

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Centro Universitario del Norte  
Departamento de Estudios de Postgrado  
Maestría en Ciencias en Desarrollo Rural

TESIS



PERFILES DE FERMENTACIÓN PARA CONTRIBUIR CON EL  
MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL CACAO (*Theobroma cacao*  
L.) Y CON EL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO DE LA  
ECORREGIÓN DE LACHUA, COBÁN, ALTA VERAPAZ

Marlon Fernando Ac Pangán

Cobán, Alta Verapaz, septiembre de 2,021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Centro Universitario del Norte  
Departamento de Estudios de Postgrado  
Maestría en Ciencias en Desarrollo Rural

TESIS

PERFILES DE FERMENTACIÓN PARA CONTRIBUIR CON EL  
MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL CACAO (*Theobroma cacao*  
L.) Y CON EL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO DE LA  
ECORREGIÓN DE LACHUA, COBÁN, ALTA VERAPAZ

Presentado al Honorable Consejo Directivo del  
Centro Universitario del Norte

Por:  
Marlon Fernando Ac Pangán  
Carné 201590515

Como requisito previo a optar al grado de Maestro en Ciencias en Desarrollo  
Rural

Cobán, Alta Verapaz, septiembre de 2,021

## **AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

### **RECTOR EN FUNCIONES**

M.A. Pablo Ernesto Oliva Soto

### **CONSEJO DIRECTIVO**

PRESIDENTE:	Lic. Zoot. Erwín Gonzalo Eskenasy Morales
SECRETARIO:	Lic. Zoot. Julio Antonio Estrada Osorio
REPRESENTANTE DE DOCENTES:	Lcda. T.S. Floricelda Chiquin Yoj
REPRESENTANTE DE ESTUDIANTES	Br. Karla Vanessa Barrera Rivera

### **COORDINADOR ACADÉMICO**

M.V. Enrique Armando Juárez Quim

### **DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

PhD. Carlos René Sierra Romero

### **CONSEJO ACADÉMICO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

PRESIDENTE:	Lic. Zoot. Erwín Gonzalo Eskenasy Morales
SECRETARIO:	<i>MSc.</i> José Domingo Piox
VOCAL I:	PhD. Carlos René Sierra Romero

**DEP-007/2021**

**Cobán Alta Verapaz, 06 de septiembre de 2021**

Miembros de Unidad de Tesis de Postgrado  
Centro Universitario del Norte -CUNOR-  
Ciudad.

Respetables Miembros de Unidad de Tesis

Me dirijo a ustedes en mi calidad de asesor de la tesis titulada **“PERFILES DE FERMENTACIÓN PARA CONTRIBUIR CON EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL CACAO (Theobroma cacao L.) Y CON EL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO DE LA ECORREGIÓN DE LACHUA, COBÁN, ALTA VERAPAZ”**; presentado por el maestrando **Marlon Fernando Ac Pangan**, carné No. **201590515**, de la Maestría en Desarrollo Rural del Centro Universitario del Norte (CUNOR), al respecto del cual emito un **DICTAMEN FAVORABLE**, por cuanto cumple con los requisitos de metodología establecidos en el reglamento vigente.

Atentamente,

**“Id y enseñad a todos”**



MSc. Edgar Armando Ruiz Cruz  
Asesor de Tesis



**DEP-008/2021**

**Cobán, A.V., 08 de Septiembre de 2021**

Miembros de Unidad de Tesis  
Departamento de Estudios de Postgrados  
Centro Universitario del Norte –CUNOR-  
Ciudad.

Respetables miembros de unidad de tesis:

Me dirijo a ustedes en mi calidad de lector inicial del trabajo de Tesis titulado **“PERFILES DE FERMENTACIÓN PARA CONTRIBUIR CON EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL CACAO (Theobroma cacao L.) Y CON EL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO DE LA ECORREGIÓN DE LACHUA, COBÁN, ALTA VERAPAZ”**, presentado por el maestrando **Marlon Fernando Ac Pangan**, carné No. **201590515**, al respecto del cual emito **DICTAMEN FAVORABLE**, por cuanto ha cumplido con los requisitos establecidos para presentación, en modalidad de tesis.

Atentamente,

“Id y enseñad a todos”

  
MSc. Ángel Arce Canahui  
Lector Inicial



**DEP-009/2021**  
**Cobán, A.V., 29 de septiembre de 2021**

Miembros de Unidad de Tesis  
Departamento de Estudios de Postgrados  
Centro Universitario del Norte –CUNOR-  
Ciudad.

Respetables miembros de unidad de tesis:

Me dirijo a ustedes en mi calidad de lector final del trabajo de Tesis titulado **“PERFILES DE FERMENTACIÓN PARA CONTRIBUIR CON EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL CACAO (Theobroma cacao L.) Y CON EL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO DE LA ECTORREGIÓN DE LACHUA, COBÁN, ALTA VERAPAZ”**, presentado por el maestrando **Marlon Fernando Ac Pangan**, carné No. **201590515**. Luego de hacer la revisión correspondiente, emito **DICTAMEN FAVORABLE**, en vista que cumple con los requisitos teóricos, metodológicos y epistemológicos de rigor establecidos para presentación, en modalidad de tesis.

Atentamente,

“Id y enseñad a todos”



MSc. Angel Arce Canahui  
Lector Final





Cobán, Alta Verapaz 22 de septiembre de 2,021

A: Comisión de tesis de Postgrado  
Centro Universitario del Norte -CUNOR-  
Cobán, Alta Verapaz.

Por este medio me permito dirigirme a ustedes deseándoles éxitos en las diferentes actividades que desempeñan en tan prestigiosa casa de estudios.

Motiva la presente para hacer de su conocimiento que tuve a bien la revisión de la tesis titulada: "Perfiles de Fermentación para Contribuir con el Mejoramiento de la Calidad del Cacao (*Theobroma cacao* L.) y con el Desarrollo Socioeconómico de la Ecorregión de Lachua, Cobán, Alta Verapaz", elaborada por el Ingeniero: **Marlon Fernando Ac Pangán**, con número de carné 201590515 de la Maestría en Ciencias en Desarrollo Rural, habiendo realizado las modificaciones y correcciones sugeridas apegadas al normativo del Centro Universitario del Norte -CUNOR- correspondientes a redacción y estilo. Por lo que, de acuerdo a mi criterio como revisora nombrada por esta unidad, extiendo mi aval para que pueda continuar con su proceso.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de ustedes, atentamente;



Lcda. Wendy Zulene Cuc Mollinedo de Ramírez  
Revisora de Redacción y Estilo  
Departamento de Estudio de Postgrado -CUNOR-

Lcda. Wendy Zulene Cuc Mollinedo  
Col. No. 26557



DEPARTAMENTO ESTUDIOS DE POSTGRADO  
-DEP-  
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE -CUNOR-  
Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz  
PBX: 7956-6600 Ext. 222  
E-mail: departamentopostgradocunor@gmail.com

Ref. 15-DEP-108/2021  
Cobán, A.V., 05 de octubre de 2021

**Licenciado**  
**Erwin Gonzalo Eskenasy Morales**  
**Director Centro Universitario del Norte**

**Licenciado Eskenasy.**

Con base a mis atribuciones como Director del Departamento de Estudios de Postgrado del Centro Universitario del Norte, habiendo conocido los dictámenes favorables del asesor y revisor de trabajos de graduación y establecido que se han cumplido los requisitos reglamentarios.

Se emite DICTAMEN FAVORABLE para que pueda autorizarse el imprimase de la Tesis titulada **"PERFILES DE FERMENTACIÓN PARA CONTRIBUIR CON EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y CON EL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO DE LA ECORREGIÓN DE LACHUA, COBÁN, ALTA VERAPAZ"**, presentado por el maestrando Marlon Fernando Ac Pangán, carné No. 201590515, de la Maestría en Desarrollo Rural.

Agradeciendo su amable atención, me suscribo deferentemente

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

PhD. Carlos René Sierra Romero  
Director Departamento de Postgrado  
USAC-CUNOR-



cc. Archivo



## ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS .....</b>	<b>XXIV</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XXVI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XXVIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Marco conceptual.....</b>	<b>5</b>
1.1.1 Tema.....	5
1.1.2 Problema objeto de investigación .....	5
1.1.3 Definición del problema.....	5
1.1.4 Antecedentes del problema .....	6
1.1.5 Planteamiento del problema .....	14
a. Delimitación del problema. ....	18
b. Objetivos de la investigación. ....	19
c. Justificación de la investigación.....	19
d. Viabilidad de la investigación. ....	25
e. Evaluación de las deficiencias del conocimiento. ....	26
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>29</b>
<b>2.2 Marco teórico .....</b>	<b>29</b>
2.2.1 Definición de conceptos .....	29
a. El cultivo del cacao ( <i>Theobroma cacao</i> L.). ....	29
b. Cosecha de cacao. ....	31
c. Fermentación.....	32
d. Composición de la pulpa de cacao .....	32
e. Composición del grano de cacao.....	33
f. Cambios en la bioquímica de los granos de cacao .....	35
g. Sucesión microbológica y enzimática durante la fermentación .....	37
2.2.2 Desarrollo teórico e histórico del tema .....	44
a. Producción mundial del cacao.....	44
b. Consumo mundial del cacao. ....	46
c. Valor total de las exportaciones en Centroamérica. ....	48
d. Valor de las exportaciones de cacao en grano de Centroamérica. ....	49
e. Cadena de valor de cacao en Centroamérica.....	49
f. Historia del cacao en Guatemala. ....	50

g.	Plan estratégico de la agrocadena de cacao de Guatemala 2016-2025. ....	53
h.	El desarrollo rural en Guatemala. ....	56
i.	Ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz. ....	58
j.	Proyecto Laguna Lachuá. ....	60
k.	Fundación Laguna Lachuá y el proyecto cacao. ....	61
<b>CAPÍTULO 3.....</b>		<b>67</b>
<b>3.1</b>	<b>Marco metodológico.....</b>	<b>67</b>
3.1.1	Hipótesis.....	67
3.1.2	Variables.....	67
3.1.3	Objetivos .....	68
a.	Supuestos de la investigación.....	69
3.1.4	Universo y muestra.....	69
3.1.5	Métodos y técnicas de investigación.....	69
a.	Enfoque metodológico. ....	69
b.	Socialización y aprobación de los actores participantes en la investigación. ....	70
c.	Elaboración y validación de instrumentos. ....	70
d.	Técnicas de investigación.....	70
1)	Entrevistas estructuradas dirigidas. ....	70
2)	Encuestas mixtas (forma escrita y/o verbal) dirigidas de forma individual. ..	71
3)	Observación participativa en campo.....	71
4)	Revisión de fuentes secundarias. ....	72
5)	Experimentación confirmatoria. ....	72
6)	Cosecha y acopio de cacao. ....	72
7)	Fermentación de los granos de cacao. ....	73
8)	Medición de las variables experimentales. ....	73
9)	Elaboración del perfil de fermentación de cacao.....	75
e.	Muestreo.....	75
f.	Socialización de los resultados.....	76
g.	Capacitación a promotores de las comunidades.....	77
3.1.6	Modelo estadístico y diseño experimental .....	77
a.	Análisis estadístico.....	78
<b>CAPÍTULO 4.....</b>		<b>79</b>
<b>4.1</b>	<b>Presentación y discusión de resultados .....</b>	<b>79</b>
4.1.1	Establecimiento de las características socioeconómicas, de producción y procesamiento de los productores de cacao en la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz.....	79
a.	Características socioeconómicas .....	79
1)	Edad e ingresos económicos.....	79
2)	Análisis de edad e ingreso económico por género .....	84

3) Nivel de educación .....	86
4) Grupo étnico .....	88
b. Aspectos de producción y procesamiento .....	89
1) Tenencia de terreno, área de producción y rendimiento de cacao.....	89
2) Diversificación de cultivos y especies animales en las familias productoras de cacao .....	94
3) Características de las plantaciones de cacao.....	98
4.1.2 Determinación del procedimiento óptimo de fermentación de cacao en la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz.....	112
a. Condiciones ambientales de las instalaciones de fermentación .....	112
1) Temperatura ambiente del área de procesamiento .....	112
2) Humedad relativa del área de procesamiento .....	120
b. Parámetros de fermentación de cacao .....	125
1) Temperatura de fermentación .....	125
2) pH de la testa .....	138
3) pH del cotiledón.....	148
c. Determinación de la finalización del proceso de fermentación .....	158
d. Correlación de las principales variables de fermentación .....	166
e. Análisis de regresión de las principales variables de fermentación .....	167
1) Regresión no lineal entre temperatura de fermentación y pH de la testa .....	168
2) Regresión lineal entre temperatura de fermentación y pH del cotiledón .....	170
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>172</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>176</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>177</b>
<b>APÉNDICES .....</b>	<b>190</b>

<b>8.1 Carta de compromiso de la Fundación Laguna Lachuá (FUNDALACHUÁ) para la cooperación en la implementación del proyecto de investigación. ....</b>	<b>190</b>
<b>8.2 Carta de compromiso de la Asociación KATBLAPOM para la cooperación en la implementación del proyecto de investigación. ....</b>	<b>191</b>
<b>8.3 Carta de compromiso de la Asociación ASOSELNOR para la cooperación en la implementación del proyecto de investigación. ....</b>	<b>192</b>
<b>8.4 Financiamiento aprobado por el Consorcio Regional de Investigación Agropecuaria CRIA-IICA para la ejecución de la presente de investigación.....</b>	<b>193</b>
<b>8.5 Cotización y compra de equipo de termohigrómetros, refractómetros y morteros para el monitoreo de la fermentación.....</b>	<b>194</b>

<b>8.6</b>	<b>Cotización y compra de medidores de humedad para monitorear el proceso de secado de cacao.....</b>	<b>195</b>
<b>8.7</b>	<b>Cotización y compra de medidores de pH y soluciones de limpieza, almacenamiento y calibración. ....</b>	<b>196</b>
<b>8.8</b>	<b>Cotización y compra de navajas injertadoras para realizar la prueba de corte y evaluar el progreso de la fermentación de cacao. ....</b>	<b>197</b>
<b>8.9</b>	<b>Cotización y compra de cajas para fermentación de cacao para contribuir con el mejoramiento de las capacidades de procesamiento de cacao de la región.....</b>	<b>198</b>
<b>8.10</b>	<b>Carta de aprobación de CRIA-IICA para asistir a la Conferencia Mundial del Cacao como representante de los investigadores de la cadena de cacao de Guatemala.....</b>	<b>199</b>
<b>8.11</b>	<b>Guía de entrevistas.....</b>	<b>200</b>
<b>8.12</b>	<b>Guía de encuestas individuales .....</b>	<b>201</b>
<b>8.13</b>	<b>Guía de observación en campo .....</b>	<b>202</b>
<b>8.14</b>	<b>Hoja de registro para el control del proceso de fermentación de cacao .....</b>	<b>203</b>
<b>8.15</b>	<b>Convocatoria para la contratación del equipo de campo.....</b>	<b>204</b>
<b>8.16</b>	<b>Carta aval de la cadena de cacao región Norte ante el programa CRIA-IICA</b>	<b>205</b>
<b>8.17</b>	<b>Carta de aval institucional del CUNOR ante el CRIA-IICA .....</b>	<b>206</b>
<b>8.18</b>	<b>Fotografías de actividades ejecutadas durante el proceso de investigación.</b>	<b>207</b>
<b>8.19</b>	<b>Fotografías de instalaciones de fermentación en otros países.....</b>	<b>209</b>
<b>8.20</b>	<b>Protocolo de fermentación utilizados actualmente por las asociaciones.....</b>	<b>210</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

### Página

Anexo C del Acuerdo Internacional del Cacao 2010. Recomendaciones del panel Ad Hoc de cacao fino o de aroma de la organización Internacional del Cacao (ICCO) del periodo 2008-2019 (Cifras expresadas en porcentaje).....	10
Principales enzimas presentes durante la fermentación de cacao.....	43
Producción mundial de cacao durante el periodo del año 2,010 al 2015.....	46
Procesamiento de granos de cacao expresado en miles de toneladas. ....	47
Valor total de las exportaciones de cacao y productos derivados del cacao de Centroamérica y el contexto mundial. ....	48
Valor total de las exportaciones de cacao en grano de Centroamérica y el contexto mundial. ....	49
Líneas de acción del eje estratégico de fortalecimiento a los procesos de generación de valor agregado y su definición. ....	55
Componentes de las tres fases de la estrategia del modelo de implementación del Proyecto Laguna Lachuá.....	62
Descripción de las técnicas, instrumentos y variables a evaluar por objetivo de investigación. ....	68
Diseño experimental .....	77
Estadísticos descriptivos para la variable edad.....	80
Análisis de varianza para la variable edad.....	80
Prueba post hoc de comparaciones múltiples de Tukey para la variable edad. ....	80
Separación de medias Tukey para la variable edad .....	81
Estadísticos descriptivos para la variable ingresos. ....	83
Análisis de varianza para la variable ingresos .....	83
Estadísticos descriptivos para la variable tamaño de familia.....	84
Análisis de varianza para la variable tamaño de familia.....	84
Estadísticos de grupo para la variable edad por género. ....	84
Prueba de T para muestras independientes para la variable edad por género.....	84
Estadísticos de grupo para la variable de ingresos económicos por género. ....	85
Prueba de T para muestras independientes para la variable ingresos por género. ....	86
Resumen del procesamiento de los casos .....	87
Conteo de resultados de nivel de estudios por asociación .....	87
Prueba de Chi cuadrado ( $X^2$ ) para la variable nivel de estudios por asociación.....	87
Resumen del procesamiento de los casos de grupo étnico por asociación. ....	88
Conteo de resultados de grupo étnico por asociación.....	88
Prueba de Chi cuadrado ( $X^2$ ) para la variable nivel grupo étnico por asociación .....	88
Estadísticos descriptivos para la variable tenencia de terreno (Manzanas). ....	89
Prueba Levene de homogeneidad de varianzas para la variable tenencia de terreno. ....	89



Prueba de Welch's para analizar igualdad de medias de la variable tenencia de terreno (Manzanas).....	90
Prueba de comparaciones múltiples Games-Howell para la variable tenencia de terreno (Manzanas).....	90
Separación de medias Games-Howell para tenencia de terreno (Manzanas). ....	90
Estadísticos descriptivos para la variable área de producción de cacao (Hectáreas).....	91
Análisis de varianza para la variable área de producción de cacao (Hectáreas).....	91
Estadísticos descriptivos para la variable producción de cacao fresco por hectárea. ....	93
Análisis de varianza para la variable producción de cacao por hectárea. ....	93
Estadísticos descriptivos para la variable número de cultivos producidos. ....	95
Análisis de varianza para la variable número de cultivos producidos ....	95
Prueba de comparaciones múltiples Tukey para la variable cultivos producidos. ....	95
Separación de medias Tukey para la variable cultivos producidos. ....	96
Estadísticos descriptivos para la variable número de especies animales producidas. ....	97
Análisis de varianza para la variable número de especies animales producidas ....	97
Prueba de comparaciones múltiples Tukey para la variable de especies animales producidas .....	97
Separación de medias Tukey para la variable de especies animales producidas.....	98
Resumen del procesamiento de los casos para el tipo de siembra por asociación.....	99
Tabla de contingencia para tipo de siembra por asociación. ....	99
Prueba de Chi cuadrado ( $X^2$ ) para la variable tipo de siembra por asociación.....	99
Resumen del procesamiento de los casos para la variable genética por asociación. ....	101
Tabla de contingencia para genética por asociación.....	101
Prueba de Chi cuadrado ( $X^2$ ) para la variable genética por asociación. ....	101
Híbridos seleccionados de la FHIA y propagados en la ecorregión de Lachúa durante el inicio del proyecto de cacao (2006 - 2007).....	101
Resumen del procesamiento de los casos de la pregunta ¿Fertiliza su plantación de cacao? .....	104
Tabla de contingencia por asociación para la pregunta ¿Fertiliza su plantación de cacao? .....	104
Prueba de Chi cuadrado ( $X^2$ ) para la pregunta ¿Fertiliza su plantación de cacao?.....	104
Resumen del procesamiento de los casos para la pregunta ¿Qué método de comercialización de cacao prefiere? .....	106
Tabla de contingencia por asociación para la pregunta ¿Qué método de comercialización de cacao en baba prefiere? .....	106
Prueba de Chi cuadrado ( $X^2$ ) para la pregunta ¿Qué método de comercialización de cacao en baba prefiere? .....	106
Resumen del procesamiento de los casos por asociación para la pregunta ¿Está conforme con el precio de cacao en baba que recibe? .....	109

Tabla de contingencia por asociación para la pregunta ¿Está conforme con el precio de cacao en baba que recibe?.....	109
Prueba de Chi cuadrado ( $X^2$ ) para la pregunta ¿Está conforme con el precio de cacao en baba que recibe?.....	109
Resumen del procesamiento de los casos para la pregunta ¿Por qué cree necesario tener más opciones de mercado?.....	109
Tabla de contingencia por asociación para la pregunta ¿Por qué cree necesario tener más opciones de mercado? * Asociación. ....	110
Prueba de Chi cuadrado ( $X^2$ ) para la pregunta ¿Por qué cree necesario tener más opciones de mercado? .....	110
Resumen del procesamiento de los casos por asociación para la pregunta ¿Está considerando sembrar más cacao? .....	111
Tabla de contingencia por asociación para la pregunta ¿Está considerando sembrar más cacao?.....	111
Prueba de Chi cuadrado ( $X^2$ ) para la pregunta ¿Está considerando sembrar más cacao? .....	111
.....	111
Análisis de varianza para la variable temperatura ambiente.....	112
Estadísticos descriptivos para la variable temperatura ambiente por localidad.....	113
Separación de medias Tukey para la variable temperatura ambiente por localidad. ....	113
Estadísticos descriptivos para la variable temperatura ambiente por día de fermentación. ....	116
.....	116
Separación de medias Tukey para la variable temperatura ambiente por día de fermentación. ....	116
Estadísticos descriptivos para la variable temperatura ambiente por localidad y masa de fermentación (Localidad*Masa). ....	118
Separación de medias Tukey para la variable temperatura ambiente por localidad y masa de fermentación (Localidad*Masa). ....	118
Análisis de varianza para la variable humedad relativa.....	120
Estadísticos descriptivos para la variable humedad relativa por localidad.....	121
Separación de medias Tukey para la variable humedad relativa por localidad. ....	121
Estadísticos descriptivos para la variable humedad relativa por masa de fermentación. ....	122
Separación de medias Tukey para la variable humedad relativa por masa de fermentación. ....	122
.....	122
Estadísticos descriptivos para la variable humedad ambiente por día de fermentación. ....	123
Separación de medias Tukey para la variable humedad ambiente por día de fermentación. ....	123
.....	123
Estadísticos descriptivos para la variable humedad relativa por localidad y masa de fermentación (Localidad*Masa). ....	124
Separación de medias Tukey para la variable humedad relativa por localidad y masa de fermentación (Localidad*Masa). ....	125

Análisis de varianza para la variable temperatura de fermentación. ....	125
Estadísticos descriptivos para la variable temperatura de fermentación por localidad de procesamiento. ....	127
Separación de medias Tukey para la variable temperatura de fermentación por localidad. ....	127
Estadísticos descriptivos para la variable temperatura de fermentación por masa de procesamiento. ....	128
Separación de medias Tukey para la variable temperatura de fermentación por masa de fermentación. ....	128
Estadísticos descriptivos para la temperatura de fermentación por día de fermentación. ....	129
Separación de medias Tukey para la variable temperatura de fermentación por día de fermentación. ....	130
Estadísticos descriptivos para la variable temperatura de fermentación por localidad y masa de fermentación (Localidad*Masa). ....	131
Separación de medias Tukey para la variable temperatura de fermentación por localidad y masa de fermentación (Localidad*Masa). ....	132
Estadísticos descriptivos para la variable temperatura de fermentación por localidad y día de fermentación (Localidad*Día). ....	134
Separación de medias Tukey para la variable temperatura de fermentación por localidad y día de fermentación (Localidad*Día). ....	135
Estadísticos descriptivos para la variable temperatura de fermentación por masa y día de fermentación (Masa*Día). ....	136
Separación de medias Tukey para la variable temperatura de fermentación por masa y día de fermentación (Masa*Día). ....	137
Análisis de varianza para la variable pH de la testa. ....	138
Estadísticos descriptivos para la variable pH de la testa por localidad. ....	139
Separación de medias Tukey para la variable pH de la testa por localidad. ....	139
Estadísticos descriptivos para la variable pH de la testa por masa de fermentación. ....	140
Separación de medias Tukey para la variable pH de la testa por masa de fermentación. ....	140
Estadísticos descriptivos para pH de la testa por día de fermentación. ....	141
Separación de medias Tukey para la variable pH de la testa por día de fermentación. ....	141
Estadísticos descriptivos para la variable pH de la testa por localidad y masa de fermentación (Localidad*Masa). ....	142
Separación de medias Tukey para la variable pH de la testa por localidad y masa de fermentación (Localidad*masa). ....	143
Estadísticos descriptivos para la variable pH de la testa por localidad y día de fermentación (Localidad*Día). ....	144

