido newtoniano» (Mohsenin 1986). Modelo de Maxwell de sólidos viscoelásticos (Figura 34).

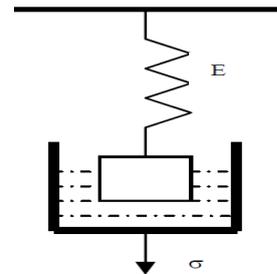


Figura 34. Modelo mecánico de Maxwell para sólidos viscoelásticos
FUENTE: Padilla (2003)

Modelo mecánico de Kelvin. «El resorte y el amortiguador se conectan en paralelo, el esfuerzo que se impone al elemento es la suma de los esfuerzos, y la deformación es la misma en cada componente» (Osorio 2004). Modelo de Kelvin (Figura 35).

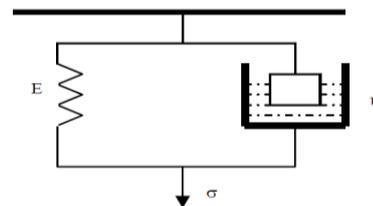


Figura 35. Modelo de Kelvin
FUENTE: Padilla (2003)

Modelo mecánico de Burger. «Compuesto de un resorte en serie con un amortiguador en paralelo con el resorte y en serie con otro amortiguador» (Mohsenin 1986). Modelo de Burger (Figura 36).

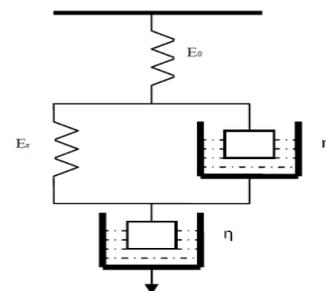


Figura 36. Modelo de Burger
FUENTE: Padilla (2003)

Elasticidad de los frutos y semillas

En general los cuerpos sólidos son deformables. Si recuperan su configuración original después de cesar el esfuerzo deformación se dice que son elásticos. Los

seres vivos también están sujetos a deformación, en particular los vegetales, v.g., frutos y semillas. Las relaciones esfuerzos– deformación de las semillas, utilizan modelos adecuados y módulos proporcionales de deformación.

Se encuentran dos tipos de relación esfuerzo– deformación: isotrópico y distorsional.

Como en la naturaleza normalmente se presenta el esfuerzo– deformación de manera mixta, se determina la ley de Hooke de forma más general, en función del esfuerzo (σ), la deformación (ε), el módulo de Young (Y) y el módulo de Poisson (μ).

La ley de Hooke generalizada se expresa de forma tensorial como:

$$Y\varepsilon_x = \sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)$$

$$Y\varepsilon_y = \sigma_y - \mu(\sigma_z + \sigma_x)$$

$$Y\varepsilon_z = \sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)$$

«El límite elástico, se considera cómo el punto de inflexión del esfuerzo que el material es capaz de resistir, antes de que ocurra una deformación no lineal. Para materiales biológicos, se considera convencional el siguiente criterio: El límite elástico se toma como un porcentaje del Módulo de Young» (Mohsenin 1986).

Anexo 7: Proceso de tostado. Obtención del licor de cacao

El proceso de tostado contribuye a consolidar el aroma característico del cacao. Luego del tostado, se separa la testa del cotiledón y se descascara y se tritura, el producto obtenido es el licor de cacao. En el 2007, la trituration se realizó en un molino manual por tres veces consecutivas (Figura 37). Alternativamente, se trituró en un procesador electrónico de alimentos, el resultado fue análogo al proceso mecánico, pero se descartó a fin de minimizar costos.

El licor de cacao se dispuso en envases adecuados, bolsas de plástico preestablecidas (Figura 38) y se identificó con una etiqueta con los siguientes datos: Fecha de elaboración, código de muestra, temperatura y tiempo de tostado.

Se dejó enfriar y se almacenó en un conservador hasta la fase de evaluación sensorial organoléptica. Se encontró que, se desarrolló un buen licor de cacao, de buena consistencia, aroma (Fragancia) propia del cacao, de sabor básico amargo afrutado, con un matiz de astringencia.

La muestra del 2019 se trituró con una máquina molidora industrial, adquirida por el Consejo de Llaylla (Figura 39).



Figura 37. Procesamiento y elaboración de licor de cacao. Fotografía en Estación Experimental



Figura 39 Máquina molidora de cacao

Figura 38 Licor de cacao embolsado

Productos primarios obtenidos del cacao fermentado

Nibs de cacao

Trozos de granos de cacao de sabor amargo, Es un insumo de la chocolatería.

