

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

**“EFECTO DEL MATERIAL DEL FERMENTADOR, EN EL
GRADO DE FERMENTACIÓN DE GRANOS DE CACAO
(*Theobroma cacao* L, Clon: CGN - 51)”**

PRESENTADO POR:

Bach. NILBER VÍLCHEZ VARGAS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

TARAPOTO - PERÚ

2016

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN -
TARAPOTO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



TESIS

**EFFECTO DEL MATERIAL DEL FERMENTADOR, EN EL GRADO
DE FERMENTACIÓN DE GRANOS DE CACAO (*Theobroma
cacao* L, Clon: CCN - 51)**

PRESENTADO POR:

Bach. NILBER VÍLCHEZ VARGAS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

TARAPOTO – PERÚ

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN -

TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

TESIS

“EFECTO DEL MATERIAL DEL FERMENTADOR, EN EL
GRADO DE FERMENTACIÓN DE GRANOS DE CACAO

(*Theobroma cacao* L, Clon: CCN - 51)”

PRESENTADO POR:

Bach. NILBER VÍLCHEZ VARGAS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

COMITÉ DE TESIS:


Dr. Euler Navarro Pinedo

PRESIDENTE


Ing. Ángel Chávez Salazar

SECRETARIO


Ing. Pablo Walther Paucar Lozano

MIEMBRO


Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada

ASESOR

TARAPOTO – PERÚ

2016



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

En la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, en los Ambientes de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial – Ciudad Universitaria, a las 19:00 horas del día Viernes Dieciséis de Diciembre del Dos Mil Dieciséis, se reunió el Jurado integrado por:

Presidente : Ing. Dr. EULER NAVARRO PINEDO
Secretario : Ing. ÁNGEL CHÁVEZ SALAZAR.
Miembro : Ing. PABLO WALTHER PAUCAR LOZANO.
Asesor : Ing. Dr. OSCAR WILFREDO MENDIETA TABOADA

Para evaluar la Tesis: “EFECTO DEL MATERIAL DEL FERMENTADOR EN EL GRADO DE FERMENTACIÓN DE GRANO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) CLON CCN-51”, presentado por el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **Nilber Vilchez Vargas**, los Señores Miembros del Jurado, después de haber atendido la sustentación y evaluada las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica; luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo de BUENO, en fé de lo cual se firmó el presente acta, siendo las 21:00 horas del mismo día, con lo que se dió por terminado el acto de sustentación.

.....
Ing. Dr. Euler Navarro Pinedo
PRESIDENTE

.....
Ing. Angel Chávez Salazar
SECRETARIO

.....
Ing. Pablo Walther Paucar Lozano
MIEMBRO

.....
Ing. Dr. Oscar Wilfredo Mendieta Taboada
ASESOR

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Vilchez Vargas Nilber		
Código de alumno :	092564	Teléfono:	950411433
Correo electrónico :	Vilchez1175@gmail.com	DNI:	27721288

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ingeniería Agroindustrial
Escuela Profesional de:	Ingeniería Agroindustrial

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título :	“EFECTO DEL MATERIAL DEL FERMENTADOR EN EL GRADO DE FERMENTACIÓN DE GRANOS DE CACA O (Theobroma Cacao L.) Clon: CCN-51”
Año de publicación:	2016

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".



Firma del Autor

8. Para ser llenado por la Biblioteca Central

Fecha de recepción del documento por el Sistema de Bibliotecas:

01 / 12 / 2017




Prof. Alicia Mercedes Grández Chávez
JEFE DE LA UNIDAD DE BIBLIOTECA CENTRAL

Firma de Unidad de Biblioteca

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional en la consolidación del presente trabajo de investigación y la motivación permanente que me brindaron para el logro de mis metas profesionales.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi asesor de tesis, por compartir su experiencia en el campo de la ingeniería agroindustrial e investigación científica, las mismas que sirvieron para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Páginas
I. INTRODUCCIÓN	18
II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	20
2.1. Origen y distribución del cacao	20
2.2. La planta de cacao	20
2.3. Tipos genéticos de cacao	21
2.4. Composición fisicoquímica	23
2.5. Parámetros de rendimiento	24
2.5.1 Número de frutos por árbol	25
2.5.2 Peso del fruto	25
2.5.3 Índice de mazorca	26
2.5.4 Índice de semilla	26
2.5.5 Índice de rendimiento	27
2.6. Cosecha y beneficio del cacao	27
2.6.1 Cosecha	27
2.6.2. Beneficio de cacao	28
2.7. Control de calidad	33
2.7.1. Calidad física	33
2.7.2 Medida objetiva del color por medio de la colorimetría triestímulo.	34
2.8. Materiales no convencionales utilizados en la construcción de fermentadores de cacao en el presente trabajo	37
2.9 Métodos de fermentación	46
III. MATERIALES Y MÉTODOS	47
3.1 Lugar de ejecución	47
3.2 Materia Prima	47
3.3. Materiales, equipos y reactivos	48
3.3.1. Materiales	48
3.3.2 Métodos	50
3.4 Metodología experimental	52
3.5. Diseño experimental	55
3.6 Análisis estadístico	55
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57

4.1 Espesor del aislante (tecnopor)	57
4.1 Obtención de granos fresco de cacao después de la cosecha	59
4.1.1 Análisis químico proximal	59
4.1.2 Sólidos solubles totales (SST)	60
4.1.3 pH.....	61
4.1.4 Acidez Titulable Total	62
4.2 Evaluación durante la fermentación de los granos de cacao	63
4.2.1 Temperatura.....	63
4.2.1 Acidez Titulable Total y pH	70
4.3. Evaluación de los granos de cacao en estado seco.....	72
4.3.1 Color de los granos de cacao	72
4.3.2 Índice de Fermentación	74
4.3.3. Análisis químico proximal	77
V. CONCLUSIONES	81
VI. RECOMENDACIONES	83
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1 Composición fisicoquímica del cotiledón de tres variedades de cacao.	24
Tabla 2 Composición fisicoquímica del grano y licor de cacao.	24
Tabla 3 Determinación del espesor del aislante (Tecnopor).	58
Tabla 4 Composición química proximal de los granos de cacao CCN-51 en estado fresco reportado a base seca.	59
Tabla 5 Caracterización de la materia prima del cacao fresco CCN-51.	62
Tabla 6 Temperaturas registradas durante la fermentación de cacao en cajones de Acero, Aluminio, Madera y Plástico.	64
Tabla 7 pH y acidez titulable (% ácido cítrico) de los granos secos de cacao CCN-51 en los diferentes tipos de material del fermentador.	70
Tabla 8 Medición de Color de los granos de cacao fermentado y seco en cajones de Acero, Aluminio, Madera y Plástico.	73
Tabla 9 Porcentaje de fermentación (índice de fermentación) después del secado de cacao CCN-51, según tipo de material del fermentador.	75
Tabla 10 Composición química de los granos de cacao CCN-51 secos.	78

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Mazorcas maduras de cacao CCN-51	23
Figura 2. Espacio de color L*, a*, b*	36
Figura 3. Flujograma de operaciones del proceso post – cosecha o beneficio del cacao CCN-51 (Theobroma cacao L.)	55
Figura 4. Variación de la temperatura de masa de cacao y ambiente durante el proceso de fermentado de las muestras de cacao en diferentes tipos de material de fermentador.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS

AISI	:	American Iron y Steel Institute
ANSI	:	American National Standard Institute
AOAC	:	Association of Official Analytical Chemists
ASTM	:	American Society for Testing Materials
CCN	:	Colección Castro Naranjal
CENDI	:	Centro Nacional para el Desarrollo del Acero Inoxidable
CIE	:	Commission Internationale for l'Eclairage
ELP	:	Esfuerzo en Límite de Proporcionalidad
FSC	:	Forest Stewardship Council
GRSM	:	Gobierno Regional de San Martín
ICS	:	Imperial College Selection
ICT	:	Instituto de Cultivos Tropicales
IDAE	:	Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía
IIAP	:	Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana
IMC	:	Iquitos Mixed Cabacillo
INDECOPI	:	Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual
IPGRI	:	International Plant Genetic Resources Institute)
ISO	:	International Organization for Standardization
MAE	:	Ministerio de Ambiente del Ecuador
MOE	:	Módulo de Elasticidad
MOR	:	Módulo de Ruptura
NBR	:	Caucho nitrilo – butadieno
NTP	:	Norma Técnica Peruana
PEAD	:	Polietileno de Alta Densidad
PEAM	:	Proyecto Especial Alto Mayo
PEBD	:	Polietileno de Baja Densidad
PEMEX	:	Petróleos Mexicanos
PET	:	Polietileno Tereftalato
PF	:	Resinas de fenol - formaldeido
pH	:	Potencial de Hidrógeno
PP	:	Polipropileno
PREDESUR	:	Programa de desarrollo Regional del Sur del Ecuador
PS	:	Poliestireno
PU	:	Poliuretano
PVC	:	Policloruro de Vinilo
SBR	:	Caucho estireno - butadieno
SST	:	Sólidos Solubles Totales
UNSM	:	Universidad Nacional de San Martín

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la planta piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial con el fin de realizar el proceso de fermentación y sus análisis correspondientes en los laboratorios de la Universidad Nacional de San Martín y del Instituto de cultivo tropicales (ICT). Los objetivos fueron comparar el efecto del material de fermentadores fabricados con material no convencional sobre el grado de fermentación de granos de cacao CCN-51 (*Theobroma cacao* L), y analizar las características fisicoquímicas en pulpa de cacao (acidez titulable, pH, sólidos solubles totales-SST) y en granos fueron los mismos además de la Temperatura, color y análisis proximal. Las muestras fueron cosechadas, quebradas y fermentadas por siete días en cajones de madera (tornillo), plástico (PEAD), aluminio (serie 5052) y acero inoxidable (serie 316) con las dimensiones diseñadas, base menor de 21 cm x 22 cm, 25 cm de altura y la base mayor de 25,5 cm x 24,5 cm, para 10 kg de cacao en baba, estos fermentadores fueron forrados con placas de tecnopor (poliestireno expandido – EPS). Los resultados fueron analizados mediante el diseño completo al azar (DCA), y la prueba de Tukey ($p < 0,05$). No hubo diferencia significativa entre los cuatro tipos de fermentadores (acero, aluminio, madera y plástico) con el grado de fermentación, se obtuvo valores de 95,7 %; 95 %; 95,3 % y 95 % de granos fermentados respectivamente. Del mismo modo los valores para la pulpa en SST, pH y acidez titulable y la temperatura, acidez titulable, color no presentaron diferencia significativas entre los tipos de material usados en la fermentación pero en el pH de los granos hubo diferencia entre el cajón de madera 4,77 y acero 4,69. Según los resultados el material a elegir estaría basado en el costo,

durabilidad, diseño higiénico, tamaño de la planta fermentadora de cacao, integración de procesos de beneficiado del cacao, entre otros.

Palabras Clave: Theobroma cacao, cacao, granos de cacao, fermentación, levaduras, bacterias, enzimas.

ABSTRACT

This research work was done at the Pilot Plant of the Faculty of Agro Industrial Engineering, in order to carry out the process of fermentation and the correspondent analysis in the laboratories of the “Universidad Nacional de San Martín” and the “Instituto de Cultivos Tropicales” (ICT). The aims were to compare the effect of the fermenter material made of non-conventional material upon the degree of fermentation of the cocoa grains CCN-51 (*Theobroma cacao* L) and to analyze the characteristics physical-chemical of the cocoa pulp (titratable acidity, Ph, total soluble solids – SST) and about grains were the same plus the temperature, color, and proximal analysis. The samples were harvesting, broken and fermented for over seven days in wooden boxes (tornillo), plastic, (PEAD), aluminum (serie 5052) and stainless steel (serie 316) with the designed measurement: less base 21cm x 22 cm, high 25 cm and major base 25.5cm x 24.5 cm, for 10 kg of fresh harvesting cocoa. These fermenters were covered with tecnopor (expanded polystyrene – EPS).

The results were analyzed by mean of completely randomized design (DCA), and the Tukey Test ($p < 0,05$). It did not show significant difference between the four kind of boxes (steel, aluminum, wood and plastic) with the fermentation degree, we got values of 95.7; 95; 95.3; and 95% of fermented grains respectively. In the same way for the pulp on SST, pH, titratable acidity and temperature, color they did not show significant difference between the kind of the material used in the fermentation, but about the pH of the grains it was a difference between wooden box 4.77 and the steel 4.69. According to the results the material to be chosen would be determined by the cost, durability, hygiene design, size of the fermenter

plant of cocoa grains, the process of the integration of the benefits of the cocoa, among others.

Keywords: Theobroma cocoa, cocoa, cocoa beans, fermentation, yeast, bacteria, enzymes.

I. INTRODUCCIÓN

Las almendras de cacao constituyen el insumo básico para la industria chocolatera, farmacéutica y la industria cosmética. En la región selva la actividad agrícola es muy variada, dentro de la cual el cultivo de cacao es una de las más promisorias y representativas por contener su grano un alto porcentaje de carbohidratos, grasa, proteínas y minerales. Dada la importancia del cultivo de cacao para el desarrollo económico de la amazonia peruana, se ha instalado programas de extensión agrícola y beneficio del cacao para garantizar un producto de calidad.

La fermentación del cacao es una etapa muy importante en el procesamiento del grano, ya que se producen cambios bioquímicos que dan origen a los precursores del aroma y sabor, lo que determina su calidad física y química. Entre los cambios bioquímicos está el desarrollo de la pigmentación color marrón a partir de compuestos fenólicos, lo cual es un indicativo de la fermentación del grano de cacao.

En algunas zonas del país, especialmente en la región San Martín, uno de los tipos de fermentadores más utilizados es la caja de madera en dos diseños, tipo bote y tipo escalera, cuyo uso depende de la experiencia o hábito del productor más que de la conveniencia para el proceso fermentativo, obteniendo un porcentaje de fermentación de 65-85% de granos reportados, pero aproximadamente el 20% viene a ser granos pizarrosos, violetas, etc. La carencia de un tratamiento post cosecha apropiado reduce la calidad y en consecuencia el precio, a pesar de que el cacao CCN-51 tiene alto rendimiento

y las características necesarias para desarrollar un buen producto. El objetivo general de este estudio consistió en evaluar el efecto del material del fermentador, en el grado de fermentación de granos de cacao CCN-51 (*Theobroma cacao* L), con el propósito de escoger el más conveniente para el proceso de fermentación en la zona. Los objetivos específicos de este estudio fueron:

- Comparar el desempeño de fermentadores fabricados con materiales no convencionales en el grado de fermentación en granos de cacao CCN-51 (*Theobroma cacao* L).
- Evaluar las características fisicoquímicas de los granos fermentados de cacao CCN-51 (*Theobroma cacao* L).

II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1. Origen y distribución del cacao

Rohan (1960), considera que el cacao es originario de América del Sur específicamente en los valles del Amazonas y el Orinoco al este de los Andes; cerca de la frontera entre Colombia y Ecuador en donde aún florecen variedades silvestres, las mismas que han sido fuentes de diseminación en lugares donde no se encontraba esta planta.

Las semillas del cacao se han empleado a lo largo de la historia para la preparación de bebidas y otros alimentos, como moneda, bebida ceremonial y tributo a reyes. Esta especie se encuentra actualmente distribuida a lo largo de las regiones lluviosas de los trópicos, desde los 20° de latitud norte hasta los 20° de latitud sur (ICCO, 2003).

2.2. La planta de cacao

El árbol del cual procede el cacao, tiene apariencia extraña y, hace más de 200 años, Carolus Linnaeus lo llamó *Theobroma cacao*; que en griego significa cacao alimento de los dioses (Oliveras, 2007). La planta alcanza hasta 7 m de altura y produce frutos en forma de bayas fibrosas con 10 surcos, entre 15 y 25 cm de largo, de 7,5 a 10 cm de diámetro (McGee, 2004). Las bayas tienen forma elíptica y son de diversos colores al madurar (rojo, amarillo, morado y café); contienen entre 20 y 40 semillas que están cubiertas de una pulpa mucilaginoso de color blanco, cuyos cotiledones pueden ser de color blanco y/o violetas (Salvador, 2008).

Según, Ochoa y Chavarriaga (1940), la clasificación botánica del árbol de cacao es la siguiente:

- Reino: Vegetal.
- Tipo: Espermatofitas.
- Sub – Tipo: Angiospermas.
- Clase: Dicotiledóneas.
- Sub – Clase: Dialipétalas.
- Orden: Malvales.
- Familia: Esterculiáceas.
- Género: *Theobroma*.
- Especie: Cacao. pentágona. etc.

2.3. Tipos genéticos de cacao

De acuerdo a su genética son tres grupos en los que se clasifica al cacao: criollos, forasteros y trinitarios (Gonzales *et al.*, 2012).

Los **criollos** son pequeños, con follaje poco denso y de escasa productividad y ha ido desapareciendo con el tiempo; por ser muy susceptible a plagas y enfermedades. Su cultivo se ha difundido desde México y América Central hacia el resto del mundo. Cuando sus frutos están inmaduros, pueden ser de color verde o rojo y se tornan amarillo o rojo oscuro cuando están maduros. Las semillas, al inicio de la cosecha, son blancas o rosadas y cuando son fermentadas y secadas, adquieren una coloración canela (Egas, 2010). Requieren de dos a tres días para fermentar, es muy aromático y se lo designa

comercialmente como “Cacao fino”, presentando un chocolate apetecido por el sabor a nuez y frutas (Palacios, 2008).

Los **Forasteros** conocidos también como cacaos Amazónicos y/o amargos son originarios de América del Sur, su centro de origen es la parte alta de la cuenca del Amazonas en el área comprendida entre los ríos Napo, Putumayo y Caquetá. Es la raza más cultivada en las regiones cacaoteras de África y Brasil y proporcionan más del 80% de la producción mundial (Arciniegas, 2005). Se trata de un cacao normal con elevado contenido de taninos, se caracteriza por tener mazorcas pequeñas inicialmente son de color verde claro o rosado pálido, luego se ponen amarillas, la punta es redondeada, la cáscara es lisa o ligeramente rugosa y delgadas (Plúa, 2008). Es de alto rendimiento, más resistente a plagas y enfermedades y más tolerante a la sequía (Gonzales *et al.*, 2012). Las almendras producen un chocolate con un sabor básico de cacao (Díaz y Pinoargote., 2012). Unos de los clones representantes es la Colección Castro Naranjal (CCN-51), es de origen ecuatoriano, Homero Castro logra en 1960 en su finca “Teobroma” localizada en Naranjal, seleccionar varios híbridos con las características deseadas, procediendo luego a clonar algunos de ellos a los que denominó con las siglas CCN-51. Los diferentes clones hasta obtener el CCN-51, resultaron del híbrido entre los clones ICS-95 x IMC-67 (Imperial College Selection e Iquitos Mixed Cabacillo), luego realizó un segundo cruce entre dicho híbrido con un cacao encontrado por él en el Oriente ecuatoriano y denominado “Canelos” y este clon se caracteriza por ser un cultivo precoz, inicia su producción a los 24 meses de edad, no necesita de polinización cruzada para su adecuado fructificación tal como la mayoría de los clones y es tolerante a la

escoba de bruja (Crespo, 1997). En la figura 1, se muestra la imagen de los frutos o mazorcas de cacao CCN-51 en el árbol.



Figura 1. Mazorcas maduras de cacao CCN-51

Del cruce de las variedades criollo y forastero se obtuvo la variedad trinitaria. El árbol de este híbrido es resistente a diferentes agentes adversos y el color de sus granos varían desde el color casi blanco a totalmente púrpura. Esta variedad contribuye entre 10 y 15 % de la producción mundial de cacao y su cultivo se ha difundido en diversos países, principalmente en la isla Trinidad, la que se ha convertido en la principal productora de esta variedad de cacao (Chire, 2001).

2.4. Composición fisicoquímica

La Asociación Naturanland (2000), menciona que las semillas frescas del cacao se encuentran rodeadas por una pulpa blanca de sabor dulce aromático que representa 15 a 20% del peso fresco. La pulpa contiene un 80% de agua, 10 a 15% de glucosa y fructosa, además 0,5% de ácidos no volátiles principalmente ácido cítrico y de pectina; tiene un pH de 3,5. Las semillas tienen un fuerte sabor amargo que se debe a la antocianina, una sustancia de color violeta oscuro.

En la tabla 1 se presenta la composición fisicoquímica del cotiledón de tres variedades de cacao.

Tabla 1 Composición fisicoquímica del cotiledón de tres variedades de cacao.

Variables	Tipos		
	Criollo	Forastero	Trinitario
Humedad (%)	36,36	36,87	35,86
pH	6,39	6,36	6,35
Acidez total	0,31	0,31	0,35
Taninos (%)	0,68	0,80	0,72
Azúcares red. (%)	3,02	3,24	2,90
Azúcares totales (%)	8,05	8,07	7,62
Proteínas (%)	13,88	13,59	13,97
Cenizas (%)	3,67	3,59	3,63
Grasa (%)	50,99	49,52	52,24

Fuente: Graziani *et al.* (2003).

En la tabla 2, se presenta la composición fisicoquímica del grano y licor de cacao.