Separación de medias Tukey para la variable pH de la testa por localidad y día de fermentación (Localidad*Día). .....	145
Estadísticos descriptivos para la variable pH de la testa por masa y día de fermentación (Masa*Día). .....	147
Separación de medias Tukey para la variable pH de la testa por masa y día de fermentación (Masa*Día). .....	148
Análisis de Varianza para la variable pH del cotiledón .....	149
Estadísticos descriptivos para la variable pH del cotiledón por localidad de procesamiento. ....	149
Separación de medias Tukey para pH del cotiledón por localidad. ....	149
Estadísticos descriptivos para la variable pH del cotiledón por masa de fermentación. ....	150
Estadísticos descriptivos para pH del cotiledón por día de fermentación. ....	151
Separación de medias Tukey para la variable pH del cotiledón por día de fermentación. ....	151
Estadísticos descriptivos para la variable pH del cotiledón por localidad y masa de fermentación (Localidad*Masa). ....	153
Separación de medias Tukey para la variable pH del cotiledón por localidad y masa de fermentación (Localidad*masa). ....	153
Estadísticos descriptivos para la variable pH del cotiledón por localidad y día de fermentación (Localidad*Día). ....	155
Separación de medias Tukey para la variable pH del cotiledón por localidad y día de fermentación (Localidad*Día). ....	155
Estadísticos descriptivos para la variable pH del cotiledón por masa y día de fermentación (Masa*Día). ....	157
Separación de medias Tukey para la variable pH del cotiledón por masa y día de fermentación (Masa*Día). ....	158
Valores de pH de la testa y del cotiledón por día de fermentación y masa de procesamiento en ASODIRP. ....	165
Valores de pH de la testa y del cotiledón por día de fermentación y masa de procesamiento en ASOELNOR. ....	165
Valores de pH de la testa y del cotiledón por día de fermentación y masa de procesamiento en KATBALPOM. ....	165
Correlación de Pearson de las principales variables de fermentación de cacao. ....	167
Prueba de T para la estimación de los valores alfa y beta del modelo no lineal entre temperatura de fermentación y pH del cotiledón. ....	168
Prueba de T para la estimación de la pendiente y el intercepto del modelo lineal entre temperatura de fermentación y pH del cotiledón. ....	170

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Mapa de ubicación de las subregiones de producción de cacao en la región Norte. ....	8
Mapa de superficie en hectáreas de las áreas aptas para la restauración del paisaje forestal en Guatemala. ....	12
Localización del origen de los materiales de cacao. Los colores indican el clúster o grupo genético al cual pertenecen. ....	30
Componentes y composición de los granos de cacao. Adaptado de Lopez y Dimick (1995). ....	34
Cambios en ácidos volátiles, azúcares y alcohol durante la fermentación de cacao. ....	36
Cambios en la actividad microbiana durante la fermentación y secado de cacao. Adaptado de Schwan y Wheals (2004). ....	40
Ubicación geográfica de la ecorregión Lachuá en el contexto de Guatemala. ....	59
Histograma de frecuencias de edad de los productores de cacao de la ecorregión de Lachuá. ....	81
Histograma del año de establecimiento de la primera plantación de cacao de los productores en la ecorregión de Lachuá. Fuente: Elaboración propia (2021). ....	94
Temperatura ambiente del área de fermentación por localidad de procesamiento. Fuente: Elaboración propia (2021). ....	114
Temperatura ambiente del área de procesamiento por día de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021). ....	116
Temperatura ambiente por localidad y masa de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021). ....	118
Importancia del diseño del área de fermentación. a) Pérdida de calor por falta de aislamiento. b) Conservación de calor generado durante el proceso. Fuente: Elaboración propia (2021). ....	119
Humedad relativa del área de fermentación por localidad de procesamiento. Fuente: Elaboración propia (2021). ....	121
Promedio de temperatura de fermentación por día de procesamiento. Fuente: Elaboración propia (2021). ....	130
Temperatura de fermentación por localidad y masa de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021). ....	132
Temperatura de fermentación por localidad de procesamiento. Fuente: Elaboración propia (2021). ....	135
Temperatura de fermentación por masa y día de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021). ....	137
Promedio del pH de la testa por día de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021). ....	141



Comportamiento del pH de la testa por localidad y masa de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021). .....	143
pH de la testa por localidad y día de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021). .....	146
Comportamiento del pH de la testa por masa y día de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021). .....	148
Promedio del pH del cotiledón por día de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021). .....	151
Comportamiento del pH del cotiledón por localidad y masa de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021). .....	153
pH del cotiledón por localidad y día de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021). .....	156
Comportamiento del pH del cotiledón por masa y día de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021). .....	158
Comportamiento del pH de la testa y del cotiledón del grano de cacao antes y después del proceso de fermentación. a) Grano de cacao antes de la fermentación. b) Grano de cacao después del proceso de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021). .....	159
Perfil promedio del pH de la testa y cotiledón durante el proceso de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021). .....	160
Perfil de pH durante la fermentación de cacao para a) ASODIRP, b) ASOSELNOR y c) KATBALPOM. Fuente: Elaboración propia (2021). .....	162
Perfil de pH durante la fermentación de cacao para a) 5, b) 8 y c) 11 quintales de cacao. Fuente: Elaboración propia (2021). .....	163
Perfil de pH para cada tratamiento (localidad y masa) durante la fermentación de cacao. Fuente: Elaboración propia (2021). .....	164
Regresión no lineal entre temperatura de fermentación y pH de la testa durante el proceso de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021). .....	169
Temperatura de fermentación y pH de la testa durante el proceso de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021). .....	169
Regresión lineal entre la temperatura de fermentación y el pH del cotiledón. Fuente: Elaboración propia (2021). .....	171
Temperatura de fermentación y pH del cotiledón durante el procesamiento. Fuente: Elaboración propia (2021). .....	171

## LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

ACG: Agrocadena de Cacao de Guatemala

ACODESERESA: Asociación de Consejos Comunitarios de Desarrollo de Segundo Nivel de la región de Santa Lucía

AGRINATURA: Consorcio de 30 Universidades Europeas e Institutos de Investigación

ANDEVA: Análisis de Varianza

ARGIDIUS: Fundación de caridad fundada en Suiza con el objetivo de promover el crecimiento de pequeños y medianos empresarios.

ASESA: Acuerdo Sobre Aspectos Socioeconómicos y Situación Agraria

ASOCOCOSERESA: Asociación de Consejos Comunitarios de Desarrollo de Segundo Nivel de la Región Salacuim.

ASODIRP: Asociación de Desarrollo Integral Rocjá Pomtilá

ASOSELNOR: Asociación Selva del Norte

CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

CDAIS: Proyecto de Desarrollo de Capacidades para Sistemas de Innovación Agrícola

CHOCOQUATEMAYA: Organización No Gubernamental formada por grupos de productores del sector rural de Alta Verapaz

CHOCOLA: Sitio arqueológico prehispánico maya, del período preclásico, que alcanzó su mayor desarrollo entre 1000 a.C y 200 d. C.

COCODE: Consejo Comunitario de Desarrollo

CONADEA: Consejo Nacional de Desarrollo Agropecuario

CRIA: Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria

CUNOR: Centro Universitario del Norte

ECA: Escuela de Campo

ENCOVI: Encuesta Nacional de Condiciones de Vida

FAO: Organización de Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

FDA: *Food and Drug Administration of the United States*

FEDECOVERA: Federación de Cooperativas de las Verapaces

FHIA: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola

FTN: Franja Transversal del Norte

FUNDALACHUA: Fundación Laguna Lachuá

FUNDASISTEMAS: Fundación Fundasistemas

IAN: Instituto Agropecuario Nacional

IARNA: Instituto de Investigación y Proyección sobre Ambiente Natural y Sociedad

ICCO: *The International Cocoa Organización*

IICA: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

INAB: Instituto Nacional de Bosques

INE: Instituto Nacional de Estadística

IPNUSAC: Instituto de Problemas Nacionales de la Universidad de San Carlos de Guatemala

KATBALPOM: Asociación de desarrollo Integral de la Ecorregión de Lachuá

MAGA: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación

MAGAP: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Alimentación y Pesca del Ecuador

MINECO: Ministerio de Economía

MSNM: Metros Sobre el Nivel del Mar

PINFRUTA: Programa de Incentivos a la Fruticultura

PNDRI: Política Nacional de Desarrollo Rural Integral

PROCACAO: Red Regional de Generación y Transferencia de Tecnología en Cacao

PRONACOM: Programa Nacional de Competitividad

RAMSAR: Convención RAMSAR es el tratado intergubernamental que ofrece el marco para la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos.

SCIDA: Servicio Cooperativa Interamericano de Desarrollo Agrícola

TAKALIK ABAJ: Yacimiento arqueológico de la cultura maya prehispánica. Se encuentra en el municipio de El Asintal (Retalhuleu), en el Sur de Guatemala.

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

USDA: *United States Department of Agriculture*

## RESUMEN

La exportación de granos de cacao a nivel global, representa la segunda actividad comercial de esta industria que genera mayor valor solo después de la comercialización del chocolate y sus derivados. La experiencia guatemalteca de exportación ha tenido buena aceptación a nivel internacional, sin embargo; se han realizado pocos avances en el proceso de fermentación para el mejoramiento de la calidad. En el presente estudio se investigaron las características socioeconómicas y de producción de cacao, y se realizó la caracterización del proceso de fermentación.

Los resultados mostraron que las tres localidades evaluadas presentaron, similares condiciones socioeconómicas especialmente; relacionadas al ingreso económico, tamaño de familia, nivel de educación, área de producción y rendimiento de cacao por hectárea. La edad promedio de los productores es de 44.38 años, con un ingreso mensual de Q1,452.38, un promedio de 7.55 integrantes por núcleo familiar, donde el 42.9% no posee educación formal y el 90.5% pertenece a la etnia maya Q'eqchi'. En promedio los productores poseen 2.17 hectáreas de cacao con rendimiento de 231.04 kg/ha de grano seco, donde la mayoría no fertiliza sus plantaciones (88.1%) y no tiene conocimiento del material genético (71.4%). Los productores expresaron mayor preferencia (74.4%) en la comercialización de cacao no drenado; además, la mayoría (63.9%) no está conforme con los precios actuales de comercialización y manifestaron la necesidad de más opciones de mercado. El 55% no está interesado en expandir el cultivo; pero la mayoría (97.6%) tiene interés de explorar opciones de procesamiento para agregar valor y mejorar los ingresos económicos.



Con relación a los perfiles de fermentación, los resultados muestran que la Asociación de Desarrollo Integral de la Ecorregión de Lachuá (KATBALPOM) presentó mejores perfiles de temperatura de la masa de fermentación, pH de la testa y pH del cotiledón; durante la fermentación de 5 y 8 quintales de cacao, obtuvo el punto óptimo para la finalización del proceso al quinto día de fermentación. Sin embargo; la asociación actualmente realiza la fermentación durante ocho días aproximadamente.

En conclusión, las condiciones socioeconómicas de los productores de cacao son similares en las tres localidades. La asociación KATBALPOM presentó los mejores perfiles de fermentación durante el procesamiento de 5 y 8 quintales de cacao. Estos perfiles de fermentación deben ser ajustados de acuerdo con las condiciones de procesamiento en cada localidad.

**Palabras claves:** Cacao, Calidad, Fermentación, Desarrollo Rural, Cadena de Valor.





## ABSTRACT

Globally, cocoa bean trade represents the second most important commercial activity in market value, only after commercialization of chocolate products and subproducts. Guatemala has received good acceptability of cacao beans exported to the international market; however, there has been negligible research focused on fermentation for quality improvement. The current study focused on the study of the socioeconomic and cacao production characteristics among farmers, as well as the characterization of the fermentation process.

Results demonstrated that the three locations evaluated presented similar socioeconomic characteristics, especially related to income, household size, education, production area, and yield per hectare in cacao production. The average age among farmers was 44.38 years, with Q 1,452.80 monthly income, 7.55 persons per household, where 42.9% does not have formal education and 90.5% belong to the maya Q'eqchi'. On average, farmers have 2.17 hectares for cacao production with dry cacao bean yield of 231.04 kg/ha, where most of them do not fertilize (88.1%) and do not have knowledge of the genetic material present in the field (71.4%). Farmers expressed more preference (74.4%) towards commercialization of fresh cacao in drained form (without water). Additionally, the majority (63.9%) is not satisfied with the current price paid by buyers for fresh cacao and expressed the need of better market options. Fifty-five percent is not interested in expanding the cacao production area; but most farmers (97.6%) are willing to explore other options to add value to the raw materials and increase income.



The results from the fermentation profiles showed that *Asociación de Desarrollo Integral de la Ecorregión de Lachúa (KATBALPOM)* presented the best cocoa mass temperature, pH from the testa and cotyledon during processing. Five days were the optimum fermentation time for treatments with 5 and 8 quintales. However, the current protocol at this location implements fermentation for eight days.

In conclusion, the socioeconomic characteristics among farmers at different locations are similar. KATBALPOM presented the best fermentation profiles during fermentation of 5 and 8 quintales. The fermentation profiles need to be adjusted depending on the location.

**Keywords:** Cacao, Fermentation, Rural Development, Value Chain



## INTRODUCCIÓN

El desarrollo y dinamización de la economía en el sector rural, es una de las líneas estratégicas que permite contribuir con la implementación de la Política Nacional de Desarrollo Rural Integral (PNDRI), a través de la inversión y el mejoramiento de las prácticas agrícolas en el área rural que contribuyan al mejoramiento de la competitividad de los productos ofertados en la región y producidos principalmente por pequeños agricultores quienes forman parte del sujeto priorizado en la PNDRI. El fortalecimiento del sector agrícola permitirá mejorar el acceso a mercados de alto valor y crear modelos con enfoques de cadena que generen las condiciones para una comercialización de forma asociativa, inclusiva y transparente, en estricto cumplimiento de la Estrategia Nacional de Fomento a las Agrocadenas en Guatemala impulsado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) a través del Consejo Nacional de Desarrollo Agropecuario (CONADEA), el cual ha priorizado 25 agrocadenas a nivel nacional por su importancia para el desarrollo agropecuario y su aporte a la economía guatemalteca, siendo una de ellas la agrocadena del cacao.

La historia del cultivo de cacao en Guatemala ha permitido que este sea parte de las actividades agrícolas de subsistencia y de producción excedentaria en diferentes partes del país, principalmente en comunidades indígenas cercanas a parques nacionales, reservas naturales o áreas de recarga hídrica. Debido a las características del cultivo, durante los últimos años se ha impulsado su producción en sistemas agroforestales, en cumplimiento y contribución a la Estrategia Nacional de Restauración del Paisaje Forestal. Dicha



estrategia contempla dentro de sus ejes temáticos el desarrollo económico, referido a las medidas de restauración basadas en opciones generadoras de ingreso, empleo, bienes y servicios que bajo enfoques productivos contribuyan a la competitividad del país.

El impulso del cultivo en diferentes regiones de Guatemala ha creado la necesidad de fortalecer a los actores a través de la creación de espacios de incidencia y de coordinación para la implementación de diferentes actividades de fomento e inversión. Con el lanzamiento de la Estrategia Nacional del Cacao y la conformación de la agrocadena, se formó un marco regulatorio que permite a los actores dirigir las acciones en favor del crecimiento y desarrollo del cultivo en conjunto. Dentro de los ejes de trabajo del plan estratégico se encuentra el fortalecimiento a los procesos de generación de valor agregado y como eje transversal se encuentra la investigación y desarrollo tecnológico.

La presente investigación se encuentra alineada y responde a las prioridades establecidas en el eje transversal de investigación y desarrollo de la Estrategia Nacional de la Agrocadena de Cacao, fortalece lo impulsado en la Estrategia Nacional de Restauración del Paisaje Forestal a través del mejoramiento del proceso postcosecha y fortalecimiento de la comercialización de uno de los cultivos de importancia en la producción bajo sistemas agroforestales, contribuye con la Estrategia Nacional de Fomento a las Agrocadenas en Guatemala; así como también contribuye con los objetivos de la Política Nacional de Desarrollo Rural Integral, en uno de los cuales establece que se debe fomentar y facilitar la investigación participativa en áreas como la producción de alimentos, las prácticas agrícolas y comerciales y de manufactura tradicionales desarrolladas por parte de los sujetos priorizados.



El propósito del estudio, fue establecer perfiles de fermentación para la producción de cacao fino de aroma y contribuir con el mejoramiento de la calidad del cacao de la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz. Con esta investigación se contribuyó con la caracterización y optimización del proceso de fermentación para potencializar las características de aroma y sabor de los granos de cacao con la finalidad de comercializar el producto en nichos de mercado de alto valor a nivel internacional y de esta manera generar mejores ingresos económicos para las familias del sector rural. Además; se realizó la caracterización socioeconómica de las familias productoras de cacao con el propósito de entender el contexto de producción de cacao en la región de Lachuá y proporcionar información para futuras intervenciones de desarrollo en la región.

Para la implementación de la investigación se contó con la colaboración de la Fundación Laguna Lachuá (FUNDALACHUA) y sus tres asociaciones de base (KATBALOM, ASOSELNOR Y ASODIRP). Además, el proyecto de investigación fue financiado con fondos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) a través del Programa de Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIA) del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Para el cumplimiento de los objetivos de la investigación se utilizaron diversas técnicas de investigación, entre las cuales se encuentran: entrevistas estructuradas dirigidas, encuestas mixtas (forma escrita y/o verbal) dirigidas de forma individual, observación participativa en campo, revisión de fuentes secundarias y experimentación confirmatoria. Para la recolección de los datos se realizó muestreo probabilístico, el diseño experimental para el cumplimiento del segundo objetivo específico fue bifactorial (3\*3) en bloques al azar y medidas repetidas en tiempo (días de fermentación). El modelo



experimental contó con dos factores: a) Factor uno, masa de fermentación: 5, 8, y 11 quintales de cacao fresco (tres niveles) y b) Factor dos, localidad: KATBALPOM, ASODIRP y ASOSELNOR (tres niveles). Las medias repetidas en tiempo se realizaron al inicio del proceso (día cero) y durante los ocho días de duración del proceso de fermentación de cacao.

El presente documento está conformado por tres capítulos: el Capítulo I describe el marco conceptual del plan de investigación, en el cual se hace referencia a detalles sobre el tema de investigación; así como aspectos relacionados al problema objeto de investigación, definición, antecedentes y planteamiento del problema. El Capítulo II hace referencia al marco teórico, que incluye la definición de conceptos y aspectos relacionados al desarrollo teórico e histórico del tema de estudio. Por otro lado; el Capítulo III describe los aspectos metodológicos, variables y objetivos, universo y muestra, métodos y técnicas de investigación y métodos de muestreo, así como aspectos relacionados al modelo estadístico de la investigación. El Capítulo IV describe el análisis y los resultados obtenidos durante la investigación, conclusiones y recomendaciones.



## CAPÍTULO 1

### 1.1 Marco conceptual

#### 1.1.1 Tema

Producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) fino de aroma como mecanismo para contribuir con el desarrollo rural de la ecorregión de Lachuá.

#### 1.1.2 Problema objeto de investigación

Bajo ingreso económico de las familias productoras de cacao, debido a la inconsistencia en la calidad de la fermentación de cacao ofertado por las comunidades de la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz.

#### 1.1.3 Definición del problema

En la región Norte de Guatemala, principalmente en los departamentos de Alta Verapaz, Quiché y Petén se han identificado tres modelos de procesamiento de cacao, los cuales varían en calidad del producto y requerimiento de infraestructura. Los tres modelos o tipos de procesamiento que se realizan actualmente, conducen a la producción de cacao de diferentes calidades; el producto con mayor oferta en la región es el cacao lavado, el cual posee un ligero secado del grano y ningún tipo de fermentación. Esta práctica de procesamiento de cacao es la más ampliamente utilizada por los productores de cacao de la región, debido a que requiere poca o ninguna infraestructura o equipo y también debido a que la mayoría de los productores no cuenta con conocimientos sobre el proceso adecuado de fermentación (Ruiz, 2015).



Esta práctica poco recomendada que ha sido ampliamente utilizada por la mayor parte de los productores de cacao es lo que no ha permitido que puedan acceder a mercados de alto valor. A pesar de que algunas asociaciones cuentan con infraestructura básica para la fermentación y el secado del cacao; y cuentan con equipo para la medición de parámetros como temperatura y humedad del grano, como en la ecorregión de Lachuá, no ha sido posible desarrollar un procedimiento de fermentación adecuado debido al desconocimiento sobre los parámetros y factores que son necesarios para lograr un procesamiento adecuado. Esto ha generado inconsistencia los porcentajes de fermentación y penalización en precio del producto. Esta inconsistencia en calidad genera pérdidas, porque lotes con bajos porcentajes de fermentación no se pueden comercializar en nichos de mercado de alto valor donde podrían obtener mejores precios y mejores condiciones de comercialización.

#### **1.1.4 Antecedentes del problema**

La dimensión socio ambiental en el marco territorial de las subregiones que comprenden la cadena de valor de cacao, es considerada como el elemento base o punto de partida de cada estudio o investigación, debido a que el cultivo no solo se desarrolla en un espacio biofísico sino también obedece a un conjunto de relaciones sociales y económicas (Ochoa, 2015).

En el año 2007, el cultivo de cacao en Centroamérica ocupaba entre 23,000 a 25,000 hectáreas en manos de 18,000 familias indígenas y campesinas de escasos recursos que viven y trabajan en zonas remotas, con deficientes vías de comunicación y acceso y muchas veces alrededor de áreas protegidas de interés nacional e internacional (Somarriba et al., 2013).





Según el Programa Nacional de Competitividad (PRONACOM) “en Guatemala la producción primaria de cacao es fundamentalmente desarrollada por pequeños y medianos productores, lo cual se pudo establecer mediante los datos censales referidos a los estratos del tamaño de fincas productoras de cacao” (Contreras Marín, 2008, p. 27). Para el año 2012 existían más de 25 organizaciones productoras en todo el país con diversas formas de constitución: comités locales, asociaciones, fundaciones y cooperativas. En total se identificaron 2,942 familias productoras de cacao que pertenecen a grupos sociales o empresariales diversos. En la Franja Transversal del Norte (FTN) se identificaron siete organizaciones (411 familias afiliadas) y entre Cahabón y Lanquín 15 organizaciones (2,297 familias) (Say y Villalobos, 2012).

Diversos estudios relacionados al cultivo de cacao en Guatemala identifican dos grandes regiones de producción: Región Norte que comprende los departamentos de Alta Verapaz, Quiché, Izabal y Sur de Petén (Figura 1) y la Región Sur-Occidental, que abarca la boca costa de los departamentos de Suchitepéquez, Retalhuleu, Quetzaltenango y San Marcos (Ochoa, 2015).

El 82% de la superficie cosechada se encuentra concentrada en tres departamentos: Alta Verapaz (40%), Suchitepéquez (24%) y San Marcos (18%). Esta actividad es desarrollada principalmente por pequeños y medianos productores, con modalidades de producción caracterizadas como cultivo natural y un pequeño porcentaje con tecnología orientada al manejo orgánico (Agrocadena de Cacao de Guatemala [ACG], 2016).