Masa o licor de cacao

«El licor de cacao se produce por molienda de los granos de cacao sin cáscara. La calidad depende de los tipos de granos utilizados. A menudo, los fabricantes mezclan diversos tipos de granos para lograr otra calidad, aroma y sabor que ellos requieran. Eventualmente, el producto se puede someter a un nuevo tostado y alcalinización para alterar su color y sabor y por ende su composición química» (Food-Info.net 2017).

Manteca de cacao

«La manteca de cacao se extrae del grano de varias formas: Manteca pura a partir de la masa de cacao con una prensa horizontal; granos con cáscaras sometidos a presión mediante prensas continuas tipo Expeller, su calidad es inferior a la estándar; manteca pura por presión horizontal y eventualmente deodorizada; pasta residual del prensado con el Expeller; extracción por solvente se puede extraer manteca para refinar.

La manteca de cacao obtenida por presión de granos de cacao sin cáscara presenta las propiedades: Fácil fracturamiento por debajo de 20 °C, punto de fusión cercano a 35 °C, suavizando su textura alrededor de los 30 – 32 °C.» (Food-Info.net 2017). La experiencia indica se fractura fácilmente a temperaturas mayores 30 °C.

Polvo de cacao

«Polvo de cacao es obtenido a partir de la masa de cacao con cierto tipo de prensas, son utilizadas para remover parte del contenido graso y obtener finalmente, un material sólido denominado pasta de cacao prensada. Este producto posteriormente triturado, da polvo de cacao. El proceso se puede alterar para producir polvos de cacao de diversas composiciones y con diferentes niveles de grasa» (Food-Info.net 2017). Procesando los nibs de cacao se obtienen diferentes productos. «Los granos que se rompen en fragmentos se denominan nibs de cacao; los nibs y los granos se tuestan a temperaturas adecuadas (Es todo un arte), luego se pasa al proceso de molienda obteniendo el primer subproducto el licor de cacao o pasta de cacao, el cual es la materia prima de todos los derivados del cacao. El licor de cacao se prensa a presiones mayores de 100 000 N/cm², se obtiene dos subproductos: Manteca de cacao y torta de cacao y de esta polvo de cacao». (Freire 2010).

Anexo 8: Medida de dimensiones axiales del grano de cacao de Llaylla

Determinación de dimensiones axiales: Diámetro medio aritmético (D_a) y diámetro medio geométrico (D_g).

Se trabaja con muestras de 160 granos de cacao secos y sanos tomados al azar. En el Cuadro 39, se presenta los datos y cálculo de las desviaciones estándar del 2007 y 2019.

Cuadro 38. Radios y dimensiones axiales (mm.) del grano. Muestra 2007

Horizontal			Perfil		
$R_{Hch1} = 19,5$ mm	$R_{HM1} = 19,5$ mm	$R_{HG1} = 22,5$ mm	$R_{Pch1} = 27,0$ mm	$R_{PM1} = 27$ mm	$R_{PG1} = 39,5$ mm
$R_{Hch2} = 19,0$ mm	$R_{HM2} = 22,5$ mm	$R_{HG2} = 30,5$ mm	$R_{Pch2} = 29,5$ mm	$R_{PM2} = 43$ mm	$R_{PG2} = 43,0$ mm
$r_{Hch1} = 6,5$ mm	$r_{HM1} = 8,0$ mm	$r_{HG1} = 8,5$ mm	$r_{Pch2} = 4,5$ mm	$r_{PM2} = 5$ mm	$r_{PG2} = 6,0$ mm