Tabla 2 Composición fisicoquímica del grano y licor de cacao.

Variables	Grano	Licor
pH	5,91	5,39
Grasa (%)	48,58	54,24
Cenizas totales (%)	3,27	3,37
Sólidos totales (%)	42,92	46,14
Fibra cruda (%)	4,3	3,67
Proteína (%)	12,25	13,07
Humedad (%)	8,5	1,67
Theobromina (%)	0,8 - 1,4	0,71 - 1,5

Fuente: Adriazola (2003).

2.5. Parámetros de rendimiento

Los programas de mejoramiento genético usualmente enfocan su investigación hacia la selección de los materiales en cuanto a su rendimiento,

número de frutos producidos por árbol, número de semillas y peso seco de las mismas por mazorca (Jacob y Atanda, 1975).

2.5.1 Número de frutos por árbol

Autores como Cheesman y Pound (1932), indican que el número de mazorcas presentes, no es un buen indicador del rendimiento, debido a que muchas mazorcas de algunos árboles producen más cacao que otras. Sin embargo, otros afirman que este parámetro es una medida relativamente confiable para estimar la capacidad de producción de un material, porque existe una pequeña correlación entre el peso seco de la semilla y el número de mazorcas presentes en el árbol (Esquivel y Soria 1967).

Para, Paredes M. (2003) el número de mazorcas de cacao por árbol, es variable, pue va a depender de muchos factores; sin embargo, en una plantación de cacao, las que tienen mayor vigor son las plantas madres. Para determinar si una planta de cacao es óptima para ser planta madre, teniendo en cuenta el número de mazorcas, se debe valorar en función a los siguientes rangos de producción:

- Mala: Menor de 50 frutos /año.
- Regular: de 51 a 100 frutos /año.
- Buena: 101 a 200 frutos / año.
- Muy buena: superior a los 200 frutos / año.

2.5.2 Peso del fruto

Muchos estudios han determinado que el peso promedio de las mazorcas depende del tamaño y forma de las mismas. Usualmente, el peso de la mazorca

tiene una correlación directa con el peso y número de semillas presentes en el fruto (Ruinard, 1961). Existe también una correlación directa entre el peso seco del cacao y el número de semillas presentes en el fruto (Bartley, 1971).

Según, Oliva et al (2014) realizó estudios importantes sobre, estimación de la repetitividad y selección genética de árboles de cacao aromático con material genético de EE-INIA-San Martín y de la UC de Lebuaf, en Perú cacao, determinando dentro de su investigación el peso promedio de la mazorca de cacao, el cual es de 0,24kg.

2.5.3 Índice de mazorca

Se define como el número de mazorcas necesarias para obtener un kilogramo de cacao seco y fermentado. Este índice es una medida indirecta del tamaño de las mazorcas en función de su peso seco y es una variable de tipo cuantitativo (Esquivel y Soria, 1967). El índice de mazorca está influenciado por factores genéticos y ambientales. Por ejemplo, la edad temprana o senil de la planta y otros como la localización de los frutos en el árbol y las condiciones de suelo y fertilidad afectan los resultados (Soria, 1966). Por esta razón es importante determinar el tamaño de muestra mínima para determinarlo apropiadamente. Algunos autores indican que un mínimo de 30 frutos es suficiente (Cheesman y Pound, 1934), en tanto que el IPGRI (2000) propone 20 mazorcas.

2.5.4 Índice de semilla

Está definido como el peso promedio en gramos de 100 semillas secas y fermentadas (IPGRI 2000). Es común que se descarten los materiales que

registren un peso inferior a 1,1 g. Existe una alta variabilidad entre genotipos con relación a este índice, por ejemplo, los cacaos de tipo Trinitario presentan un índice de semilla bajo con relación a los cacaos 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 0,9 a 1,3 g (Soria, 1966)

2.5.5 Índice de rendimiento

Este es un índice agronómico para seleccionar árboles individuales. Se define como la relación que existe entre la producción y el vigor de la planta. Se calcula por medio del cociente resultante entre el acumulado de la producción de cacao seco y fermentado en un tiempo definido y el diámetro de la planta. Este índice es afectado por factores tales como el manejo de la plantación, la poda, la densidad de siembra y la variabilidad genética de los árboles (IPGRI, 2000).

2.6. Cosecha y beneficio del cacao

2.6.1 Cosecha

Para obtener una buena calidad de grano, la cosecha debe realizarse cuando los frutos alcancen su madurez total, lo cual se identifica por el cambio de color en la cáscara de la mazorca de cacao, además si se le da un pequeño golpecito a dicha mazorca, el sonido es el de un objeto hueco (Sánchez, 2007); por otro lado, los frutos verdes y pintones tienen influencia desfavorable sobre la fermentación, proporcionando un porcentaje elevado de almendras violetas y pizarrosas (INIAP, 2009). Los frutos sobremaduros tendrán el mucílago seco e insípido y posiblemente haya iniciado el proceso de germinación en el interior del fruto, siendo un grave defecto porque los hongos invaden estas almendras,

influyendo negativamente sobre el sabor del chocolate y poniendo en riesgo su inocuidad (Díaz y Pinoargote, 2012).

2.6.2. Beneficio de cacao

El beneficio de cacao, se refiere a la preparación de las almendras como paso previo para su comercialización e industrialización. Con este propósito, se ejecutan una serie de operaciones ordenadas que se inician con la cosecha de las mazorcas en el punto de maduración adecuado para extraer las almendras, seguida por la fermentación concluyendo con el secado del grano. Las almendras fermentadas y secas representan un producto de mejor calidad cuyo transporte y almacenamiento es más fácil.

Según Federación Nacional de Cacaoteros (2004), las características organolépticas pueden ser mejoradas a través de un correcto proceso de beneficio, pues éste contribuye a generar los procesos fisicoquímicos encargados de originar los compuestos precursores del aroma y el sabor del chocolate, atributos sobresalientes en relación con la calidad de la materia prima. Las etapas del beneficio están bien definidas y comprenden la quiebra o apertura del fruto, fermentación, secado y almacenamiento.

a. Quiebra y desgrane

Para realizar la quiebra se pueden utilizar machetes cortos acondicionados; efectuándose un corte longitudinal con mucho cuidado a fin de no cortar las almendras que permanecen adheridas a la placenta (Sánchez, 2007); la quiebra debe realizarse antes de 5 días después de la cosecha y más pronto se haga la separación de granos es más fácil (Arévalo *et al.*, 2004). El desgrane consiste en extraer los granos separados de la placenta para colocarlos luego a

fermentar, generalmente se hace a mano (Navia y Paszmiño, 2012), verificando que estén libres de placentas o granos de frutos enfermos, cáscaras u otra materia extraña.

b. Fermentación

La pulpa de las semillas ofrece excelentes condiciones de vida a los microorganismos, que juegan un papel importante durante toda la fermentación (Asociación Naturland, 2000).

Según Portillo *et al.*, (2006), la fermentación es la etapa más importante dentro del beneficio del cacao. La duración de la fermentación se relaciona con la cantidad de pigmentos de color púrpura presentes en los granos frescos y que cuanto más intenso es dicho color más larga debe ser la fermentación.

Ministerio de Agricultura (2004) y Asociación Naturland (2004); afirman que esta etapa tiene por objeto facilitar la eliminación del mucílago, así como desarrollar el sabor característico a chocolate. La duración de la fermentación depende de la variedad. Para Ramos (2006), los cacaos forasteros y trinitarios deben fermentarse de 6 a 7 días. Sin embargo, Asociación Naturland (2000), refiere que el cacao criollo sólo necesita de 1 a 3 días para su fermentación porque no tiene antocianinas que da el sabor amargo.

Consiste en amontonar los granos durante varios días, aumenta la temperatura para producir la muerte del germen o embrión y se inicien los cambios bioquímicos y las reacciones enzimáticas en el interior de las almendras, este proceso facilita además el secado de los granos (Cubillos *et al.*, 2008).

Según Amores *et al.* (2006) la fermentación insuficiente y en el peor de los casos la ausencia de fermentación influye negativamente sobre la calidad sensorial del cacao. Además, mantener demasiado tiempo la fermentación no es conveniente por el exceso de ácido acético que confiere un sabor agrio al chocolate. Porque durante la fermentación, se produce ácido acético que se infiltra en los cotiledones y reduce el pH de 6,4 a 4,5. A temperaturas mayores de 45°C, esta acidificación desintegra los compartimientos de la célula y su eventual muerte.

Portillo *et al.*, (2006), indican que el proceso de fermentación incluye reacciones enzimáticas que contribuyen a la formación de aminoácidos libres y de péptidos, formación de azúcares reductores, hidrólisis de las antocianinas y la oxidación enzimática de los polifenoles, los cuales son necesarios para producir el sabor y aroma característicos del cacao durante el tostado; tanto en la fermentación como en el secado: la enzima polifenólica oxidasa promueve la oxidación en los granos de cacao, siendo la responsable del color marrón característico del chocolate. El flavor final es, por lo tanto, influido directamente por el proceso de acidificación.

Fermentación Anaerobia: Es cuando el proceso se realiza sin presencia de oxígeno (Guillin y Lara, 2010). En la fermentación anaerobia se da la fermentación alcohólica que se inicia ni bien se abren las mazorcas y se extraen las almendras, alcanzando su punto máximo a las 48 h y su máxima actividad depende de la temperatura que pueda alcanzar; termina la fermentación al consumirse la mayoría de los azúcares (Enríquez, 1985).

Los precursores nitrogenados de aroma formados durante la fase anaerobia, están dominados por los aminoácidos y péptidos disponibles por reacciones de condensación, amino-carbonilo, no oxidativas promovidas en las fases de temperatura elevada, bajo condiciones anaerobias, los microorganismos producen ácido acético y etanol que migran lentamente al grano causando el hinchamiento que inhibe la germinación y contribuye a los cambios estructurales, eliminando el compartimiento de enzimas – sustratos (González *et al.*, 2012).

- **Fermentación alcohólica**

Según Ramos (2006) durante el primer día de fermentación el medio es propicio para levaduras, dado que el mucílago contiene sacarosa: glucosa, fructosa, pectinas, ácido cítrico libre y pH de 3 a 4.

- **Fermentación láctica**

Esta fermentación no es deseable, la misma que ocurre cuando no se realiza la primera remoción entre las primeras 48 horas como consecuencia de la falta de oxígeno en la masa, los azúcares que deberían ser transformados en alcohol se transforman en ácido láctico (Natividad *et al.*, 2007).

- **Fermentación butírica**

La fermentación butírica tiene lugar cuando el cacao en el proceso de fermentación permanece varios días sin recibir oxígeno, por no recibir remoción que permita la penetración de oxígeno. Se percibe un olor putrefacto, característico de la descomposición por la acción de bacterias y hongos (Batista, 2009).

Fermentación Aerobia: Se realiza en presencia de oxígeno molecular, también comienza la fermentación acética donde el aumento del etanol y la mejor

aireación facilita la proliferación de las bacterias del ácido acético (*Acetobacter acetii*), las cuales convierten el etanol en ácido acético (Guillin y Lara, 2010).

Fermentación acética

Esta se inicia cuando ingresa oxígeno por efecto de la remoción, interrumpiéndose la fermentación alcohólica, ocurriendo la fermentación anaeróbica con el auxilio de las bacterias del género *Mycoderma acetii*, *Acetobacter sp* y otras, convierten el etanol en ácido acético (Ramos, 2006).

c. Secado

La etapa de secado se debe iniciar inmediatamente después de la fermentación para prevenir el crecimiento de hongos que pueden conferir sabor desagradable para el producto final o producir toxinas dañinas para la salud (Efraim *et al.*, 2009). Al secar se elimina una gran parte de la humedad del grano para que pueda ser conservado y continúa su fermentación interna, disminuye el amargor y el desarrollo del aroma, la aplicación de calor debe darse a una capa delgada y constantemente removida para que la superficie de evaporación sea grande y el secado homogéneo, eliminar la pulpa restante, dar pulimiento al grano (Rimache, 2008). Se debe secar los granos hasta quedar a un 7% de humedad para que continúen algunas reacciones bioquímicas que finalmente producirán los precursores del sabor, si pasa el 8% es propenso a enmohecerse y si baja del 6%, los granos se vuelven frágiles y quebradizos (Cubillos *et al.*, 2008).

d. Almacenamiento

Arévalo *et al.* (2004), indican que, para el almacenamiento de los granos de cacao secos, estos se guardan en sacos de yute y almacenan en ambientes techados, secos, blancos o de colores claros, bien ventilados, acomodados y apilados sobre parihuelas de madera, alejados de productos que emanen olores fuertes. Así mismo si el almacenamiento no es realizado en perfectas condiciones todo el esfuerzo realizado en obtener un producto de calidad puede echarse a perder.

2.7. Control de calidad

La calidad del cacao tanto física como organoléptica depende de varios factores, los más importantes son: la variedad genética, el ambiente donde está el árbol, la sanidad de la mazorca, la fermentación adecuada, el secado apropiado y la clasificación de las almendras (Morillo, 2005).

2.7.1. Calidad física

La calidad física se basa principalmente en la presentación exterior del grano, que no necesariamente coincide con un buen sabor y aroma a chocolate. La calificación que dan los países compradores y fabricantes de chocolate a las almendras de cacao por su apariencia, grado de fermentación, humedad, materiales extraños, mohos, insectos, entre otros (Sánchez, 2007).

La prueba de corte es la más importante para determinar la calidad comercial del cacao los granos cortados longitudinalmente que presentan una coloración total marrón a chocolate y el cotiledón agrietado indican una buena fermentación (Natividad *et al.*, 2007).

- Principales defectos en granos

Principales defectos físicos de los granos de cacao seco (INDECOPI, 2011).

Grano mohoso: Grano de cacao en cuya parte interna el hongo es visible a simple vista.

Grano pizarroso: Grano de cacao que muestra un color pizarroso (grisáceo) en la mitad o más de la superficie expuesta en la prueba de corte.

Grano violáceo: Grano de cacao insuficientemente fermentado, el mismo que cuando se hace un corte longitudinal a través de su centro, presenta un color violáceo por lo menos en la mitad de la superficie.

Grano dañado por insecto: Grano de cacao que en la parte interna contiene insectos en cualquier estado de desarrollo, o que ha sido atacado por insectos que han causado en el daño visible a simple vista.

Grano germinado: Grano de cacao que en la cascarilla ha sido agujereada, abierta o rota por la germinación de la semilla.

Grano pasilla: Grano de cacao que en los dos cotiledones son tan delgados que no es posible obtener una superficie de cotiledón por corte.

Grano múltiple: Dos o más granos unidos íntimamente por una de sus caras con restos de mucilago.

Grano partido: Grano de cacao que ha perdido un fragmento, y en el que la parte pérdida equivale a menos de la mitad del grano.

2.7.2 Medida objetiva del color por medio de la colorimetría triestímulo.

Montes *et al.* (2004) mencionan que el color es una respuesta mental al estímulo producido en la retina por una radiación luminosa visible, pero la medida de este estímulo depende de las condiciones que lo rodean. Para unificar dichas

medidas se han definido unas condiciones estándar que permite obtener resultados comparables, como son: el observador, el iluminante, la geometría de iluminación-observación y el intervalo de medida.

La colorimetría triestímulo permite obtener una medida objetiva de color por medio de tres sensaciones o atributos psicométricos, que dan finalmente un carácter tridimensional a este estímulo. Estos son: el tono, la luminosidad y la saturación (Hutchings, 1994).

El tono o matiz, se refiere a aquella característica que permite clasificar un color como rojo, amarillo, verde o azul, y está relacionado con las diferencias de absorbancia / transmitancia de la energía radiante a diferentes longitudes de onda, en otras palabras, es el atributo cualitativo del color.

La saturación o pureza, describe el grado o la intensidad con la que un color se separa del gris neutro y se acerca a un color puro del espectro, y describe la reflexión o transmisión a una determinada longitud de onda; es considerado el atributo cuantitativo de la cromaticidad.

La luminosidad o brillo, permite clasificar el color como claro u oscuro, que se define como la característica de una sensación de color que la hace equivalente a la producida por algún elemento de la escala de grises que va desde el blanco (máxima luminosidad - 100) hasta el negro (mínima luminosidad - 0), haciendo un elemento más claro u oscuro. Esta característica es una medida relativa de la luz reflejada frente a la absorbida, por lo tanto, no se considera como partícipe de la cromaticidad.

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE – “Commission Internationale del ‘Eclairage”). Esta organización propone diversos sistemas que permiten

definir el color, siendo el más reciente el espacio CIELAB, que se representa en coordenadas rectangulares como claridad o luminosidad, L^* , y cromaticidad, a^* y b^* , como se observa en la figura 2. Los componentes de cromaticidad presentan valores desde $(-a^*)$ a $(+a)$ y $(-b^*)$ a $(+b^*)$, donde a^* va de verde a rojo y b^* de azul a amarillo (Yam y Papayakis, 2004).

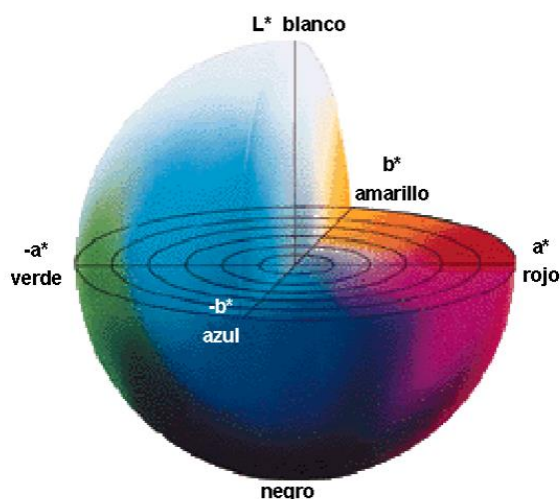


Figura 2. Espacio de color L^* , a^* , b^*

La medida del color puede realizarse por evaluación visual o instrumental, siendo este último es el más usado, porque permite obtener medidas con mayor reproducibilidad y objetividad que la medida sensorial. Pero hoy en día el análisis visual ha mejorado por el uso de atlas y cartas de colores, y existen cartas adecuadas que contienen todos los tonos e intensidades posibles para el análisis de alimentos (González, 2010).

2.8. Materiales no convencionales utilizados en la construcción de fermentadores de cacao en el presente trabajo

Los materiales no convencionales utilizados en la fermentación del cacao, son aquellos materiales diferentes a la madera. En el esfuerzo de conocer el comportamiento de los materiales no convencionales, los investigadores venezolanos, Contreras, C., Ortiz, L., Graziani, L. y Parra P., (2004), evaluaron los tipos de fermentadores usados por los productores de Cumboto: sacos de yute, cajas de plástico y de madera saqui saqui; llegando a las conclusiones siguientes:

- El comportamiento de la temperatura de la masa, al fermentar el cacao, fue similar en los tres tipos de fermentadores, siendo la temperatura media de: caja de madera 37,1 °C; caja plástica 36,9 °C y saco de yute 36,7 °C.
- El porcentaje del índice de fermentación, varió un poco, obteniéndose las medias: caja de madera 34,5 %; caja plástica 32 % y saco yute 31,67 %.
- El porcentaje de índice de hinchamiento es similar, obteniéndose las medias: caja de madera 118,77 %; caja plástica 118, 02 % y saco yute 115, 96 %.

Los investigadores ecuatorianos, Rivera, R., Mecías, F., Guzmán, A. y Peña, M. (2011), estudiaron cuatro fermentadores: saco de yute, montón, caja de madera y tina plástica, con una capacidad para almacenar 60 kg de cacao; llegando a la conclusión que la caja de madera alcanzó el mayor porcentaje de granos fermentados con 73,3%, en tanto que los demás fermentadores se mantuvieron con un porcentaje inferior al 70%; además observaron un mayor

porcentaje de granos fermentados y menor porcentaje de granos violetas en la caja de madera. Al igual que el tiempo de fermentación, el tipo de fermentador no influyó en el contenido de granos pizarrosos.

Los investigadores, Álvarez, C., Tovar, L., García, H., Morillo, F. y Sánchez, P., (2010), evaluaron la calidad de fermentación utilizando fermentador de madera y fermentador de plástico; los resultados obtenidos en promedio, se establecen a continuación. Porcentaje de fermentación: caja de madera 84 % y caja de plástico 83 %. pH en promedio: caja de madera 5,37 y caja de plástico 5,59. Acidez total promedio (base seca): caja de madera 0,52 y caja de plástico 0,46.

Los investigadores Vinícos, G., Teixeira, K., y Gonzaga, E. (2013) sostienen que el uso de tanques de acero inoxidable en la fermentación de cacao, puede ser de gran interés para aquellos que buscan un mejor control sobre el proceso de fermentación del cacao y / o para optimizar la fermentación de cacao a través del uso de cultivos iniciadores; además indican que el trabajo futuro que implica la calidad sensorial de los granos de cacao, licores de cacao y los chocolates resultantes, requieren antes de la aplicación del tanque de acero inoxidable en condiciones de campo.