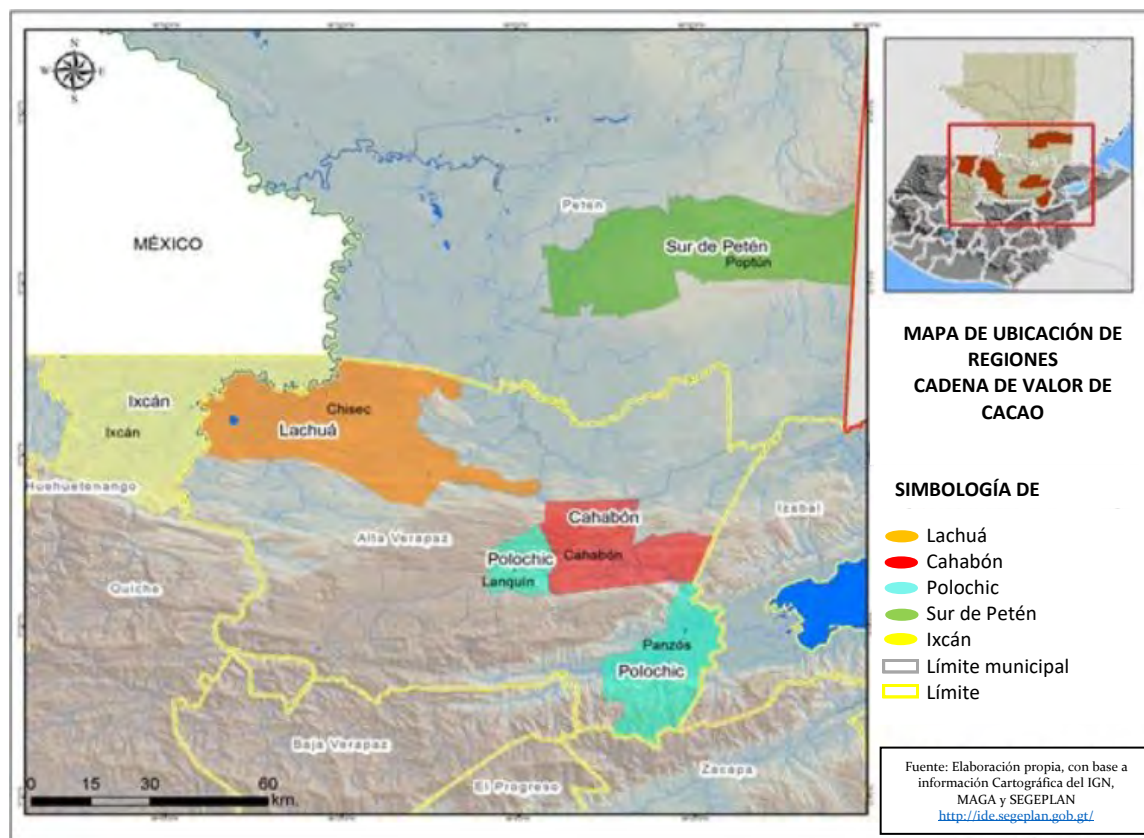


Figura 1. Mapa de ubicación de las subregiones de producción de cacao en la región Norte.

Fuente: Ochoa (2015)

Según el Instituto Nacional de Estadística (INE) “los resultados de la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI) muestran que para el año 2014 la población de Alta Verapaz y Sololá se encontraba por encima de 80% de pobreza general, siendo los dos departamentos con mayor índice de pobreza a nivel nacional y con mayor necesidad de alternativas que generen empleo rural por las características de ambos departamentos. Además, se determinó que la incidencia de pobreza extrema es mayor para la etnia indígena (39.8%) en comparación con la no indígena (12.8%) y es mayor para la población del sector rural (35.3%) en comparación con la población que vive en el área urbana (11.2%) (Narciso Cruz, 2015). La ecorregión de Lachúa está conformada por comunidades indígenas, principalmente de la etnia maya q’eqchi’, asentadas en la zona de influencia de esta área

protegida (Medina Müller, 2012). Las familias viven en condiciones de pobreza y basan su economía en la producción agrícola de subsistencia, complementada con actividades extractivas tales como la pesca y tala de árboles (Instituto Nacional de Bosques [INAB], 2003).

El sector de cacao actualmente realiza aportes específicamente a las economías familiares en términos de generación de empleo. Una estimación de costos y producción para el año 2006, permitió establecer que en ese período el sector en su conjunto generó 216,757 jornales, equivalentes a 803 empleos plenos, de los que el 46.04% corresponde a la actividad agrícola y el 53.96% a las actividades industriales y artesanales. Para el año 2013, el número de jornales tuvo un crecimiento de alrededor de 56,000 jornales, es decir un total registrado de 272,800 jornales, equivalentes a 974 empleos permanentes. Aun cuando en términos de la economía nacional la contribución es mínima, a nivel de familias en el área rural, el empleo generado por la actividad contribuye de manera importante en la integración del ingreso. La generación y distribución de ingresos inherentes al sector cacao por concepto de empleo, se aproxima a los 9.34 millones de quetzales anuales, de ellos alrededor de 4.24 millones de quetzales (45.36%) son distribuidos en el área rural (ACG, 2016).

La principal forma de comercializar cacao, es a través del grano seco en sus distintas presentaciones. Este flujo comercial a nivel global representa la segunda actividad comercial que genera mayor valor, solo después de la comercialización del chocolate y sus derivados (Salguero, 2015). Respecto al grano de cacao, la experiencia guatemalteca de exportación es relativamente reciente, accedió primero en el año 2002 a El Salvador y a partir del año 2008 al mercado de Estados Unidos, con un incremento marcado en el año



2013 cuando grupos de productores iniciaron sus exportaciones principalmente a Estados Unidos, siendo estos FUNDALACHUA y la Federación de Cooperativas de las Verapaces (FEDECOVERA), las cuales proyectan aumentar anualmente el flujo de capital por exportación a mercados diferenciados de Estados Unidos (ACG, 2016). En el año 2019, Guatemala fue reconocido por la Organización Internacional del Cacao como un país exportador de cacao fino o de aroma en un 75% (Tabla 1)

**Tabla 1. Anexo C del Acuerdo Internacional del Cacao 2010. Recomendaciones del panel Ad Hoc de cacao fino o de aroma de la organización Internacional del Cacao (ICCO) del periodo 2008-2019 (Cifras expresadas en porcentaje).**

País	Año			
	2008	2010	2015	2019
Brasil	**	**	**	100
Bolivia	**	100	100	*
Colombia	100	95	95	95
Costa Rica	100	100	100	100
Dominica	*	100	100	100
República Dominicana	40	40	40	40
Ecuador	75	75	75	75
Granada	100	100	100	100
Guatemala	**	**	50	75
Haití	**	**	*	4
Indonesia	1	1	1	10
Jamaica	100	100	95	100
Madagascar	100	100	100	100
México	**	100	*	*
Nicaragua	**	**	100	80
Panamá	**	**	50	50
Papúa Nueva Guinea	75	90	90	70
Perú	100	90	75	75
Santa Lucía	100	100	100	100
Santo Tomé y Príncipe	35	35	*	*
Trinidad y Tobago	100	100	100	100
Venezuela	75	95	*	*

Nota. El panel Ad Hoc 2008 informó que no existía suficiente información para recomendar un porcentaje del total de las exportaciones o el país no solicitó ningún porcentaje. \*\* País no incluido en la lista previa de países exportadores de cacao fino o de aroma.

Fuente: (Hawkins y Chen, 2016; International Cocoa Organization [ICCO], 2015; 2019).



Según la ACG (2016) de acuerdo con los ingresos reportados de productores que están exportando o vendiendo granos de cacao, el precio por tonelada métrica (22.04 quintales) a nivel nacional oscila entre \$ 2,800.00 a \$ 3,500.00. Con relación a la venta de producto para exportación, el precio por tonelada oscila entre \$ 3,500.00 a \$ 4,300.00. Si consideramos que cada familia pueda producir media tonelada al año, sus ingresos reportados serían en promedio \$ 1,400.00 anuales tomando el precio inferior reportado o su equivalente en moneda nacional de Q 11,200.00 anuales. Esto mejoraría significativamente los ingresos económicos de las familias productoras, convirtiéndose en un medio principal para mejorar la calidad de vida de las personas en el área rural en estricto apego a la Política Nacional de Desarrollo Rural Integral (PNDRI) (ADRI, MOSGUA, CONIC, UNAC, y MIC, 2009).

Con la PNDRI en la política agrícola, pecuaria, forestal e hidrobiológica, se contribuye en implementación de modelos de producción sostenible y culturalmente pertinente en materia agrícola y forestal con la perspectiva de alcanzar el pleno desarrollo humano de las comunidades rurales. Además, con la generación de empleos directos e indirectos se contribuye en la política económica que tiene como finalidad promover políticas macroeconómicas y comerciales que favorezcan el fortalecimiento, desarrollo y crecimiento de la economía rural, indígena y campesina, superando la inequidad en las asignaciones presupuestarias para el área rural (ACG, 2016). El cultivo de cacao tiene un potencial de expansión de hasta 159,419.08 hectáreas, las cuales cuentan con condiciones climáticas aptas para el cultivo bajo sistemas agroforestales (Figura 2), con la finalidad de detener el avance de la frontera agrícola y la recuperación de paisajes deforestados (Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala, 2015).



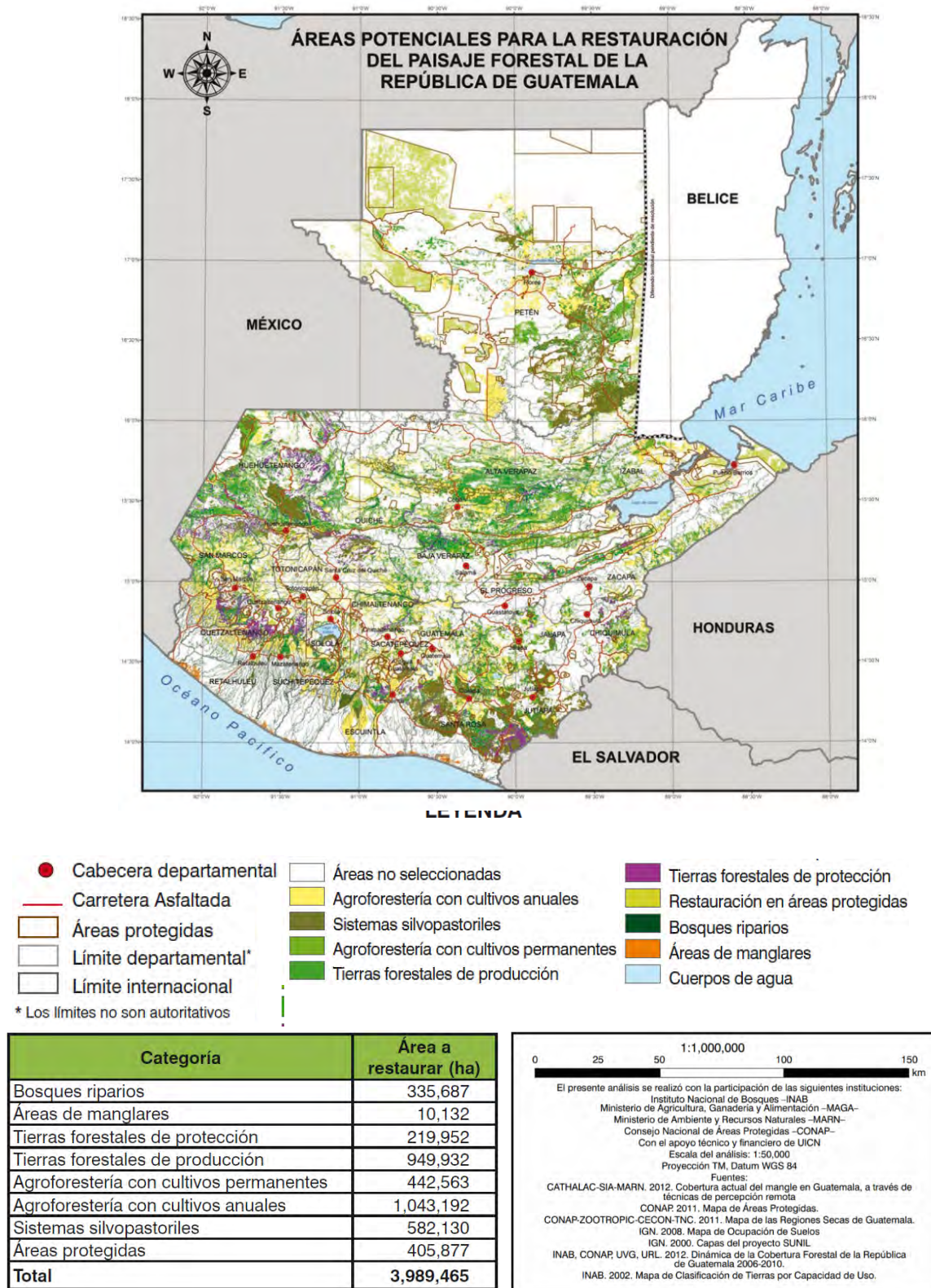


Figura 2. Mapa de superficie en hectáreas de las áreas aptas para la restauración del paisaje forestal en Guatemala.

Fuente: (Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala, 2015)



El cacao, es parte de los planes de desarrollo de la mayoría de los países centroamericanos y a partir del año 2006, se instauraron algunos espacios de concertación del sector cacaotero (mesas, foros, clústeres). No obstante, en todos los países se encontró un sector pequeño, con pocos actores y con iniciativas gubernamentales débiles para enfrentar los retos del mercado (Somarriba et al., 2013).

En la región Norte de Guatemala a pesar de haber iniciado con la experiencia en exportación de cacao al mercado de Estados Unidos, la mayor parte del producto todavía se comercializa a intermediarios en ciudades como San Pedro Carchá, Cobán y ciudad de Guatemala y estos a su vez comercializan principalmente con la industria artesanal de productores de chocolate en el municipio de Mixco, Quetzaltenango y Antigua Guatemala.

En el año 2012 se identificaron 65 industrias artesanales de cacao en la costa sur (departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu), 17 en Quetzaltenango y 70 en el municipio de Mixco del departamento de Guatemala. Por el contrario, en los municipios de Cobán y Cahabón se identificaron pocas empresas dedicadas a la producción de chocolate. Además, se identificaron siete empresas transformadoras de cacao en productos finales (golosinas, cocoa, chocolate de cobertura y otros derivados) (Say y Villalobos, 2012).

Debido a la fuerte presencia de industrias artesanales y al alto nivel de consumo interno, la comercialización de cacao lavado o con bajos estándares de calidad sigue siendo una opción de comercialización. Esto se debe a que la mayoría del cacao comercializado para el mercado local se utiliza para la elaboración de bebidas a base de chocolate, para el cual no se requiere de cacao con altos estándares de calidad debido a que el producto contiene altos niveles de azúcar y esto contribuye a que los defectos de los granos no sean



percibidos por el mercado o por los consumidores. Sin embargo; la dinámica de la comercialización del cacao lavado a nivel local depende totalmente de intermediarios, los cuales fijan el precio con base a especulación o al nivel de oferta y demanda del producto y el precio no responde a aspectos de calidad. Esto provoca que la mayor parte del año de cosecha los productores reciban precios bajos por los granos de cacao y estos productores no encuentran motivación en mejorar la calidad debido a que el modelo de comercialización en el que han estado por varios años no valora aspectos de calidad o sabor.

Según lo establecido por Somarriba et al. (2013) “durante un estudio de línea base del Proyecto Cacao Centroamérica en el año 2007 se determinó que el tema cacao no parecía tener relevancia en la educación agraria, empresarial o industrial y no se trataba a profundidad en las universidades y otros centros de estudio, por lo que la mayoría de los profesionales que proveían servicios técnicos al sector cacao no disponían de la formación académica ni las habilidades necesarias para hacer un trabajo efectivo y de calidad” (p. 113). Esto pudo contribuir a la poca visión o seguimiento a los proyectos de producción de cacao con enfoque de calidad y consistencia en la producción y el procesamiento del cacao, provocando un estancamiento en el desarrollo y la innovación del procesamiento.

#### **1.1.5 Planteamiento del problema**

Durante varios años la cadena de valor del cacao en el eslabón de procesamiento no ha presentado avances en temas relacionados al mejoramiento del manejo postcosecha de los granos del cacao, lo cual ha provocado que el producto presente inestabilidad en el precio debido a la calidad variable e inconsistente. Según Say y Villalobos (2012) “los precios de cacao (fermentado o lavado) variaron de Q750.00 a Q1, 000.00 por quintal en





el año 2,007 y de Q650.00 a Q1, 400.00 por quintal para el año 2,012” (p. 2). Esta variabilidad en el precio del producto en el mercado fue confirmada posteriormente por Ochoa (2015) quien reportó que el precio de cacao se encontraba en un rango de Q700.00 a Q 1,350.00 por quintal dependiendo del área de producción y la calidad de los granos.

Por otro lado, según Ruiz (2015) en la región Norte de Guatemala, principalmente en los departamentos de Alta Verapaz, Quiché y Petén se han identificado tres modelos de procesamiento, los cuales varían en calidad del producto y requerimiento de infraestructura. Los tres modelos o tipos de procesamiento que se realizan actualmente conducen a la producción de cacao de diferentes calidades; el producto con mayor oferta en la región es el cacao lavado, el cual posee un ligero secado del grano y ningún tipo de fermentación. Esta práctica de procesamiento de cacao es la más ampliamente utilizada por los productores de cacao de la región, debido a que requiere poca o ninguna infraestructura o equipo y también debido a que la mayoría de los productores no cuenta con conocimiento sobre el proceso adecuado de fermentación.

Esta práctica poco recomendada que ha sido ampliamente utilizada por la mayor parte de los productores de cacao es lo que no ha permitido que se puedan acceder a mercados de alto valor. A pesar de que algunas asociaciones cuentan con infraestructura básica para la fermentación y el secado del cacao y cuentan con equipo para la medición de parámetros como temperatura y humedad del grano, no ha sido posible desarrollar un procedimiento de fermentación y secado adecuado debido al desconocimiento sobre los parámetros y factores que son necesarios para lograr un procesamiento adecuado.

Otro aspecto importante es que no se cuentan con investigaciones relacionadas al desarrollo de procesos de fermentación de cacao basados en la mezcla genética,



condiciones micro climáticas y características de los centros de procesamiento de la región. No se han realizado investigaciones relacionadas al desarrollo de perfiles de fermentación ni perfiles de sabor en ninguna región del país, una práctica que ya se ha realizado en países como Ecuador, Colombia, Honduras en la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) y en Trinidad y Tobago en el Centro de Investigación de Cacao de la Universidad de West Indies.

Debido a la escasa investigación relacionada al procesamiento, trazabilidad, desarrollo de perfiles de sabor, y bajo nivel de organización del sector, durante la revisión del anexo C del Acuerdo Internacional de Cacao 2010 en la reunión del panel Ad Hoc sobre cacao fino o de aroma de la Organización Internacional del Cacao (ICCO) del año 2015, Guatemala fue reconocido como país productor de cacao fino de aroma únicamente en 50%. Sin embargo, durante la revisión del anexo C en el año 2019 mejoró su clasificación a 75% (Ac-Pangan, 2019). Esto indica que a pesar de que ha sido reconocido como un potencial productor de cacao fino de aroma y del progreso que se ha realizado durante los últimos años, aún queda trabajo por realizar para catalogar y comercializar como tal en el mercado internacional. Por esta razón es importante que se desarrollen investigaciones relacionadas a las mezclas genéticas y al procesamiento postcosecha y la elaboración de perfiles de sabor para conocer el potencial genético de cada región. Esto pone a Guatemala en desventaja competitiva, junto a países como Honduras y Panamá que también tienen la misma clasificación, en comparación con otros países que han sido catalogados como 100% productores de cacao fino de aroma tales como Bolivia, Costa Rica, República Dominicana, Madagascar, etc., (Hawkins y Chen, 2016).



Esta desventaja competitiva que presenta el cacao guatemalteco actualmente podría afectar principalmente a los pequeños productores de cacao en la región Norte de Guatemala, debido a que los productores de esta región son los que han considerado al mercado internacional como la principal oportunidad de negocios para los granos de cacao, debido a que la mayor parte de la producción de cacao es realizada por comunidades indígenas maya q'eqchi', quienes han tenido plantaciones de cacao durante varios años, en las cuales se ha preservado la mezcla genética y han sido producidos de forma orgánica o tradicional. Características que hacen atractivo el producto en el mercado internacional, principalmente con empresas productoras de chocolate que buscan realizar convenios de comercialización con asociaciones o cooperativas de pequeños productores a largo plazo, ya que este modelo de comercialización directa y transparente ha cobrado importancia en los consumidores de chocolate en el mercado internacional, especialmente en Estados Unidos.

Otra de las razones por las que esta desventaja competitiva que presenta el cacao guatemalteco en la actualidad en el mercado internacional afecta principalmente a los productores de la región Norte en comparación a los productores de la región Sur, es que el cacao de la región Sur se ha enfocado en satisfacer la demanda del mercado doméstico de Guatemala tomando en cuenta que tiene ventajas comparativas con la región Norte para satisfacer el mercado local debido a su posición estratégica y las excelentes vías de acceso para los mercados domésticos en Quetzaltenango, Antigua Guatemala y ciudad de Guatemala.

Las preguntas de investigación que dirigen y orientan la presente investigación son:  
¿Cual son las características socioeconómicas actuales de los productores de la ecorregión



de Lachuá? ¿Existe variabilidad en las condiciones ambientales dentro del área de procesamiento en las localidades de estudio? ¿Existe variabilidad en los parámetros de fermentación durante el procesamiento de diferentes masas de cacao y en diferentes localidades?

**a. Delimitación del problema.**

La investigación se desarrolló con 394 familias productoras de cacao (301 hombres y 93 mujeres) de la ecorregión de Lachuá, las cuales pertenecen a las asociaciones KATBALPOM que abarca las comunidades de Salacuim y Saholom, ASOSELNOR que comprende a las comunidades de Faisan I, II y Pataté y ASODIRP en la comunidad Rocjá Pomtilá. Estas asociaciones a su vez son parte de FUNDALACHUA cuya sede se encuentra ubicada en la comunidad Salacuim en el municipio de Cobán, Alta Verapaz. La investigación se realizó en esta región debido a que durante los últimos cuatro años la producción y procesamiento de cacao han presentado inconsistencias en la calidad y esto ha provocado penalizaciones en precio a las asociaciones y reducción de la demanda del producto. Actualmente el cacao es uno de los principales cultivos que son fuente de ingresos económicos para las familias de la ecorregión.

La investigación se realizó durante la cosecha de cacao que comprendió el periodo del mes de enero hasta el mes de Julio de 2018, con el objetivo de abarcar las condiciones completas de cosecha, procesamiento y las diferentes condiciones micro climáticas que caracterizan a cada región durante la época de cosecha y procesamiento de cacao. La investigación se enfocó en establecer las características socioeconómicas, de producción y procesamiento de cacao; así como la caracterización y optimización de la fermentación de cacao, adecuada a las características de la mezcla genética, condiciones de procesamiento



y condiciones micro climáticas de la ecorregión para mejorar la consistencia del producto y la calidad a lo largo de la cosecha. Esto permitirá expresar al máximo las características de sabor de los granos de cacao de la región y así poder acceder a nichos de mercado de alto valor y de esta manera incrementar los ingresos económicos de las familias productoras de cacao de la ecorregión de Lachuá.

**b. Objetivos de la investigación.**

El objetivo general de la investigación fue: establecer perfiles de fermentación de cacao para la producción de cacao fino de aroma en la ecorregión de Lachuá, como mecanismo para contribuir con el desarrollo rural del municipio de Cobán, Alta Verapaz, mediante el incremento de la calidad del producto y consistencia a lo largo de la cosecha y en diferentes años de cosecha. Permitiendo el acceso a nichos de mercado de alto valor y obteniendo mejores ingresos económicos para las familias productoras de cacao. Además, se realizó una caracterización de las condiciones socioeconómicas de los productores de cacao de la región con el objetivo de proveer información útil para futuras intervenciones relacionadas el desarrollo del cultivo en la región.

**c. Justificación de la investigación.**

El sabor, es un criterio clave de calidad para los fabricantes de productos derivados del cacao. El criterio de sabor incluye la intensidad del sabor a cacao o chocolate, junto con otras notas aromáticas secundarias, así como la ausencia de sabores indeseados. Entre los defectos destacan la falta de fermentación, la fermentación excesiva y la contaminación (CAOBISCO/ECA/FCC, 2015). Según Camu et al. (2008) “en los últimos diez años la microbiología y bioquímica de la fermentación de cacao en Ghana han sido ampliamente investigadas” (p. 86). De esta manera el conocimiento y comportamiento de la



fermentación espontánea del cacao ha contribuido al entendimiento del proceso de fermentación desde el punto de vista bioquímico y microbiológico y su impacto en la calidad del cacao. Estas investigaciones han contribuido a determinar que: “El conjunto de microorganismos presentes durante el proceso de fermentación son el reflejo de los factores medioambientales (temperatura, pH y oxigenación) y el metabolismo de los sustratos de los granos de cacao” (Camu et al., 2008, p. 86), lo cual está relacionado a la mezcla genética de las plantaciones de cacao presentes en la región de estudio.

Por otro lado; en México se han realizado investigaciones relacionadas al efecto de diferentes condiciones de fermentación en la calidad de los granos de cacao. En una investigación realizada por Hernández-Hernández, López-Andrade, Ramírez-Guillermo, Guerra Ramírez, y Caballero Pérez (2016), se evaluó el efecto de las condiciones de fermentación en un centro de procesamiento de cacao de productores locales en la región de Huimanguillo, ubicada en el Estado de Tabasco, México. En esta investigación se determinó que la fermentación de cacao puede desarrollarse adecuadamente en masas inferiores a 22 quintales, siendo siete quintales la masa óptima para la fermentación de cacao en esa región. Durante dicha investigación se realizaron muestreos para el monitoreo de temperatura de la masa de fermentación en diferentes partes de las cajas, acidez titulable del cotiledón de los granos de cacao previamente secados y medición de la fermentación a través de pruebas de corte. Estos parámetros contribuyeron a la determinación de las condiciones óptimas de fermentación del cacao en la región de estudio.