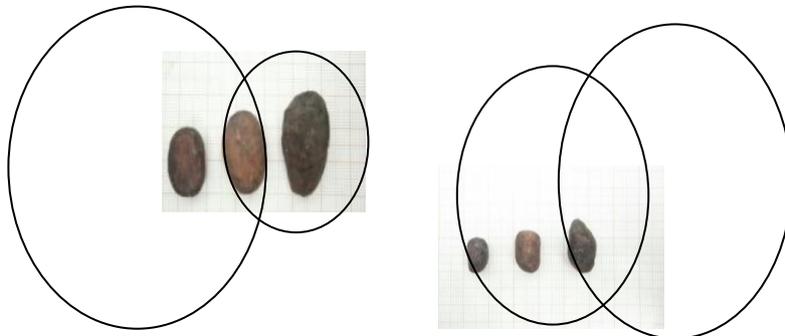


Tabla 39. Dimensiones axiales de 108 granos: Tratamiento estadístico

2019	CHICO: hasta 25 cm de largo			MEDIANO hasta 30 cm de largo			GRANDE mayor de 30 cm de largo			
	LONGITUD	ANCHO	ESPESOR	LONGITUD	ANCHO	ESPESOR	LONGITUD	ANCHO	ESPESOR	
1	20,60	9,82	8,62	25,16	11,10	8,50	30,38	13,32	7,38	
2	21,28	10,10	9,10	25,20	11,14	8,68	30,45	13,64	7,40	
3	21,82	10,50	9,16	25,40	11,15	8,82	30,50	13,74	8,26	
4	21,92	10,80	9,20	25,60	12,34	8,90	30,65	13,75	8,62	
5	22,00	11,20	9,24	25,82	12,40	9,10	30,70	13,92	8,80	
6	22,06	11,34	9,30	25,90	12,42	9,16	30,76	14,10	8,88	
7	22,10	11,40	9,32	25,90	12,48	9,22	30,80	14,18	9,08	
8	22,44	11,48	9,40	26,42	13,40	9,32	30,90	14,28	9,10	
9	22,92	11,60	9,40	26,54	13,40	9,32	31,94	14,42	9,20	
10	23,26	11,70	9,60	26,82	13,50	9,40	31,38	14,60	9,22	
11	23,28	11,70	9,60	27,10	13,55	9,54	31,50	14,92	9,80	
12	23,38	11,76	9,60	27,10	13,60	9,58	31,54	15,01	9,88	
13	23,40	11,80	9,60	27,30	13,60	9,62	31,55	15,12	9,90	
14	23,50	11,80	9,60	27,50	13,72	9,80	31,60	15,22	9,90	
15	23,52	11,84	9,62	27,60	13,78	9,80	31,80	15,30	9,98	
16	23,52	12,02	9,70	27,62	13,90	9,90	32,50	15,50	9,98	
17	23,54	12,06	9,74	27,62	13,90	10,00	32,80	15,62	10,04	
18	23,60	12,18	9,74	27,86	14,10	10,10	32,46	16,12	10,10	
19	23,62	12,28	9,88	27,88	14,10	10,10	32,48	16,28	10,16	
20	23,70	12,30	9,90	27,90	14,10	10,18	32,52	16,32	10,18	
21	23,70	12,30	9,98	27,96	14,10	10,20	32,75	16,46	10,30	
22	23,80	12,38	10,10	28,08	14,20	10,20	32,92	16,50	10,32	
23	23,82	12,40	10,14	28,10	14,30	10,36	33,25	16,68	10,42	
24	23,86	12,50	10,20	28,24	14,52	10,40	33,34	17,86	11,04	
25	23,90	12,58	10,24	28,32	14,60	10,40	33,50	18,28	11,05	
26	23,92	12,72	10,42	28,50	14,64	10,40	Suma	794,97	362,86	238,99
27	23,94	12,82	10,44	28,80	14,90	10,42	PROM.	31,80	15,12	9,56
28	23,96	12,94	10,46	29,10	14,90	10,42	$\sigma=1,14$	$\sigma=1,3$	$\sigma=0,93$	
29	24,95	13,18	10,50	29,10	14,90	10,60				
30	24,04	13,60	10,60	29,20	14,92	10,60				
31	24,42	13,64	10,60	29,20	15,02	10,64				
32	24,48	13,80	10,90	29,40	15,10	10,74				
33	24,48	13,86	11,08	29,46	15,20	10,74				
34	24,52	13,96	11,15	29,50	15,52	10,80				
35	24,54	14,10	11,30	29,54	15,86	10,80				
36	24,60	14,62	11,40	29,74	16,10	10,80				
37	24,62	14,62	11,54	29,78	16,22	10,90				
38	24,66	14,72	11,60	29,80	16,40	10,90				
39	24,80	15,12	11,62	29,80	17,20	10,94				
40	23,95	15,20	11,80	29,80	17,20	11,18				
41	25,60	15,55	11,82	29,92	17,62	11,80				
42	24,92	15,60	9,4	Suma	1145,58	585,10	413,28			
Suma	966,02	531,89	417,21	PROM.	27,94	14,27	10,08			
PROM.	23,56	12,66	10,18	$\sigma=1,44$	$\sigma=1,53$	$\sigma=1,14$				
	$\sigma=1,05$	$\sigma=2,53$	$\sigma=1,03$							

Anexo 9: Encuesta a agricultores y productores de cacao de Llaylla, Satipo - perfil del agricultor peruano y problemática del cacao

Entrevistas 2012

Entrevistas in situ, en sus cacaotales, a propietarios y manejadores de parcelas de una a cuatro hectáreas, con una antigüedad de entre tres y veinte años.