A continuación, se detalla las características de la madera tornillo, plástico, acero inoxidable y aluminio:

Madera (Tornillo): Su nombre científico es *Cedrelinga catenaeformis*. Las características de la madera son: Olor: distinto; brillo: moderado a brillante;

grano: entrecruzado; textura: gruesa; Aspeado: poco definido. Es una madera de excelente resistencia y no presenta ningún olor en particular (FSC, 2008).

Según PREDESUR 1979, de la Torre et al. 2008; tomado por el Ministerio de Ambiente del Ecuador (MAE), los usos del tornillo son diversos, pues la madera se usa en construcción de viviendas como largueras, contrachapadas, encofrados temporales, cajas, embalajes y en construcción de canoas, etc. Las principales propiedades físicas y mecánicas que presenta la madera de tornillo son: densidad (en verde: $0,75 \text{ g/cm}^3$ hasta $0,95 \text{ g/cm}^3$; en seco: $0,38 \text{ g/cm}^3$ hasta $0,52 \text{ g/cm}^3$), Flexión estática (MOR 698 kg/cm^2 , ELP 328 kg/cm^2 y $\text{MOE} \times 10^3$ 90 kg/cm^2) y dureza (lados 267 kg y extremos 417 kg).

Las propiedades físicas y mecánicas de la madera tornillo, la hacen apta para la construcción de fermentadores de cacao. El tornillo, por su olor y sabor casi nulo se constituye en un indicador de que no hay transferencia de alguna sustancia de la madera hacia los granos de cacao durante el proceso de fermentación.

Aluminio: Las principales propiedades que hacen del aluminio un material valioso son su ligereza, fortaleza, resistencia a la corrosión, excelente conductor de la electricidad y calor, magnifico reflector de luz, maleable y fácil de ensamblar, reciclable 100%, no es toxico para el hombre, además es muy utilizado en envases o envolturas para alimentos (Acebes, 1999).

Según, Castro (2001) Las aleaciones de aluminio se clasifican en dos grupos, dependiendo del proceso de fabricación: aluminios laminados y

fundiciones de aluminio. Vale anotar que los productos de aluminio puro y sus aleaciones (todos aquellos productos no fundidos) poseen designación, mediante un sistema de cuatro dígitos, de acuerdo con la norma H35.1 de la American National Standard Institute (ANSI), mientras que las aleaciones fundidas se codifican de acuerdo con la norma ASTM B275, ambas emitidas por EEUU. La serie 5xxx de aluminios laminados, que es utilizada para alimentos, es, una aleación principalmente de aluminio y magnesio. El papel aluminio, que se usa en alimentos, es aluminio puro (99% de pureza).

Según Aguilar (2000) Las aplicaciones del aluminio son diversas y para ello está debidamente seriadas. La serie asignada para la fabricación de recipientes aplicados a la industria alimentaria es la 5xxx, específicamente la serie 5052. El papel aluminio usado en alimentos es de la serie 1100. Las series designadas para la industria alimentaria, corresponde a un estudio minucioso hecho por los técnicos industriales y técnicos alimentarios, quienes tienen como fin supremo el cuidado de la salud de todos los consumidores, es decir cuidan que no se de ningún tipo de transferencia del metal hacia el alimento.

Plástico: Son compuestos constituidos por moléculas que forman estructuras muy resistentes, que permiten moldeado mediante presión y calor. La American Society for Testing Materials (ASTM) define como plástico a cualquier material de un extenso y variado grupo que contiene como elemento esencial una sustancia orgánica de gran peso molecular, siendo sólida en su estado final; ha tenido o puede haber tenido en alguna etapa de su manufactura (fundido, cilindrado, prensado, estirado, moldeado, etc.) diferentes formas de fluidificación,

mediante la aplicación, junta o separada, de presión o calor. Los plásticos se caracterizan por una relación resistencia/densidad alta, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes, tienen baja conductividad eléctrica y térmica, y no son adecuados para utilizarse a temperaturas elevadas. (Garavito, 2007)

PEAD: Es un polietileno de alta densidad copolímero, con una distribución de peso molecular angosta. Excelente procesabilidad, buena capacidad para mezclarse con polímeros de baja densidad, especialmente para moldeo por inyección de ciclos de producción rápidos. Se recomienda para fabricar artículos para el hogar, cubetas, juguetes, palanganas, recipientes para alimentos, tapas (PEMEX, 2004). Para Garavito (2007), el PEAD es un termoplástico que tiene aplicaciones en la fabricación de botellas para productos alimenticios, detergentes, contenedores, bolsas, embalajes, láminas y tuberías.

Acero Inoxidable: El acero inoxidable es una aleación de hierro y carbono que contiene por definición un mínimo de 10,5% de cromo. Algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes. Los principales son el níquel y el molibdeno. Su principal característica es su alta resistencia a la corrosión. Esta resistencia es debido a la formación espontánea de una capa de óxido de cromo en la superficie del acero. Aunque es extremadamente fina, esta película invisible está firmemente adherida al metal y es extremadamente protectora en una amplia gama de medios corrosivos. Dicha película es rápidamente restaurada en presencia del oxígeno, y así daños por abrasión, corte o mecanizados son reparados rápidamente (Laufgang, 2003).

Según el Centro Nacional para el Desarrollo del Acero Inoxidable (CENDI) los aceros se clasifican en cinco diferentes familias; cuatro de éstas corresponden a las particulares estructuras cristalinas formadas en la aleación: austenita, ferrita, martensita, y dúplex (austenita más ferrita); mientras que la quinta familia son las aleaciones endurecidas por precipitación. Los aceros martensíticos y ferríticos, según la clasificación ANSI, corresponden los de la serie 400; los aceros austeníticos, según la clasificación ANSI, corresponden los de las series 200 y 300; mientras que los aceros dúplex, endurecibles por precipitación para clasificarlos se usa su nombre comercial (Cuesta, Pedraza y Ávila, 2002).

Aceros inoxidable martensíticos: son esencialmente aleaciones de cromo y carbono. El contenido de cromo es generalmente de 10,5 a 18% y el de carbono es alto, alcanzando valores de hasta 1,2%. (Cuesta, Pedraza y Ávila, 2002).

Aceros inoxidable ferríticos: Estos aceros inoxidable de la serie 400 AISI (American Iron & Steel Institute). Los ferríticos son esencialmente aleaciones con cromo. El contenido de cromo es usualmente de 10,5 a 30%, pero contenidos limitados de carbono del orden de 0,08%. Algunos grados pueden contener molibdeno, silicio, aluminio, titanio y niobio que promueven diferentes características (Cuesta, Pedraza y Ávila, 2002).

Aceros inoxidable austeníticos: Los aceros inoxidable austeníticos constituyen la familia con el mayor número de aleaciones disponibles, integra las series 200 y 300 AISI. Su popularidad se debe a su excelente formabilidad y superior resistencia a la corrosión. Sus características son las siguientes:

excelente resistencia a la corrosión; endurecidos por trabajo en frío y no por tratamiento térmico; excelente soldabilidad; excelente factor de higiene y limpieza; formado sencillo y de fácil transformación; tienen la habilidad de ser funcionales en temperaturas extremas; son no magnéticos. Los austeníticos se obtienen adicionando elementos formadores de austenita, tales como níquel, manganeso y nitrógeno. El contenido de cromo generalmente varía del 16 al 26% y su contenido de carbono es del rango de 0,03 al 0,08%. El cromo proporciona una resistencia a la oxidación en temperaturas aproximadas de 650° C en una variedad de ambientes (Cuesta, Pedraza y Ávila, 2002).

Las series 304 y 316, son las que se utilizan en la fabricación de equipos y utensilios para la industria alimentaria. La serie 304, se usa en construcción y arquitectura civil; equipamientos para la industria aeronáutica, ferroviaria, naval, petrolera, de papel, textil, de refrigeración, de hospitales, alimenticia, productos lácteos, productos farmacéuticos, cosméticos, industrias químicas; utensilios para el hogar, instalaciones criogénicas, destilerías ordinarias, destilerías de etanol, tuberías y tanques; y estampados generales y profundos. La serie 316, se usa en construcción civil y arquitectura; equipamientos para la industria aeronáutica, ferroviaria, naval, petrolera, farmacéutica, cosmética, textil, de tintas, láctea, de hospitales; minería, tubos, tanques; refrigeración y almacenamiento en frío, destilerías de alcohol, destilerías de etanol.

Tecnopor (Poliestireno expandido): Para Zumarán, J. (2008) el tecnopor se define como "Material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas preexpandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que

presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire". Algunas de sus propiedades son:

- Resistencia química: Inalterable a los ácidos: Sulfúrico, clorhídrico y nítrico; lejías: de soda, potasa y amoniacaes; alcoholes: etílico y metílico.
- Color: El color natural de poliestireno expandido es blanco, esto se debe a la refracción de la luz.
- Resistencia Mecánica: La densidad del material guarda una estrecha relación con las propiedades de resistencia mecánica.
- Imputrescible: Su cualidad más destacada es su higiene al no constituir sustrato nutritivo para microorganismos. Es decir, no se pudre, no se enmohece ni se descompone lo que lo convierte en un material idóneo para la venta de productos frescos. En los supermercados, lo encontramos fácilmente en forma de bandeja en las secciones de heladería, pescadería, carnicería, frutas y verduras.
- Densidad: En función de la aplicación las densidades se sitúan en el intervalo que va desde los 10 kg/m³ hasta los 35 kg/m³. Otras características reseñables del poliestireno expandido son su ligereza, resistencia a la humedad y capacidad de absorción de los impactos.
- Aislante: Otra de las aplicaciones del poliestireno expandido es la de aislante térmico y acústico en el sector de la construcción, utilizándose como tal en fachadas, cubiertas, suelos, etc.
- Comportamiento frente al agua y vapor de agua: El poliestireno expandido no es higroscópico, a diferencia de lo que sucede con otros materiales del sector del aislamiento y embalaje.

- Estabilidad dimensional: Se sitúa en los valores que oscilan entre 0,05 y 0,07 mm. por metro de longitud y grado Kelvin.
- No es estable (se contrae o disuelve): Ácidos concentrados (sin agua) al 100%; Disolventes orgánicos (acetona, ésteres, etc.).

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) el espesor del aislante térmico se determina mediante la ecuación de transferencia de calor para placas planas (IDAE, 2007).

$$\frac{T_{sup.ext} - T_{ext}}{\frac{1}{h_{conv-rad,ext}}} = \frac{T_{int} - T_{ext}}{\frac{1}{h_{conv-rad,int}} + \sum k_i^{esp} + \frac{1}{h_{conv-rad,ext}}}$$

Donde:

- $T_{sup.ext}$ = Temperatura de la superficie exterior.
- T_{ext} = Temperatura exterior.
- T_{int} = Temperatura interior.
- H_{conv} = Coeficiente de convección.
- $H_{conv-rad,ext}$ = Coeficiente de convección radiación exterior.
- $H_{conv-rad,int}$ = Coeficiente de convección radiación interior
- K = Conductividad térmica.
- \sum = Sumatoria de las capas de material.

La versión simplificada de la fórmula general de transferencia general de calor para placas planas, queda de la siguiente manera:

$$Q = A \frac{T_2 - T_1}{\frac{\delta X_1}{k_1} + \frac{\delta X_2}{k_2}}$$

Donde:

- Q = Transferencia de calor (Watts)

- T_1 = Temperatura (K).
- T_2 = Temperatura (K).
- A = Superficie (m^2)
- δX_1 = Espesor del aislante (m)
- δX_2 = Espesor del material (m)
- k_1 = Conductividad térmica del aislante (W/mK)
- k_2 = Conductividad térmica del material (W/mK)

2.9 Métodos de fermentación

Según Cubillos *et al.* (2008), menciona que la forma más simple de fermentar el cacao es colocar los granos sobre un tendido de hojas de plátano, banano o lona plástica formando una pila o montón, el cual se cubre igualmente con esas mismas hojas, sacos de yute o fique. Es recomendable utilizar sacos de yute o fique para cubrir la masa de almendras en todos los tipos de fermentadores, pues conservan el calor y mejoran las condiciones para las reacciones bioquímicas que se desarrollan dentro del grano. En algunas partes se emplean canastos o tinajas de plástico para la fermentación, pero el sistema más utilizado, son los cajones de madera.

Los cajones llevan perforaciones de 1 cm de diámetro en el fondo separados a 10-15 centímetros para propiciar el escurrimiento de los exudados. Se colocan sobre soportes de 40 cm que los apartan del suelo y deben disponer de un pequeño drenaje que facilite la salida de todos los líquidos. Para fermentar pequeñas cantidades de cacao se acostumbra utilizar costales de fique que se cuelgan de un soporte para facilitar el drenaje de los exudados.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en la planta piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial – ciudad universitaria de la Universidad Nacional de San Martín, con el fin de realizar algunos análisis durante el proceso de fermentación (laboratorios de la UNSM, Facultad de Ingeniería Agroindustrial). El análisis químico se realizó en los laboratorios de Control de Calidad y de Suelos y Agua de la Estación Experimental del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), ubicada en el distrito de Banda de Shilcayo – Tarapoto. La ciudad de Tarapoto se encuentra a una altitud de 333 m.s.n.m.; presenta un clima Semi-seco y cálido; temperatura máxima de 35,6 °C, temperatura mínima de 13,3 °C y una temperatura media de 26,2 °C.

3.2 Materia Prima

Las mazorcas de cacao (*Teobroma cacao* L.) CCN-51, fueron provenientes del distrito de Juanjuí (en el sector Alto Porvenir). Según Vargas (2005) en estudios realizados para el Gobierno Regional de San Martín (GRSM) y el Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana (IIAP); la ciudad de Juanjuí se encuentra ubicada a 07°08' de latitud sur; 76°45' de longitud oeste; altitud de 314 m.s.n.m; precipitación total media anual de 1435,0 mm/año; temperatura media anual de 26 °C; evapotranspiración potencial anual de 1631mm/año; déficit 193mm/año; excedente 0,0mm/año; índice hídrico (Im) -4,4; índice de acidez (Ia) 19,6; índice de humedad (Ih) 7,3. La ciudad de Juanjuí presenta un clima semiseco, sin exceso de agua durante todo el año, cálido con baja

concentración térmica en verano. El sector de Alto Porvenir perteneciente al caserío de El Porvenir, está a una altura de 363 m.s.n.m. y está contiguo al casco urbano de la ciudad de Juanjuí y por lo tanto presenta las mismas condiciones climatológicas. El sector de Alto Porvenir tiene un suelo con una textura formada por: arena=47,96%; arcilla = 30,28%; limo 21,76% y pertenece a la clase textural de franco arcilloso arenoso; el suelo presenta un pH de 8,3; además el suelo cuenta con elementos disponibles de nitrógeno = 2,86%; fósforo = 12,5 ppm y potasio = 184,2 ppm (PEAM, 2014).

3.3. Materiales, equipos y reactivos

3.3.1. Materiales

Materiales de campo: Tijera cosechadora, podón (pico de loro), machete sin filo, baldes de plástico, bolsas plásticas, cajones fermentadores de madera, plástico, aluminio y acero inoxidable con las dimensiones diseñadas siguientes: con una base de 21 x 22 centímetros, altura de 25 centímetros y la boca de 25,5 x 24,5 centímetros, para una capacidad de 10 kg de cacao en baba, estos fermentadores fueron forrados con placas de Tecnopor (A-I), como aislamiento y así conservar la temperatura, paletas de madera, rastrillo de madera, cuchilla, plumón, lápices, cinta maskin Tape.

Materiales de laboratorio

- Vasos de precipitación de 50, 100 y 250 ml.
- Pipetas graduadas de 2, 5 y 10 ml.
- Probetas graduadas de 10, 100, 250 ml.
- Termómetros de mercurio (0 – 100 °C)
- Placas petri,

- Bureta
- Guillotina marca Trenex.
- Pinzas
- Espátulas
- Gradillas
- Trípodes
- Papel de filtro
- Espátulas
- Varilla de vidrio,
- Embudos
- Mantas de yute
- Bolsas plásticas
- Selladora
- Mortero y pilón
- Capsula de porcelana
- Papel filtro Watman N° 4, papel toalla
- Molino eléctrico
- Campanas de desecación.

Equipos de laboratorio:

- Balanzas analíticas modelos Scout Pro SP2001 (OHAUS)
- Estufa
- pH metro
- Colorímetro modelo Minolta CR-400
- Refrigerador
- Agitador magnético modelo 625 standard (VWR™ hot plate/stirrer)
- Refractómetro
- Mufla modelo Furnace
- Extractor Soxhlet modelo Fortuna, marca Witeg
- Digestor
- Hidrómetro

- Destilador.

Reactivos y soluciones:

- Agua destilada (H₂O_{dd})
- Fenolftaleína 0,1 %
- NaOH al 0,1 N
- Alcohol etílico
- Hexano
- Catalizador
- Ácido sulfúrico (H₂SO₄) 50%
- Ácido bórico
- Ácido clorhídrico al 0,1 N.

3.3.2 Métodos

Método para determinar el espesor del aislante (Tecnopor) para los fermentadores de cacao: Para determinar el espesor del tecnopor utilizado en cada fermentador de cacao, se hizo en función a la ecuación de transferencia de calor para placas planas, en su versión simplificada (IDAE, 2007):

$$Q = A \frac{T_2 - T_1}{\frac{\delta X_1}{k_1} + \frac{\delta X_2}{k_2}}$$

Donde, el significado de cada variable en función al presente trabajo de investigación es el siguiente:

- Q = Transferencia de calor (Watts)
- T₁ = Temperatura ambiente promedio, es decir en la superficie externa del fermentador (K).
- T₂ = Temperatura máxima, en el interior del fermentador (K).
- A = Superficie de la cara del fermentador (m²)
- δX₁ = Espesor del aislante (m)
- δX₂ = Espesor del material del fermentador (m)
- k₁ = Conductividad térmica del aislante (W/mK)

- k_2 = Conductividad térmica del material del fermentador (W/mK)

Cosecha de las mazorcas de cacao: se realizó según (NTP208.040, 2006).

Quiebra de mazorcas de cacao: Se realizó según (NTP208.040, 2006) y (NTP-ISO:2292, 2006).

Evaluación de granos fresco de cacao después de la cosecha: Sólidos solubles totales (SST), método 945.80 (AOAC, 1995); determinación del índice de madurez, se determinó por la relación entre los SST y Acidez Titulable Total (Repo y Encina, 2008).

Los análisis químicos del grano de cacao, se realizaron por los métodos de la AOAC (1997): Humedad (N° 931,04), pH (N° 970,21), acidez total titulable (N° 942,15), grasa (N° 936,15), cenizas (N° 972,15), proteínas (N° 970,20), incorporando un desgrasado previo de las muestras con éter de petróleo por 4 horas (Graziani *et al.*, 2003).

Fermentación de los granos de cacao: Este proceso se realizó según (NTP 208.040, 2008).

Evaluación durante la fermentación de los granos de cacao: se controló la temperatura por método reportado según Portillo *et al.*, (2005); el pH y Acidez total titulable.

Secado: se realizó por (NTP 208.040, 2008).

Evaluación fisicoquímica después del proceso de secado: Color de grano, Porcentaje de fermentación utilizando la prueba de corte (porcentajes de granos fermentados, granos violetas y granos pizarrosos) según las NTP ISO 1114:2006, índice de grano: peso de 100 granos; métodos reportado por

(Federación Nacional de Cacaoteros, 2004), evaluación químico proximal como Humedad, proteína, grasa, ceniza, pH, Acidez total titulable (AOAC, 1997).

3.4 Metodología experimental

La secuencia de operaciones de proceso post cosecha del cacao se describe a continuación:

a. Acondicionamiento de la muestra

Para la obtención de la muestra se realizó la cosecha y el beneficio de los granos de cacao la misma que se describe a continuación:

Cosecha: Se cosecho fruto o mazorca maduros, teniendo en cuenta lo siguiente: La madurez de la mazorca se realizó apreciando el cambio de pigmentación: de verde al rojo fuerte y golpeando los frutos con los dedos de la mano y si se produce un sonido hueco es señal de que el fruto está maduro y se encuentra en condiciones óptimas para realizar el beneficio (NTP. 2006. 208.040)

Quiebra y extracción de almendras: Se realizó con el objetivo de extraer las almendras de la placenta, utilizando un machete sin filo mediante un corte diagonal y teniendo cuidado de no causar heridas a las almendras. Se extrajeron los granos de cacao con los dedos, evitando ensuciarlos con hojas u otro tipo de impurezas. Se tomó 300 g de muestra de los granos de cacao fresco para la caracterización fisicoquímica (NTP. 2006. 208.040).