Según Rodríguez-Campos et al. (2012) el proceso de fermentación tiene mayores efectos que el proceso de secado en el perfil de aroma de los granos de cacao. En caso de no realizar un procesamiento de fermentación adecuado, se puede inducir a la generación



de aromas no deseados, producto de la sobre fermentación del cacao, lo cual ocurre aproximadamente después de ocho días de procesamiento (Rodríguez-Campos et al., 2012).

El cacao de Guatemala ha cobrado importancia en los últimos años debido a los pequeños modelos de producción privada y comunitaria que actualmente se encuentran exportando producto hacia Estados Unidos y países de Europa, en los cuales ha tenido gran aceptación por sus características organolépticas diferenciadas de otros cacaos del mundo y ha sido clasificado por algunas empresas extranjeras como un potencial cacao fino. Aunado a esta condición, desde una visión globalizada, se observa como el precio del cacao fino de aroma referido al comercio de grano seco está incrementando o bien se mantiene en relación con otros productos agrícolas que además son estacionales. Esto ha generado que muchos países fomenten el cultivo con una buena perspectiva de ingresos (ACG, 2016).

En la región Norte, el cultivo de cacao ha cobrado importancia en los últimos quince años debido al constante esfuerzo de instituciones como la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), la Fundación FUNDASISTEMAS, FUNDALACHUA, Fundación Fray Domingo de Vico, FEDECOVERA, Heifer Internacional, y Fundación PROPETEN, entre otras. Las cuales han contribuido a esfuerzos para el mejoramiento genético, prácticas de postcosecha y trabajo asociativo en las comunidades. Como resultado de ese esfuerzo se logró incursionar en el mercado internacional debido al potencial del país como un proveedor de cacao fino de aroma en Estados Unidos y Europa. El interés del mercado



internacional en el cacao guatemalteco se debe al potencial del país por la diversidad cultural, micro climática y al potencial genético de las variedades de cacao.

Se ha exportado cacao al mercado de Estados Unidos y Europa, pero la calidad (porcentaje de fermentación) no ha sido consistente entre los lotes de diferentes años de cosecha, inclusive entre las partidas o lotes de procesamiento del mismo año y en la misma región. A pesar de la inconsistencia en la calidad, el mercado continúa interesado en los granos de cacao guatemalteco por el potencial de calidad que poseen, especialmente debido a que el mercado de cacao fino de aroma es más exigente en calidad, pero los precios son más competitivos y estables comparados con el precio del mercado del cacao lavado o a granel, los cuales se comercializan tomando como referencia los precios de bolsa en el mercado internacional.

Lo anterior, pone de manifiesto un escenario favorable para competir en el mercado de cacao no solo en grano seco sino en cualquiera de sus presentaciones tanto para el comercio nacional como internacional, tomando en cuenta la orientación hacia el mercado de cacaos finos. En este sentido, Guatemala posee un extenso territorio cuyas condiciones edafo-climáticas son favorables para el cultivo de cacao y sobre todo son áreas donde se conserva todavía sistemas productivos con rasgos de una cultura milenaria. Por esa razón; durante los últimos dos años se ha trabajado en la elaboración de un plan estratégico de la agrocadena de cacao, el cual pretende servir como un marco general que dirija las acciones de los actores de cada uno de los eslabones, con la finalidad de promover el desarrollo organizado de la agrocadena y de esta manera beneficiar a cada una de las partes de forma integral para obtener mayores oportunidades y alcances en búsqueda de la sostenibilidad

económica, social y ambiental (ACG, 2016).





Dentro de las líneas de acción contenidas en el plan estratégico de la cadena de valor de cacao se encuentra la de investigación y desarrollo tecnológico, la cual se enfoca en investigar las tendencias de procesamiento, tecnologías de agregación de valor y transformación de cacao, con el objetivo de desarrollar nuevas técnicas de procesamiento o mejorar las existentes para mejorar la calidad del producto final (ACG, 2016). Una de las metas de este eje estratégico es capacitar a 500 mujeres en la transformación primaria y secundaria de cacao, esto a partir del hecho de que en zonas cacaoteras del área rural la mayoría de las familias productoras realizan esta transformación primaria en sus hogares previo a llevarlas al centro de acopio, lo cual genera una condición favorable para que las mujeres se involucren y especialicen en la actividad productiva (ACG, 2016).

Actualmente la producción de cacao tiene un área cosechada de 6,300 manzanas (4,410 hectáreas) de la superficie territorial de Guatemala, con un potencial de expansión de hasta 159,419.08 hectáreas, las cuales cuentan con condiciones climáticas aptas para el cultivo de cacao bajo sistemas agroforestales (Mesa de Restauración del Paisaje Forestal de Guatemala, 2015), con la finalidad de detener el avance de la frontera agrícola y la recuperación de paisajes deforestados. El 82% de la superficie cosechada se encuentra concentrada en tres departamentos: Alta Verapaz (40%), Suchitepéquez (24%) y San Marcos (18%). Esta actividad es desarrollada principalmente por pequeños y medianos productores, con modalidades de producción caracterizadas como cultivo natural y un pequeño porcentaje con tecnología orientada al manejo orgánico (ACG, 2016).

La producción sostenible de cacao es una alternativa valiosa para apoyar a estas familias productoras a salir de la pobreza y mantener saludables sus ecosistemas. La mayoría de estas familias productoras de cacao viven en zonas remotas en los alrededores



de zonas protegidas de valor nacional e internacional y sus medios de vida son de alta prioridad en las agendas nacionales e internacionales (Somarriba et al., 2013).

Para lograr que los productores de cacao de la región de Lachuá puedan ser competitivos en el mercado internacional es necesario producir cacao fino de aroma que cumpla con los estándares de calidad establecidos para las exportaciones. Por lo tanto, para la producción de cacao de alta calidad será necesario desarrollar procedimientos estandarizados y adecuados a cada región de producción, siendo uno de estos el proceso de fermentación, el cual debe estar basado en aspectos de la mezcla genética, condiciones micro climáticas de la ecorregión, y características de procesamiento. De esta manera será posible expresar el potencial genético del sabor de los granos de cacao, y se podrá generar un protocolo de procesamiento que posteriormente puede ser replicado en otras regiones como el Sur de Petén o la región del Polochic, donde también existen asociaciones de pequeños productores maya q'eqchi' que pueden aprovechar su riqueza cultural y genética para incursionar en mercados de alto valor a nivel internacional.

Un aspecto importante con respecto a la dinámica del cultivo de cacao en los últimos dos años es que debido a que el cacao está cobrando importancia a nivel internacional y específicamente en Guatemala, muchas empresas del sector privado han comenzado a establecer plantaciones a gran escala y con tecnología agrícola de alto nivel, lo cual representa una reto para los pequeños productores, especialmente para aquellos que no busquen diferenciarse o no busquen nichos de mercado específicos y de alto valor. Por esta razón; es importante proteger la mezcla genética de las plantaciones de los pequeños productores y mejorar aspectos de procesamiento para aprovechar al máximo las



características únicas de cada una de estas regiones de producción en términos de riqueza cultural y genética.

Las asociaciones de pequeños productores deberán apostar por calidad y consistencia y enfocarse en nichos de mercado de cacao fino de aroma y no competir por volumen o precio, por esta razón; es importante realizar investigaciones que vayan enfocadas en apoyar el mejoramiento del procesamiento en asociaciones o grupos de pequeños productores de cacao de Guatemala para que siga siendo un producto que genere ingresos económicos a las familias del sector rural.

**d. Viabilidad de la investigación.**

Debido a la importancia que representa el cultivo para los ingresos económicos de los productores de la ecorregión de Lachuá y de los problemas de inconsistencia en calidad del producto que han presentado las asociaciones en los últimos años, la necesidad de investigación es de vital importancia para los productores. Actualmente cada asociación cuenta con instalaciones para fermentación de cacao y cuentan con plantaciones de aproximadamente 12 años las cuales se encuentran en producción y la época principal de cosecha es de noviembre a Julio de cada año, con pequeñas cosechas a lo largo del año en algunas regiones. La investigación se realizó en conjunto con la Fundación Laguna Lachuá (FUNDALACHUA) y sus tres asociaciones (KATBALPOM, ASOSELNOR y ASODIRP), con el financiamiento del Instituto Interamericano de Desarrollo Agropecuario (IICA), a través de su programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIA).

La Fundación FUNDALACHUA y sus asociaciones aportaron las instalaciones para el procesamiento del cacao y la materia prima utilizada en cada una de las asociaciones



para la investigación. El financiamiento obtenido a través del CRIA-IIICA fue utilizado para la compra del equipo de investigación necesario para la medición de los parámetros requeridos en la elaboración del proceso de fermentación (termómetros, potenciómetro, guillotina, medidor de humedad, refractómetro, termo higrómetro), así como para la contratación del equipo técnico de campo, conformado por un promotor por asociación y un técnico para el monitoreo y medición de variables en cada comunidad. Además, con el financiamiento se equipó a cada asociación con 10 cajas de fermentación para incrementar la capacidad de procesamiento de los productores de la región.

**e. Evaluación de las deficiencias del conocimiento.**

Actualmente no existen estudios de investigación relacionados al manejo postcosecha de cacao en Guatemala, específicamente no existen investigaciones relacionadas al proceso de fermentación, debido a que las características tradicionales de comercialización de cacao no fomentaban el mejoramiento en calidad, un aspecto que ha cambiado en los últimos años debido al potencial del país para la producción y abastecimiento del mercado y a una reestructuración de la demanda y oferta del cacao en el mercado internacional. Debido a este poco incentivo en el mejoramiento de la calidad, han sido escasos los esfuerzos enfocados en el mejoramiento y el entendimiento de las condiciones actuales de fermentación de cacao, a pesar de que han existido esfuerzos aislados para el mejoramiento del manejo postcosecha, éstos se han realizado de forma empírica y no basados en estudios que tomen en cuenta las características de las regiones de procesamiento y además no se han considerado los estándares de calidad y consistencia requeridos por el mercado internacional.

Se tienen los conocimientos básicos sobre manejo postcosecha y específicamente de fermentación, pero se hacen de forma empírica, siguiendo procedimientos desarrollados en otros países, los cuales cuentan con características diferentes a las presentes en nuestra región y esto provoca que no se obtengan los resultados esperados al aplicar dichos procedimientos. Este vacío que ha existido en aspectos de procesamiento en las diferentes iniciativas de fomento del cultivo de cacao también ha provocado la formación deficiente de personal técnico capacitado y con conocimiento científico y práctico para atender las demandas de los productores del sector rural, lo cual pone de manifiesto la necesidad de incluir en la formación profesional aspectos técnicos relacionados a los cultivos de importancia regional que contribuyan con el desarrollo rural.

Con las nuevas tendencias en comercialización de cacao a nivel internacional han surgido nuevos estándares de calidad, un aspecto importante que debe ser considerado por parte de los productores de cacao. Sin embargo, son pocas las acciones que se han enfocado en fortalecer las capacidades de los agricultores para que puedan cumplir con la calidad exigida por el mercado. Guatemala tiene alto potencial a nivel internacional pero debido al bajo nivel de investigación realizado hasta el momento, no se han potencializado las características de aroma y sabor de los granos de cacao, lo cual se traduce en una desventaja competitiva ante países de la región que han avanzado en temas de investigación relacionados al manejo postcosecha.

Actualmente son pocos los actores directos e indirectos de la cadena de cacao que se dedican a investigación, por esta razón es importante fomentar la coordinación interinstitucional entre la academia, el sector agrícola, y organizaciones de cooperación internacional para la implementación de investigaciones que respondan a las necesidades



de los agricultores de la región, fortalezcan los procesos agrícolas e incrementen la competitividad de la región para contribuir de esta manera con el desarrollo rural de Guatemala.



## CAPÍTULO 2

### 2.2 Marco teórico

#### 2.2.1 Definición de conceptos

##### a. El cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.).

El árbol de cacao (*Theobroma cacao* L.) conocido mundialmente por ser la materia prima del chocolate, pertenece a la clase Magnoliopsida, orden Malvales, familia Malvaceae, género *Theobroma* y especie *Cacao*, siendo el principal fruto cultivado en este género debido al alto valor e importancia de las semillas (de Souza, Moreira, Sarmento, y da Costa, 2018). Es un cultivo tropical, originario de la región superior del Amazonas en la región Noroeste de América del Sur (Zarrillo et al., 2018). En la región del Amazonas todavía es encontrado de forma silvestre, comúnmente caracterizado por ser un árbol de altura media y cubierto por arboles de más proporción y con follaje frondoso.

El cacao es un árbol que puede medir de 3-8 m de altura, dependiendo del manejo agronómico, con frutos que puede medir de 15-25 cm de longitud (Afoakwa, 2016b). El fruto maduro, también conocido como mazorca, puede tener entre 30-50 semillas rodeadas de pulpa mucilaginosa. Tradicionalmente el cacao se ha clasificado en dos grupos genéticos principales, “Criollo y “Forastero”, los cuales fueron definidos basados en análisis morfológicos y origen geográfico. Un tercer grupo, “Trinitario” fue definido como el híbrido entre Criollo y Forastero. Sin embargo, una nueva reclasificación de los materiales genéticos de cacao ha sido propuesta por Motamayor et al. (2008), la cual consiste en la agrupación del germoplasma en 10 clústeres o grupos genéticos incluyendo: Amelonado,



Contamana, Criollo, Curaray, Guiana, Iquitos, Marañón, Nacional, Nanay y Purús (Figura 3); esta calificación refleja con más precisión la diversidad del germoplasma de cacao permitiendo un mejor manejo de la propagación de materiales.

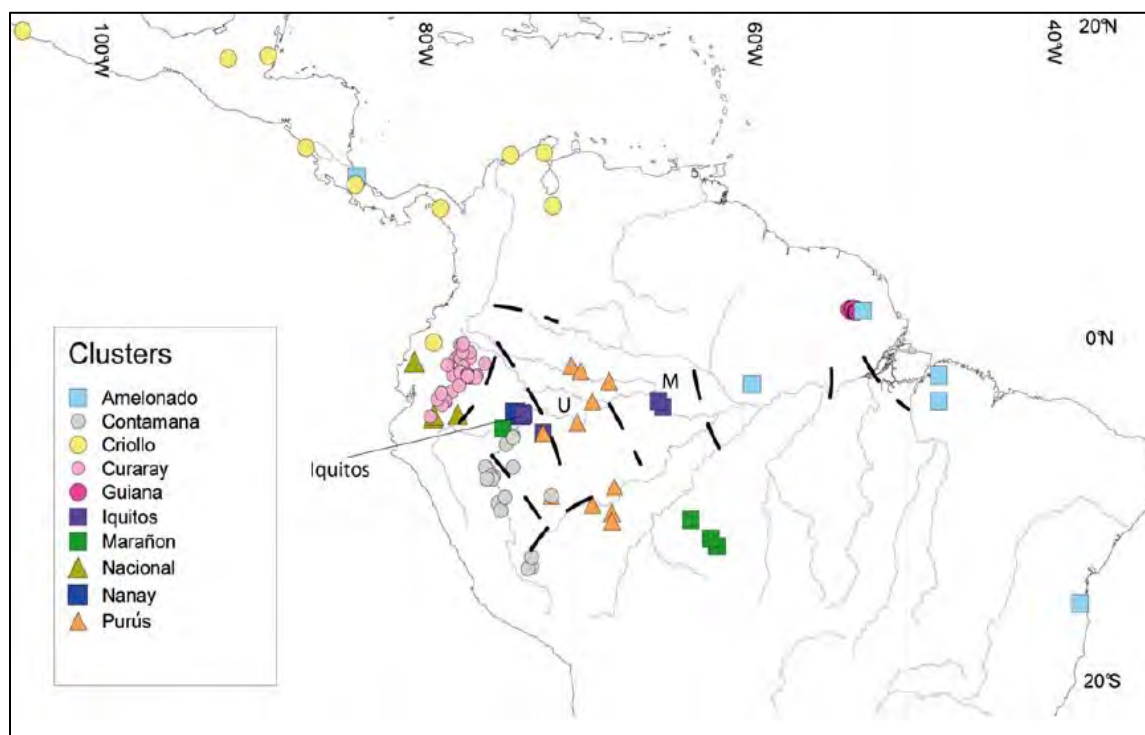


Figura 3. Localización del origen de los materiales de cacao. Los colores indican el clúster o grupo genético al cual pertenecen.

Fuente: (Motamayor et al., 2008)

Los diferentes genotipos o variedades influyen en la calidad e intensidad del sabor de los granos de cacao. Estas diferencias se deben principalmente a la diversidad en la composición química de los granos, la cual determina la cantidad y tipo de precursores aromáticos, así como la actividad enzimática durante el procesamiento (Afoakwa, 2016a). El contenido de azúcar y la degradación de los polisacáridos por acción enzimática constituyen una fuente importante de precursores de aroma y sabor del cacao. Cada variedad tiene un potencial de aroma y sabor, sin embargo, las condiciones de crecimiento, específicamente las condiciones climáticas, cantidad y tiempo de luz solar, precipitación pluvial, condiciones de suelo, estado de madurez de los frutos al momento de la cosecha,



época de cosecha, y el tiempo entre la cosecha y el inicio del proceso de fermentación contribuyen con las variaciones en el perfil de aroma y sabor de los granos de cacao (Afoakwa, 2016a).

**b. Cosecha de cacao.**

Los frutos de cacao, luego de la floración y polinización, pasan un período de crecimiento y desarrollo de 5-6 meses para alcanzar la madurez óptima para la cosecha (Fowler y Coutel, 2017; Lopes y Pires, 2015). Durante la última fase de maduración ocurren cambios importantes dentro del fruto, los cuales impactan en la calidad de las semillas o granos de cacao (Lopez y Dimick, 1995). Se forman azúcares y se incrementa la acidez de la pulpa, lo cual se manifiesta en la reducción del pH dentro del fruto. Además, se incrementa el contenido de taninos y carbohidratos, y los ácidos grasos libres presentes en la semilla son convertidos en triglicéridos (Lopez y Dimick, 1995). Otro de los aspectos importantes durante la maduración son los cambios en las enzimas y proteínas presentes en los granos de cacao (Lopez y Dimick, 1995), los cuales son importantes el desarrollo de los precursores de aroma y sabor.

La época de cosecha tiene una duración variable, dependiendo de la región de producción y del manejo agronómico de la plantación. Los frutos maduran progresivamente dependiendo de la época de polinización, por esta razón la cosecha se prolonga por varios meses y el corte de los frutos se realiza cada semana o cada dos semanas, dependiendo de la época de cosecha (Fowler y Coutel, 2017). Las mazorcas de cacao son quebradas para extraer los granos y cada fruto contiene de 30-45 granos o semillas adheridas al corazón o placenta del fruto (Fowler y Coutel, 2017). Luego los granos son colectados y colocados en recipientes para el proceso de fermentación.



### **c. Fermentación**

El cacao y chocolate poseen un perfil de aroma y sabor único dependiendo del genotipo, las condiciones de producción y procesamiento postcosecha, principalmente la fermentación y secado (Afoakwa, 2016a; Ziegler, 2017). La fermentación es un proceso clave en el cual ocurre la muerte del embrión y facilita la remoción de la pulpa (Lopez y Dimick, 1995). Durante esta etapa se inicia la producción de precursores de aroma y sabor, así como el desarrollo de color y reducción de astringencia y amargura (Amoa-Awua, 2015). Ejemplos instalaciones de fermentación se incluyen en Apéndice 6.19.

### **d. Composición de la pulpa de cacao**

La pulpa de cacao es el tejido blando que cubre los granos de cacao (Figura 4), el cual es de consistencia mucilaginoso, color blanco y dulce. Este es el sustrato utilizado para la fermentación de cacao y por lo tanto su composición es un factor crítico para el desarrollo óptimo de la fermentación (Afoakwa, 2016a). Está formada por 82-87% agua, 10-15% azúcares, 2-3% pentosanos, 1-3% ácido cítrico, y 1-1.5% pectina (Figura 4) (Amoa-Awua, 2015; Biehl y Ziegler, 2003; Lopez y Dimick, 1995). Esta composición permite que sea un excelente medio para el crecimiento de microorganismos (Fowler y Coutel, 2017).

Los principales azúcares presentes en la pulpa fresca son glucosa (5.4-6.6%) y fructosa (6.3-7.4%), con pequeñas cantidades de sacarosa (menos del 0.3%) (D. S. Nielsen et al., 2007). La proporción de glucosa y fructosa (monosacáridos) en comparación con sacarosa es utilizado como un indicador del estado de maduración de los frutos de cacao, en donde los frutos verdes presentan mayor proporción de sacarosa y los frutos maduros presentan principalmente fructosa y glucosa (Afoakwa, 2016a; Packiyasothy, Jansz, Senanayake, Wijesundara, y Wickremasinghe, 1981). La pulpa presenta una consistencia

viscosa debido a la presencia de azúcares, pectina y otros polisacáridos. El contenido de pectina representa aproximadamente el 1%, con un pH de 3.94-4.12 en la pulpa fresca debido principalmente al contenido de ácido cítrico (0.6-0.77%) y pequeñas cantidades (menos del 0.2%) de ácido acético y ácido láctico (D. S. Nielsen et al., 2007). Durante el primer día de fermentación, la pulpa adherida a los granos de cacao se drena por acción de la gravedad e inicio del proceso de degradación por parte de los microorganismos, lo cual incrementa levemente de la temperatura (Amoa-Awua, 2015).

**e. Composición del grano de cacao**

Los granos de cacao están formados por dos cotiledones y el embrión, los cuales están rodeado por la testa (Figura 4). La testa representa del 10-14% del peso seco del grano y el cotiledón del 86-90% (Afoakwa, 2016a). La testa actúa como una barrera semipermeable al flujo de sustancias entre la pulpa y la semilla o grano de cacao. Se ha demostrado que la testa es permeable al agua, etanol, ácido acético, ácido láctico y algunos componentes aromáticos volátiles (Wood, 2001). También actúa como barrera para contener las sustancias que son liberadas de las células de los cotiledones durante la fermentación y también afecta la tasa de transferencia de masas durante el proceso de secado (Biehl y Passern, 1982). Andersson, Koch, y Lieberei (2006) sugieren que la calidad de aroma y sabor de los granos de cacao fermentados se debe principalmente a las propiedades cinéticas de transporte de agua y solutos durante la fermentación de cacao a través de la testa.



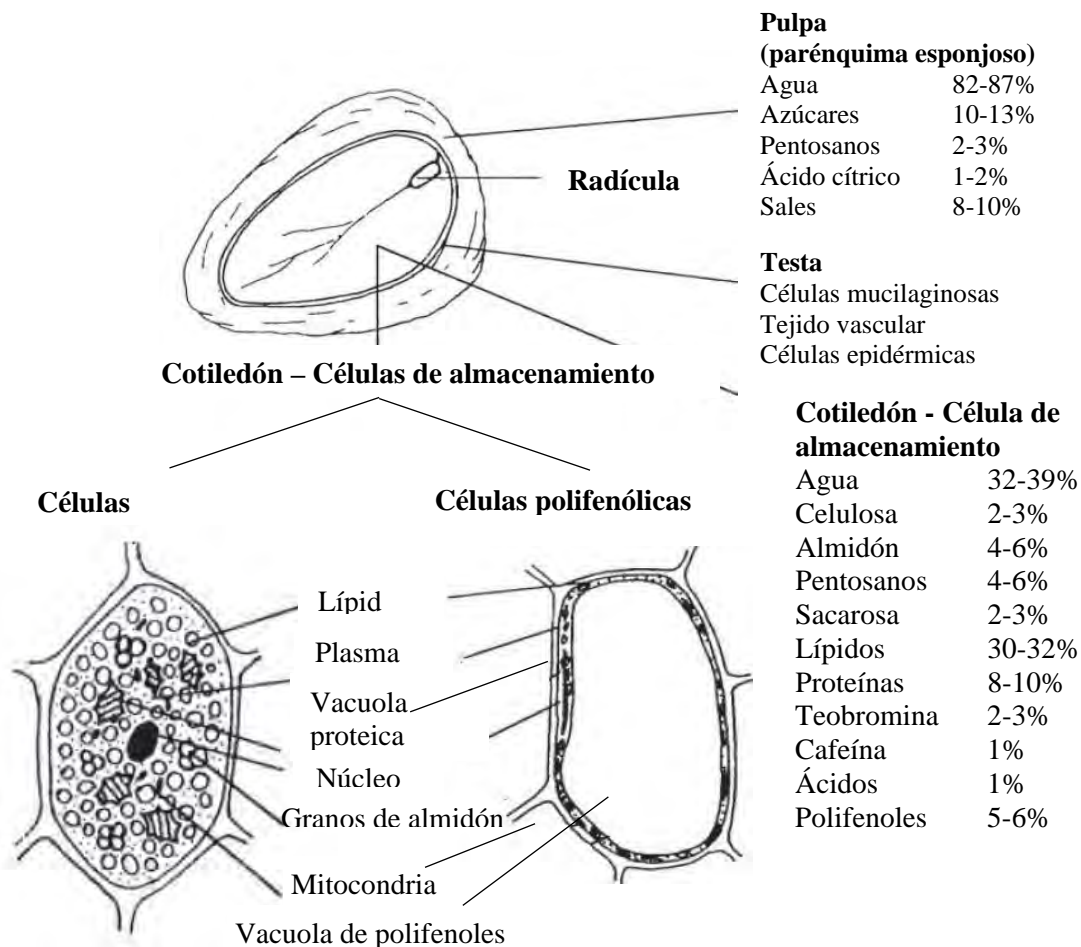


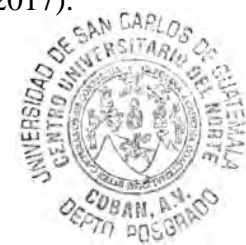
Figura 4. Componentes y composición de los granos de cacao. Adaptado de Lopez y Dimick (1995).