1. Entrevistado: Félix Ortiz Chang. Nombre de parcela: Rocío. Extensión del cacaotal: dos hectáreas. Tenencia de parcela: Propietario. Manejo de plantación: Personal. Antigüedad de cacaotal: Tres años. Variedad de cacao que maneja: Nativo, Forastero, híbrido. ¿Cómo obtuvo el cacao? Comprado en mazorca. Haga historia, lo más antiguo o ancestral que conozca: Siempre hubo en el monte, pero ahora está depredado. Tamaño del árbol: Menor de seis metros. Distancia entre cada planta: Tres metros por tres metros. Periodicidad de producción: Todo el año, mayor en mayo y junio. Tipo de suelo: No conoce. ¿Ha mandado estudiar el suelo en algún laboratorio? Sí, pero los resultados no los tiene a la mano. ¿Requiere de abono? Sí. ¿Cada cuánto tiempo abona? Cada año. ¿Qué tipo de abono utiliza? Roca fosfórica más guano de la isla.
2. Entrevistado: Máximo Chang Morales. Nombre de parcela: Sta. Isabel n° 1. Extensión del cacaotal: Una hectárea. Tenencia de parcela: Propietario. Manejo de la plantación: Personal. Antigüedad del cacaotal: Tres años. Variedad de cacao que maneja: Nativo, injerto CC51. ¿Cómo lo obtuvo? De su sobrino Mingo. Haga historia, lo más antiguo o ancestral que conozca: Salido del monte. Tamaño del árbol: Menor de seis metros. distancia entre cada planta: Antes cuatro por cuatro, ahora tres metros por tres metros. Periodicidad de producción: Quincenal. Tipo de suelo: No conoce. ¿Ha mandado estudiar el suelo en algún laboratorio? No. ¿Requiere de abono? Sí. ¿Cada cuánto tiempo abona? Cada cuatro meses. ¿Qué tipo de abono utiliza? Orgánico (hecho en la parcela y comprado).

3. Entrevistada: Sonia Solano. Nombre de la parcela: Cochapampa. Extensión del cacaotal: Una hectárea. Tenencia de parcela: Propietaria. Manejo de la plantación: Personal, es pionera. Antigüedad del cacaotal: Más de diez años. Variedad de cacao que produce: Nativo. ¿Cómo lo obtuvo? Del vivero comunal con el municipio. Haga historia, lo más antiguo o ancestral que conozca: Siempre hubo en el monte. Tamaño del árbol: Menor de seis metros. Distancia entre cada planta: Tres metros por tres metros. Periodicidad de producción: Quincenal. Tipo de suelo: Arcilloso ¿Ha mandado estudiar el suelo en algún laboratorio? No. ¿Requiere de abono? Sí. ¿Cada cuánto tiempo abona? Cada seis meses. ¿Qué tipo de abono utiliza? Aserrín más guano de la isla.

4. Entrevistada: Gloria Pacheco. Nombre de la parcela: Gloria. Extensión del cacaotal: Una hectárea. Tenencia de la parcela: Propietaria. Manejo de la plantación: Administración familiar. Antigüedad del cacaotal: Más de diez años. Variedad de cacao que produce: Nativo, Criollo y Forastero. ¿Cómo lo obtuvo? Adquisición de semillas y por vivero comunal con municipio. Haga historia, lo más antiguo que conozca: Parece ser ancestral. Tamaño del árbol: Menor de seis metros. Distancia entre cada planta: Tres metros por tres metros. Periodicidad de producción: Quincenal. Tipo de suelo: Arcilloso. ¿Ha mandado estudiar el suelo en algún laboratorio? No. ¿Requiere de abono? Sí. ¿Cada cuánto tiempo abona? Cada seis meses. ¿Qué tipo de abono utiliza? Aserrín más guano de la isla.