Fermentado: Los granos de cacao en baba son colocados en los cajones de fermentación y cada fermentador tuvo una capacidad para 10 kg de cacao en baba (A-III); se hizo cuatro tratamientos considerando diferentes fermentadores diseñados con materiales como madera, plástico, aluminio y acero inoxidable y

se cubrió con tecnopor todos los lados incluyendo la parte inferior. Las remociones en los cuatro tratamientos fueron las mismas, primero a las 48 horas y luego cada 24 horas hasta completar el proceso de fermentación de 7 días. Se realizó el control diario de la temperatura, durante el proceso de fermentación de los granos de cacao. (NTP. 2006. 208.040)

Secado: El secado se realizó con el objetivo de reducir el contenido de agua en el grano, se evaluó en forma continua la pérdida de agua hasta un nivel entre 7 a 8%, secado natural expuesto al sol por tres días. (NTP-ISO 2291: 2006).

b. Evaluación de granos fresco de cacao después de la cosecha

Los sólidos solubles totales (SST), se determinaron según indicaciones de uso del refractómetro digital HI 96801. El refractómetro digital es un medidor de mano, resistente al agua, para determinar el contenido de sacarosa con un rango de medición de 0 a 85 % brix. La humedad, evaluación de pH, análisis de acidez, según lo indicado por la Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 1997).

c. Evaluación durante la fermentación de los granos de cacao

Temperatura: Se realizó con un termómetro ambiental tal como indica Portillo *et al.*, (2005); las lecturas del termómetro están en (A-IV) y fue al inicio y cada 24 horas hasta el final del proceso (7 días). La determinación de acidez total titulable y pH se realizó por la AOAC, (1997).

d. Evaluación fisicoquímica después del proceso de secado

La determinación del color, se realizó con un colorímetro Kónica Minolta CR-400, con el que se midió la luminosidad de color de los granos, se partieron por la mitad los granos y se colocaron en una placa Petri cubiertas en una superficie de vidrio plano y transparente, se colocó el equipo sobre esta superficie y se realizó el escaneo del color de los granos y se registró la luminosidad de cada uno de los tratamientos (Hunterlab, 2001).

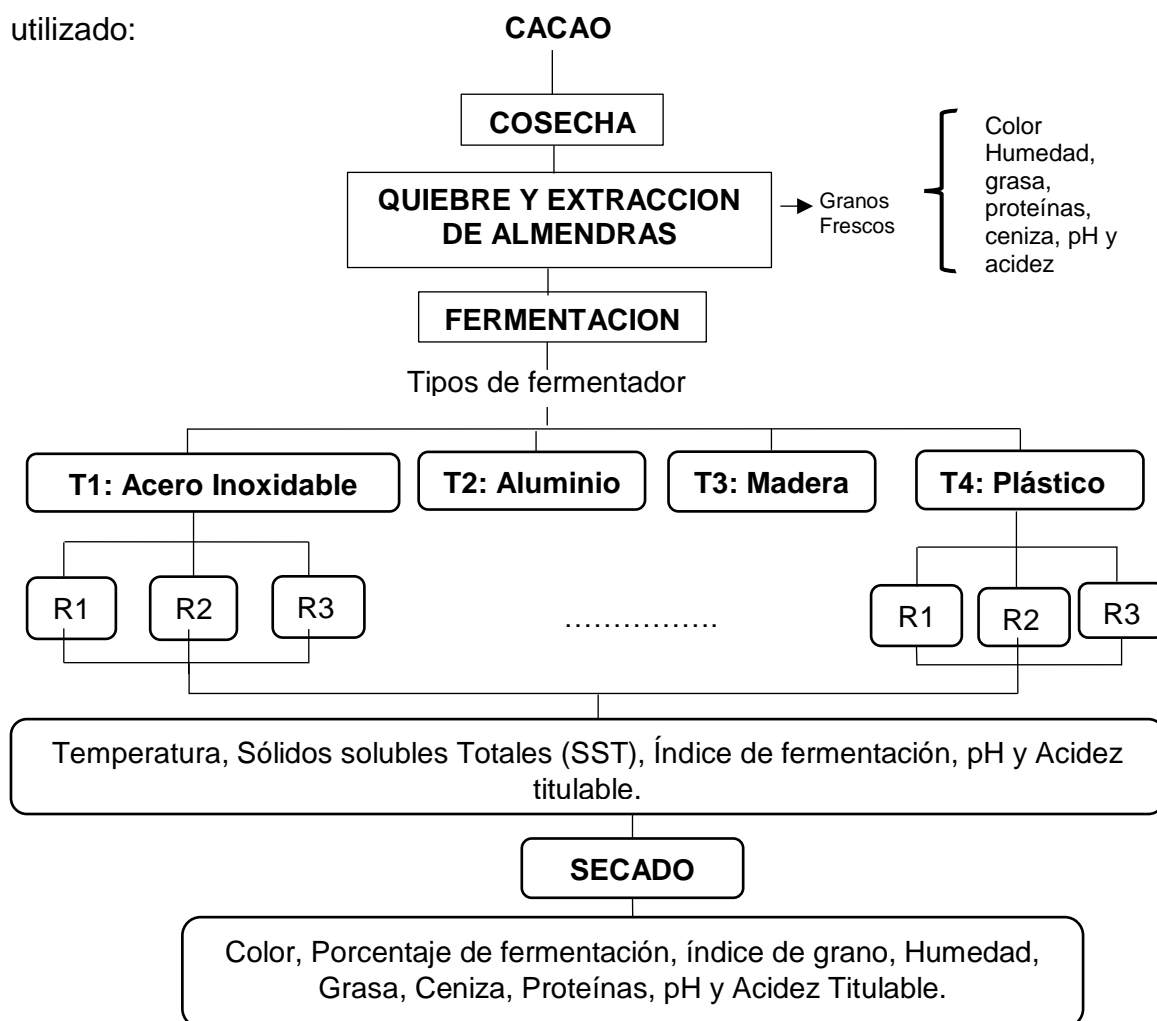
Índice de fermentación: Se realizó un corte longitudinal a 100 granos secos tomados al azar utilizando la guillotina, el corte fue por la parte central, a fin de exponer la máxima superficie de corte de los cotiledones. Se examinó visualmente las dos mitades de cada grano a la luz diurna o bajo una iluminación artificial. Fueron contados separadamente los granos Violetas y pizarrosos, según lo definido a continuación:

$$\%IF = 100 - \text{Granos violetas} - \text{Granos Pizarrosos}$$

Grano violeta. Grano cuyo cotiledón presenta un color violeta intenso, debido al mal manejo durante la fase de beneficio del grano.

Grano pizarroso. Grano sin fermentar, al ser cortado longitudinalmente, presenta en su interior un color gris negruzco o verdoso y de aspecto compacto.

3.5. Diseño experimental. En la figura N° 03, se observa el diseño experimental utilizado:



Dónde: R = repeticiones

Figura 3. Flujograma de operaciones del proceso post – cosecha o beneficio del cacao CCN-51 (*Theobroma cacao* L.)

3.6 Análisis estadístico

Para el procesamiento de los datos del análisis fisicoquímico de los granos de cacao, se utilizó el modelo estadístico de Diseño Completo al Azar, por tres repeticiones; empleándose la prueba de Tukey nivel de probabilidad de $\alpha = 0,05$ para la diferenciación estadística (De Mendiburú, 2007).

Variables independientes: Tipo de material del fermentador

Variable dependiente: Resultados de las pruebas: Grado de fermentación y Características fisicoquímicas del grano fresco y seco.

Modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde: $i = 1, 2, 3, 4$ y $j = 1, 2, 3$

Y_{ij} = Resultados de las pruebas: Grado de fermentación y Características fisicoquímicas del grano fresco, fermentado y seco.

μ = Media general

τ_i = Efecto del Tipo de material del fermentador.

ε_{ij} = Error aleatorio

Luego, teniendo en cuenta el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Realizar

Análisis de la Varianza para el modelo

Ho: No hay diferencia significativa entre tratamientos: $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_t$

Ha: al menos un efecto de un tratamiento es diferente de los demás.

Fuentes de Variación (F.V.)	Grados de Libertad (G.L.)	Suma de Cuadrados (S.C.)	Cuadrados Medios (C.M.)	F ₀
Tratamientos	t-1	$\sum_{i=1}^t n_i (\bar{Y}_i - \bar{Y}_{..})^2$	$\frac{S.C.TRAT.}{t-1}$	$\frac{C.M.TRAT}{C.M.ERROR}$
Error	$\sum_{i=1}^t n_i - t$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2$	$\frac{S.C.ERROR}{\sum_{i=1}^t n_i - t} = \sigma^2$	
Total	$\sum_{i=1}^t n_i - 1$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2$		

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Espesor del aislante (tecnopor)

El espesor del aislante utilizado en cada uno de los fermentadores, se obtuvo a partir de la ecuación de transferencia de calor, en donde se ha despejado la incógnita que corresponde al espesor del aislante δX_1 , quedando la ecuación de la siguiente manera:

$$\delta X_1 = k_1 \left(\frac{A \cdot (T_2 - T_1)}{Q} - \frac{\delta X_2}{k_2} \right)$$

Para una mejor aplicación de la fórmula, se ha considerado una pérdida de calor, lo menor posible; para ello se tomó criterios técnicos en cuanto al material (tecnopor) que se encuentra con medidas estandarizadas en el mercado, es por eso que se consideró como base una transferencia de calor de 14 W (pérdida de calor) del interior del fermentador hacia el exterior del mismo, lo cual constituye un valor no significativo en cuanto a transferencia de calor. El criterio tomado sobre los 14 W, es fundamentado por los estudios realizados por Alvarez Betancourt, Limonta, & Díaz Betancourt, (2003) y discutidos en el V Congreso de la Sociedad Cubana de Bioingeniería, realizado en la Habana en el mes de junio, los días, 10, 12 y 13 del 2003. Siendo la temática: estimación del calor metabólico generado en un fermentador de 3000L por la levadura *pichia pastoris-rec HBsAg*; en donde se sostiene que: en el proceso de fermentación, se utiliza una etapa inicial, en donde se ha utilizado glicerol como fuente de carbono y posteriormente se realiza una inducción con el uso de metanol para la producción del antígeno. A partir de este procedimiento fue posible estimar el valor de generación de calor del cultivo industrial en el tiempo con un valor máximo de

37700 kcal/hora a las 100 horas de fermentación y este valor permitió ajustar las características del sistema de bombeo del agente refrigerante. Si las 37700 kcal/hora, lo convertimos a Watts ($1 \text{ Watts} = 0,8598 \text{ kcal/hora}$), se obtiene el siguiente resultado: $37700 \text{ kcal/hora} = 43847,4064 \text{ W}$. Además, si este valor lo dividimos con los 14 W que estamos considerando como pérdida de calor, resulta 3132. Esto implica que los 14 W es un valor insignificante en cuanto a pérdida de calor porque representa una fracción de $1/3132$ de los 43847,4064 W.

Para su mejor comprensión todos los datos son ordenados en la tabla 3; tal como se especifica a continuación:

Tabla 3 Determinación del espesor del aislante (Tecnopor).

Material del Fermentador	k_1 (W/m ² k)	A (m ²)	T1 (k)	T2 (k)	Q (W)	δX_2 (m)	k2 (W/m ² k)	δX_1 (m)
Acero 316	0,08	0,341175	303	323	14	0,002	15	0,038981
Aluminio 5052	0,08	0,341175	303	323	14	0,002	138	0,038990
Madera (Tornillo)	0,08	0,341175	303	323	14	0,010	0,14	0,033277
Plástico (PEAD)	0,08	0,341175	303	323	14	0,002	0,4	0,038591

De la tabla 3, se deduce que el espesor del aislante (Tecnopor) es de 0,038m, lo cual concuerda con el espesor del aislante utilizado, el cual es de $1\frac{1}{2}$ " = 0,0381 m. En consecuencia, las planchas de tecnopor utilizado para aislar cada uno de los fermentadores (fermentador de: plástico, madera, acero y aluminio), fueron de las siguientes dimensiones: $1,20\text{m} \times 2,40\text{m} \times 1\frac{1}{2}$ ". En el anexo (A-II) se detalla los procedimientos de cálculo para conocer el área de transferencia de calor en los fermentadores de cacao.

4.1 Obtención de granos fresco de cacao después de la cosecha

4.1.1 Análisis químico proximal

La composición química proximal de los granos de cacao se presenta en la tabla 4.

Tabla 4 Composición química proximal de los granos de cacao CCN-51 en estado fresco reportado a base seca.

Análisis	Unidad	Cacao en baba
Humedad	%	31,7
Lípidos	%	9,6
Fibra cruda	%	26,1
Cenizas	%	3,6
Proteína	%	12,59
Carbohidratos totales	%	42,5
Energía	Kcal/100g	307

En la tabla 4, se observa que los granos de cacao fresco, presenta un porcentaje de humedad de 31,7%, este valor está dentro del margen establecido por Alvarado *et al.* (1983) que señalan un contenido entre 27,03 y 32,05% de humedad, además Graziani *et al.* (2003), encontraron en su trabajo de investigación el porcentaje de humedad para los tipos de cacao criollo, forastero amazónico y trinitario valores de 36,36; 36,87 y 35,86 respectivamente donde no encontraron diferencia significativa.

También se puede observar en la tabla 4 valores como porcentaje de grasa, proteínas, ceniza de 9,6; 12,59 y 3,6 respectivamente estos datos comparados con otros trabajos difieren un poco con los resultados del presente trabajo de investigación, Graziani *et al.* (2003), reportan valores para el cacao forasteros de 13,59 %, proteína, ceniza 3,59 % y grasa 49,52 %, además encontraron que el porcentaje de grasa solo varía entre los tipos de cacao mas no los otros variables

antes mencionados. La composición química del grano de cacao puede estar influenciada por varios factores como lo menciona Wakao (2002), la composición química de los granos de cacao depende de varios factores entre los que se puede citar: Tipo de cacao, origen geográfico, grado de madurez, calidad de la fermentación y el secado y además el subsiguiente procesamiento de los granos.

4.1.2 Sólidos solubles totales (SST)

La cuantificación de los sólidos solubles totales (SST) de la pulpa de cacao fresco, se presentan en la tabla 5, tanto para los de grados Brix de la pulpa y la semilla o cotiledón respectivamente.

En la tabla 5, se observa los grados Brix de la pulpa y la semilla con que empezó la fermentación, gracias a estos azúcares se logra la fermentación, Romero y Zambrano (2012) menciona que la pulpa es rica en carbohidratos y tiene un pH bajo, favoreciendo de esta manera el desarrollo de microorganismos como las levaduras, además Braudeau (1970); Cros y Jeanjean (1995) menciona que el alto contenido de azúcares en la pulpa favorece el desarrollo de las levaduras durante el proceso fermentativo, las cuales promueven la fermentación alcohólica, con un consecuente aumento de la acidez y de la temperatura que lleva a la muerte del embrión y a una lisis parcial de las paredes celulares, ocasionando las reacciones que originan los precursores del sabor a chocolate.

Además, en la tabla 5 podemos observar un valor alto de porcentaje de sólidos solubles totales. Penha y Da Matta (1998) encontró mayor cantidad de SS (17-19° Brix) en la pulpa de cacao de Bahía, Brasil, al respecto los resultados

del presente trabajo de investigación se encuentran dentro del rango encontrados por los autores antes mencionados.

4.1.3 pH

La determinación de pH de la pulpa de cacao, se realizó por triplicado antes de la fermentación. Los resultados de pH de la pulpa de cacao antes de la fermentación se muestran en la tabla 5.

En la tabla 5, se puede observar el valor del pH del cacao CCN-51 es de 3.41, el cual al ser comparados con los estudios realizados por Graziani *et al.* (2003) en su trabajo de investigación, los resultados coinciden significativamente.

La pulpa de cacao por presentar condiciones adecuadas (azúcar y acidez), son aprovechadas en la fermentación, al respecto Wachter (2011), menciona que los microorganismos llevan a cabo la fermentación en la pulpa, que contiene carbohidratos (glucosa, fructosa, sacarosa) y un valor de acidez (pH) entre 3,3 y 4,0 debido a la presencia de ácido cítrico. Y los valores de pH del presente trabajo de investigación está dentro de los valores encontrados por el autor antes mencionados. Además, Graziani *et al.*, (2003) reportó valores de pH 3,45; 3,52 y 3,56 para los diferentes tipos de cacao; estos resultados nos indican que los valores de pH encontrados están dentro de los rangos establecidos para que se dé una buena fermentación.

Las semillas frescas del cacao se encuentran en una pulpa blanca de sabor dulce aromático que representa 15 - 20% del peso fresco. La pulpa consiste en un 80% de agua, 10 - 15% de glucosa y fructosa, así como de 0,5% de ácidos

no volátiles (principalmente ácido cítrico) y de pectina; tiene un coeficiente pH de 3,5 (Riera, 2009).

4.1.4 Acidez Titulable Total

La producción de ácidos en la pulpa es importante en la fermentación del cacao, ya que estos ácidos se difunden en los granos y posteriormente inducen las importantes reacciones bioquímicas que conducen a los granos de cacao bien fermentados, los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5 Caracterización de la materia prima del cacao fresco CCN-51.

Caracterización de la materia prima (CCN-51)	Promedio \pm SD	
	Pulpa	Semilla
Grados Brix de la pulpa y la semilla de cacao en estado fresco	18,77 \pm 0,31 ^a	13,93 \pm 0,2 ^a
pH de la pulpa de cacao fresco antes de su fermentación	3,41 \pm 0,1 ^a	
Acidez Titulable total (% de ácido cítrico) de la pulpa + cotiledón del cacao fresco	0,910 \pm 0,010 ^a	

El porcentaje de acidez titulable total de la pulpa más cotiledón se expresó en gramos de ácido cítrico/100 gramos de cacao.

El descenso de la acidez en la pulpa más testa ha sido atribuido al metabolismo del ácido cítrico por acción de las levaduras y el aumento en el cotiledón a la difusión de los ácidos de la pulpa hacia esta fracción (Schwan *et al.*, 1990).

4.2 Evaluación durante la fermentación de los granos de cacao

4.2.1 Temperatura

Las variaciones de la temperatura durante la fermentación para los diferentes tipos de material de fermentador se muestran en la tabla 6, el análisis estadístico indica que no existe un efecto significativo en el promedio de la temperatura de los cajones del fermentador (A-V). Al usar los diseños con diferentes tipos de material de la caja del fermentador (acero, aluminio, madera y plástico) se observó el mismo comportamiento de la temperatura durante la fermentación.

En la tabla 6, se observa que el comportamiento de la temperatura en el cuarto día supera los 40 °C para los cuatro tipos de fermentadores, concordando los resultados con el proceso general de la fermentación de la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (2008), menciona que en el cuarto día debería alcanzar una temperatura de 40 °C.

Durante la fermentación se produce un incremento de la temperatura (Figura 4). El aumento de la temperatura ocasiona la muerte del embrión y una lisis parcial de las paredes celulares, lo que permite el contacto de las diferentes enzimas con sus respectivos substratos, ocasionando las reacciones que originan los precursores del sabor a chocolate (Cross y Jeanjean, 1997).

Por otro lado, Álvarez (1997), detectó temperaturas mayores (40,9 °C) en el segundo día de la fermentación del cacao desgranado recién cosechado. El aumento de la temperatura es causado por el calor generado por las reacciones exotérmicas y la actividad microbiana que ocurre en el proceso.

Tabla 6 Temperaturas registradas durante la fermentación de cacao en cajones de Acero, Aluminio, Madera y Plástico.

Tipo de material del fermentador	Días de fermentación	Temperatura	
		Con Tecnopor	Sin Tecnopor
Acero	0	29,00±1,0	29,00±1,0
	1	29,70±0,6	29,50±0,6
	2	33,00±2,1	32,00±2,1
	3	39,70±7,6	36,70±7,6
	4	42,70±4,0	39,70±4,0
	5	46,30±3,1	44,10±3,1
	6	49,00±1,7	45,00±1,7
Promedio		40,1^a	36,6^a
Aluminio	0	29,50±0,7	29,50±0,7
	1	29,67±0,6	29,31±0,6
	2	33,00±2,0	31,72±2,0
	3	40,33±9,0	36,81±9,0
	4	41,67±6,1	40,45±6,1
	5	46,00±2,0	44,21±2,0
	6	47,67±1,5	46,05±1,5
Promedio		39,72^a	36,86^a
Madera	0	29,33±0,6	29,33±0,6
	1	29,67±0,6	29,54±0,6
	2	35,17±4,6	32,19±4,6
	3	39,67±8,5	37,23±8,5
	4	43,00±3,5	39,06±3,5
	5	46,33±1,2	44,82±1,2
	6	48,33±1,2	47,00±1,2
Promedio		40,36^a	37,02^a
Plástico	0	29,33±0,6	29,33±0,6
	1	29,67±0,6	29,49±0,6
	2	32,83±0,8	31,99±0,8
	3	38,67±4,2	34,52±4,2
	4	42,00±5,2	39,54±5,2
	5	45,67±2,3	42,57±2,3
	6	48,33±1,2	45,62±1,2
Promedio		39,53^a	36,15^a

*Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA, n = 3, Tukey, p < 0,05).

En la tabla 6, se evidencia que la temperatura promedio de los fermentadores que no están aislados con tecnopor es menor en 4 °C

aproximadamente que la de los fermentadores aislados con tecnopor; sin embargo, es necesario indicar que la temperatura promedio en los fermentadores sin aislante son similares, siendo el promedio de 36 °C aproximadamente; por esta razón, en el presente trabajo de investigación todos los análisis están en función de los fermentadores aislados con tecnopor. Además, es necesario tener en cuenta que, del proceso fermentativo, proviene la mayor cantidad de calor, producto de la oxidación del etanol a ácido acético y de la conversión del ácido acético a CO₂ y agua; en consecuencia, el ascenso de la temperatura puede ser atribuido a una pre fermentación de las mazorcas durante el reposo (Barel *et al.*, 1985).