Los cotiledones contienen aproximadamente un tercio de agua y un tercio de grasa (manteca de cacao), y el resto consiste en componentes fenólicos, almidón, azúcar, teobromina, ácidos no volátiles, y otros componentes en pequeñas cantidades (Afoakwa, 2016a). Los cotiledones son los responsables de conferir las características de aroma y sabor de chocolate en las diferentes variedades de cacao, estos están compuestos de dos tipos de células parenquimáticas: las células de almacenamiento de polifenoles y metilxantinas (cafeína y teobromina), y las células de almacenamiento de lípidos y proteínas (Afoakwa, 2016a; Fowler y Coutel, 2017). Las células de almacenamiento de polifenoles y metilxantinas, cuando no han sido alteradas, confieren el color púrpura o morado en los granos de cacao (Afoakwa, 2016a). Por otro lado, las células de

almacenamiento de lípidos y proteínas tienen citoplasmas estrechamente comprimidos con diversas vacuolas pequeñas que contienen proteínas, lípidos y otros componentes como granos de almidón (Afoakwa, 2016a). Todos estos componentes de los cotiledones juegan un papel importante en el desarrollo de las características de aroma y sabor del cacao y chocolate.

**f. Cambios en la bioquímica de los granos de cacao**

La fermentación es esencial para el desarrollo apropiado de los precursores de aroma y sabor, la cual inicia al momento de la apertura y extracción de las semillas de los frutos (Amoa-Awua, 2015). Durante la fermentación, la pulpa sufre fermentación alcohólica, acética y láctica, provocando la muerte del embrión debido a la generación de calor, producción y migración de ácidos orgánicos y alcohol hacia la parte interior de los granos de cacao, provocando incremento de tamaño de los granos (hinchazón) y cambios en las membranas celulares que facilitan el movimiento libre de enzimas y sustratos dentro del grano (Afoakwa, 2016a; AmoA-Awua, 2015). En condiciones anaeróbicas, los microorganismos producen ácido acético y etanol, lo cual inhibe la germinación de los granos de cacao y contribuye con cambios estructurales dentro del grano, tales como la remoción de los compartimentos que almacenan a las enzimas y los sustratos y movimientos de componentes citoplasmáticos a través de los cotiledones de cacao (Afoakwa, 2016a), lo cual ocurre a una temperatura aproximada de 50°C (Biehl, Quesnel, Passern, y Sagemann, 1982). En el inicio de la fermentación existe un metabolismo anaeróbico de los azúcares. Durante los primeros dos días, la fermentación alcohólica es dominante sobre la fermentación láctica, en la cual se produce alcohol y dióxido de carbono, desplazando el oxígeno del medio de fermentación (Fowler y Coutel, 2017).



Cuando avanza la fermentación, la pulpa se degrada y se pierde por gravedad, permitiendo el ingreso de oxígeno a la masa de fermentación y por lo tanto contribuyendo al inicio de la fermentación aeróbica y la formación de ácido acético (Figura 5).

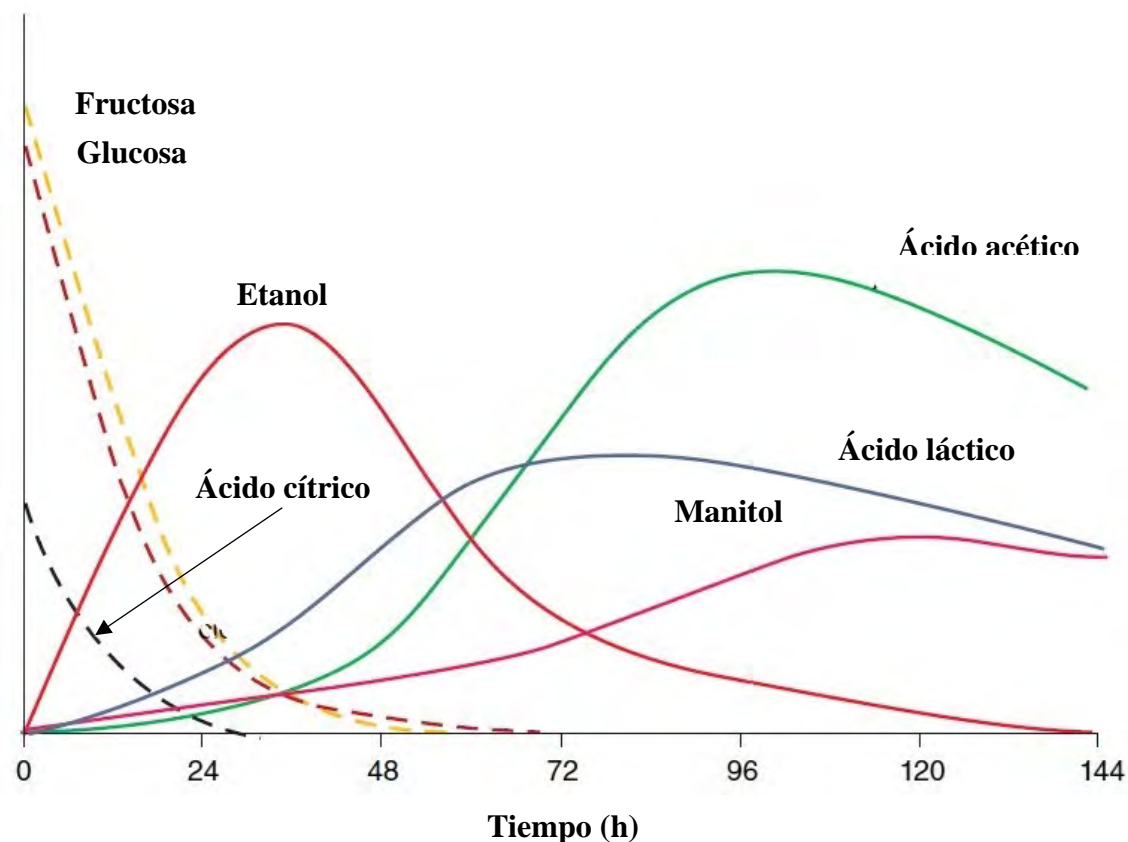


Figura 5. Cambios en ácidos volátiles, azúcares y alcohol durante la fermentación de cacao. Adaptado de Afoakwa (2016a).

La velocidad de difusión de ácidos orgánicos dentro del cotiledón, el inicio de la difusión, duración del periodo a un pH óptimo, y el pH final, son cruciales para desarrollo adecuado de aroma y sabor (Afoakwa, 2016a; Biehl y Passern, 1982). Los granos de cacao con un pH alto (5.5-5.8) son considerados no fermentados (con un índice de fermentación bajo y con bajo porcentaje de fermentación en la prueba de corte) y los granos con un pH bajo (4.75-5.19) son considerados bien fermentados (Afoakwa, 2016a; Holm, Aston, y Douglas, 1993; Jinap y Dimick, 1990; Ziegler, 2017). Los granos de cacao con bajo (4.75-5.19) y alto (5.50-5.80) valor de pH han reportado puntajes bajos en aroma y sabor a

chocolate, así como mayor cantidad de aromas no deseados (Jinap y Dimick, 1990). Por otro lado, los granos de cacao con valores de pH intermedio (5.20-5.49) presentan mejores características de aroma y sabor a chocolate (Jinap y Dimick, 1990; Ziegleder, 1991).

**g. Sucesión microbiológica y enzimática durante la fermentación**

Durante la fermentación, la actividad microbiana en la pulpa de cacao genera calor y produce etanol, ácido acético, y ácido láctico provocando la muerte del embrión. Los granos de cacao son microbiológicamente estériles cuando están dentro de los frutos; luego de la apertura del fruto, los granos son expuestos a diferentes fuentes de microorganismos, incluyendo las manos de los agricultores, las herramientas, medios de transporte, el exterior de la cáscara de los frutos, y materiales vegetativos (hojas de banano) utilizados durante la fermentación (Afoakwa, 2016a; Fowler y Coutel, 2017; Schwan, De Melo Pereira, y Fleet, 2015; Thompson, Miller, y Camu, 2012). El efecto inmediato de esta exposición de la pulpa a los microorganismos marca el inicio del proceso de fermentación. En la fase inicial de la fermentación, conocida como fase anaeróbica hidrolítica, la pulpa se encuentra en condiciones anaeróbicas, las cuales son favorables para el crecimiento de levaduras anaeróbicas (Afoakwa, 2016a).

Las levaduras rápidamente inician la fermentación alcohólica, donde los azúcares presentes en la pulpa son convertidos en alcohol y dióxido de carbono (Afoakwa, 2016a; Fowler y Coutel, 2017). El ácido cítrico es utilizado en el metabolismo de los microorganismos y esto inicia el leve incremento del pH de la pulpa. Las levaduras dominan durante las primeras 24-46 horas del proceso de fermentación. Adicionalmente, las enzimas liberadas por las levaduras atacan la pectina que forma parte de las paredes celulares de la pulpa de los granos de cacao, provocando la liberación de líquidos presentes



dentro de las células y la pérdida de estos líquidos por acción de la gravedad durante el procesamiento (Afoakwa, 2016a; Thompson et al., 2012).

Algunos ejemplos de levaduras aisladas durante la fermentación de cacao son: *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces marxianus*, *Saccharomyces exiguous*, *Candida castelli*, *Candida saitoana*, *Candida guilliermondii*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Pichia farinosa* and *Torulopsis spp.* (Schwan y Wheals, 2004).

El metabolismo continuo de la pulpa durante la fermentación por acción de los microorganismos resulta en la formación de aperturas dentro de las células de la pulpa. La pérdida de fluidos a través del proceso de drenado incrementa la velocidad en la reducción de ácidos a medida que estos son eliminados a través de los líquidos drenados (Afoakwa, 2016a; Thompson et al., 2012). Estos espacios generados permiten el ingreso de aire dentro de la pulpa de cacao en fermentación. Esta incorporación de oxígeno a la masa de procesamiento, combinado con el incremento de pH debido a la pérdida de ácido cítrico en el drenado y consumo por lo microorganismos, así como el incremento en el contenido de alcohol generado por la fermentación de azúcares, conduce a la eventual inhibición de levaduras (Schwan y Wheals, 2004; Thompson et al., 2012). Esta reducción en la población de levaduras indica el final de la fase anaeróbica en el proceso de fermentación (Afoakwa, 2016a).

La segunda fase, conocida como fase de condensación aeróbica (oxidativa), ocurre bajo condiciones aeróbicas y es dominada inicialmente por bacterias ácido-lácticas (Afoakwa, 2016a). Existen dos tipos de bacterias ácido-lácticas presentes en la fermentación de cacao, homofermentativas y heterofermentativas, sin embargo, la mayoría son homofermentativas (Thompson et al., 2012). El número de bacterias ácido lácticas





incrementa cuando parte de la pulpa se ha drenado y la población de levaduras ha disminuido (Schwan et al., 2015). Los productos del metabolismo de las levaduras favorecen el crecimiento de bacterias ácido lácticas. Algunas especies de bacterias ácido lácticas que han sido aisladas durante la fermentación de cacao son: *Acetobacter lovaniensis*, *A. rancens*, *A. xylinum*, *Gluconobacter oxydans*, *Lactobacillus fermentum*, *L. plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides* and *Lactococcus (Streptococcus) lactis* (Schwan y Wheals, 2004). Conforme avanza la actividad microbiana, la temperatura incrementa y alcanza valores aproximados a 45°C, condiciones que favorecen el crecimiento de bacterias ácido-acéticas, las cuales comienzan a remplazar a las bacterias ácido-lácticas y se convierten en las bacterias dominantes en la fermentación (Afoakwa, 2016a).

Luego del metabolismo y reducción de la población de levaduras y bacterias ácido-lácticas, la masa de fermentación se convierte en un ambiente con mayor aireación y estas condiciones favorecen el crecimiento de bacterias ácido-acéticas (Afoakwa, 2016a). Estas bacterias son las responsables de la oxidación del etanol para convertirlo en ácido acético y este a su vez es oxidado para convertirlo en dióxido de carbono y agua (Afoakwa, 2016a). La oxidación de etanol es un proceso exotérmico y contribuye con el incremento gradual de la temperatura durante la fermentación, alcanzando de 45-50°C a las 72-96 horas de procesamiento aproximadamente (Schwan et al., 2015). Los volteos de la masa de fermentación facilitan la oxidación del etanol en ácido acético y conserva la alta temperatura de la masa (Thompson et al., 2012).

La acidificación de los granos de cacao y la alta temperatura de la masa de fermentación provocados por el metabolismo de las bacterias ácido acéticas, causan la difusión e hidrólisis de proteínas en los cotiledones de los granos de cacao provocando la



muerte del embrión, la ruptura de los componentes celulares en los cotiledones y una serie de reacciones responsables de la generación de precursores de aroma (Afoakwa, 2016a; Schwan et al., 2015; Thompson et al., 2012). Por esta razón, las bacterias ácido-lácticas son consideradas importantes en la formación de precursores de aroma y sabor en los granos de cacao (Afoakwa, 2016a). En general, las especies *Acetobacter aceti* y *Acetobacter pasteurianus* han sido aisladas en diferentes procesos de fermentación (Schwan y Wheals, 2004).

La sucesión de especies de levaduras y bacterias durante la fermentación de cacao es compleja, ya que existen diferentes factores que pueden influenciar en la población de microorganismos durante la fermentación. En la Figura 6 se puede observar un perfil general de la sucesión de estos microorganismos durante la fermentación y secado de cacao (Schwan y Wheals, 2004).

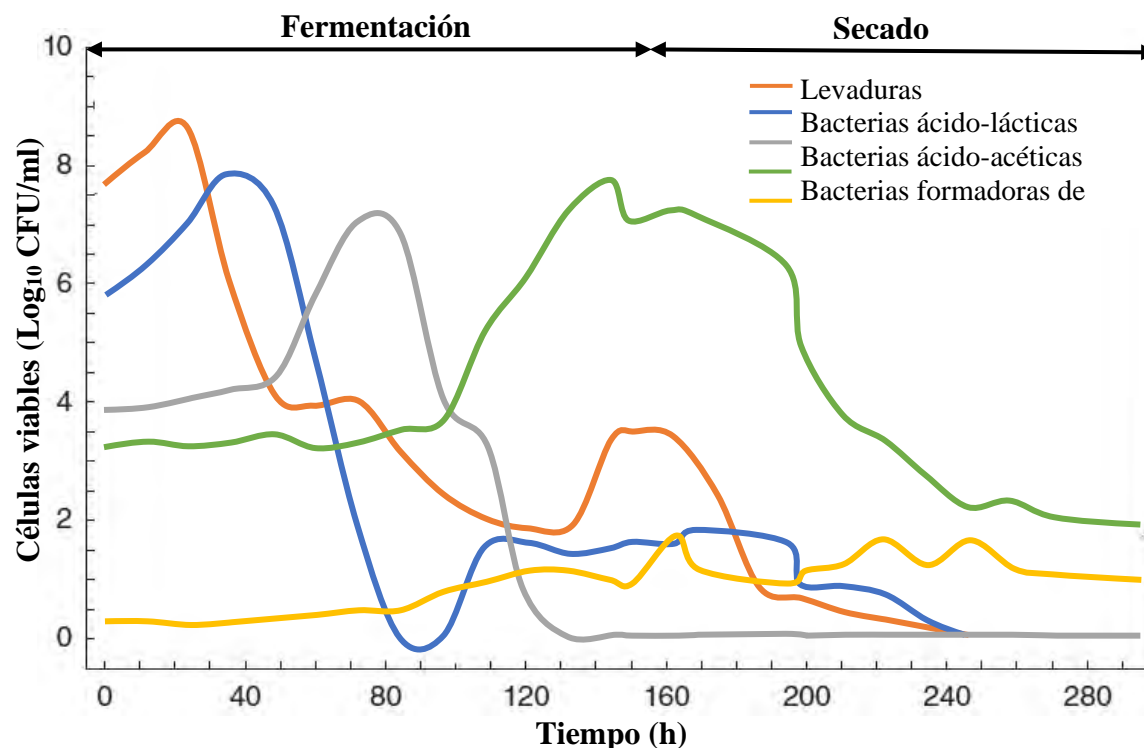


Figura 6. Cambios en la actividad microbiana durante la fermentación y secado de cacao. Adaptado de Schwan y Wheals (2004).

El incremento en la aireación, incremento del valor de pH de la masa de cacao (de 3.5 a 5.5), y el incremento de la temperatura en la última fase de fermentación (de 45-50°C) están asociadas al crecimiento y desarrollo de bacterias aeróbicas formadoras de esporas del género *Bacillus* (Schwan y Wheals, 2004). Muchas bacterias del género *Bacillus* spp. son termo tolerantes y otras crecen adecuadamente a elevadas temperaturas. Las bacterias *B. stearothermophilus*, *B. coagulans* and *B. circulans* han sido aisladas de granos de cacao que han pasado por altas temperaturas de fermentación, secado y tueste (150°C) (Afoakwa, 2016a). Estas bacterias aeróbicas formadoras de esporas producen una variedad de componentes químicos bajo condiciones de fermentación, los cuales contribuyen con la acidificación de la masa de cacao y en algunos casos han sido relacionadas con la producción de aromas no deseados durante la fermentación de cacao (Afoakwa, 2016a).

Durante la fermentación de cacao la temperatura incrementa significativamente, iniciando con valores de 25-30°C hasta llegar aproximadamente a 50°C al final del proceso debido a la actividad microbiana (Schwan et al., 2015). Esta alta temperatura es necesaria para el rompimiento de los compartimientos de las enzimas y sustratos dentro de los granos de cacao (Biehl et al., 1982). Los metabolitos producidos por la acción de los microorganismos sobre la pulpa migran a través de la testa hacia el interior de los granos de cacao y de forma contraria, sustancias presentes normalmente dentro de los granos de cacao, tales como polifenoles, péptidos, alcaloides, azúcares, y algunas proteínas pueden migrar hacia la pulpa durante la fermentación (Wood, 2001).

Estos movimientos entre la pulpa y la parte interna del grano están determinados por la permeabilidad e integridad de la testa, la cual cambia conforme avanza la fermentación (Lehrian y Patterson, 1983; Wood, 2001). Entre los principales metabolitos



microbianos se encuentran el etanol, ácido acético, y ácido láctico, los cuales penetran al interior de los granos de cacao y combinados con el calor producido por el metabolismo microbiano, causa la muerte del embrión y la formación de precursores de aroma y sabor (Quesnel, 1965).

Al mismo tiempo, el pH del cotiledón disminuye de 7.0 a 5.0-5.5 aproximadamente y estos cambios en pH activan enzimas que están presentes en los cotiledones, tales como invertasas, glucosidasas, proteasas, carboxipeptidasas, y polifenol oxidasas (Tabla 2), las cuales se encuentran separadas en diferentes compartimientos antes de la fermentación y son liberadas durante el procesamiento (Hansen, del Olmo, y Burri, 1998; Lopez y Dimick, 1995; Schwan et al., 2015). Estas enzimas presentan diferente estabilidad a lo largo del proceso de fermentación y pueden ser desactivadas por el calor, ácidos, polifenoles y la acción de algunas enzimas sobre otras (Hansen et al., 1998).

Durante la fase anaeróbica, los componentes complejos de pigmentos son atacados por las glucosidasas y son convertidos en azúcares y cianidinas. Además, la sacarosa es convertida en glucosa y fructosa por acción de la invertasa, las proteínas son convertidas en péptidos y aminoácidos por las proteasas y los polifenoles se convierten en quinonas por acción de la enzima polifenol oxidasa (Afoakwa, 2016a; Hansen et al., 1998). Algunos aminoácidos y péptidos producidos por la acción de las enzimas juegan un rol importante en el desarrollo del aroma y sabor a chocolate cuando los granos son procesados (Hansen et al., 1998; Thompson et al., 2012). Cuando finaliza la fase anaeróbica, los productos generados por la acción enzimática sobre los sustratos, son utilizados en reacciones durante la siguiente fase de la fermentación (Afoakwa, 2016a).

En la fase aeróbica, las cianidinas y complejos fenólicos-proteicos experimentan reacciones oxidativas que finalmente se expresan como la propagación final del color café en las superficies del cotiledón a medida que los pigmentos rojos-púrpura reaccionan (Afoakwa, 2016a).

Las quinonas, generadas por la acción de la enzima polifenol oxidasa, reaccionan con complejos que contienen hidrógeno. Estos, a su vez, forman complejos con aminas, aminoácidos, y compuestos que contienen azufre, lo que permite una disminución de astringencia y amargor durante el posterior tostado de las semillas (Afoakwa, 2016a). Los cambios que ocurren dentro del grano de cacao durante la fermentación son complejos y las reacciones hidrolíticas y oxidativas generan un gran número de complejos bioquímicos que sirven como precursores de aroma y sabor durante el proceso de tueste (Afoakwa, 2016a).

**Tabla 2. Principales enzimas presentes durante la fermentación de cacao**

Enzima	Ubicación	Sustrato	Productos	pH	Temperatura (°C)
Invertasa	Testa	Sacarosa	Glucosa y fructosa	4 5.25	37 52
Glucosidasa (β-galactosidasa)	Cotiledón	Glucósidos (3-β-D-galactósido de cianidina y 3-α-arabinósido de cianidina)	Cianidina y azúcares	3.8 - 4.5	45
Proteasa	Cotiledón	Proteínas	Péptidos y aminoácidos	4.7	55
Polifenol oxidasa	Cotiledón	Polifenoles (Epicatequina)	α-quinona y α-diquinona	6.0	31.5, 34.5

Fuente: (Lopez y Dimick, 1995; Thompson et al., 2012)

Un factor importante durante el proceso de fermentación es la toma de decisión sobre la finalización del proceso, debido a que una fermentación excesiva puede resultar en actividad microbiana no deseada, y conducir al proceso de putrefacción y a la producción de compuestos como ácido butírico y ácido valérico, que contribuyen a un



perfil de aroma no deseado (Thompson et al., 2012). El monitoreo de los siguientes factores en conjunto ha sido propuesto tradicionalmente como un indicador del punto óptimo para la finalización de la fermentación: color externo del grano, reducción de la temperatura, prueba de corte, aroma de la masa de fermentación e hinchazón de los granos de cacao (Forsyth y Quesnel, 1963). Sin embargo, un método más deseado sería aquel que esté relacionado con alguna medición química, que sea relativamente rápido, de bajo costo y fácil de implementar e interpretar (Thompson et al., 2012). En algunos estudios se ha observado que el punto final de la fermentación puede ser determinado mediante la medición de pH de los granos (Wood, 2001), debido que es un indicador de las diferentes reacciones químicas ocurridas durante la fermentación de cacao.

### **2.2.2 Desarrollo teórico e histórico del tema**

#### **a. Producción mundial del cacao.**

Los granos de cacao para la elaboración de chocolate son producidos por el árbol del cacao (*Theobroma cacao* L.) de la familia Malvaceae, originario del Noroeste de la Amazonia en América del Sur (Zarrillo et al., 2018) y actualmente cultivado en la franja tropical a 20° Latitud Norte y Sur del Ecuador (Belitz, Grosch, y Schieberle, 2004).