5. Entrevistado: Domingo Abel Pachacamac Apolinario. Nombre de la parcela: Fundo Esmeralda. Extensión del cacaotal: Cuatro hectáreas. Tenencia de la parcela: Propietario, pionero. Manejo de la plantación: Personal. Antigüedad del cacaotal: Menor de veinte años. Variedad de cacao que produce: Nativo, Forastero, híbrido. ¿Cómo lo obtuvo? De la selva virgen cerca de Ucayali. Haga historia, lo más antiguo o ancestral que conozca: Planta silvestre antiquísima. Tamaño del árbol: Menor de seis metros. Distancia entre cada planta: Tres metros por tres metros. Periodicidad de producción: Quincenal. Tipo de suelo: No conoce. ¿Ha mandado estudiar el suelo en algún laboratorio? No. ¿Requiere de abono? Sí. ¿Cada cuánto tiempo abona? Sin información. ¿Qué tipo de abono utiliza? Orgánico elaborado en la parcela y comprado.

6. Entrevistado: Juan Llanco. Nombre de parcela: Fundo Santa Teresita. Extensión del cacaotal: Una y media hectárea. Tenencia de la parcela: Propietario. Manejo de plantación: Familiar. Antigüedad del cacaotal: Diez años. Variedad de cacao que produce: Nativo. ¿Cómo lo obtuvo? Del pueblo de Sonomoro (Comunidad indígena), San Martín de Pangoa. Haga historia, lo más antiguo o ancestral que conozca: Desde siempre. Tamaño del árbol: Menor de cuatro metros. Distancia entre cada planta: Tres metros por cuatro metros. Periodicidad de producción: Mensual. Tipo de suelo: No conoce. ¿Ha mandado estudiar el suelo en algún laboratorio? No. ¿Requiere de abono? Sí. ¿Cada cuánto tiempo los abona? Cada seis meses. ¿Qué tipo de abono utiliza? Guano de la isla más urea.

Resumen de las respuestas a las preguntas de los entrevistados:

El manejo de los cacaotales es fundamentalmente personal y familiar.

Manejan cacao de variedades: Nativo, Criollo, Forastero e injertos.

Las semillas las obtuvieron del campo en la selva virgen, últimamente compran mancomunadamente con el municipio.

Recuerdan que históricamente el cacao siempre ha existido en el monte real, es ancestral de su zona, algunos lo han traído de la selva de Ucayali.

Manifiestan que les preocupa que el monte esté siendo depredado.

El tamaño promedio de los árboles lo manejan menores a seis metros, pero pueden crecer más.

La distancia de siembra entre plantas es de tres metros por tres metros.

La periodicidad de producción en general es casi todo el año, cosecha cada mes o dos meses.

Mencionan que no conocen el tipo de suelo de su cacaotal, salvo dos excepciones y en general no han hecho estudios de suelo de sus chacras.

En promedio abonan sus tierras cada año utilizando diferentes tipos de productos como roca fosfórica, guano de la isla, urea, material orgánico elaborado en la parcela.

En 1985 iniciaron un intento de asociarse en cooperativa, pero hasta ahora no lo consolidan.

Perfil del agricultor y problemática del cacao

Cuadro 40. Perfil del agricultor peruano

Agricultor organizado	Organizado en cooperativas u otras formas de organización asociativa de carácter empresarial
	Produce cacao en grano de alta calidad, tanto convencional como orgánico
	Vende cacao a la cooperativa u otras formas de organización empresarial a la cual está asociado, la misma que procesa el insumo destinado al mercado externo en grano o derivado
	Diversifica sus cultivos utilizando la variedad Criollo (De buena calidad) con híbridos (De alta productividad)
	Recibe asistencia técnica sobre el manejo agronómico del cultivo y el proceso post cosecha
	Emplea nivel tecnológico medio
Agricultor no organizado	Producción destinada principalmente al mercado interno
	Agricultores minifundistas sin capacidad de asociarse
	Utiliza mayormente la variedad Criollo, que tienen bajo rendimiento
	No realiza un adecuado manejo agronómico del cultivo ni de postcosecha
	Emplea baja tecnología
	Bajo poder de negociación frente al acopiador

FUENTE: MINCETUR (2016)- Perfil del mercado y competitividad del cacao

Cuadro 41. Problemática del cacao

Deterioro de la calidad del grano	Débil organización de los productores de cacao
	Inadecuado manejo técnico del cultivo en los agricultores de subsistencia
	Deficiente tratamiento en el proceso postcosecha
	Materiales genéticos de baja productividad y alta susceptibilidad a enfermedades y plagas
	Limitado apoyo de las empresas agroindustriales en la etapa de producción de la materia prima
	Falta de financiamiento para el acopio y comercialización
	Alto nivel para aumentar el valor del producto de intermediación en el acopio del cacao
	Limitados servicios de capacitación e investigación
	Escasa inversión en maquinaria y equipo

FUENTE: MINCETUR (2016). Perfil del mercado y competitividad del cacao