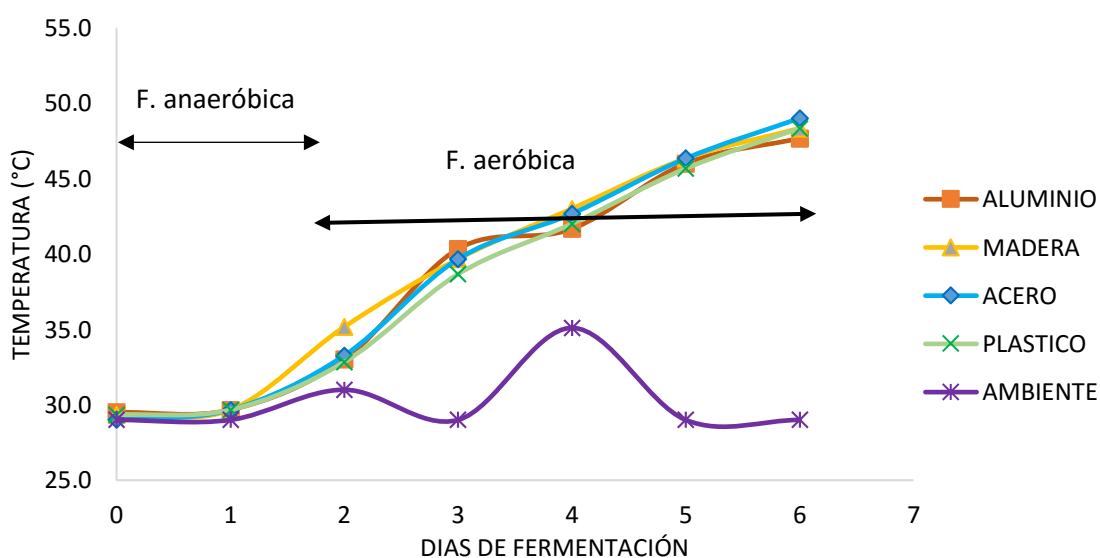


Figura 4. Variación de la temperatura de masa de cacao y ambiente durante el proceso de fermentado de las muestras de cacao en diferentes tipos de material de fermentador.

Con la primera remoción a las 48 horas, la temperatura siguió incrementándose hasta 40,33 °C para aluminio, acero con 39,70 °C; madera 39,67 °C y plástico con 38,67 °C (72 horas); luego se observa que sigue el

incremento hasta el final de la fermentación para los cuatro tipos de fermentadores. Al respecto indican que la remoción de la masa es de extrema importancia en la uniformización de la fermentación, y por el contacto con el oxígeno del ambiente favorecerá al desenvolvimiento de las bacterias acéticas (Navia y Pazmiño, 2012).

Esta variación se debe a varios factores que influyen sobre la fermentación del cacao, entre ellos: el tipo de cacao y el tiempo de almacenamiento del fruto o mazorca antes de la apertura y el desgrane (Ortiz *et al.*, 2009). Como también la temperatura generada en la masa de fermentación está relacionada con la temperatura del ambiente (Sánchez, 2007).

Al finalizar la fermentación la variación de la temperatura no logra superar los 50 °C como se muestra en la figura 4, logrando para acero 49 °C; aluminio 47,67 °C, madera y plástico 48,33 °C; Mandujano (2013), en su trabajo de investigación reporta resultados de temperaturas finales después de 6 días de fermentación con tiempo de reposo de 0, 24, 48 y 72 horas, siendo la menor temperatura (44,89 °C) para los granos sometidos a un tiempo de reposo de 24 horas, mientras que la mayor temperatura (47,0 °C) para los granos sometidos a un tiempo de reposo de 72 horas, seguido del tiempo de reposo de 48 horas (46,67 °C). Por otro lado, Portillo *et al.*, (2011) menciona que la temperatura disminuye a consecuencia de la inactivación de las bacterias acéticas y a la muerte del embrión, favoreciendo el desarrollo de los precursores del aroma del cacao. El proceso de fermentación va depender a la variedad o tipo de cacao, para Ramos (2006), los cacaos forasteros y trinitarios deben fermentarse de 6 a 7 días; en el presente trabajo se usó como muestra el clon CCN-51, al respecto

Carrión (2012) menciona que el clon CCN-51 fue obtenido del híbrido entre los clones ICS-95 x IMC-67 (Imperial College Selection e Iquitos Mixed Cabacillo), luego Homero realizó un segundo cruce entre dicho híbrido con un cacao encontrado por él en el Oriente ecuatoriano y denominado “Canelos”.

La temperatura de la masa de los granos de cacao fermentando, se incrementó desde $30,6 \pm 1,56$ °C (0 horas) hasta $41,47 \pm 9,60$ °C (48 horas). Dicho incremento es causado por la actividad microbiana en la pulpa mucilaginosa, con producción de alcohol y ácidos, liberando calor (Lagunes y Gálvez, 2007).

En la tabla 6, también se puede observar las temperaturas alcanzadas durante los días de fermentación de cacao en promedio para los cajones de madera fueron de 40,36°C, seguido del acero con 40,1 °C; aluminio 39,72 °C y por último el cajón de plástico con 39,53 °C; a comparación con Graziani *et al.*, (2003) en su trabajo al usar dos diseños de fermentadores de madera (cuadrado y rectángulo) encontró valores inferiores para el diseño cuadrado de 38,3 °C y rectángulo de 36,7 °C con 6 días de fermentación, este puede deberse a una de las características ajenas a la cantidad ya que se trabajaron con la misma cantidad, y Rohan (1964) menciona que es más importante la altura que el peso de la masa de cacao. En nuestro trabajo los cajones de los diferentes tipos de material del fermentador estuvieron forradas con un aislante térmico como es el tecnopor, están hechas de poliestireno expandido y con excelente capacidad de aislamiento térmico frente al calor y al frío. Aproximadamente el 98 % del volumen del material es aire (el aire en reposo es un excelente aislante térmico) y únicamente el 2% es poliestireno (materia sólida) (Martínez, 2012), y esto no

dejan que ocurran variaciones o alteraciones y además puede explicar el incremento de temperatura día a día que se registró durante la fermentación del cacao y obtener al final una temperatura de 50 °C. Además, las formas del diseño de los fermentadores que son semejante a un tronco de pirámide con bases cuadrangulares y caras trapezoidales, las mismas que ayudan mucho con los principios termodinámicos de conservación del calor. Esta forma de fermentador permite de manera muy fácil la remoción de todos los granos que se incorporan en el interior, sin permitir que las esquinas del cajón se enfríen como sucedía con el cajón fermentador.

La rápida elevación de la temperatura favorece el proceso de fermentación al acelerar la descomposición de las células de los cotiledones, debido a su efecto sobre la viabilidad de los granos (Rohan, 1964). Además, los materiales usados para la fabricación del fermentador tienen características importantes como resistencia a la corrosión que puede ser causada por los ácidos presente en la pulpa del cacao que son drenados en el exudado durante la fermentación del cacao, y también presentan conductibilidad calórica alta como lo menciona Ibarra *et al.*, (2010). En el caso del acero inoxidable, su principal característica es su alta resistencia a la corrosión. Esta resistencia es debido a la formación espontánea de una capa de óxido de cromo en la superficie del acero; los grados altamente aleados pueden resistir la corrosión en la mayoría de los medios ácidos, incluso a elevadas temperaturas; pueden ser cortados, soldados, forjados y mecanizados con resultados satisfactorios, tienen propiedades higiénicas, es un material durable, y es la opción más barata considerando el ciclo del proceso. En Aluminio por su elevada conductividad calórica e

inalterabilidad es útil para la fabricación de utensilios de cocina y, en general, para aparatos de intercambio de calor. Su resistencia a la corrosión lo hace útil para fabricación de depósitos para ácido acético, cerveza, etc., (Acebes, 1999).

Los plásticos se caracterizan por una alta relación resistencia/densidad, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes, tienen baja conductividad eléctrica y térmica, y no son adecuados para utilizarse a temperaturas elevadas (Garavito, 2007). Además, hay especificaciones a la hora de usar la madera según Riera (2009), la madera con que se aconseja construir el cajón fermentador debe ser blanca (menos pino), puesto que las maderas oscuras y/o resinosas segregan sustancias que contaminan el sabor del cacao. El grosor de la madera debe ser de 1 cm, el piso del cajón deberá tener perforaciones cada 20 cm, a fin de facilitar el drenaje del mucílago y evitar encharcamientos y ahogo del cacao.

Por lo tanto, los incrementos de la temperatura en forma diaria en los fermentadores fabricados con los diferentes materiales antes mencionados tienen características que conservan la temperatura y se obtuvo al finalizar la fermentación de cacao temperaturas por encima de los 45 °C para cada fermentador, Moreno (1980) encontró temperaturas máximas de (48-50 °C) y Braudeau (1970) entre 44-47 °C lo cual consideran satisfactorio para la fermentación.

Por su parte, Senanayake *et al.* (1995) encontraron la temperatura más alta del cacao (41- 44,6 °C) en cacao trinitario y forastero de Sri Lanka 24 horas después de la recolección y fermentado en pequeña escala (Torres *et al.*, 2004).

4.2.1 Acidez Titulable Total y pH

Los resultados de la acidez titulable y el pH de los granos de cacao fermentados y secos de los cuatro fermentadores se presenta en la tabla 7. Realizando el análisis estadístico de las muestras se encontró que no existe diferencia significativa entre los tratamientos (A-VIa) con la acidez titulable y si se encontró diferencia significativa en la evaluación de pH (A-VIb), comparando la media por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En la tabla 7, podemos observar el pH en granos fermentados y secos a comparación del estado fresco que fue en la pulpa de cacao y en cambio la acidez presenta una disminución a comparación del estado fresco del cacao durante la fermentación y secado, encontramos valores de pH desde 4,77; 4,74; 4,72 y 4,69 para el material de madera, plástico, aluminio y acero respectivamente, en estos resultados difieren el acero y la madera.

Tabla 7 pH y acidez titulable (% ácido cítrico) de los granos secos de cacao CCN-51 en los diferentes tipos de material del fermentador.

Tipo de material del fermentador	Promedio \pm SD	
	pH	Acidez
Acero	4,69 \pm 0,100 ^a	0,100 \pm 0,001 ^a
Aluminio	4,72 \pm 0,099 ^{ab}	0,099 \pm 0,001 ^a
Madera	4,77 \pm 0,099 ^b	0,099 \pm 0,001 ^a
Plástico	4,74 \pm 0,100 ^{ab}	0,100 \pm 0,003 ^a

*Medias con letras iguales (columna) no difieren estadísticamente (ANOVA, n = 3, Tukey, $p < 0,05$).

En cambio, la acidez bajó en madera y aluminio con 0,009 en plástico y acero con 0,100 respectivamente, pudo deberse al contenido de ácido cítrico, presente al inicio en el mucílago, hace que el pH del mucílago y cotiledón presenten diferencias significativas. Durante la fermentación y sobre todo por efecto de la remoción, el pH se incrementa cuando el ácido cítrico se degrada

por acción de microorganismos. En esta etapa, el ácido acético formado migra hacia el cotiledón, descienda su pH y luego se incrementa debido a las reacciones entre ácido acético y las diversas fracciones de proteínas (García, 2000).

Durante la fermentación se observa en el primer día una variación leve en la acidez, esto se debe a la fermentación en fase anaeróbica cuyo producto es etanol. Sin embargo, a partir del segundo y tercer día de la fermentación se da inicio a la fermentación aeróbica cuyo producto es ácido acético, de ahí el aumento de la acidez. Hay producción de ácidos por los microorganismos en la pulpa, lo cual causa un ascenso de la acidez y una consecuente disminución del pH (López, 1983).

Además, en la tabla 7, podemos observar que los resultados de pH son mayores a 4,5 por lo cual la calidad del grano no se ve afectada, al respecto Portillo *et al.*, (2007), menciona que los valores bajos de $\text{pH} \leq 4,5$ en los cotiledones disminuyen el potencial aromático en el cacao, en tanto que valores alrededor de 5,0 - 5,5 conducen a un incremento del potencial, por lo que remociones de 24 horas favorecen el incremento del pH. Al ver el incremento en el pH sucede lo contrario con la acidez y se observa una disminución la cual concuerda con otros trabajos y esto puede deberse a varios factores como lo menciona Meyer *et al.* (1989) que afirma que las remociones de 24 horas favorecen el incremento del pH, y una acidez excesiva reduce el potencial del sabor (Biehl *et al.*, 1989).

El fenómeno o cambios bioquímicos que ocurre durante la fermentación del cacao y el cambio de pH y acidez lo explica Riera (2009), dice que todo ocurre

después de permanecer 48 horas en el recipiente de fermentación el cacao será ventilado para iniciar la siguiente fermentación aerobia de vinagre y ácido láctico que desintegra el alcohol y el resto de azúcar. Este paso se efectúa mayormente a mano vaciando el cacao en otros recipientes. El ácido acético penetra en las semillas y al tercer día de fermentación el coeficiente pH de los cotiledones se reduce de 6,6 a 4,8.

4.3. Evaluación de los granos de cacao en estado seco

4.3.1 Color de los granos de cacao

La determinación del color se suele realizar mediante cata, que se lleva a cabo por una serie de expertos en la materia, no deja de ser un método subjetivo, dependiente de la percepción y del sujeto que lo lleve a cabo. Con el fin de obtener una serie de parámetros totalmente objetivos en la medida del color la Comisión Internationale de l'Éclairage (CIE) ha ido desarrollando desde 1931 diferentes métodos. El método considerado como más fiable para la reproducción real del color de un objeto iluminado por la luz del día es el sistema CIELab.

Los resultados después de la medición del color se observan en la tabla 9, el estudio estadístico no demuestra diferencia significativa entre los parámetros de color del CIELab (A-VIIa, VIIb y VIIc).

Tabla 8 Medición de Color de los granos de cacao fermentado y seco en cajones de Acero, Aluminio, Madera y Plástico.

Tipo De Material	Coordenadas		
	L*	a*	b*
Acero	13,29±2,05 a	16,15±0,36 a	12,62±2,38 a
Aluminio	16,28±7,42 a	16,39±0,97 a	11,58±0,84 a
Madera	10,59±4,13 a	16,14±1,61 a	11,32±2,79 a
Plástico	17,46±2,93 a	15,40±1,77 a	11,79±1,92 a

*Medias con letras iguales (columna) no difieren estadísticamente (ANOVA, n = 3, Tukey, p < 0,05).

La medición del color utilizando el colorímetro arrojó para el parámetro L presentó un valor medio 10,59 unidades para la madera, 13,29 unidades acero, 16.28 unidades aluminio y 17,46 unidades plástico, las muestras tuvieron una luminosidad baja. Dasso (1986) menciona que la coordenada L representa la luminosidad, donde 100 es el blanco, 50 el gris y 0 el negro.

Además, tenemos al parámetro a, valores de 15,40; 16,14; 16,15 y 16,39 unidades para los granos de cacao fermentados en cajones de plástico, madera, acero y aluminio; este parámetro representa las tonalidades que van del verde (valores negativos) al rojo (positivos) Magariños y Bauzá (2003), teniendo en cuenta los resultados con lo mencionado podemos decir que las muestras tienden al color rojo (color marrón).

También en el cuadro podemos obtener resultados del parámetro b, y según Magariños y Bauzá (2003) mencionan que el parámetro b representa tonos azules para los valores negativos y amarillos para los positivos, y si el valor es cero para los parámetros a y b equivale al gris. Con respecto a los resultados se obtuvo valores para el parámetro b de 11,32; 11,58; 11,79 y 12,62 unidades para los cajones fermentadores de madera, aluminio, plástico y acero

respectivamente, observando los resultados positivos estos tienden hacia el color amarillo no siendo muy lejanos del color gris.

Pero si observamos el A-VIII, podemos visualizar que los granos de cacao presentan un color marrón para los cuatro tipos de fermentadores y estos resultados concuerdan con los porcentajes de fermentación obteniendo valores por encima del 95 %, y todo cambio de color (violeta a marrón) ocurre luego de la fermentación, según Riera (2009) menciona que cuando hay oxígeno en las células de los cotiledones durante la fase de condensación oxidativa de los compuestos polifenólicos en productos complejos, aminoácidos volátiles solubles e insolubles, entonces el color de la superficie de las almendras se vuelve pardo y esto se realiza en toda la almendra, conforme se inicia el secado y se facilita la penetración del oxígeno al interior del cotiledón. (Lemus *et al.*, 2002), se refieren que, al fermentar los granos, el color cambia a una tonalidad parda, y se dan entre los tipos. En el secado el color varía, debido a la formación de los pigmentos marrones (Cros y Jeanjean, 1995).

4.3.2 Índice de Fermentación

Las variaciones del porcentaje de fermentación después del secado para los diferentes tipos de material se muestran en la tabla 9, el análisis estadístico indica que existe un efecto no significativo entre los tipos de material (A-IX). En la tabla 9 se muestra el porcentaje de fermentación después del secado de los granos de cacao según los diferentes tipos de materiales del fermentador.

En la tabla 9, se puede observar valores superiores al 95 % para los cuatro tipos de fermentadores, son considerados granos bien fermentados para unos y

no para otros, según Nogales *et al.* (2006) observaron un incremento del índice de fermentación por encima del 90% en los granos fermentados en dos diseños de cajones de madera y secados al sol, los cuales fueron iguales a los obtenidos en este estudio, valores atribuidos a una posible sobrefermentación de la masa de cacao durante el procesos de fermentación (Graziani *et al.*, 2003).

Tabla 9 Porcentaje de fermentación (índice de fermentación) después del secado de cacao CCN-51, según tipo de material del fermentador

Tipo de material del fermentador	Porcentaje de fermentación: Promedio \pm DS	
	Cacao procedente de fermentadores cubiertos con placa de tecnopor	Cacao procedente de fermentadores sin placa de tecnopor
Acero	95,7 \pm 2,89 ^a	88,41 \pm 2,89 ^a
Aluminio	95,0 \pm 1,73 ^a	87,93 \pm 1,73 ^a
Madera	95,3 \pm 0,58 ^a	88,95 \pm 0,58 ^a
Plástico	95,0 \pm 1,00 ^a	87,89 \pm 1,00 ^a

*Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (ANOVA, n = 3, Tukey, p < 0,05).

En la tabla 9, se evidencia que el porcentaje de fermentación de los granos de cacao que proceden de fermentadores sin el aislante, son más bajos que el porcentaje de fermentación de los granos de cacao que proceden de fermentadores aislados con tecnopor; es por eso que en este trabajo de investigación solo se tomaron en cuenta valores resultantes de los fermentadores aislados con tecnopor.

Los cuatro fermentadores fabricados con diferentes materiales obtuvieron resultados homogéneos y en otros trabajos donde usaron diferentes tipos de fermentador como Álvarez (2010) no se observó diferencias significativas en el grado de fermentación registrado en los granos que fueron beneficiados en Cajones de Madera y Cestas de Plástico, resultando eficiente ambos fermentadores. Los resultados obtenidos en este estudio son concordantes a los de Tomlins *et al.* (1993), quienes no encontraron diferencias significativas en los

resultados de la prueba de corte (cutest) después del secado al sol o mecánico de los granos en varios cultivares de cacao, fermentados en condiciones diferentes.

Unas de las razones para que no haya diferencias puede ser el grado de fermentación observado por ambos sistemas es un indicio que el aumento de la temperatura cumple una importante función sobre la masa de cacao durante la fermentación, siendo este aumento ocasionado por las reacciones exotérmicas en el grano y al aumento de la actividad microbiana (Senayake *et al.*, 1995). Si vemos los resultados con respecto a las temperaturas observamos que no hay diferencia significativa para los cuatro fermentadores, obteniendo que la temperatura en el último día este en un rango de 47 a 49 °C, cercano a 50 °C.

Los cajones de madera son considerados por otros investigadores como los que mejor han conducido la fermentación de los granos de cacao (Graziani *et al.*, 2003; Portillo *et al.*, 2005). Álvarez (2010) en sus resultados del grado de fermentación para los granos de cacao fermentados en cestas de plástico, difieren de los señalamientos anteriores, aun cuando los estudios existentes están enfocados en los incrementos de los valores del índice de fermentación que se registran durante el Proceso de Fermentación, como resultado de las complejas reacciones que ocurren en el interior del grano por efecto de la temperatura (Graziani *et al.*, 2003; Contreras *et al.*, 2004), así como la evaluación de las características físicas y químicas de los granos.

También se pudo observar en el presente trabajo que el mayor defecto que presentaron los granos de cacao fue los granos violetas y no pizarrosos, pero Álvarez (2010) en su trabajo encontró que el defecto más significativo para los

granos fermentados en los dos sistemas, con diferentes tiempos de remoción y secados al sol; fue el porcentaje de granos pizarrosos, el cual tiene un valor mínimo del 2% y un máximo de 4% para los cacaos finos de aroma según la norma.