La mayor producción a nivel mundial se concentra en el Occidente del continente africano, representando del 73 al 75% de la producción mundial para la cosecha 2011-2012 y con un incremento para la cosecha 2014-2015. Los países ubicados en el occidente del continente africano, los cuales son Costa de Marfil, Ghana, Nigeria y Camerún, poseen condiciones ideales para la producción de cacao; sin embargo, como consecuencia natural o provocada por el hombre se han generado problemas que han provocado impactos desproporcionados en la comercialización de cacao desde esa región. Los pequeños



productores del occidente de África han dominado la producción mundial de cacao desde la década de 1930, pero durante la década de 1980 la emergencia de Malasia e Indonesia permitieron un mejor balance en la distribución de la producción a nivel mundial. Sin embargo, un periodo de precios bajos provocó que Malasia perdiera el título de mayor productor a nivel mundial y que Brasil perdiera el título como mayor exportador, compartiendo nuevamente el volumen de la producción mundial con países del Occidente Africano (Afoakwa, 2016c).

Según Afoakwa (2016c) han ocurrido grandes cambios en la economía mundial del cacao durante los últimos 10 años hasta la cosecha reciente 2015-2016. Estos cambios incluyen entre otros: el desarrollo de la cadena de abastecimiento y la demanda de cacao, precios del cacao puesto en la zona de producción, corrientes de comercialización de cacao entre regiones, desarrollo de precios históricos y cíclicos, dependencia de los países productores de cacao en términos de ingresos económicos por conceptos de exportación, y recientes acontecimientos relacionados al consumo de chocolate. Otra de las tendencias importantes del mercado ha sido el incremento del interés en el consumo de chocolate elaborado con cacao éticamente producido y transformado (certificación orgánica, comercio justo o amigable con el ambiente). Esta tendencia sugiere un incremento en el interés por demanda de cacao producido bajo condiciones más controladas ya sea en términos de producción sostenible, calidad o transparencia.

Como se puede observar en la Tabla 3, en el continente americano, Brasil ha sido históricamente el mayor productor de cacao de la región, manteniendo una estrecha competencia con Ecuador durante los últimos diez años. Para la cosecha 2015-2016 finalmente Ecuador se convirtió en el mayor productor de cacao del continente al alcanzar



230 mil toneladas, comparadas con las 215 mil toneladas conseguidas por Brasil en la misma cosecha.

**Tabla 3. Producción mundial de cacao durante el periodo del año 2,010 al 2015**

Región	10/11		11/12		12/13		13/14		14/15	
	TM	%	TM	%	TM	%	TM	%	TM	%
<b>África</b>	3,226	74.9	2,905	71.3	2,836	71.9	3,194	73.3	3,061	72.3
Camerún	229		207		225		211		205	
Costa de Marfil	1,511		1,486		1,449		1,746		1,720	
Ghana	1,025		879		835		897		810	
Nigeria	240		230		238		248		235	
Otros	221		104		89		92		91	
<b>América</b>	559	13.0	639	15.7	662	15.8	708	16.2	708	16.7
Brasil	200		220		185		228		215	
Ecuador	161		190		192		220		230	
Otros	199		229		246		259		263	
<b>Asia y Oceanía</b>	524	12.2	531	13.0	487	12.3	454	10.4	464	11.0
Indonesia	440		450		410		375		380	
Papua Nueva Guinea	47		45		41		40		42	
Otros	37		36		36		38		42	
<b>Total</b>	4,309	100	4,075	100	3,945	100	4,355	100	4,232	100

Nota. \*Cifras expresadas en miles de toneladas métricas (TM)

Fuente: (Afoakwa, 2016c)

El incremento sostenido del país ecuatoriano se debe a la tecnificación del cultivo de cacao mediante la utilización de variedades de alto rendimiento, así como la tecnificación del cultivo en términos de distanciamientos de siembra, manejo de tejidos y planes de nutrición. Además, durante los últimos años el proyecto café y cacao implementado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) del Ecuador ha impulsado la recuperación del cultivo de cacao principalmente de pequeños productores.

#### **b. Consumo mundial del cacao.**

El cacao es producido principalmente por países en vías de desarrollo, pero es consumido en su mayoría en países desarrollados en el continente europeo. Los países considerados como consumidores son aquellos que importan y transforman el cacao en productos elaborados y semielaborados. Pocas empresas multinacionales controlan el





procesamiento de cacao y la producción de chocolate. El consumo de cacao, medido por la cantidad de producto procesado incrementó 12.75% de la cosecha 2,009/10 a la cosecha 2,014/15 alcanzando 4.21 millones de toneladas (Tabla 4).

Los datos reflejan una leve reducción en el crecimiento del procesamiento para la cosecha 2011/12, sin embargo, el mercado de cacao se había caracterizado durante los cinco años previos por una demanda sostenida, incrementando 3.8 % anual. Este crecimiento en la demanda fue en parte debido a la fuerte demanda de manteca de cacao para mantener las reservas mundiales, además por el crecimiento en el consumo de chocolate en mercados emergentes y en proceso de industrialización y también por cambios en el comportamiento del consumo de chocolate en mercados formalmente establecidos, en los cuales se observó un cambio hacia el consumo de productos con mayor porcentaje de cacao (Afoakwa, 2016c).

**Tabla 4. Procesamiento de granos de cacao expresado en miles de toneladas.**

Región	10/11		11/12		12/13		13/14		14/15	
	TM	%	TM	%	TM	%	TM	%	TM	%
<b>Europa</b>	1,612	41.1	1,522	38.5	1,589	38.4	1,603	37.4	1,567	37.3
Alemania	439		407		402		412		399	
Holanda	537		500		545		535		529	
Otros	636		615		642		657		639	
<b>África</b>	657	16.7	712	18.0	799	19.3	861	20.1	877	20.8
Costa de Marfil	361		430		471		519		540	
Ghana	230		212		225		234		240	
Otros	67		71		102		108		97	
<b>América</b>	860	21.9	840	21.3	899	21.7	925	21.6	903	21.5
Brasil	239		242		242		240		230	
Estados Unidos	401		387		429		446		437	
Otros	220		210		227		240		236	
<b>Asia y Oceanía</b>	795	20.3	874	22.1	852	20.6	891	20.8	860	20.4
Indonesia	190		268		257		322		310	
Malasia	305		297		293		259		240	
Otros	299		309		303		310		310	
<b>Total</b>	3,923	100	3,948	100	4,138	100	4,281	100	4,207	100
<b>Procesamiento en origen</b>	1598	40.7	1716	43.5	1794	43.3	1896	44.3	1872	44.5

Nota. \*Cifras expresadas en miles de toneladas métricas (TM). Fuente: (Afoakwa, 2016c)



**c. Valor total de las exportaciones en Centroamérica.**

La participación de Centroamérica en el mercado mundial del cacao es aún limitada, a pesar de más de veinte años de esfuerzos sostenidos para promover y desarrollar el rubro cacao en los distintos países del área. Las exportaciones totales de la región representan una participación del 0.7 % del mercado mundial para el año 2015, en las cuales destaca Costa Rica con el 30.55 % y Guatemala con el 30.35 % de las exportaciones de cacao y sus derivados de la región (Tabla 5). En estos países, aun cuando el cultivo de cacao tiene poca presencia y su producción es baja, la transformación del grano y su venta como bien intermedio o como bien final es la más alta de Centroamérica (Tapia, 2016c).

Según Tapia (2016c) ambos países acaparan el 78 % de las ventas totales de la región. El crecimiento del mercado de cacao en el nivel regional ha sido del 28.6 % desde el 2011; donde todos los países, a excepción de El Salvador, han experimentado tendencias de crecimiento en el sector. El Salvador ha mostrado desde el 2011 un leve descenso en las exportaciones anuales. El comercio extrarregional se encuentra concentrado en la exportación de cacao en grano hacia Europa y Estados Unidos.

**Tabla 5. Valor total de las exportaciones de cacao y productos derivados del cacao de Centroamérica y el contexto mundial.**

Exportaciones totales de cacao, comparativo el mundo Centro América					
El mundo	43,424,702	43,878,325	43,765,099	49,449,523	47.209.117(*)
AÑO	2011	2012	2013	2014	2015
Centro América	25,151	29,090	34,479	30,064	35,232
Costa Rica	8,467	8,809	9,900	10,226	10.763
Guatemala	8,196	8,623	9,190	9,603	10.694
El Salvador	5,130	5,690	5,296	4,887	5.059
Nicaragua	2,748	5,528	9,506	4,278	7.094
Honduras	610	440	587	1,070	1.622

Nota. Cifras expresadas en miles de dólares. Fuente: (Tapia, 2016c)



**d. Valor de las exportaciones de cacao en grano de Centroamérica.**

Según Tapia (2016c) en el año 2015, el valor total de las exportaciones en grano de Nicaragua representó el 83% de las exportaciones de Centroamérica, seguido por Costa Rica con el 12% y Honduras con el 11% (Tabla 6). En el caso de Guatemala, Costa Rica y Honduras, se observa que han presentado un crecimiento sostenido en las exportaciones en los últimos tres años. En general se aprecia que Centroamérica solamente representa el 0.07 % de las exportaciones mundiales de grano.

**Tabla 6. Valor total de las exportaciones de cacao en grano de Centroamérica y el contexto mundial.**

Exportaciones totales granos, comparativo entre el mundo y Centro América					
El mundo	9,570,141	10,156,604	8,088,680	9,865,541	10,025,255(*)
AÑO	2011	2012	2013	2014	2015
Centro América	3,733	6,429	10,994	6,074	7,464
Costa Rica	565	569	826	929	1,025
Guatemala	23	19	38	67	295
El Salvador	61	47	42	30	99
Nicaragua	2,723	5,528	9,506	4,225	7,070
Honduras	361	266	582	823	946

Nota. Cifras expresadas en miles de dólares.

Fuente: (Tapia, 2016c)

**e. Cadena de valor de cacao en Centroamérica.**

Las condiciones climáticas de Centroamérica son propicias para el cultivo de cacao, el crecimiento óptimo de las plantas se da en rangos de temperatura que oscilan entre 18 y 32°C, con altitudes promedio entre 400 y 800 msnm y precipitaciones entre los 1,000 a 2,500 mm, la humedad relativa debe de ser alrededor del 85% en promedio y se requiere que los vientos oscilantes en las zonas de cultivo sean de bajos a moderados. Bajo estas condiciones el cacao se considera un cultivo predominante de zonas tropicales. Las



plantaciones de cacao asociadas con árboles de sombra favorecen grandemente su productividad y es la manera más eficiente para su producción y sostenibilidad. Se estima que el tipo de cacao plantado en Centroamérica proviene en un 43% de materiales híbridos, en un 32 % de criollos establecidos por semilla y en un 25 % es establecido por injerto. La utilización de germoplasma de alta calidad fue introducida hasta hace unos 15 años y su difusión ha sido muy baja (Tapia, 2016c).

**f. Historia del cacao en Guatemala.**

El reciente trabajo realizado en la boca costa de Guatemala, donde se ubica uno de los corazones trascendentales de la civilización maya de la región Sur, reveló características de una temprana ciudad ancestral, significativa en tamaño y con una amplia área ocupada con sistemas sofisticados de manejo de agua y posiblemente producción agrícola y un intensivo comercio de importantes artículos para la región de Mesoamérica, entre los cuales se encontraba el cacao. Basado en los avances en el manejo del recurso hídrico y la alta organización social en conjunto con una extensiva e intensa comercialización de diferentes productos, se puede deducir que esta zona representaba un carácter fundamental e importante para la región mesoamericana durante el periodo Preclásico. A la fecha falta determinar si este sistema de ingeniería y desarrollo social se extendió para propósitos agrícolas y tal como se ha propuesto, para el cultivo de cacao (Kaplan y Ugarte, 2005).

Según Kaplan y Ugarte (2005) debido a los descubrimientos de mecanismos para el manejo hidráulico, el proyecto Chocolá se ha enfocado en la búsqueda de evidencia de excedentes agrícolas, por ejemplo, el cacao; esta búsqueda se debe a la ubicación de Chocolá en el corazón de una de las zonas productoras de cacao más importantes. El



consumo de cacao durante el Clásico parece haber tenido características suntuarias, es decir, reservado primariamente para la élite, tal y como lo evidencian incontables vasos de este periodo, donde aparecen nobles recibiendo humeantes vasos de cacao de manos de sus sirvientes. La Secuencia Primaria Estándar, un texto jeroglífico recurrente que aparece alrededor de los bordes de dichas vasijas, menciona frecuentemente el cacao como un brebaje especial, incluso sagrado. Posteriormente en Mesoamérica, las semillas de cacao funcionaron como moneda y enormes cantidades de este producto eran intercambiadas o tributadas a Tenochtitlan, la capital Azteca en el centro de México (Kaplan y Ugarte, 2005).

Los estudios arqueológicos focalizados en el cacao mesoamericano son escasos, otros trabajos han sido enfocados mediante el estudio de la evidencia etnohistórica y la historia del arte. Es por ello que los resultados de investigación del proyecto agroecológico de Chocó son considerados de gran importancia para el avance de la arqueología mesoamericana (Kaplan y Ugarte, 2005). La hipótesis del proyecto es que Chocó y otros grandes centros en la región, incluyendo Tak'alik Ab'aj, se convirtieron en “reinos de chocolate”, con importantes logros sociales y culturales. Parece plausible que desde muy temprano, la alta demanda del producto haya sembrado su semilla para grandes beneficios culturales. En otras palabras, se contempla que, al procesar el cacao, se produce lo que cualquier adicto al chocolate describiría como un delicioso y adictivo sabor, pero difícilmente podría alguien decir que fue esto lo que provocó una sólida fundación de alta cultura. Sin embargo, la convergencia de los desarrollos seminales de la zona maya (como la escritura y otros) con una zona de alta producción de cacao, no puede ser puramente coincidencia (Kaplan y Ugarte, 2005).



La historia del cultivo de cacao en la cultura maya guatemalteca ha provocado que este sea parte de las actividades agrícolas de subsistencia y de producción excedentaria en diferentes partes del país, iniciando en la costa Sur de Guatemala y extendiéndose hacia los departamentos de Alta Verapaz, Izabal y Petén.

A nivel gubernamental, las iniciativas del impulso del cultivo de cacao en Guatemala comienzan, con la implementación del servicio de extensión agrícola y el Instituto Agropecuario Nacional (IAN), como una estrategia de apoyo del gobierno de los Estados Unidos de Norte América, lo que se conoció como SCIDA (Servicio Cooperativa Interamericano de Desarrollo Agrícola). Desafortunadamente con la reestructuración del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA) en 1970, cambiaron las estrategias de trabajo y las prioridades de impulsar cultivos agroindustriales como el cacao, por lo que esa iniciativa fue prácticamente clausurada, con un leve seguimiento a las estaciones Los Brillantes y Navajoa (Díaz Quintana, 2009).

A principios de los años 80, en Guatemala el cultivo de cacao ya formaba parte, entre otros cultivos, de la actividad agrícola que promovía el desarrollo económico y social de una parte del sector del país, principalmente en la costa sur, en el departamento de Suchitepéquez. La forma de producción del cultivo era variable, el establecimiento de las plantaciones y el nivel de tecnificación dependían de las condiciones climáticas y socioeconómicas en las que se desenvolvía el agricultor, debido a que era un cultivo que no era producido por grandes empresas exportadoras como la caña o el banano que contaban con grandes extensiones de tierra, financiamiento, etc. La ocurrencia del cultivo era desde unos pocos arboles alrededor de las viviendas de los productores hasta fincas perfectamente organizadas (Hernandez, 1981).



A mediados de la década de los años 80, el MAGA retoma la estrategia de fomentar el cultivo, ampliando fuertemente su operación en el Norte del país, en lo que se conoce como la Franja Transversal de Norte (FTN) y el municipio de Santa María Cahabón en el departamento Alta Verapaz. Otra iniciativa que funcionó durante el período 1989 - 1993, fue el proyecto PROCACAO / IICA, el cual promovió mejoras en el rendimiento y calidad del cacao en la región centroamericana, incluyendo Belice, a través de programas de transferencia de tecnología y mejoramiento genético de los materiales de propagación (Díaz Quintana, 2009).

En la mayor parte de los proyectos impulsados hasta esas fechas, los esfuerzos en el mejoramiento del cultivo de cacao iban enfocados en aspectos genéticos y de producción agrícola. Mejoramiento de las prácticas de producción tales como: distanciamientos de siembra, planes de fertilización, variedades resistentes a enfermedades o diseño de plantaciones; muchos de estos proyectos gubernamentales e iniciativas de cooperación internacional no contemplaban aspectos futuros relacionados al cultivo, como el manejo postcosecha, canales de comercialización o planes de negocios que serían necesarios en etapas futuras relacionadas al cultivo, lo cual durante los años siguientes fue provocando otro tipo de retos y escenarios para los pequeños productores del sector rural y creando una necesidad de tener una visión más integral y a largo plazo sobre el cultivo de cacao a nivel de país.

**g. Plan estratégico de la agrocadena de cacao de Guatemala 2016-2025.**

El cacao de Guatemala ha cobrado importancia en los últimos años debido a los pequeños modelos de producción privada y comunitaria que actualmente se encuentran exportando producto hacia Estados Unidos y países de Europa, en los cuales ha tenido gran



aceptación por sus características organolépticas diferenciadas de otros cacaos del mundo y ha sido clasificado por empresas extranjeras como cacao fino. Aunado a esta condición, desde una visión globalizada, se observa como el precio del cacao referido al comercio de grano seco está subiendo o bien se mantiene en relación con otros productos agrícolas que además son estacionales. Esto ha generado que muchos países comiencen a fomentar el cultivo con una buena perspectiva de ingresos (ACG, 2016).

El plan estratégico de la agrocadena de cacao es un instrumento orientador que permite a los actores de cada uno de los eslabones dirigir sus acciones en favor de un crecimiento y desarrollo de la agrocadena en su conjunto y en beneficio de cada una de las partes desde el enfoque de integralidad para obtener mayores oportunidades y mayores alcances en búsqueda de la sostenibilidad económica, social y ambiental (ACG, 2016). El plan estratégico cuenta con cuatro ejes estratégicos y dos ejes transversales, los cuales se describen a continuación.

Ejes estratégicos:

- a) Mejoramiento de la productividad
- b) Fortalecimiento a los procesos de generación de valor agregado
- c) Desarrollo organizativo/agroempresarial para la competitividad
- d) Acceso a mercados

Ejes transversales:

- a) Investigación y desarrollo tecnológico para la competitividad
- b) Cambio climático

El objetivo del eje de fortalecimiento a los procesos de transformación primaria y secundaria es promocionar la agroindustria, fortaleciendo los procesos de transformación





primaria, garantizando calidad, en función del requerimiento del mercado nacional e internacional para lo cual cuenta con diferentes líneas de acción como se observa en la Tabla 7.

**Tabla 7. Líneas de acción del eje estratégico de fortalecimiento a los procesos de generación de valor agregado y su definición.**

No	Línea de acción	Definición
1	Mejoramiento del proceso de transformación primaria del grano de cacao	Estandarizar procesos y parámetros en base a protocolos validados en las regiones en la transformación primaria del grano de cacao, tendientes a preservar su calidad y consistencia.
2	Fomento de la agroindustria diferenciada	Fomentar las opciones para adición de valor agregado al grano de cacao nacional, basado en sus características propias.
3	Trazabilidad en unidades de procesamiento	Implementar un sistema de trazabilidad para documentar el historial de procesamiento primario y secundario.
4	Asistencia técnica, capacitación y transferencia de tecnología en procesamiento	Facilitar el acompañamiento técnico oportuno que coadyuve a la mejora de las técnicas y mejora en diseño de instalaciones de procesamiento.
5	Investigación y desarrollo tecnológico	Impulsar la investigación e innovación del procesamiento de cacao que conduzca a su desarrollo tecnológico, bajo un enfoque sostenible, rentable y amigable con el ambiente.
6	Inclusión financiera	Facilitar el acceso del eslabón de procesamiento a servicios financieros que permitan el desarrollo de sus beneficios.

Fuente: (ACG, 2016)

Dentro de la línea de acción de investigación y desarrollo tecnológico se tiene priorizado realizar acciones que van enfocadas a investigar las tendencias de procesamiento de cacao según el tipo de mercado meta y también investigar tecnologías de agregación de valor para el procesamiento y transformación de cacao, con el objetivo de desarrollar nuevas técnicas de procesamiento o mejorar las existentes para mejorar la calidad del producto final (ACG, 2016).



En el plan de acción de la estrategia nacional de cacao se establece una guía para dirigir las acciones futuras en los diferentes temas relacionados a la cadena de cacao y uno de estos es el tema de investigación para el mejoramiento de los procesos de transformación de cacao, el cual es un eje estratégico de suma importancia para poder mejorar la competitividad del cacao de Guatemala a nivel internacional.

#### **h. El desarrollo rural en Guatemala.**

En Guatemala, en el abordaje de propuestas para el desarrollo rural existe una realidad polarizada que ha sido heredada del conflicto armado interno, la cual se ha retroalimentado con elementos históricos, vinculados a la guerra fría, a la gesta de la Revolución de octubre de 1944 y la Contrarrevolución de 1954. El resultado contemporáneo de esta confrontación, magnificada por las condiciones históricas referidas, es la construcción de un imaginario nacional en donde los movimientos campesinos mantienen una expectativa sobre una tarea histórica inconclusa asociada a la derogación del Decreto 900, mientras que en los sectores empresariales la memoria de esta época les provoca una asociación mecánica entre reforma agraria y comunismo (Zapata y López, 2011).

La concreción de la problemática anteriormente esbozada, con relación a la población que habita los territorios rurales, se manifiesta en la existencia de un Estado débil para atender la situación del campo, lo cual está generando dos efectos dramáticos fundamentales: en primer lugar, la constante acumulación de la pobreza extrema y su indicador más evidente que es la desnutrición crónica sigue siendo vergonzosamente inaceptable (Zapata y López, 2011).



La Constitución Política de la República de Guatemala, establece en el artículo 118 que el régimen económico y social de la República de Guatemala se funda en principios de justicia social. Es obligación del Estado orientar la economía nacional para lograr la utilización de los recursos naturales y el potencial humano, para incrementar la riqueza y tratar de lograr el pleno empleo y la equitativa distribución del ingreso nacional. Veintitrés años después de la promulgación de la Constitución Política de la República y a los doce años de la firma de los Acuerdos de Paz y más específicamente el Acuerdo Sobre Aspectos Socioeconómicos y Situación Agraria (ASESA), se señala la necesidad de sustentar la paz firme y duradera sobre un desarrollo socioeconómico orientado al bien común, que responda a las necesidades de toda la población. Es decir, se reitera la necesidad de superar las situaciones de pobreza, desigualdad, marginación social y política, que se han producido en el país en los últimos años (ADRI et al., 2009).

En la Política Nacional de Desarrollo Rural Integral (PNDRI) aprobada por el congreso de la república en el año 2009 se establece que el objetivo general de dicha política es lograr un avance progresivo y permanente en la calidad de vida de los sujetos priorizados y, en general de los habitantes de los territorios rurales, a través del acceso equitativo y uso sostenible de los recursos productivos, medios de producción, bienes naturales y servicios ambientales, para alcanzar el desarrollo humano integral sostenible en el área rural (ADRI et al., 2009).

El objeto de la PNDRI es establecer los principios rectores, normas y criterios generales que regirán la formulación y ejecución de esta política, del Plan Nacional de Desarrollo Rural Integral y de los programas y proyectos correspondientes, con el propósito de alcanzar el desarrollo humano integral y sostenible en el área rural. La finalidad de la



Política será, por lo tanto, lograr el pleno ejercicio de los derechos humanos de las poblaciones que habitan en las poblaciones rurales para alcanzar progresiva y permanentemente el mejoramiento de la calidad de vida con énfasis en los sujetos priorizados en la presente política (ADRI et al., 2009). Desde 1954, un modelo de desarrollo rural basado en el impulso de la producción agrícola capitalista fue dominante en el campo, construyéndose a partir de la relación complementaria y perversa latifundio/minifundio.

Según el Zapata y López (2011) en el mediano plazo, los impactos de las políticas neoliberales han tenido consecuencias negativas en las áreas rurales. Dentro de las señales de estos impactos negativos destacan: la economía campesina que se caracterizaba por la acumulación de reservas de maíz hasta la próxima cosecha, enfrenta ahora una doble amenaza: la disminución de su capacidad productiva y los precios altos de los alimentos, debido, precisamente, a que no produce lo suficiente para cerrar el ciclo. En lugares extremos, como en el corredor seco, los períodos de cero reservas están creciendo hasta alcanzar los seis meses en el año. La economía campesina basa su seguridad alimentaria y prácticamente toda su economía en lo que produce, por lo que al no producir lo suficiente, es afectada directamente por el alza en los precios del maíz (Zapata y López, 2011).