Por su parte, Kadow *et al.* (2015), realizaron estudios donde sometieron las semillas frescas de cacao a tres tipos de incubación tipo fermentación con cantidades definidas de ácido acético, a un régimen de temperatura controlada y en ausencia de microorganismos, y obtuvieron como resultado que todas las muestras de cacao fueron de alta calidad reproducible determinada por parámetros de calidad bioquímica, llegando a la conclusión que el control del efecto del calor y la acidez son la razón para éstas características de calidad y que la aplicación de ésta técnica puede permitir la estandarización y mecanización de la fermentación del cacao.

4.3.3. Análisis químico proximal

La composición química de los granos de cacao fermentado y seco representa un contenido en porcentaje que se presenta en la tabla 10.

Como se observa en la tabla 10, el valor obtenido para la humedad es de 6,2 %, este valor es considerada para unos dentro de rango considerado, pero para otros puede ser perjudicial porque están demasiado secos y tienden a quebrarse. Al respecto Loayza (2014) menciona que la reducción debe hacerse hasta un 6 a 7% y un máximo de 8%; pérdidas mayores lo vuelve muy quebradizo al grano. La reducción de la humedad se da con el secado luego de la

fermentación, evita el desarrollo de hongos que afectan su calidad; facilitando su manejo, almacenamiento y comercialización.

Tabla 10 Composición química de los granos de cacao CCN-51 secos.

Análisis	Unidad	Grano seco
Humedad	%	6,2
Lípidos	%	47,6
Fibra cruda	%	5,6
Cenizas	%	3,3
Proteína	%	12,40
Carbohidratos totales	%	30,5
Energía	Kcal/100g	600

Además, se puede observar en la tabla 10, el contenido de grasa que es 47,6 %, el cacao es uno de los granos que presenta un alto contenido en grasa y más aún el clon CCN-51 tiene alrededor de 54 % de grasa (García, 2009). El contenido de grasa está cerca del 50 al 55 % en cacao fresco y luego de ser tostado presenta aproximadamente entre 48 al 52 %; el cual está constituido principalmente de glicéridos como el ácido oleico, laúrico, palmítico, esteárico y aráquico (Belitz, citado por Wakao (2002)).

Loayza (2014), evaluó en su trabajo la frecuencia de las remociones de granos fermentados y secos teniendo dos tratamientos T1 (24, 72, 120, 144 horas) y T2 (24, 48, 72, 96, 120 horas), encontró valores en % grasa 39,06-48,84; ceniza 3,22-3,09; %Humedad 14,27-13,7; estos valores a excepción de la humedad están cercanos a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación.

En la tabla 10, también se observa la diferencia de los valores de los granos frescos con los fermentados y secos, se ve la reducción del porcentaje de

humedad de 31,6 a 6,2 % y los otros componentes solo variaron poco, al respecto Ortiz *et al.* (2009) quienes citan que en el secado del grano fermentado se disminuye la humedad, los taninos y proteínas, este afecta las características químicas del grano porque continúan las reacciones térmicas iniciadas en la fermentación originándose fracciones volátiles mediante reacciones de oscurecimiento no enzimático vía Maillard y formación de pigmentos marrones.

En nuestro país el control de la calidad del cacao, determinado mediante la evaluación de sus propiedades físicas, organolépticas y químicas está reglamentado en la Norma Técnica Peruana, aprobada por el Comité Técnico de Normalización de Cacao y Chocolate.

Graziani *et al.* (2003), Reportan en su trabajo que el diseño del fermentador influyó sobre las características físicas y químicas, de manera que al usar la caja cuadrada se obtuvieron temperaturas más altas en la masa de cacao, así mismo, mayor porcentaje de granos fermentados, los valores de taninos fueron más altos y los de pH más bajos, tanto en la pulpa más testa como en el cotiledón. Por otro lado, Contreras *et al.* (2004) mencionan que las características químicas variaron significativamente entre los tres tipos de fermentadores como sacos de yute, cajas de plástico y de madera saqui saqui, influyeron sobre la humedad, los taninos, la acidez total y los azúcares totales de la pulpa más testa y sobre la humedad y las proteínas del cotiledón; pero resultaron eficientes en el proceso fermentativo. Para elegir el tipo de material para la construcción de un fermentador de cacao, se tiene que tener en cuenta aspectos importantes como: costo, durabilidad, diseño higiénico, tamaño de la planta fermentadora de cacao, integración de procesos de industrialización del cacao, etc., para el presente

trabajo de investigación, los costos por fermentador son los siguientes:
fermentador de madera = S/. 20,00; fermentador de plástico (PEAD) = S/. 30,00;
fermentador de aluminio = S/. 200,00 y el fermentador de acero = S/. 250,00.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y a los objetivos planteados se concluye:

- Se evaluó el efecto del material de los fermentadores no convencionales (fermentador de acero, aluminio y plástico), en el grado de fermentación de granos de cacao CCN-51 (*Theobroma cacao* L), con el propósito de escoger el más conveniente para el proceso de fermentación en la zona. En la evaluación de cada fermentador se obtuvo resultados similares en cada uno de los parámetros, como son: análisis proximal, temperatura durante el proceso de fermentación y grado de fermentación.

- Al comparar el efecto del material no convencional (acero, aluminio y plástico) empleado en la fabricación de fermentadores con el de madera, sobre el grado de fermentación de granos de cacao CCN-51, no se encontró diferencia significativa. Se obtuvo valores por encima del 95 % de granos fermentados para los cuatro tipos de materiales usados en el fermentador, el material a elegir estaría basado en el costo, durabilidad, diseño higiénico, tamaño de la planta fermentadora de cacao, integración de procesos de industrialización del cacao, entre otros.

- Al realizar la evaluación fisicoquímica en la pulpa y granos de cacao; en fresco: acidez titulable, sólidos solubles totales y pH como parte de la caracterización de la materia prima; durante la fermentación: se evaluó la temperatura y la acidez titulable no hubo diferencia, pero si en el pH encontrando diferencia entre la madera y el acero, los valores son aceptados porque fueron mayores al 4,5; en granos secos: se determinó el color obteniendo al final el color marrón característico y esto concuerda con el índice de fermentación que se

logró obtener el 95 % de granos fermentados. En la evaluación del % de humedad en los granos de cacao fresco se obtuvo 31,7 % y después del secado hubo una reducción hasta un 6,2 %. En las proteínas también hubo una disminución de 12,59 a 12,40 % durante la fermentación.

VI. RECOMENDACIONES

▪ Se recomienda según los resultados obtenidos utilizar cualquier fermentador con los diferentes tipos de material, ya que los cuatro presentaron igual grado de fermentación, pero estaría influenciado por la envergadura de la planta fermentadora de cacao y otros procesos de beneficio del cacao.

▪ Realizar análisis de polifenoles totales, que es un indicativo para el grado de fermentación de granos de cacao.

▪ Efectuar estudios de *screening* microbiológico propio de los granos de cacao durante el proceso de fermentación.

▪ Realizar una evaluación sensorial de los granos de cacao de cada tipo de fermentador.

▪ Escoger materiales no convencionales para la construcción de fermentadores de alta capacidad, los cuales deben formar parte de un sistema integrado de beneficio del cacao (plantas de industrialización del cacao).

▪ Usar aislante, en la construcción de fermentadores de cacao, con mayor razón si se utiliza materiales no convencionales cuya resistencia térmica es nula. El tecnopor es un buen aislante por lo tanto puede ser utilizado en la construcción de fermentadores para granos de cacao.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acebes, C. 1999. El aluminio. AIIM - Alcoa - España, 1-2.
- Adriazola, J. 2003. Producción del alimento de los dioses (*Theobroma cacao* L.) Universidad Nacional Agraria de la Selva. págs. 6, 17, 65.
- Aguilar J. 2000. Usos del Aluminio. Aleaciones para forja y aleaciones para fundición, recuperado de: <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2013/cml/13-Aluminio.pdf>.
- Álvarez Betancourt, D., Limonta, M., & Díaz Betancourt, R. E. (13 de Junio de 2003). *Memorias V Congreso de la Sociedad Cubana de Bioingeniería, Habana 2003: Estimacion del calor metabolico generado en un fermentador de 3000l por la levadura pichia pastoris-rec HBsAg*. Obtenido de Memorias V Congreso de la Sociedad Cubana de Bioingeniería, Habana 2003: estimacion del calor metabolico generado en un fermentador de 3000l por la levadura pichia pastoris-rec HBsAg: file:///C:/Users/USER/Downloads/ESTIMACION_DEL_CALOR_METABOLICO_GENERADO_EN_UN_FER.pdf.
- Álvarez, C., Tovar, L., García, H., Morillo, F., Sánchez, P., & Girón, C. (2010). *Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao (Theobroma cacao L.) usando dos tipos de fermentadores*. Miranda: Publicaciones INIA-Miranda.
- Álvarez, C., Tovar, L., García, H., Morillo, F., Sánchez, P., Girón, C., De Fariñas, A. 2010. Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao

(*Theobroma cacao* L.) usando dos tipos de fermentadores. Rev. Científica UDO Agrícola. 10(1): 76-87.

Álvarez, Y. 1997. Efecto del tiempo transcurrido entre la cosecha y el desgrane sobre algunas características del cacao criollo (*Theobroma cacao* L.) selección Ocumare, durante el proceso de fermentación utilizando el sistema trinitaria. Tesis. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 142 p.

Amores, F., Jiménez, J., Peña, G. 2006. Influencia del tiempo de fermentación y el tostado sobre el desarrollo de compuestos aromáticos asociados al sabor a chocolate en almendras de cacao de la variedad nacional. 15th Conferencia Internacional de Investigaciones en Cacao. San José, Costa Rica.

APERAM, 2007. Stainless Services & Solutions Argentina. Manual de productos de acero. Tomado de: http://www.aperam.com/uploads/south_america/aperam_madeforlife/pdf/book.pdf.

Arévalo, E.; Zúñiga, L.; Arévalo, C. 2004. Manejo integrado del cultivo y transferencia de tecnología en la amazonia peruana. Impresiones del castillo S.A. Chiclayo – Perú. págs. 115 - 116, 118

Arciniegas, A. 2005. Caracterización de árboles superiores de cacao (*Theobroma cacao* L.) seleccionados por el programa de mejoramiento genético del CATIE. Tesis, Magíster Scientiae. Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 126 p.

- ASOCIACIÓN NATURLAND. 2000. Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico. Guías de 18 cultivos. Cacao. Naturland Agricultura orgánica. 24 p.
- Barel, M.; Leon, D.; Vicent, C. 1985. Influence du temps de fermentation du cacao sur la production des pyrazines du chocolat. *Café, Cacao, The* (París) 29(4):277-286.
- Bartley, B. G. D. 1971. Procedures for the selection of varieties for comercial planting. In 3ra International Cocoa Research Conference 1969. Acrra, GH. Proceedings Tafo, GH. Cocoa Research Institute. p. 584-589.
- Batista, L. (2009). Guía técnica: El cultivo del cacao. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc "CEDAF", 1-232.
- Bradley, L. 2003. Moisture and Total Solids Analysis. In: Nielsen SS editor. *Food Analysis*. 3^r ed. Hardcover, USA: Springer. 119 - 40 p.
- Braudeau, J. 1970. El Cacao, Traducido por A. Hernández C., Barcelona, España, Editorial Blumé, 185 234 p.
- Biehl, B., Meyer, B., Crone, G.; Pollmann, L. 1989. Chemical and physical changes in the pulp during ripening and post-harvest storage of Cocoa Pads. *J. Sci. Food. Agric.* 48(2):189-208.
- Carrión, J. 2012. Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad CCN-51, Jama-Manabí. Tesis: Ing. Agroempresas. Universidad San Francisco de Quito. Ecuador. 54p.
- Castro, L. sf. Aleaciones de aluminio y su importancia en la industria aeronáutica. *Materiales*: 13-14.

- Cheesman, EE; Pound, FJ. 1932. Uniformity trials. Annual Report on Cacao Research. Imperial College of Tropical Agriculture 9(9):227-288.
- Cheesman, E. E., Pound, FJ. 1934. Further notes on criteria of selection in cacao. Annual Report on Cacao Research. Imperial College of Tropical Agriculture 8:20-21.
- Chire, F. C. G. 2001. "Mejoramiento de chocolate para taza amargo mediante el uso de licor de cacao". Tesis Mg. en Ciencia de los Alimentos. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima.
- Contreras, C., de Bertorelli, L. O., de Fariñas, L. G., & Parra, P. 2004. Fermentadores para cacao usados por los productores de la localidad de Cumboto, Venezuela. *Agronomía Trop*, 54(2), 219-232.
- Contreras, C., Ortiz, L., Graciani, L., & Parra, P. (2004). *Fermentadores usados para cacao usados por los productores de la localidad de Cumboto, Venezuela*. Caracas: Publicaciones de la Universidad Central de Venezuela.
- Crespo, F. 1997. Cultivo y beneficio del cacao CCN51. 1ra Edición. Editorial el conejo. Guayaquil – Ecuador. 135p.
- Cross, E.; N. Jeanjean. 1995. Cocoa quality: effect of fermentation and drying. *Plantations, recherche, développement*. 24:25-27.
- Cross, E.; Jeanjean, N. 1997. Formation l'arôme cacao. In: *Cacao et Chocolat - Production et caractéristiques*. Lavoisier (Paris), à paraître. Memorias del I Congreso del Cacao y su Industria, Maracay, estado Aragua.
- Cubillos, G., Merizalde, G., Correa, E. 2008. Manual de beneficio del cacao. Ed. por Antioquia. Colombia. 29 p.

- Cuesta, T., Pedraza, V. y Ávila, J. 2002. Manual del Centro de Nacional para el Desarrollo del Acero Inoxidable. p. 5-10
- Dasso, I. 1986. Control de color en alimentos: sistemas numéricos de expresión. Rev. La Alimentación Latinoamericana. 41(156). 41-46.
- Díaz, S., Pinoargote, M. 2012. Análisis de las características organolépticas del chocolate a partir de cacao CCN-51 tratado enzimáticamente y tostado a diferentes temperaturas. Tesis Ing. de alimentos. Guayaquil, Ecuador. Escuela superior politécnica del litoral. 145 p.
- Efraim, P., Pezoa-García, N., Jardim, D., Nishikawa, A., Haddad, R., Eberlin, M. 2009. Influência da fermentação e secagem de amêndoas de cacau no teor de compostos fenólicos e na aceitação sensorial. Ciência e Tecnologia Alimentos, Brasil. 30(Supl.1):142-150
- Egas, Y. J. J. 2010. "Efecto de la inoculación con *Azotobacter* Sp. en el crecimiento de plantas injertadas de cacao (*Theobroma cacao* L.) Genotipo Nacional, en la provincia de Esmeraldas". Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero Agroindustrial. Ecuador-Quito, p. 4.
- Enríquez, G. 1985. Curso sobre el cultivo de cacao, Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanzas (CATIE). Turrialba, Costa Rica. p. 1 – 28; 46 47; 79 – 85.
- Esquivel, O.; Soria, VJ. 1967. Algunos datos sobre la variabilidad de algunos componentes del rendimiento en poblaciones de híbridos interclonales de cacao. Cacao. Costa Rica 12(4): 1-8.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CACAOTEROS. 2004. El beneficio y características físico químicas del cacao (*Theobroma cacao* L.) Productos

- editoriales y audiovisuales. Fondo Nacional del Cacao. Programa de Comercialización. Bogotá. 32 p.
- Forest Stewardship Council, 2008. *Cedrelinga Catenaeformis*. SANADRIAN - NAVARRA – ESPAÑA. 19, 1-2.
- Garavito, J. 2007. Plástico. Protocolo. Curso de procesos de manufactura. Ed. 2. Escuela Colombiana de Ingeniería. 29p.
- García, L. 2009. Catálogo de cultivares. Dirección de Promoción de Competitividad. Tingo María, Perú. 110 p.
- González, I. A. 2010. Caracterización química del color de diferentes variedades de guayaba (*Psidium guajava L.*) colombiana. Tesis Mg. En Ciencias – Química. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Química. Bogotá, Colombia. 84p.
- González, M., Pérez, S., Palomino, C. 2012. Factores que inciden en la calidad sensorial del chocolate. Actualización en nutrición, Venezuela. 13(4):314-331.
- Graziani, L.; Ortiz, L.; Álvarez, N.; Trujillo, A. 2003. Fermentación del cacao en dos diseños de cajas de madera. *Agronomía Trop.* 53(2):175-187.
- Guillin, C., Lara, LI. 2010. Efecto de los sistemas de fermentación en la calidad del cacao de la variedad complejo nacional y trinitario (*Theobroma cacao L.*) del Cantón las naves provincia Bolívar. Tesis Ing. Agroindustrial. Guaranda, Ecuador. Universidad Estatal de Bolívar. 76 p.
- Hutchings, J. B. 1994. Food Colour and Appearance. Blackie Academic y Professional, Glasgow, Estados Unidos.

- Ibarra, M., Núñez, E., Huerta, J. 2010. Manual Acero Inoxidables. Indura. Chile. 72 p.
- ICCO, 2003. Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanzas CATIE. Programa de enseñanza para el desarrollo y la conservación. Escuela de postgrado. Caracterización de árboles superiores de cacao (*Theobroma cacao*). Seleccionados por el programa de mejoramiento genético del catie, pp. 23
- IDAE. (2007). *Guía técnica: Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos*. Madrid: Publicaciones IDAE.
- INDECOPI, 2011. NTP-ISO 2451: Granos de Cacao. Especificaciones. Lima – Perú, 2-4p.
- INIAP, 2009. Boletín Técnico 135: Entorno Ambiental, Genética, Atributos de Calidad y Singularización del Cacao en el Nor Oriente de la Provincia de Esmeraldas, Quevedo-Ecuador, 2009.
- IPGRI. (International Plant Genetic Resources Institute, FR). 2000. Working procedures for cocoa germoplasm evaluation and selection. Proceedings of the CFC/ICCO/IPGRI project Workshop 1998 Montpellier, FR. Ed. Eskes, AB; Engels, JMM; Lass, RA .176 p.
- Jacob, V. J.; Atanda, O. A. 1975. Compatibility and fruit setting in *Theobroma cacao* L. *Rev. Theobroma (Brasil)* 5(2): 12-18.
- Lagunes, Galvez. 2007. Study on the microflora and biochemistry of cocoa fermentation in the Dominican Republic. *International Journal of Food Microbiology*.
- Laufgang, S. (2003). Acero inoxidable. *Termo Soldex*, 1-2.

- Lemus, M.; L. Graziani de Fariñas, L. Ortiz de Bertorelli y A. Trujillo de Leal. 2002. Efecto del mezclado de cacao tipos criollo y forastero de la localidad de Cumboto sobre algunas características físicas de los granos durante la fermentación. *Agronomía Trop.* 52 (1): 45-58.
- López, A. 1983. Factors associated with cacao bean acidity and the possibility of its reduction by improved fermentation. *Revista Theobroma* 13(3):233-248.
- MAE (2014) Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales – Ecuador. MAE (Ministerio de ambiente del Ecuador); FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). Quito. 105p
- Magariños, C.; Bauzá, M. 2003. Determinación del color de aceites de oliva vírgenes. *Rev. FCA UNCuyo.* Mendoza, Argentina. 35(2). 71-76
- Martínez, M., N. 2012. Construcción con paneles estructurales de poliestireno expandido. Tesis: Ing. de Edificaciones. Universidad Politécnica de Cartagena. 114p.
- McGee, H. 2004. "On food and cooking", Editorial Scribner Edition, p. 697.
- Meyer, B., B. Biehl, M. Bin Said; R. Samarak. O. 1989. Post-harvest pod storage: A method for pulp preconditioning to impair strong nib acidification during cocoa fermentation in Malaysia. *J. Sci. Food Agric.* 48:285-304.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. 2004. Manual del cultivo del Cacao. Programa para el Desarrollo de la Amazonía–PROAMAZONIA. Lima. 83 p.

- Montes, C.; Campos, J.; Pons, A.; Heredia, F.J. 2004. Instrumental factors influencing absorption measurements for fluid food color determination. *Journal of AOAC International*, 87, 632-638.
- Moreno, L. 1980. Agronomía del cultivo. Beneficio del cacao. *Rev. El cacaotero colombiano*. 12: Colombia. 2-23 p.
- Morillo, M. 2005. Alternativas de industrialización de cacao (*Theobroma cacao* L.) nacional fino o de aroma en el cantón Pangua provincia de Cotopaxi. Tesis ing. industrialización de alimentos. Quito, Ecuador. Universidad tecnológica equinoccial. 103 p.
- Natividad, R.; Adriazola, J.; García, L.; Zavala, J.; Gil, J.; Cabezas, O.; Gonzáles, F. 2007. Diplomado: Cultivos industriales tropicales: café, cacao y palma aceitera. UNAS. Tingo María. Pág. 1-11; 120-140.
- Navia, A., Pazmiño, N. 2012. Mejoramiento de las características sensoriales del cacao CCN-51 a través de la adición de enzimas durante el proceso de fermentación. Tesis Ing. de alimentos. Guayaquil, Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 135 p.
- Nogales, J.; L. Graziani de Fariñas y L. Ortiz de Bertorelli. 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.
- Normas Técnicas Peruanas. NTP. 2006. 208.040– INDECOPI. Manual de buenas prácticas para la cosecha y beneficio del cacao.
- Normas Técnicas Peruanas. NTP-ISO.2291. (2006). Granos de cacao: determinación del contenido de humedad. Lima: MINAG.