#### **i. Ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz.**

La ecorregión Lachuá forma parte de FTN y está considerada como uno de los últimos remanentes de bosques tropicales lluviosos que se encuentran en Guatemala, está conformada por el Parque Nacional Laguna Lachuá y por comunidades indígenas, principalmente de la etnia maya q'eqchi', asentadas en la zona de influencia de esta área protegida (Figura 7). Por la importancia de sus ecosistemas naturales, la Laguna Lachuá



fue reconocida en 2006 como sitio de humedales de importancia mundial de la convención RAMSAR (Medina Müller, 2012). En 2008 fue incluida dentro de la Red Iberoamericana de Bosques Modelo, constituyéndose como el primer bosque modelo de Guatemala, gracias a la participación activa de las organizaciones comunitarias, Organismos No Gubernamentales e instituciones del Estado en pro del desarrollo económico, social y productivo de la ecorregión (Medina Müller, 2012).

La mayoría de las comunidades que habitan en la ecorregión Lachuá pertenecen al grupo étnico maya q'eqchi', la población de la región se estima en 20,000 habitantes (Carrera, 2019). Cada comunidad está representada por su Consejo Comunitario de Desarrollo (COCODE) de primer nivel y, a nivel de la ecorregión Lachuá, las comunidades están representadas además por dos COCODES de segundo nivel (ACODESERESA y ASOCOCOSERESA) que representan a las regiones Norte y Sur de la ecorregión respectivamente (Medina Müller, 2012). Las familias locales viven en condiciones de pobreza y basan su economía en la producción agrícola de subsistencia de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) principalmente y comercialización de cardamomo (*Elettaria cardamomum* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), sandía (*Citrullus lanatus* [Thunb.] Matsum. y Nakai), piña (*Ananas comosus* L.), algunos cítricos y en los últimos años se ha iniciado con la comercialización de cacao, la cual es complementada con actividades extractivas tales como la cacería, pesca y tala de árboles (INAB, 2003).

*Figura 7.* Ubicación geográfica de la ecorregión Lachuá en el contexto de Guatemala.

Fuente: (Hermes Calderón y Rosales-Meda, 2011)

Estas actividades aportan el 71.3% del total de ingresos por hogar, aunque la actividad agrícola genera el mayor aporte con 42.8%. Le siguen el comercio, artesanías y servicios de ecoturismo con 19.2%; la mano de obra un 5% y 4.5% de remesas.



Aproximadamente el ingreso per cápita anual por poblador es de US\$413.45 dólares americanos, es decir, que la población se encuentra en situación de pobreza, lo cual coincide con los resultados de la ENCOVI, que muestran que para el año 2014 la población de Alta Verapaz y Sololá se encontraba por encima de 80% de pobreza general (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2015).

**j. Proyecto Laguna Lachuá.**

El proyecto Laguna Lachuá fue una iniciativa de conservación y desarrollo rural que inició su trabajo en 1997 en la ecorregión Lachuá, conformada por el Parque Nacional Laguna Lachuá, 52 aldeas, seis fincas privadas y una finca municipal (Salinas Nueve Cerros). En la etapa preparatoria para la entrada del proyecto, se desarrolló un diagnóstico en la zona el cual encontró diferentes problemas que han contribuido a la acelerada degradación ambiental, entre ellos: ineffectividad de los programas de manejo de la biodiversidad, desconocimiento de sistemas productivos sostenibles, inseguridad en la tenencia de la tierra, sistemas de comercialización inadecuados y débil organización comunitaria (Acuña, 2010).

El proyecto Lachuá se organizó en tres fases. La fase I, se enfocó en la construcción de confianza entre los pobladores de la ecorregión hacia las instituciones, los funcionarios y el proyecto mismo. También buscó comprender la compleja situación social y ambiental de la ecorregión, que pese a estar cerca del municipio de Ixcán departamento de Quiché, donde se ubicó la base del Estado guatemalteco en asocio con organismos internacionales y ONG's, estaba desatendida. En ese contexto fue fundamental la figura del Parque Nacional Laguna Lachuá pese a las limitaciones de entonces, que se pueden resumir en:



carencia de un área de amortiguamiento y 52 comunidades rurales a su alrededor, lo que dificultaba las acciones de conservación de los recursos naturales (Acuña, 2010).

En cuanto a la fase II, el proyecto se concentró en desarrollar las acciones de incidencia política, implementar proyectos productivos y atender los principales problemas de la ecorregión; se buscaron alternativas productivas y se continuó con la organización comunitaria tanto política como productiva. La fase III por su lado continuó fortaleciendo las acciones que venían de la etapa anterior (Tabla 8), en este sentido, se avanzó en la organización social, las comunidades se organizaron en COCODES de primer y segundo nivel y se formaron siete asociaciones productivas. Asimismo, se investigó sobre alternativas productivas y se iniciaron algunos proyectos. Además de la organización social, el proyecto apoyó a estos grupos para tramitar la personería jurídica, les dotó de infraestructura y equipamiento; les designó un gerente para asesorarlas y darles acompañamiento (Acuña, 2010).

Según Acuña (2010) un logro importante de esta tercera etapa fue la creación de la Fundación Laguna Lachuá que agremia a las asociaciones productivas y COCODES, más otros actores en una instancia de tercer nivel, cuyo gran reto es dar continuidad al trabajo iniciado por el proyecto de empoderamiento de todos los miembros de las asociaciones involucradas, que conduzca al mejoramiento de la calidad de vida de las familias y del ambiente dentro de la ecorregión.

**k. Fundación Laguna Lachuá y el proyecto cacao.**

Con la creación de la Fundación Laguna Lachuá en la tercera fase del Proyecto Lachuá, se tuvo un proceso mucho más sistemático que las fases anteriores, que giraron alrededor de la Fundación, donde se abordaron diferentes dimensiones de la realidad de la



ecorregión de manera integral. En este sentido se registraron impactos de tipo económico-financiero, social, político y ambiental, siendo el eje conductor el plan maestro del Parque Nacional Laguna Lachuá (Acuña, 2010).

**Tabla 8. Componentes de las tres fases de la estrategia del modelo de implementación del Proyecto Laguna Lachuá.**

COMPONENTES DEL MODELO	FASE I	FASE II	FASE III
Desarrollo organizativo comunitario	Organización, extensión y capacitación comunitaria	Desarrollo organizativo comunitario	Desarrollo institucional y autogestionario
Manejo, conservación y ordenamiento territorial	Administración y manejo del área protegida	Manejo y conservación de recursos naturales y ordenamiento territorial	Manejo ambiental y conservación de recursos naturales: tierra, suelos, bosque, agua y biodiversidad
Certeza jurídica	Apoyo a la legalización de la tenencia de la tierra	Tenencia y certeza jurídica de la tierra	Tenencia y certeza jurídica de la tierra
Producción sostenible	Sistemas productivos sostenibles	Sistemas productivos sostenibles	Sistemas productivos sostenibles
Comercialización y diversificación	Apoyo a la comercialización y agro diversificación	Comercialización y agro diversificación	Comercialización vinculada al fortalecimiento de Fundalachuá
Gestión, monitoreo y evaluación del aprendizaje del Proyecto			Gestión, monitoreo y evaluación del aprendizaje

Fuente: (Acuña, 2010)

Como parte del componente de comercialización y diversificación del Proyecto Lachuá, se implementaron proyectos sostenibles como: procesamiento de chile cobanero, producción de miel de abeja, textiles, comercialización de xate y producción y procesamiento de cacao. El fomento al cultivo de cacao en la ecorregión Lachuá, fue propiciado en el marco del Proyecto Laguna Lachuá, implementado por UICN-INAB y apoyado por la cooperación de Holanda. La iniciativa nació a raíz de las necesidades de los pobladores comunitarios, de buscar alternativas de producción sostenibles que les permitieran generar un mayor nivel de empleo e ingresos para apoyar la economía familiar



y al mismo tiempo favorecer la conservación de los recursos naturales de Lachuá (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], 2013).

A partir del año 2005, se desarrolló un proceso de institucionalización que fortaleció una alianza estratégica entre UICN-FUNDALACHUA-MAGA, que logró el establecimiento de más de 200 hectáreas de cacao híbrido en la región a través de la intervención del programa PINFRUTA de MAGA. Esto permitió que los productores de la zona pasaran de un sistema de producción de caco de traspato a un sistema más extensivo de cultivo de cacao, estableciendo cada productor al menos 0.5 hectáreas de cacao. Para el año 2010, estas masas críticas de cultivo establecido en la ecorregión Lachuá y un número de aproximadamente 170 productores, demandaron el apoyo para desarrollar un proceso de mejoramiento de la tecnología de producción de cacao, establecimiento de capacidad instalada para el procesamiento y desarrollo de los mecanismos de mercadeo y comercialización (UICN, 2013).

Bajo estas condiciones, FUNDALACHUA y UICN, favorecieron el desarrollo de alianzas estratégicas para apoyar estos procesos y de esa cuenta nuevos socios se incorporaron al proceso de fortalecimiento de la cadena, como es el caso de CATIE, FUNDASISTEMAS y CHOCOQUATEMAYA. A partir del año 2011 con el inicio de la implementación del proyecto “Desarrollo de la Cadena Productiva de Cacao para el Mejoramiento de los Medios de vida y la Conservación de los Corredores Biológicos de la Ecorregión Lachuá”, UICN, Fundación ARGIDIUS y FUNDALACHUA, logran incorporar y sumar los esfuerzos de FUNDASISTEMAS y CHOCOQUATEMAYA al proceso y definir una sola línea de apoyo con una visión compartida de lo que se pretendía lograr con la cadena de cacao a nivel regional (UICN, 2013).



El primer año de proyecto fue de grandes desafíos con los productores, las organizaciones y los socios que trabajan en la ecorregión Lachuá con el cultivo de cacao. Por muchos años los productores de la zona trabajaron en cultivos de baja escala y con un manejo tradicional basado en mínimas acciones de manejo. Bajo estas condiciones se propiciaron cambios en la mentalidad de los productores, debido a que la gran mayoría de ellos estaban acostumbrados a producir en pequeñas escalas y no al manejo intensivo de las plantaciones, un requisito importante cuando se pretende mejorar la tecnología de producción del cultivo intentando hacerlo más productivo (UICN, 2013).

Al mismo tiempo que se capacitó a productores y juntas directivas de organizaciones y se trabajó en la selección de material genético, se desarrollaron procesos de mejoramiento de la capacidad instalada de infraestructura productiva, se construyeron tres centros de acopio y procesamiento de cacao con apoyo financiero del Ministerio de Economía-FUNDASITEMAS y CATIE. Estos centros de acopio permitieron durante el año 2012 y 2013 procesar las primeras producciones de cacao de la ecorregión Lachuá, motivando a organizaciones y productores a través de la dinamización del mercado interno y la retribución inmediata en efectivo por la venta del cacao. Además de generar las primeras experiencias en fermentación y secado de cacao (UICN, 2013).

De igual manera los mercados locales e internacionales se acercaron a la región, para conocer, apoyar, evaluar y mostrar interés por comprar la producción. Este proceso de acercamiento a los mercados permitió para el año 2013 desarrollar el primer acuerdo comercial con la empresa *Lake Champlain Chocolates*, para exportar las primeras 6 TM (toneladas métricas) de cacao seco fermentado hacia los Estados Unidos. Situación que permitió a los productores de FUNDALACHUA percibir cerca de US \$19,445.81 (más



impuestos y costos exportación). El acuerdo con *Lake Champlain Chocolates*, fue un acuerdo comercial, pero además un acuerdo de largo plazo que incorporó también el apoyo para mejorar la calidad de las producciones y desarrollar productos diferenciados por su origen (UICN, 2013).

Luego de la primera exportación de cacao de la ecorregión Lachuá al mercado internacional y de su utilización para elaborar barras de chocolate, se confirmó el potencial de la región como cacao de alta calidad debido a las características de la región de producción, la importancia del cultivo en detener el avance de la frontera agrícola, la restauración de paisajes a través del establecimiento de plantaciones de cacao bajo sistemas agroforestales y las características de la mezcla genética del cacao que se ha preservado en las comunidades. Este potencial de producción permitió que se continuara con las exportaciones de cacao hacia el mercado internacional.

Sin embargo; debido a que la experiencia en temas de procesamiento y exportación de cacao es reciente en la región y que se ha incursionado en un nicho de mercado exigente en calidad y consistencia, se han presentado inconvenientes por aspectos de fermentación de cacao y ha provocado una reducción en el crecimiento y expansión de la demanda del producto por parte del mercado. Además otro aspecto que ha contribuido a la reducción en el crecimiento de la demanda es que otras regiones productoras de cacao en Guatemala han comenzado a incursionar en el mercado internacional, tales como: la región de Petén, Izabal, Polochic y costa Sur, esto ha permitido que las empresas chocolateras tengan diversas opciones de micro lotes de cacao, cada uno con características de producción únicas debido a su región, no solo en Guatemala sino que en países como Honduras, El Salvador, Nicaragua, Bolivia, Perú y Colombia por mencionar algunos. Esto refleja la



importancia del mejoramiento continuo de las prácticas de producción y de procesamiento de cacao, debido a que el mercado es dinámico y que cada año existen más asociaciones de pequeños productores y fincas privadas que incursionan en nichos de mercado de alto valor, haciendo la competencia por calidad y consistencia una ventaja competitiva.



## **CAPÍTULO 3**

### **3.1 Marco metodológico**

#### **3.1.1 Hipótesis**

Hipótesis 1: La asociación KATBALPOM posee mejores indicadores de desarrollo socioeconómico y de producción de cacao en comparación con las otras dos asociaciones, debido a su fácil acceso, presencia de servicios básicos y niveles de educación.

Hipótesis 2: La asociación KATBALPOM posee el mejor perfil de fermentación para la producción de cacao fino de aroma, debido a los mejores niveles de educación y tecnificación de los productores.

#### **3.1.2 Variables**

Para la medición de las variables para el cumplimiento de los objetivos de la investigación se utilizaron las técnicas e instrumentos descritos en el inciso 3.5.4. Las variables descriptivas del primer objetivo específico fueron: edad, ingresos mensuales, tamaño de familia, género, nivel de educación, grupo étnico, extensión de terreno, extensión de cacao, rendimiento de cacao por hectárea, número de cultivos producidos, especies animales producidas, porcentaje de plantación de cacao híbrida e injertada, conocimiento sobre el material genético, uso de fertilizante, preferencia del método de comercialización de cacao (drenado o no drenado), conformidad con el precio de compra de cacao en baba, interés en nuevas opciones de mercado,



interés en incrementar el área de siembra. Por otro lado, las variables respuesta del segundo objetivo específico fueron: temperatura (°C) y humedad relativa del ambiente dentro de las instalaciones de procesamiento (%), temperatura de la masa de fermentación (°C), pH de la testa y del cotiledón de los granos de cacao (Tabla 9).

**Tabla 9. Descripción de las técnicas, instrumentos y variables a evaluar por objetivo de investigación.**

Objetivos específicos	Técnica o método	Instrumento	Variables por evaluar
Establecer las características socioeconómicas, de producción y procesamiento de cacao en la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz.	Entrevistas estructuradas dirigidas	Guía de entrevistas individuales	Edad, ingresos mensuales, tamaño de familia, género, nivel de educación, grupo étnico, extensión de terreno, extensión de cacao, rendimiento de cacao por hectárea, número de cultivos producidos, especies animales producidas, porcentaje de plantación de cacao híbrida e injertada, conocimiento sobre el material genético de las plantaciones de cacao, uso de fertilizante, preferencia del método de comercialización de cacao (drenado o no drenado), conformidad con el precio de compra de cacao en baba, interés en nuevas opciones de mercado, e interés en incrementar el área de siembra.
	Encuestas mixtas (forma escrita y/o verbal) dirigidas individuales	Cuestionarios	
	Observación participativa en campo	Guía de observación en campo, diario de campo	
	Fuentes secundarias	Revisión de fuentes secundarias	
Determinar el procedimiento óptimo de fermentación del cacao en la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz	Experimentación confirmatoria Técnicas estadísticas (modelo probabilístico) DBA	Hojas de registros de datos por tratamiento y repetición	Las variables respuesta del objetivo específico número dos fueron: temperatura del ambiente (°C), humedad relativa del ambiente (%), temperatura de la masa de fermentación (°C), pH de la testa y cotiledón de los granos de cacao.

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3 Objetivos

#### a) General

- ✓ Establecer perfiles de fermentación para contribuir con el mejoramiento de la calidad del cacao de la ecorregión de Lachuá, del municipio de Cobán, Alta Verapaz.

#### b) Específicos

- ✓ Analizar las características socioeconómicas, de producción y procesamiento de cacao en la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz.



- ✓ Determinar el procedimiento óptimo de fermentación del cacao en la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz.

**a. Supuestos de la investigación.**

- ✓ Los productores de cacao de la ecorregión de Lachuá viven en condiciones de pobreza y utilizan bajos niveles de tecnificación en la producción y procesamiento de cacao.
- ✓ El protocolo de fermentación utilizado actualmente por los productores de cacao de la ecorregión de Lachuá no permite la producción de cacao fino de aroma de alta calidad y consistencia.

**3.1.4 Universo y muestra**

El universo de la investigación fue conformado por 394 familias productoras de cacao (301 hombres y 93 mujeres) de la ecorregión de Lachuá, las cuales pertenecen a las asociaciones KATBALPOM que abarca las comunidades de Salacuim y Saholom, ASOSELNOR ubicada en la comunidad de Faisan I y II y Pataté y ASODIRP en la comunidad Rocjá Pomtilá. Estas asociaciones a su vez son parte de la Fundación Laguna Lachuá (FUNDALACHUA) cuya sede se encuentra ubicada en la comunidad Salacuim en el municipio de Cobán, Alta Verapaz.

**3.1.5 Métodos y técnicas de investigación**

**a. Enfoque metodológico.**

La escuela de pensamiento de la investigación es positivista, en la línea de investigación “cambio tecnológico e institucional”, debido a que se pretende estudiar la transformación cultural y tecnológica en el procesamiento del cultivo de cacao.



**b. Socialización y aprobación de los actores participantes en la investigación.**

Se realizó una presentación del proyecto de investigación ante el Consorcio Regional de Investigación Agropecuaria (CRIA) del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) para la aprobación y asignación de los fondos para la ejecución del proyecto. Luego, se realizó una visita de campo a la ecorregión de Lachuá, se visitó la sede central de FUNDALACHUA y la sede de las asociaciones de base, para la presentación del proyecto de investigación y el establecimiento del plan de colaboración para su implementación.

**c. Elaboración y validación de instrumentos.**

Para la elaboración de los instrumentos utilizados durante la investigación, se realizó un listado de las variables a medir por cada objetivo del estudio, posteriormente se determinó la técnica apropiada para la recolección de datos y finalmente se procedió a elaborar los instrumentos para la medición de las variables en cada uno de los objetivos.

**d. Técnicas de investigación.**

Para el cumplimiento del primer objetivo específico que consistió en establecer las características socioeconómicas, de producción y procesamiento de cacao en la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz, se utilizaron las siguientes técnicas:

**1) Entrevistas estructuradas dirigidas.**

Se utilizó la técnica de entrevistas debido a que es una técnica de investigación que permite la recolección de información de forma directa y además permite la comprobación de información recolectada en otras técnicas utilizadas o durante la revisión de literatura.

Se realizó una entrevista dirigida ya que se contó con un guion preestablecido para el





desarrollo de esta (Anexo 6.11), con el objetivo de orientarla exclusivamente al tema de investigación (Muñoz Razo, 2011).

**2) Encuestas mixtas (forma escrita y/o verbal) dirigidas de forma individual.**

La segunda técnica utilizada fueron las encuestas, la cual constituyó la base del sistema de información estadística para el cumplimiento del primer objetivo. Esta segunda herramienta se utilizó como complemento de las entrevistas, ya que las encuestas permitieron obtener información más precisa. Se utilizaron encuestas mixtas, combinando la forma escrita y la forma verbal según cada caso al momento de la recolección de los datos. Además, fueron encuestas dirigidas ya que se contó con cuestionarios elaborados (Anexo 6.12), los cuales permitieron orientar las respuestas hacia las variables de interés de la investigación (Muñoz Razo, 2011).

**3) Observación participativa en campo.**

La tercera técnica para el cumplimiento del primer objetivo fue la observación participativa, con la finalidad de estudiar las características y el comportamiento de los productores de cacao en los diferentes pasos durante el procesamiento. Específicamente para observar el proceso de fermentación implementado en las comunidades y para observar y describir las instalaciones con las que cuentan las asociaciones. Fue participativa debido a que el investigador formó parte de las diferentes actividades relacionadas al procesamiento de cacao como si fuera parte de cada una de las asociaciones, lo cual permitió comprender mejor el fenómeno de estudio y corroborar información obtenida con otras técnicas (Muñoz Razo, 2011). Para el desarrollo de esta técnica se utilizó la guía de



observación descrita en el Anexo 6.13, con el objetivo de obtener información orientada a la medición de las variables relacionadas al fenómeno en estudio.

#### **4) Revisión de fuentes secundarias.**

Para complementar la información obtenida con las técnicas anteriores se consultaron informes relacionados a la cadena de valor del cacao en la región, elaborados por instituciones como: el Ministerio de Economía, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), el Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA), el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), el Centro Agronómico Tropical de investigación y Enseñanza (CATIE), entre otras fuentes de información.

#### **5) Experimentación confirmatoria.**

Para el cumplimiento del segundo objetivo, que consiste en determinar el procedimiento óptimo de fermentación de cacao en la región de estudio se utilizó la técnica de experimentación confirmatoria (Muñoz Razo, 2011), debido a que se busca comprobar procedimientos de fermentación descritos anteriormente por otros autores en otras regiones. El diseño experimental utilizado se describe en el inciso 3.5. Para el desarrollo de la experimentación se siguió el procedimiento descrito a continuación:

#### **6) Cosecha y acopio de cacao.**

Para el desarrollo de la investigación se utilizó la producción de frutos de cacao de la ecorregión de Lachuá de la cosecha 2017-2018, los frutos fueron recolectados de las parcelas de las familias productoras de cacao miembros de las asociaciones: ASODIRP, KATBALPOM y ASOSELNOR. Se establecieron días específicos de cosecha de cacao



cada siete o cada 15 días dependiendo de la época para garantizar una masa de acopio adecuado para el estudio.

Para la cosecha de cacao se siguió el procedimiento recomendado por Dubón y Sánchez (2011), el cual consiste en cosechar los frutos totalmente maduros y libres de enfermedades o daños por animales para evitar inconvenientes en la fermentación, luego de la cosecha se procedió a la extracción de las semillas frescas, las cuales se colocaron en sacos de polipropileno para drenar el exceso de pulpa por un período de cuatro horas. Posteriormente se trasladó el producto a los centros de acopio para el inicio de la fermentación.

#### **7) Fermentación de los granos de cacao.**

La fermentación se desarrolló en las instalaciones de cada una de las asociaciones presentes en la región de estudio, las cuales están ubicadas en las comunidades Rocjá Pomtilá, Saholom y Faisán I del municipio de Cobán, departamento de Alta Verapaz. Se realizó en cajas construidas de madera de San Juan (*Vochysia guatemalensis*) con una dimensión de 80\*100\*100 cm y una capacidad de 12 quintales de cacao fresco (en baba). Para el diseño del experimento se consideró el método reportado previamente por Hernández-Hernández et al. (2016), el cual consistió en utilizar tres diferentes masas de fermentación. En el caso de la presente investigación las masas de cacao a fermentar fueron de cinco, ocho y once quintales de cacao fresco.

#### **8) Medición de las variables experimentales.**

La medición de las variables relacionadas al proceso de fermentación se realizó durante el desarrollo del experimento mediante el proceso de muestreo descrito en el inciso 3.5.5. Las variables evaluadas durante la fermentación se describen a continuación:



- Temperatura y humedad relativa del ambiente dentro de las instalaciones de procesamiento: para la medición de este parámetro se utilizó el termohigrómetro modelo HTC-1 AC *Scientific* de la empresa Interlab (Guatemala, Guatemala).
- Temperatura general de la masa en fermentación: este parámetro se midió utilizando un termómetro digital modelo WT-2 de -50 a 300°C con sonda/AS *Scientific*, sonda de acero inoxidable, resolución de 0.1°C obtenido de la empresa Interlab Equipo y Cristalería (Guatemala, Guatemala). Se realizaron mediciones de temperatura en la masa en fermentación según lo recomendado por Ali, Baccus-Taylor, Sukha, y Umaharan (2016), que consiste en realizar mediciones en la parte alta, media y baja para determinar las diferencias en temperatura a lo largo de la masa, las mediciones se realizaron en triplicado y se registró el valor promedio para el análisis de los datos.
- pH de la de la testa y del cotiledón: para la medición de este parámetro se utilizó el medidor de pH modelo HI-98127 (pHep®4) obtenido en la empresa Hanna Instruments (Guatemala, Guatemala). La medición del pH consistió en medir el pH de la masa de fermentación en tres diferentes lugares para obtener un dato representativo. Para la medición del pH de la testa y del cotiledón se tomó una muestra de 20 granos de cacao de diferentes partes de la masa de fermentación para obtener una muestra representativa y se colocaron en una bolsa plásticas debidamente identificada (Ali et al., 2016).