- Normas Técnicas Peruanas. NTP-ISO.2451. (2006). Granos de cacao especificaciones. Lima: MINAG.
- Normas Técnicas Peruanas. NTP-ISO:2292. (2006). Granos de cacao: muestreo. Lima: MINAG.
- Normas Técnicas Peruanas. NTP-ISO:2451. (2006). Granos de cacao: especificaciones. Lima: Publicaciones COCOA BEANS. Especifications - 2° Ed.
- Normas Técnicas Peruanas. NTP ISO 1114-INDECOPI. Granos de cacao - Prueba de corte.
- Ochoa, H., & Chavarriaga, E. (1940). Apuntes sobre el cultivo de cacao. Facultad Nacional de Agronomía, 444.
- Official Methods of Analysis of AOAC. 1995. International 16 th. Ed. Vol. I y II. Edited by Patricia Cunniff. Arlington, Virginia, USA.
- Official Methods of analysis of AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 1997. International; Agricultural Chemicals, Foods, Contaminants and Drugs. Vol. I y II Arlington: A.O.A.C. Inc. 2658 p.
- Oliva, C., Benito, J., Acuña, R., Bocanegra, A., & Baltazar, J. (2014). Estimación de la repetitividad y selección genética de árboles de cacao aromático con material genético de EE-INIA-San Martin y de la UC de Lebuaf, en Perú . Trujillo: Publicaciones UNT.
- Oliveras, S. J., 2007. “La elaboración del chocolate, una técnica dulce y ecológica”. Cartagena.

- Ortiz, L.; Graziani, L.; Rovedas L, Gervaise. 2009. Influencia de varios factores sobre características del grano de cacao fermentado y secado al sol. *Agronomía Trop.*, 59(2), 119-127. ISSN 0002-192X.
- Palacios, A. 2008. Establecimientos de parámetros (físicos, químicos y organolépticos) para diferenciar y valorizar el cacao (*Theobroma cacao* L.) producido en dos zonas identificadas al norte y sur del litoral ecuatoriano. Tesis, Ing. Agrónomo. Santa Ana, Ecuador. Universidad Técnica de Manabí. 257 p.
- Paredes Arce, M. (2003) Manual de cultivo de cacao. Ministerio de Agricultura, 49.
- PEAM. (2014). Proyecto Especial Alto Mayo. Resultados de análisis de suelo – caracterización. El Porvenir (Juanjuí), 2015.
- PEMEX. (2004). Polietileno de Alta Densidad grado 60120. PEMEX - PETROQUIMICA, 1-2.
- Penha, E., Da Matta, Y. 1998. Características fisicoquímicas e microbiológicas da polpa de cacau. *Pesq. Agropec, Bras.*, Brasilia. 33(11):1945-1949.
- Portillo, L.; Graziani, L.; Cros, E. 2006. Efecto de algunos factores post-cosecha sobre la calidad sensorial del cacao criollo porcelana (*Theobroma cacao* L.). Disponible en: Scielo\serial\fgro\v23n1 \body\art_05.htm 20/06/2006.
- Portillo, E.; Graziani, L.; Betancourt, E. 2007. Análisis Químico del Cacao Criollo Porcelana (*Theobroma cacao* L.) en el Sur del Lago de Maracaibo. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 22:325-332.
- Portillo, E., Labarca, L., Grazziani, E., Cros, S., Assemat, F., Davrieux, R. Boulager. 2011. Influencia de la condiciones del tratamiento poscosecha

- sobre la temperatura y acidez en granos de cacao Criollo (*Theobroma cacao* L.). Rev. Fac. Agron. (LUZ), VENEZUELA. 28 Supl. 1: 646-660
- Plúa, J. 2008. Diseño de una línea procesadora de pasta de cacao artesanal. Tesis, Ing. de alimentos. Guayaquil, Ecuador. Escuela superior politécnica del litoral. 106 p.
- Ramos, C. 2006. Prácticas de fermentación y secado para aumentar la calidad del cacao. Seminario Taller Internacional: Producción, Calidad y Mercadeo de cacaos especiales 21-23 Nov. 2006. Quevedo, Ecuador.
- Repo De Carrasco, R.; Encina, Z.; René, C. 2008. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Rev. Soc. Quím. Perú.* 74(2), 108-124. ISSN 1810-634X.
- Riera, T. M. N. 2009. Evaluación de tecnologías para la fermentación del cacao beneficiado CCN-51 (*Theobroma cacao* L.). Tesis: ing. agroindustrial. Puyo, Ecuador. Universidad Estatal Amazónica. 91 p.
- Rimache, A. 2008. Cultivo del cacao. 1ed. Lima, Perú, Macro EIRL. 109 p.
- Rivera, R., Mecías, F., Guzmán, Á., & Peña, M. (2011). Efecto del tipo y tiempo de fermentación en la calidad física y química del cacao (*Theobroma Cacao* L.) tipo nacional . Manabí: Publicaciones de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López
- Rohan, T. 1960, El Beneficiado del Cacao. Boletín de trabajo N° Oficial 5, Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma – IT. p. 13, 12, 25.

- Romero, C., Zambrano, A. 2012. Análisis de azúcares en pulpa de cacao por colorimetría y electroforesis capilar. Rev. Científica UDO Agrícola. Mérida, Venezuela. 12 (4): 906-913.
- Ruinard, J. 1961. Variability of various characters as a factor in cacao selection. Ephytica 10 (2):134-146.
- Schwan, R., A. López, D. Silva E M. Vanetti. 1990. Influencia de freqüencia e intervalos de revolvimentos sobre a fermentação e qualidade do chocolate. Agro trópica 2(1):22-31.
- Salvador, Y. 2008. Evaluación química de precursores de aroma y sabor del cacao criollo merideño durante la fermentación en dos condiciones edafoclimáticas. Agron. Trop. 60(2): 211-219.
- Sánchez, V. 2007. Caracterización organoléptica del cacao (*Theobroma cacao* L.), para la selección de árboles con perfiles de sabor de interés comercial. Tesis Ing. Agronómico. Quevedo, Ecuador. Universidad técnica estatal de Quevedo. 93 p.
- Senanayake, M., E. Jansz, K. Buckle. 1995. Effect of variety and location on optimum fermentation requirements of cocoa beans: An aid to fermentation on cottage scale. J. Sci. Food Agric. 6:461-465.
- Senanayake, M., E. Jansz, K. Buckle. 1997. Effect of different mixing intervals on the fermentation of cocoa beans. 1. Sci. Agric. 74:42-48.
- Sociedad Alemana De Cooperación Técnica" (Extraído 16 de octubre del 2008). Cultivo orgánico de Cacao
- Soria, V. 1966. Principales variedades de cacao cultivadas en América tropical. Turrialba – CR. 16 (3). p. 261 – 266.

- Tomlins, K., D. Baker, P. Daplin, D. Adomako. 1993. Effect of fermentation and drying practices in the chemical and physical profiles of Ghana cocoa. *Food Chem.* 46:257-263.
- Vargas, J., 2005. Zonificación Ecológica y Económica de la Región Gobierno Regional de San Martín. Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana (IIAP). P.7-56.
- Vinícius, G., Teixeira, K. y Gonzaga, E. (2013). Vinícius, G., Teixeira, K., & Gonzaga, E. (2013). Spontaneous cocoa bean fermentation carried out in a novel-design stainless steel tank: Influence on the dynamics of microbial populations and physical-chemical properties. *International journal of food microbiology - EL SEVIER*, 121-133.
- Wacher, R. M. 2011. Microorganismos y chocolate. *Rev. Digital Universitaria* 12 (4): 1-9.
- Wakao, H. 2002. Estudio de la variación del contenido de alcaloides en cacao (*Theobroma cacao* L.) de producción nacional, durante el proceso de beneficio. Tesis. Lic. en ciencias químicas, especialidad Química analítica. Universidad Pontificia Católica del Ecuador, Facultad de ciencias exactas y Naturales. Departamento de ciencias químicas. Quito – Ecuador. 91 p.
- Yam, K. L.; Papadakis, S. E. 2004. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61, 137-142.

ANEXOS

A-I. Imágenes de los cajones de fermentación fabricados con diferentes materiales.

A-Ia. Cajón fermentador de Acero



A-Ib. Cajón fermentador de Aluminio



A-lc. Cajón fermentador de Madera



A-ld. Cajón fermentador de Plástico



A-le. Cajón fermentador de Acero, Plástico, Madera y aluminio forado con tecnopor.



A – II Procedimientos para determinar el área de transferencia de calor de los fermentadores de cacao

FERMEN- TADORES	DIMENSIONES DEL FERMENTADOR DE CACAO (FORMA: TRONCO DE PIRÁMIDE)												Área total
	Base mayor (forma: rectángulo)		Base menor (forma: rectángulo)		Caras (forma: trapecio)								
					C1		C2		C3		C4		
Acero serie 316	Largo (cm)	25,5	Largo (cm)	22	Base mayor (cm)	24,5	Base mayor (cm)	25,5	Base mayor (cm)	24,5	Base mayor (cm)	25,5	3411,75 cm ² = 0,341175 m ²
	Ancho (cm)	24,5	Ancho (cm)	21	Base menor (cm)	21	Base menor (cm)	22	Base menor (cm)	21	Base menor (cm)	22	
	Área (cm ²)	624,75	Área (cm ²)	462	Altura (cm)	25	Altura (cm)	25	Altura (cm)	25	Altura (cm)	25	
					Área (cm ²)	568,75	Área (cm ²)	593,75	Área (cm ²)	568,75	Área (cm ²)	593,75	
Aluminio serie 5052	Largo (cm)	25,5	Largo (cm)	22	Base mayor (cm)	24,5	Base mayor (cm)	25,5	Base mayor (cm)	24,5	Base mayor (cm)	25,5	3411,75 cm ² = 0,341175 m ²
	Ancho (cm)	24,5	Ancho (cm)	21	Base menor (cm)	21	Base menor (cm)	22	Base menor (cm)	21	Base menor (cm)	22	
	Área (cm ²)	624,75	Área (cm ²)	462	Altura (cm)	25	Altura (cm)	25	Altura (cm)	25	Altura (cm)	25	
					Área (cm ²)	568,75	Área (cm ²)	593,75	Área (cm ²)	568,75	Área (cm ²)	593,75	
Madera tornillo	Largo (cm)	25,5	Largo (cm)	22	Base mayor (cm)	24,5	Base mayor (cm)	25,5	Base mayor (cm)	24,5	Base mayor (cm)	25,5	3411,75 cm ² = 0,341175 m ²
	Ancho (cm)	24,5	Ancho (cm)	21	Base menor (cm)	21	Base menor (cm)	22	Base menor (cm)	21	Base menor (cm)	22	
	Área (cm ²)	624,75	Área (cm ²)	462	Altura (cm)	25	Altura (cm)	25	Altura (cm)	25	Altura (cm)	25	
					Área (cm ²)	568,75	Área (cm ²)	593,75	Área (cm ²)	568,75	Área (cm ²)	593,75	
Plástico PEAD	Largo (cm)	25,5	Largo (cm)	22	Base mayor (cm)	24,5	Base mayor (cm)	25,5	Base mayor (cm)	24,5	Base mayor (cm)	25,5	3411,75 cm ² = 0,341175 m ²
	Ancho (cm)	24,5	Ancho (cm)	21	Base menor (cm)	21	Base menor (cm)	22	Base menor (cm)	21	Base menor (cm)	22	
	Área (cm ²)	624,75	Área (cm ²)	462	Altura (cm)	25	Altura (cm)	25	Altura (cm)	25	Altura (cm)	25	
					Área (cm ²)	568,75	Área (cm ²)	593,75	Área (cm ²)	568,75	Área (cm ²)	593,75	

A-III. Fermentadores de Acero, Plástico, Madera y aluminio forrado con tecnopor, con granos de cacao listos para el proceso de fermentación.



A-IV. Medición de la temperatura con un termómetro durante la fermentación en los cuatros tipos de cajones



A-V. Análisis de varianza de la evaluación de la temperatura de los granos de cacao fermentado y secado.

Tabla ANOVA para temperatura por material

Fuente	SC	GI	CM	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.55122	3	0.850406	0.02	0.9971
Intra grupos	1043.85	20	52.1927		
Total (Corr.)	1046.41	23			

Pruebas de Múltiple Rangos para temperatura por material

Método: 95.0 porcentaje LSD

Material	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Plástico	6	39.5283	X
Aluminio	6	39.7233	X
Acero	6	40.1167	X
Madera	6	40.3617	X

A-VIa. Análisis de varianza de la cuantificación de la acidez titulable de los granos de cacao seco.

Tabla ANOVA para Acidez final por Material

Fuente	SC	GI	CM	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.000003667	3	0.000001222	0.36	0.7852
Intra grupos	0.000027333	8	0.000003417		
Total (Corr.)	0.000031	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Acidez final por Material

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Material	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Aluminio	3	0.099	X
Madera	3	0.099	X
Acero	3	0.0996667	X
Plástico	3	0.100333	X

A-VIb. Análisis de varianza cuantificación del pH de los granos de cacao fermentado y secado

Tabla ANOVA para pH final por Material

Fuente	SC	GI	CM	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.010425	3	0.003475	4.79	0.0339
Intra grupos	0.0058	8	0.000725		
Total (Corr.)	0.016225	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para pH final por Material

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Material	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Acero	3	4.69333	X
Aluminio	3	4.72	XX
Plástico	3	4.74333	XX
Madera	3	4.77333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Acero – Aluminio		-0.0266667	0.0703781
Acero – Madera	*	-0.08	0.0703781
Acero – Plástico		-0.05	0.0703781
Aluminio – Madera		-0.0533333	0.0703781
Aluminio – Plástico		-0.0233333	0.0703781
Madera – Plástico		0.03	0.0703781

* indica una diferencia significativa.

A-VIIa. Análisis de varianza de la medición del color de los granos de cacao fermentado y secado para el parámetro L*.

Tabla ANOVA para L por TIPO MATERIAL

Fuente	SC	GI	CM	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	114.659	3	38.2198	1.80	0.2009
Intra grupos	254.941	12	21.2451		
Total (Corr.)	369.6	15			

Pruebas de Múltiple Rangos para L por TIPO MATERIAL

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

TIPO MATERIAL	Casos	Media	Grupos Homogéneos
MADERA	4	10.5875	X
ACERO	4	13.2875	X
ALUMINIO	4	16.2825	X
PLASTICO	4	17.4575	X

A-VIIb. Análisis de varianza de la medición del color de los granos de cacao fermentado y secado para la coordenada **a***.

Tabla ANOVA para a* por TIPO MATERIAL

Fuente	SC	GI	CM	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.22787	3	0.742623	0.44	0.7317
Intra grupos	20.4702	12	1.70585		
Total (Corr.)	22.6981	15			

Pruebas de Múltiple Rangos para a* por TIPO MATERIAL

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

TIPO MATERIAL	Casos	Media	Grupos Homogéneos
PLASTICO	4	15.3975	X
MADERA	4	16.1425	X
ACERO	4	16.1525	X
ALUMINIO	4	16.39	X

A-VIIc. Análisis de varianza de la medición del color de los granos de cacao fermentado y secado para la coordenada **b***.

Tabla ANOVA para b* por TIPO MATERIAL

Fuente	SC	GI	CM	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3.79762	3	1.26587	0.28	0.8357
Intra grupos	53.4074	12	4.45061		
Total (Corr.)	57.205	15			

Pruebas de Múltiple Rangos para b* por TIPO MATERIAL

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

TIPO MATERIAL	Casos	Media	Grupos Homogéneos
MADERA	4	11.315	X
ALUMINIO	4	11.58	X
PLÁSTICO	4	11.79	X
ACERO	4	12.6175	X

A-VIII. Medición de color de los granos de cacao tanto visual y en instrumento

(valores L*, a* y b* transformados a valores de sRGB).



Color visual

MADERA 51, 19, 12	ALUMINIO 64, 30, 25
PLASTICO 66, 34, 27	ACERO 57, 24, 17

Color L*, a*, b* convertido en sRGB

A-IX. Análisis de varianza para la cuantificación del índice de fermentación de los granos de cacao fermentado y secado.

Tabla ANOVA para el índice de Fermentación por Tipo de Material

Fuente	SC	GI	CM	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.916667	3	0.305556	0.10	0.9598
Intra grupos	25.3333	8	3.16667		
Total (Corr.)	26.25	11			

Pruebas de Múltiple Rangos para Fermentación por Material

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Material	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Aluminio	3	95.0	X
Plástico	3	95.0	X
Madera	3	95.3333	X
Acero	3	95.6667	X

* indica una diferencia significativa.

**CATÁLOGO SOBRE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS
EN LOS FERMENTADORES DE CACAO**

ACERO



Catálogo Comercial

Aceros Inoxidables	Normas		
	AISI	W. Nr.	DIN
Austeníticos	316	1.4401	X5CrNiMo17-12-2
	316L	1.4404	X2CrNiMo17-12-2

Aplicaciones

Acero resistente a la corrosión intercrystalina hasta 300° C bajo condiciones de operación continua. Con la adición de molibdeno se le confiere una alta resistencia a ácidos no oxidantes y corrosión por picado. El acero AISI 316 es utilizado en piezas y elementos de la industria de celulosa, textiles, seda artificial, equipos para el desarrollo de fotografía ejes de hélices, acoples. Usualmente utilizado en la industria química y farmacéutica. Ideal para ser usado en piezas y elementos expuestos a la corrosión localizada originada por el ácido sulfuroso, baños de pinturas con ácido sulfúrico, baños clorados, etc.

La calidad 316L, con su bajo contenido de carbono hace aumentar la temperatura de resistencia a la corrosión intercrystalina hasta los 400°C. además de mejorar su soldabilidad.



Composición Química (Valores promedio, %)

Calidad	C	Cr	Mo	Ni
316	≤ 0,07	16,5 - 18,5	2 - 2,5	10 - 13
316L	≤ 0,03	16,5 - 18,5	2 - 2,5	10 - 13

Características del Acero

El acero AISI 316/316L corresponde a un acero inoxidable aleado con molibdeno. Esta adición le confiere mejores propiedades anticorrosivas que los de la familia 304, debido principalmente a que se disminuye en forma importante la susceptibilidad a la corrosión por picado, en virtud que la capa pasiva formada es mucho más resistente.



Presenta una muy buena resistencia a la oxidación en condiciones intermitentes a temperaturas no superiores a 870 °C y en continuo a 930 °C. No se recomienda el uso de estos aceros en temperaturas que oscilen en el rango 420/860 °C, pero en



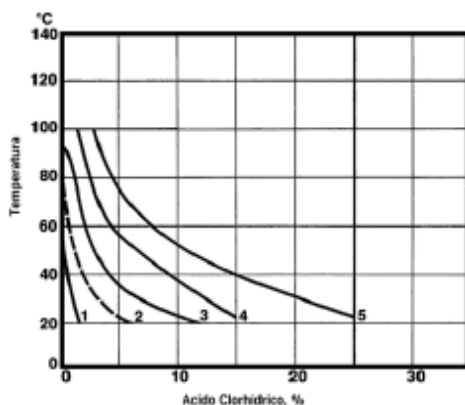
Catálogo Comercial

valores por debajo y por encima de estos, su comportamiento es bueno, esto principalmente debido a la posibilidad de precipitaciones de carburos de cromo en los bordes de grano, lo que lo vuelve sensible y por ende su resistencia a la corrosión se ve drásticamente comprometida. Estos aceros no pueden ser endurecidos mediante TT. Presenta buenas condiciones de soldabilidad y se recomienda que en las secciones soldadas se realice un recocido posterior con el objetivo de obtener la más alta resistencia a la corrosión.

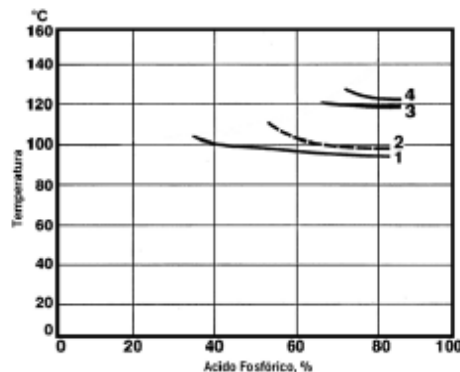
Resistencia a la corrosión.

En los diagramas se observan las pérdidas de peso, determinadas experimentalmente para diferentes probetas atacadas con concentraciones variables para distintos ácidos en función de la temperatura. Las curvas representan la pérdida de peso de 0,1 0,3 1,0 3,0 y 10,0 gr/m²-Hr. Generalmente una pérdida de peso de 0,3 gr/m²-hr (línea segmentada) se considera en el límite para ser considerado económicamente viable un acero inoxidable.

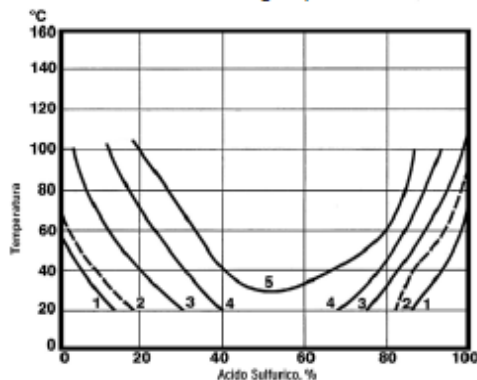
Acido Clorhídrico HCl



Acido Fosfórico H₃PO₄



Acido Sulfúrico H₂SO₄



Curva	Pérdida de peso
1	0,1 gr/m ² -hr.
2	0,3 gr/m ² -hr.
3	1,0 gr/m ² -hr.
4	3,0 gr/m ² -hr.
5	10,0 gr/m ² -hr.



Catálogo Comercial

Propiedades del Acero

Propiedades mecánicas

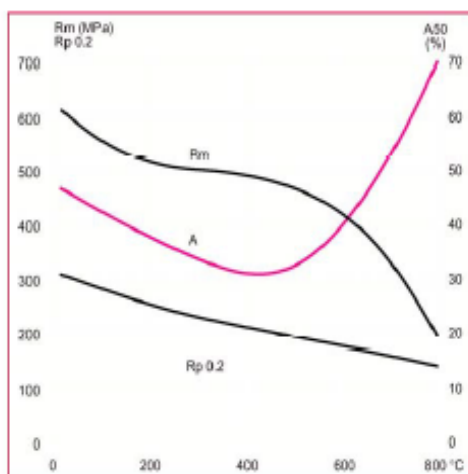
Temperatura ambiente

Tipo Acero	Rango de dimensiones	Limite Elástico 0,2% ($R_{p,0.2}$) min. N/mm ²	Resistencia a la tracción (R_m) N/mm ²	Elongación (A_5) min. %
316	Laminado en frío e ≤ 6 mm.	≥ 240	530 - 680	≥ 40
	Laminado en caliente e ≤ 12 mm.	≥ 220		
316L	Laminado en frío e ≤ 6 mm.	≥ 240	530 - 680	≥ 40
	Laminado en caliente e ≤ 12 mm.	≥ 220		

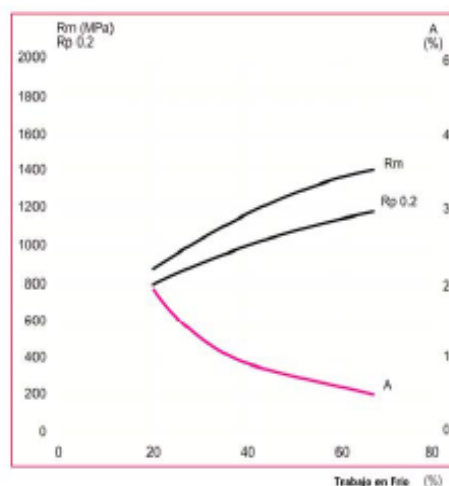
Temperatura variable

Tipo Acero	Temperatura °C	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
316	Limite elástico 0,2% ($R_{p,0.2}$) min. N/mm ²	196	177	162	147	137	127	120	115	112	110	108
316L	Limite elástico 0,2% ($R_{p,0.2}$) min. N/mm ²	182	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98

Efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas



Efecto del trabajo en frío en las propiedades mecánicas





Catálogo Comercial

Propiedades físicas

Densidad a 20°C kg/dm ³	Conductividad Térmica 20 °C W·m ⁻¹ ·K ⁻¹	Calor Especifico 20°C J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹	Resistencia Eléctrica 20°C Ω·mm ² /m
7,98	15	500	0,75

Modulo de elasticidad kN/mm²

20°C	100° C	200°C	300° C	400°C	500° C
200	194	186	179	172	165

Coefficiente de expansión térmica in 10⁻⁶ · K⁻¹ entre 20 °C y

	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C
	16,5	17,5	17,5	18,5	18,5

Tratamiento Térmico

Trabajo en caliente °C	enfriamiento	Tratamiento térmico °C	Enfriamiento	Estructura
1150 - 850	aire	1000 – 1100	Agua, aire forzado.	Austenita con un contenido menor de ferrita



Catálogo Comercial

Recomendaciones sobre mecanizado

Los parámetros de corte que se encuentran a continuación deben ser considerados como valores guía. Estos valores deberán adaptarse a las condiciones locales existentes.

TORNEADO

Parámetros de corte	Torneado con metal duro		Torneado con acero rápido
	Torneado de desbaste	Torneado fino	Torneado fino
Velocidad de corte (vc) m/min.	170 - 145	160 - 200	25 - 45
Avance (f) mm/r	0,2 - 0,4	0,1 - 0,2	0,1 - 0,5
Profundidad de corte (ap) mm.	1 - 4	0,5 - 1	0,5 - 3
Mecanizado grupo ISO	M20 - M30	M10	-

Fresado con metal duro

Parámetros de corte	Fresado con metal duro	
	Fresado de desbaste	Fresado en fino
Velocidad de corte (vc) m/min.	60 - 120	100 - 155
Avance (fz) mm/diente	0,2 - 0,3	0,2
Profundidad de corte (ap) mm.	≤ 4	≤ 0,6
Mecanizado grupo ISO	M20 - M30	M10

Taladrado con broca HSS

Díámetro	20	30	40
Velocidad de corte (vc) m/min.	200	200	200
Avance (f) mm/r	0,01	0,12	0,15

Los datos técnicos y/o aplicaciones expresados en este catálogo son sólo referencias promedios y típicas para aleaciones estándar, además no son una obligación ni constituyen una exigencia contractual entre ThyssenKrupp Aceros y Servicios S. A. y nuestros clientes, al momento de adquirir nuestros aceros.

ALUMINIO

-5052- (ALUMINIO – MAGNESIO 2,5%)

COMPOSICIÓN QUÍMICA

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros elementos	Al
Mínimo					2,20	0,15				
Máximo	0,25	0,40	0,10	0,10	2,80	0,35	0,10		0,15	El resto

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)

Estado	Espesor mm	Características a la tracción					Dureza	
		Carga de rotura Rm, N/mm ²	Límite elástico Rp 0,2, N/mm ²	Alargamiento A 5,65%	Límite a la fatiga N/mm ²	Resistencia a la cizalladura T N/mm ²	Brinell (HB)	Vickers
0	0,35 a 6	195	90	25	210	125	50	
HX2	0,35 a 6	225	175	15	220	135	65	
HX4	0,35 a 6	250	200	14	240	145	70	
HX6	0,35 a 6	270	225	10	250	155	75	
HX8	0,35 a 6	290	250	9	260	165	80	
HX9	0,35 a 6	310	280	5		175	90	

PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)

Módulo elástico N/mm ²	Peso específico g/cm ³	Intervalo de fusión °C	Coefficiente de dilatación lineal 1/10 ⁻⁶ K	Conductividad térmica W/m K	Resistividad eléctrica a 20°C - μΩ cm	Conductividad eléctrica % IACS	Potencial de disolución V
70,000	2,68	605-650	23,7	138	5	35	-0,86

APTITUDES TECNOLÓGICAS

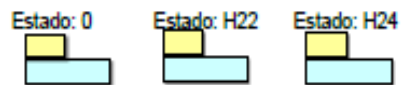
SOLDADURA

A la llama
Al arco bajo gas argón
Por resistencia eléctrica
Brazado



MECANIZACIÓN

Fracamentación de la viruta
Brillo de superficie



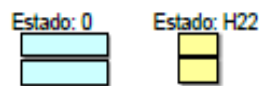
COMPORTAMIENTO NATURAL

En ambiente rural
En ambiente industrial
En ambiente marino
En agua de mar



EMBUTICIÓN

Por expansión
Embutición profunda



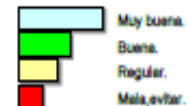
ANODIZADO

De protección
Decorativo
Anodizado duro



RECUBRIMIENTO

Lacado
Galvanizado
Niquel químico



RADIOS DE PLEGADO

Estado	0,4<e<0,8 mm,	0,8<e<1,6 mm	1,6<e<3,2 mm,	3,2<e<4,8 mm,	4,8<e<6 mm,	6<e<10 mm,	10<e<12 mm,
0	0	0	0	1	1	1,5	2
H24 - H34	0,75	1,25	1,5	2	2,5	2,75	3

Multiplicar el coeficiente por el espesor (e) de la chapa

-5052- (ALUMINIO - MAGNESIO 2,5%)

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN A DIFERENTES TEMPERATURAS

Estado	-195°C			-80°C			-30°C			+25°C			+100°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
O	305	110	46	200	90	35	195	90	32	195	90	30	195	90	36
H34	380	250	28	275	220	21	260	215	18	260	215	16	260	215	18
H38	415	305	25	305	260	18	290	255	15	290	255	4	275	250	16

Estado	+150°C			+205°C			+260°C			+315°C			+370°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
O	160	90	50	115	75	60	85	50	80	50	38	110	34	21	130
H34	205	185	27	165	105	45	85	50	80	50	38	110	34	21	130
H38	235	195	24	170	105	45	85	50	80	50	38	110	34	21	130

Rm N/mm²; Rp N/mm²; A 5,65 %

Según normas A.A.

TRATAMIENTOS DEL ALUMINIO

Intervalo de temperatura de forja: 350° – 480°C

Recocido total: De 30 minutos a 2 horas entre 345°C - 380°C.

Recocido parcial: 240°C

1 kg / mm² = 9,81 N/mm²; 1N/mm² = 1MPa

APLICACIONES

Recipientes para líquidos, gasolina, carrocerías de autobuses, mobiliario para construcciones navales, carteles de señalización, señales de tráfico en zonas marítimas, etc.

OBSERVACIONES

Aleación con resistencia mecánica media, alta resistencia a la corrosión, particularmente al agua de mar, conformado fácil y buena soldabilidad.

PLÁSTICO

Propiedades físicas del Polietileno de Alta Densidad (Venelene 6100M): Es un material de aplicación típica en: tuberías para acueductos, gas, riego, drenajes, entre otros. Este material cumple con los requisitos para ser considerado PE80 (Norma ISO 9080) y con la clasificación 345444A (Norma ASTM D3350)

Tabla 2: Propiedades físicas y mecánicas PEAD (Venelene 6100M)¹

PROPIEDAD	ASTM ²	UNIDADES	VALOR TÍPICO ¹²
Índice de fluidez (190°C - 2.16 Kg.)	D 1238	dg/min	0,12
Densidad	D 792	g/cm ³	0,9530
Módulo en Flexión	D 790	MPa	950
Esfuerzo en flexión al 5% de deformación	D 790	MPa	13
Esfuerzo de fluencia en tensión	D 638	MPa	23
Esfuerzo de ruptura en tensión	D 638	MPa	30
Deformación hasta ruptura	D 638	%	> 1500
Tenacidad	D 638	MPa	300
Resistencia al impacto Gardner	D 3019	KJ/m	12
Temperatura de reblandecimiento Vicat	D 1525	°C	128
ESCR ³ (F 50 / 10% Igepal)	D 1693	horas	> 1000
Tiempo de Inducción Oxidativa (OIT) a 200 °C	TR 10837	min	> 20
Coefficiente medio de dilatación lineal entre 20 °C y 90 °C	D 396	m/m °C	2 x 10 ⁻⁴
Conductividad térmica a 20 °C	DIN 52612	w/m K	0,4

¹ Datos tomados de la hoja técnica del producto Venelene 6100 suministrada por la empresa Polinter. SERGECA. declina toda responsabilidad por resultados obtenidos por el uso de esta información. Este producto está registrado en el M.S.A.S. de Venezuela y cumple con los requisitos de la F.D.A. para el contacto con alimentos, incluyendo aplicaciones de cocción.

² Las normas COVENIN equivalentes a las ASTM utilizadas son las siguientes: Densidad Covenin 461-96; Índice de fluidez Covenin 1152-93; Propiedades mecánicas Covenin 1357-79.

³ ESCR: Resistencia al agrietamiento en medios tensoactivos.

Propiedades físicas del Polietileno de Alta Densidad (Venelene 7700): Es un material de aplicación típica en: tuberías para acueductos, redes de distribución de gas, y drenajes, entre otros. Especialmente aditivado para soportar las condiciones de procesamiento y prolongar la vida útil a la intemperie. Este material cumple con los requisitos para ser considerado PE100 (Norma ISO 9080) y con la clasificación 346546A (Norma ASTM D3350).

Tabla 3: Propiedades físicas y mecánicas PEAD (Venelene 700M)¹¹

PROPIEDAD	ASTM ¹¹	UNIDADES	VALOR TÍPICO ¹²
Índice de fluidez (190°C - 2.16 Kg.)	D 1238	dg/min	0.045 / 13.0
Densidad	D 792	g/cm ³	0,9495
Módulo en Flexión	D 790	MPa	950
Esfuerzo en flexión al 5% de deformación	D 790	MPa	15
Esfuerzo de fluencia en tensión	D 638	MPa	26
Esfuerzo de ruptura en tensión	D 638	MPa	30
Deformación hasta ruptura	D 638	%	> 1500
Tenacidad	D 638	MPa	300
Resistencia al impacto Gardner	D 3019	KJ/m	9
Temperatura de reblandecimiento Vicat	D 1525	°C	128
ESCR ¹³ (F 50 / 10% Igepal)	D 1693	horas	> 1000
PENT	F 1473	horas	> 150
Tiempo de Inducción Oxidativa (OIT) a 200 °C	TR 10837	min	> 20
Coefficiente medio de dilatación lineal entre 20 °C y 90 °C	D 396	2 x 10 ⁻⁴	m/m °C
Conductividad térmica a 20 °C	DIN 52612	0.4	w/m K

Propiedades químicas del material: Las tuberías PEAD poseen excelentes propiedades químicas por ser insolubles en todos los solventes orgánicos e inorgánicos. El PEAD sólo es atacado a la temperatura ambiente y en el transcurso del tiempo por oxidantes muy fuertes (H₂SO₄ concentrado, HNO₃ concentrado y agua regia).

Los halógenos en estado libre (cloro, bromo, etc.), a temperatura ambiente forman polietileno halogenado con desprendimiento de haluro de hidrógeno. La estructura del material no queda destruida, pero cambian las propiedades físicas y químicas.

Elementos que no deben ser transportados en tuberías HDPE son: Tetracloruro de carbono, Bisulfito de carbono, Cloroformo, Flúor, Ozono, Trióxido de sulfuro, Cloruro de thionil, Tolueno, Xileno y Tricloroetileno.

MADERA



U. E. F. N. E.
Universidad Española
de Ciencias Forestales

Tabla de especies de madera con datos sobre densidad, conductividad y resistencia termica con sus grosores más usuales.

1/4

ESPECIE	ρ	λ	R- M	R-10	R-12	R-14	R-18	R-22
Abedul	660	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Abeto	450	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Abeto California	400	0,13	0,03	0,076	0,092	0,107	0,138	0,169
Acacia Negra Austra.	660	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Acajou Blanco	510	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Acajou Sapelli	650	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Acebuché	750	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Aceró Blanco	550	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Afromosia	690	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Afzelia	820	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Alamo	400	0,13	0,03	0,076	0,092	0,107	0,138	0,169
Alerce	590	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Aliso Rojo Americano	450	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Aliso Europeo	520	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Almez Americano	600	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Angelin	750	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Araucaria	580	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Arce Europeo	630	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Arce	650	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Badi- Aloma	750	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Balsa	200	0,13	0,03	0,076	0,092	0,107	0,138	0,169
Bahia	560	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Bétula	550	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Balsamo	850	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Bilinga	600	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Boj	910	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,075
Bossé	600	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
ESPECIE	ρ	λ	R- M	R-10	R-12	R-14	R-18	R-22
Brezo	850	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Bubinga	910	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,075
Buche	550	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Caoba Cubana	570	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Caoba Africana	540	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Caoba Australiana	850	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Castaño	600	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Castaño Indias	510	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Cedro	500	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Cedro Macho	550	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Cedro Rojo Americano	400	0,13	0,03	0,076	0,092	0,107	0,138	0,169
Cerejeira	590	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Cerezo Americano	560	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Cerezo Europeo	620	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Cumarú	1080	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,075
Laurel Indio	750	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Chopo	430	0,13	0,03	0,076	0,092	0,107	0,138	0,169
Laurel	450	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Ciprés	500	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146




Tabla de especies de madera con datos sobre densidad, conductividad y resistencia termica con sus grosores más usuales.

2/4

ESPECIE	ρ	λ	RM	R-10	R-12	R-14	R-18	R-22
Ciruelo	700	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Dahoma	550	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Danta	740	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Diambi	500	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Doussié	780	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Ebano Africano	850	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Embero	540	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Ebano Mozambique	1030	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Ebano Indio	880	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Ebano Ceilan	1170	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Enebro	620	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Ebano Americano	1000	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Elondo (Tali)	920	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Encina	950	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Epicea	400	0,13	0,03	0,076	0,092	0,107	0,138	0,169
Etimoe	680	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Eucalipto	790	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Fresno	715	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Gonzalo Alves	730	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Granadillo-Cocobolo	1090	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Grapia	880	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Guatambú	820	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Guayacam	1200	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Haya	710	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Haya N.Zelanda	740	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Hemlock	480	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Ipe	1050	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Iroko	680	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Jacaranda	850	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,08	0,09
Jatoba	960	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Kempas	860	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Lapacho	1050	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Lusamba	450	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Madroño	820	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Magnolio	560	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Mansonia	640	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Manzano	670	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Maple	650	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Massaranduba	800	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Merawan	700	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Merbau	800	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,095
Mirto Tasmania	720	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Mongoy	800	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Mukali	580	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Muninga	620	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Niove	750	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Noce Africano	600	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12



Tabla de especies de madera con datos sobre densidad, conductividad y resistencia termica con sus grosores más usuales.

3/4

ESPECIE	ρ	λ	R- M	R-10	R-12	R-14	R-18	R-22
Nogal Americano	610	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Nogal Europeo	650	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Nogal Queensland	670	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Okan	900	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Okume	400	0,13	0,03	0,076	0,092	0,107	0,138	0,169
Olivo	950	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Olivo Africano	800	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Olivillo	500	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Olmo Europeo	620	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Olmo Americano	550	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Padauk Africano	740	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Palissandro Indio	850	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Palissandro Brasil	930	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Palo Brasil	1200	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Palo de Rosa	820	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Palo de Tinta	850	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Palo Santo	1000	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
ESPECIE	ρ	λ	R- M	R-10	R-12	R-14	R-18	R-22
Panga-Panga	850	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Peral	690	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Peroba Amarilla	700	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Peroba Blanca	800	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Peroba de campos	750	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Peroba Rosa	750	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Picea Blanca	400	0,13	0,03	0,076	0,092	0,107	0,138	0,169
Pino Baltico	400	0,13	0,03	0,076	0,092	0,107	0,138	0,169
Pino Carolina	500	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Pino Douglas	450	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Pino Landas	500	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Pino Maritimo	500	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Pino Melis	620	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Pino Insigne	500	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Pino Negro	500	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Pino Noruego	450	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Pino Oregon	510	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Pino Resinoso	450	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Pino Silvestre Valsain	520	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Platano	550	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Pruno	700	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Quaruba	450	0,13	0,03	0,076	0,092	0,107	0,138	0,169
Quebracho Blanco	800	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Quebracho Rojo	1000	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Ramin	550	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Robinia	600	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Roble Blanco	740	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Roble Europeo	710	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Roble Español	720	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12



Tabla de especies de madera con datos sobre densidad, conductividad y resistencia termica con sus grosores más usuales.

4/4

ESPECIE	ρ	λ	R- M	R-10	R-12	R-14	R-18	R-22
Sabina	620	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Roble Americano	720	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Samba	380	0,13	0,03	0,076	0,092	0,107	0,138	0,07
Sandalo Rojo	650	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Sapelli	650	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Sapo	550	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Sequoia	350	0,13	0,03	0,076	0,092	0,107	0,138	0,169
Sicomoro	630	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Stinkwood	800	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Sucupira	915	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Sucupira Lahuan	550	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Tatajuba	795	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Teka Birmana	680	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Teka (Centroamerica)	590	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Teka Rodesia	800	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09
Tejo	600	0,18	0,022	0,055	0,066	0,077	0,1	0,12
Tilo	450	0,15	0,026	0,066	0,08	0,093	0,12	0,146
Wenge	920	0,29	0,013	0,034	0,041	0,048	0,062	0,07
Zebrano	790	0,23	0,017	0,043	0,052	0,06	0,078	0,09

Tabla de especies de madera

- ρ Densidad en Kg/m³
- λ Conductividad termica W/m°C
- r Resistencia Termica m²°C/W
- Grosores desde 4mm a 22mm

NOTA: En la seccion R-M los calculos son de la capa superior de los pavimentos de parquet

Ejemplo: Parquet multicapa de 15mm, capa superior de roble de 4mm y subcapas de pino noruego con un grosor de 11mm.

Resistencia térmica de capa superior= 0,022 m² °C/W Según tabla

Resistencia térmica subcapas= grosor en metros / λ = 0,011/0,15 = 0,0733 =

Sumamos los parciales 0,022 + 0,0733= 0,095 m² °C/W

SERVICIOS TÉCNICOS
FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE PAVIMENTOS DE MADERA