Luego se tomaron tres granos de la muestra recolectada y se cortaron por la mitad para separar el cotiledón de la testa. Las dos partes del grano se colocaron por separado en un mortero de porcelana de 60 ml, se agregó 10 ml de agua



desionizada y se procedió a macerar hasta disolver totalmente el cotiledón y la testa en cada uno de los morteros. Luego utilizando el medidor de pH se realizó la lectura de las muestras en cada uno de los morteros y se anotó el resultado, este procedimiento se realizó en triplicado, es decir se utilizaron nueve granos por cada muestreo para hacer las mediciones, de esta manera se obtuvieron tres lecturas diferentes y luego el valor utilizado para el análisis fue el promedio de las mediciones de la muestra (Ali et al., 2016).

#### **9) Elaboración del perfil de fermentación de cacao.**

Con los datos obtenidos de los perfiles temperatura de la masa de fermentación de cacao, pH de la testa y del cotiledón, se determinó el tiempo óptimo de fermentación y los valores óptimos de acuerdo con las condiciones de cada tratamiento. Además, se elaboraron modelos de regresión lineal para la predicción del pH del cotiledón y de la testa, utilizando la temperatura como variable independiente.

#### **e. Muestreo.**

Para el desarrollo y cumplimiento del primer objetivo de la investigación se realizó un muestreo probabilístico estratificado, ya que permitió medir y reducir el tamaño del error estándar en la investigación, de esta manera se aseguró que los valores medidos en la muestra serán representativos de la población. Para el desarrollo del muestreo se delimitó la población de acuerdo con los objetivos de la investigación, en este caso la muestra estuvo conformada por las familias que forman parte de las comunidades comprendidas en la ecorregión de Lachuá en el municipio de Cobán, Alta Verapaz y que sean actuales productores de cacao.



El muestreo fue estratificado debido a que en la región existen tres diferentes asociaciones (KATBALPOM, ASOSELNOR y ASODIRP), las cuales se encuentran en diferentes comunidades y por lo tanto presentan diferencias en producción, procesamiento y comercialización. Por esta razón para la obtención de la muestra se utilizó el método de estratificación para considerar las características y el tamaño de cada estrato. Se tomó una muestra de 13 a 15 productores de cacao por asociación, la cual representa del 30-45% de la población de socios activos productores de cacao por cada asociación.

Para el cumplimiento del segundo objetivo de la investigación se realizó un muestreo probabilístico aleatorio, siguiendo el procedimiento utilizado por Hernández-Hernández et al. (2016), el cual consiste en la obtención de 20 granos de cacao de cada unidad experimental cada 24 horas, los cuales se utilizaron para la medición de pH de la testa y cotiledón. Una vez finalizada la fermentación, se procedió al secado de los granos de cacao utilizando los secadores solares con los que cuentan las asociaciones de la región en estudio. Durante el secado se realizaron movimientos del cacao cada dos horas para obtener un secado uniforme en los granos de cacao y evitar el crecimiento de moho externo e interno (Dubón y Sánchez, 2011). La humedad final se determinó utilizando el medidor de humedad marca Wile 55 para café y cacao, obtenido de la empresa Farmcomp Agroelectronics (Tuusula, Finlandia).

**f. Socialización de los resultados.**

Luego de determinar las condiciones óptimas y el procedimiento recomendado para la fermentación, se procedió a socializar los resultados con la Fundación FUNDALACHUA y los miembros de las asociaciones ASODIRP, KATBALPOM y



ASOSELNOR. Además, se presentaron los resultados ante el programa CRIA-IICA quienes financiaron el proyecto de investigación.

**g. Capacitación a promotores de las comunidades.**

Con el protocolo de investigación utilizado para la elaboración del perfil de fermentación se capacitó a un promotor encargado del procesamiento en cada asociación y a un técnico encargado, con el objetivo de mejorar las capacidades locales en temas de proceso de fermentación de cacao basados en las características del cacao de cada región y a las condiciones de procesamiento de cada comunidad. Los promotores seleccionados fueron personas originarias de la ecorregión, quienes formaron parte del equipo durante todo el proyecto.

### **3.1.6 Modelo estadístico y diseño experimental**

El diseño experimental (Tabla 10) para el cumplimiento del segundo objetivo específico fue Bifactorial (3\*3) en Bloques al Azar y medidas repetidas en tiempo (días de fermentación). El modelo experimental contó con dos factores: a) El factor uno fue la masa de fermentación: 5, 8, y 11 quintales de cacao fresco (tres niveles) y b) el segundo factor fue la localidad de procesamiento: KATBALPOM, ASODIRP y ASOSELNOR (tres niveles). Las medidas repetidas en tiempo se realizaron desde el día cero hasta el octavo día de fermentación de cacao.

**Tabla 10. Diseño experimental**

Masa (quintales)	Localidad		
	KATBALPOM	ASODIRP	ASOSELNOR
5	T1	T4	T7
8	T2	T5	T8
11	T3	T6	T9

Fuente: Elaboración propia (2021).



Para el cumplimiento del primer objetivo, las unidades experimentales fueron productores de cacao (personas) socios de las asociaciones pertenecientes a FUNDALACHUÁ. El total de unidades experimentales para este objetivo fue de 42 personas. Para el cumplimiento del segundo objetivo específico, las unidades experimentales consistieron en cajas de madera para fermentación de cacao (80\*100\*100 cm) con una masa de fermentación de acuerdo con cada tratamiento. El total de unidades experimentales para esta fase fue de 36 cajas de fermentación.

**a. Análisis estadístico.**

Para el análisis de la información se utilizó el programa SPSS 24 para las variables socioeconómicas y el programa estadístico R para las variables de fermentación, en los cuales se realizaron Análisis de Varianza, Prueba - T, Chi cuadrado, y separación de medias Tukey HSD con un nivel de significancia de 0.05. Además, se realizaron análisis de regresión y correlación para las variables de fermentación.





## **CAPÍTULO 4**

### **4.1 Presentación y discusión de resultados**

#### **4.1.1 Establecimiento de las características socioeconómicas, de producción y procesamiento de los productores de cacao en la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz.**

##### **a. Características socioeconómicas**

##### **1) Edad e ingresos económicos**

En general, la edad de los productores de cacao presentó una distribución casi normal (Figura 8), con un promedio de 44.38 y rango de 21 a 74 años (Tabla 11). La edad promedio de la ecorregión de Lachuá es mayor a la reportada en la región de Olancho en Honduras, quienes reportaron un promedio de 40.5, con un rango de 19 a 84 años de edad (Kupferschmied, Fromm, y Rouanet, 2018). Sin embargo, la edad de los productores de cacao de Lachuá es menor a la reportada en la provincia de Manabí en Ecuador, donde el promedio es de 56.95 años (Villacis, Alwang, Barrera, y Dominguez, 2020). Por otro lado, en el sector de Yaguaraparo en Venezuela (Lanz y Granado, 2009). se reportó que más del 50% de los productores de cacao posee una edad superior a los 50 años. Cuando se compara la edad de los productores de cacao en Lachuá con la edad promedio de los productores de países del continente africano, se puede observar que el promedio de edad es menor que el promedio de Ghana (55), Costa de Marfil (51), Camerún (63-70), y Nigeria (más de 60) (Hawkins y Chen, 2016).



La edad avanzada de los productores ha sido identificada como una de las causas de bajo rendimiento en las plantaciones de cacao de África, en conjunto con otros factores como el bajo nivel de uso de insumos agrícolas, manejo inadecuado de plagas y enfermedades, pobre manejo de sombra, y poco o ningún método de fertilización (Hawkins y Chen, 2016; Wessel y Quist-Wessel, 2015). La edad promedio de los productores de cacao fue estadísticamente diferente ( $p \leq 0.05$ ) entre las asociaciones KATBALPOM y ASOSELNOR (Tabla 13 y 14). KATBALPOM presentó un promedio de 51.29 años por productor, 44.67 años en promedio para ASODIRP y 36.62 años para ASOSELNOR.

**Tabla 11. Estadísticos descriptivos para la variable edad**

Localidad	N	Promedio	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Min.	Max.
					Inferior	Superior		
KATBALPOM	14	51.29	13.702	3.662	43.37	59.20	33	74
ASODIRP	15	44.67	14.376	3.712	36.71	52.63	23	72
ASOSELNOR	13	36.62	9.870	2.738	30.65	42.58	21	58
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>44.38</b>	<b>13.930</b>	<b>2.149</b>	<b>40.04</b>	<b>48.72</b>	<b>21</b>	<b>74</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 12. Análisis de varianza para la variable edad**

	Suma de cuadrados	GL <sup>a</sup>	Cuadrado medio	F	Significancia
Localidad	1452.637	2	726.319	4.356	0.020
Error	6503.267	39	166.750		
<b>Total</b>	<b>7955.905</b>	<b>41</b>			

Nota: <sup>a</sup> Grados de libertad.

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 13. Prueba post hoc de comparaciones múltiples de Tukey para la variable edad.**

Asociación (I)	Asociación (J)	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% Intervalo de confianza	
					Inferior	Superior
KATBALPOM	ASODIRP	6.619	4.799	0.361	-5.07	18.31
	ASOSELNOR	14.670*	4.974	0.014	2.55	26.79
ASODIRP	KATBALPOM	-6.619	4.799	0.361	-18.31	5.07
	ASOSELNOR	8.051	4.893	0.239	-3.87	19.97
ASOSELNOR	KATBALPOM	-14.670*	4.974	0.014	-26.79	-2.55
	ASODIRP	-8.051	4.893	0.239	-19.97	3.87

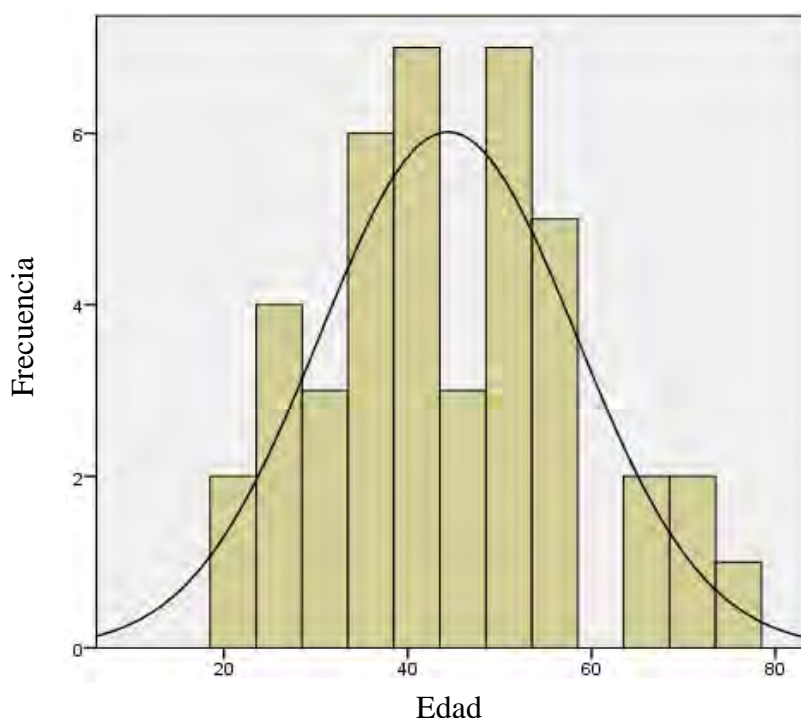
Nota: \* La diferencia de medias es significativa al nivel de 0.05. Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 14. Separación de medias Tukey para la variable edad**

Asociación	N	Media $\pm$ DE
KATBALPOM	14	51.29 $\pm$ 13.702 <sup>a</sup>
ASODIRP	15	44.67 $\pm$ 14.376 <sup>ab</sup>
ASOSELNOR	13	36.62 $\pm$ 9.870 <sup>b</sup>

Nota: \*\*Medias seguidas con igual letra no son significativamente diferentes ( $p>0.05$ ).

Fuente: Elaboración propia (2021).



*Figura 8.* Histograma de frecuencias de edad de los productores de cacao de la ecorregión de Lachuá.

Fuente: Elaboración propia (2021).

El desarrollo de las condiciones adecuadas para la inclusión de la juventud dentro de la cadena de valor de cacao es un aspecto importante para contribuir con la sostenibilidad de la producción en la región. Mediante la inclusión de nuevas tecnologías agrícolas, diversificación, creación de nuevas oportunidades de empleo, emprendimiento, acceso a financiamiento y educación de jóvenes, se crearán las condiciones para motivar a las nuevas generaciones a ser parte de la cadena de valor de cacao con otras perspectivas e ideas de innovación para la generación de ingresos y mejora de la calidad de vida. De esta manera se podrá contribuir a la reducción de la migración interna (de las comunidades a

las ciudades medianas y grandes dentro del país) o reducir a la migración externa, de las comunidades hacia otros países de la región.

En relación con el ingreso económico, en la asociación KATBALPOM los salarios variaron desde Q1, 500.00 hasta Q5,000.00 por mes (rango de Q3, 500), para ASOSELNOR fueron desde Q200.00 hasta Q5, 000.00 (rango de Q2, 800.00) y para ASODIRP variaron desde Q200.00 hasta Q5, 000.00 (rango de Q4, 800.00), esta variación se ve reflejado en los valores de desviación estándar (Tabla 15). De acuerdo con Ochoa (2015), las actividades agrícolas representan el 90% de los ingresos económicos de la población rural, en la cual el 90% de los ingresos mensuales se encuentran por debajo de Q 2,500.00. Entre las actividades económicas reportadas por los productores se encuentran: encargado de beneficio de procesamiento de cacao, profesor de educación primaria, comerciante, ama de casa, facilitador comunitario, jornalero y enfermero.

De acuerdo con la Organización Internacional del Cacao (ICCO por sus siglas en inglés), muchos productores de cacao todavía viven en condiciones de pobreza, el cual sigue siendo un reto diario en diferentes partes del mundo (ICCO,2018). En general, el ingreso promedio de las familias productoras de cacao fue de Q1,452.38 (Tabla 15), el cual no cubre el costo de la canasta básica de alimentos (CBA) que fue estimada en Q3,668.90 para junio de 2020; lo cual indica que, las familias productoras de cacao no logran cubrir sus necesidades energéticas y de proteína (INE, 2020). Sin embargo, los presentes resultados no reflejan el consumo de alimentos producidos y destinados para autoconsumo o los alimentos recolectados de bosques o áreas cercanas. El análisis de varianza mostró que no existe diferencia estadística significativa ( $p>0.05$ ) entre el promedio de los ingresos mensuales entre las tres asociaciones (Tabla 16). El ingreso mensual promedio más alto se



reportó en la asociación KATBALPOM (Q2,021.43), seguido de ASODIRP (Q1,326.67) y ASOSELNOR (Q984.62) (Tabla 15).

**Tabla 15. Estadísticos descriptivos para la variable ingresos.**

Localidad	N	Promedio	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mín.	Máx.
					Inferior	Superior		
KATBALPOM	14	2021.42	1010.84	270.16	1437.78	2605.07	1500.00	5000.00
ASODIRP	15	1326.66	1270.80	328.12	622.91	2030.41	200.00	5000.00
ASOSELNOR	13	984.61	970.04	269.04	398.42	1570.80	200.00	3000.00
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>1452.38</b>	<b>1156.10</b>	<b>178.39</b>	<b>1092.11</b>	<b>1812.64</b>	<b>200.00</b>	<b>5000.00</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 16. Análisis de varianza para la variable ingresos**

	Suma de cuadrados	GL <sup>a</sup>	Cuadrado medio	F	Sig.
Localidad	7614934.07	2	3807467.03	3.147	0.054
Error	47184827.84	39	1209867.38		
<b>Total</b>	<b>54799761.900</b>	<b>41</b>			

Nota: <sup>a</sup> Grados de libertad.

Fuente: Elaboración propia (2021).

Con relación al tamaño de familia, se observó un promedio de 7.55 personas en el núcleo familiar, con un rango de 0 a 18 integrantes por familia (Tabla 17). El análisis de varianza mostró que el promedio de integrantes por familia no presentó diferencias estadísticas en las tres asociaciones ( $p > 0.05$ ) (Tabla 18). En un estudio realizado en Nicaragua se reportó que el tamaño promedio de familia fue de 5.32 integrantes, con un rango de 1 a 12 personas (Castillo, Legarreta-Gonzalez, Olivas-García, y García-Fernández, 2020). En Honduras se reportó un promedio de 4.78 personas por hogar (Sobalbarro-Figueroa et al., 2020), en la zona Este de Ghana el promedio reportado fue de 7 personas por núcleo familiar (Yahaya, Karli, y Gul, 2015), en Venezuela se observó que el 68% posee una carga familiar entre cuatro a nueve miembros por familia (Lanz y Granado, 2009), y en la provincia de Manabí en Ecuador, el tamaño promedio por familia reportado es de 3.60 personas (Villacis et al., 2020).



**Tabla 17. Estadísticos descriptivos para la variable tamaño de familia.**

Localidad	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM	14	6.57	3.227	0.862	4.70	8.43	2.00	12.00
ASODIRP	15	8.06	5.147	1.329	5.21	10.91	0.00	18.00
ASOSELNOR	13	8.00	4.000	1.109	5.58	10.41	2.00	16.00
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>7.55</b>	<b>4.1859</b>	<b>0.646</b>	<b>6.24</b>	<b>8.85</b>	<b>0.00</b>	<b>18.00</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 18. Análisis de varianza para la variable tamaño de familia**

	Suma de cuadrados	GL <sup>a</sup>	Cuadrado medio	F	Sig.
Localidad	20.043	2	10.021	0.560	0.576
Error	698.362	39	17.907		
<b>Total</b>	<b>718.405</b>	<b>41</b>			

Nota: <sup>a</sup> Grados de libertad.

Fuente: Elaboración propia (2021).

## 2) Análisis de edad e ingreso económico por género

En general se observó que el promedio de la edad de los hombres fue de 46.26 años y de 39.09 años para las mujeres (Tabla 19). Al analizar la edad por género, los resultados mostraron que no existió diferencia estadística significativa ( $p > 0.05$ ) entre la edad de hombres y mujeres entrevistados (Tabla 20).

**Tabla 19. Estadísticos de grupo para la variable edad por género.**

Género	N	Promedio	Desviación estándar	Error estándar de la media
Masculino	31	46.26	14.336	2.575
Femenino	11	39.09	11.717	3.533

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 20. Prueba de T para muestras independientes para la variable edad por género.**

Prueba de Levene para igualdad de varianzas			Prueba T para igualdad de medias					
F	Sig.		t	GL <sup>a</sup>	Sig. (2-colas)	Diferencia de la media	Diferencia del error estándar	95% Intervalo de confianza Inferior Superior
Varianzas iguales asumidas	0.851	0.362	1.488	40	0.145	7.167	4.818	-2.570 16.905

Nota: <sup>a</sup> Grados de libertad. Fuente: Elaboración propia (2021).

En la ecorregión de Lachuá las mujeres reportaron en promedio un ingreso mensual de Q659.09, en comparación con Q1, 733.87 reportado para hombres (Tabla 21). Al analizar los resultados de ingresos económicos por género, se observó que existe diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el ingreso mensual de hombres y mujeres productores de cacao, lo cual indica que los hombres poseen mayor ingreso económico que las mujeres en la región de estudio (Tabla 22).

En la región de Olancho en Honduras se observó que del 15-22% de los productores de cacao son mujeres (Kupferschmied et al., 2018; Sobalbarro-Figueroa et al., 2020), el 11% fue reportado en Venezuela (Lanz y Granado, 2009), y en Ghana se reportó una participación del 7% de mujeres en la región del Este de ese país (Yahaya et al., 2015). Muchas mujeres participan activamente principalmente en la cosecha y postcosecha del cacao y además son las encargadas de las labores de atención del hogar y cuidado de los hijos (Lanz y Granado, 2009). Por esta razón es importante reconocer la importancia del rol de las mujeres no solamente en la cadena de valor de cacao, sino el rol en la construcción, el mantenimiento y desarrollo del núcleo familiar. De acuerdo con ICCO (2018) la inequidad de género sigue siendo uno de los desafíos en la cadena de valor de cacao a nivel mundial, por lo que es urgente el desarrollo de estrategias orientadas a reconocer el valor y retribuir el trabajo de las mujeres en el desarrollo rural del país.

**Tabla 21. Estadísticos de grupo para la variable de ingresos económicos por género.**

	Género	N	Media	Desviación estándar	Error estándar de la media
Ingresos	Masculino	31	1733.87	1193.55122	214.36813
	Femenino	11	659.09	518.08213	156.20764

Fuente: Elaboración propia (2021).



**Tabla 22. Prueba de T para muestras independientes para la variable ingresos por género.**

Prueba de Levene para igualdad de varianzas			Prueba T para igualdad de medias						
	F	Sig.	t	GL <sup>a</sup>	Sig. (2-colas)	Diferencia de la media	Diferencia del error estándar	95% Intervalo de confianza	
								Inferior	Superior
Varianzas iguales asumidas	2.843	0.100	2.874	40	0.006	1074.78	373.98	318.942	1830.62

Nota: <sup>a</sup> Grados de libertad. Fuente: Elaboración propia (2021).

### 3) Nivel de educación

Con relación al nivel de educación, el 42.9% de los productores no tiene educación formal, el 35.7% dijo tener nivel primario, el 19% posee un título a nivel de bachillerato o diversificado y únicamente el 2.4% tiene un nivel académico universitario (Tabla 24). En general, los resultados mostraron que no existió diferencia estadística significativa en los diferentes niveles de educación entre las diferentes localidades ( $p>0.05$ ) (Tabla 25). Se observó que el porcentaje de personas con los diferentes niveles de educación fue similar para las asociaciones KATBALPOM y ASOSELNOR (Tabla 24).

Los niveles de educación formal reportados por los productores de la ecorregión de Lachuá son menores a los observados en el estado de Sucre en Venezuela, donde el 81% de los productores de cacao reportaron algún grado de educación formal (Lanz y Granado, 2009), en la región Este de Ghana el 88.7% posee educación formal (Yahaya et al., 2015). Por otro lado, en la región de Olancho en Honduras, más del 88% de los productores de cacao reportaron tener algún tipo de educación formal (Kupferschmied et al., 2018; Sobalbarro-Figueroa et al., 2020). En la región de Manabí en Ecuador se reportó un promedio de escolaridad de 7.41 años de la persona encargada económicamente del hogar (Villacis et al., 2020).





Es importante conocer el grado de escolaridad de los productores de cacao debido a que sirve para planificar adecuadamente actividades de asistencia técnica, que permitan capacitarlos en áreas relacionadas a la producción y procesamiento de cacao, considerando la heterogeneidad en el nivel de escolaridad (Lanz y Granado, 2009). Se ha demostrado que el mayor nivel de escolaridad en los productores tiene un efecto positivo en el nivel de adopción de innovaciones (Aguilar-Gallegos, Rodríguez, Santoyo, y Jorge, 2013). Además, tener un nivel de escolaridad secundaria constituye la base para el desarrollo de programas de capacitación sobre manejo del cultivo, nuevas tecnologías, y gestión administrativa (Sobalbarro-Figueroa et al., 2020).

**Tabla 23. Resumen del procesamiento de los casos**

	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Nivel de estudios * Asociación	42	100.0%	0	0.0%	42	100.0%

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 24. Conteo de resultados de nivel de estudios por asociación**

			Localidad			TOTAL
			KATBALPOM	ASODIRP	ASOSELNOR	
Nivel de Estudios	No Estudió	Frecuencia	7	4	7	18
		% asociación	50.0%	26.7%	53.8%	42.9%
	Primaria	Frecuencia	3	7	5	15
		% asociación	21.4%	46.7%	38.5%	35.7%
	Diversificado	Frecuencia	3	4	1	8
		% asociación	21.4%	26.7%	7.7%	19.0%
	Universidad	Frecuencia	1	0	0	1
		% asociación	7.1%	0.0%	0.0%	2.4%
	Total	Frecuencia	14	15	13	42
		% asociación	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 25. Prueba de Chi cuadrado ( $X^2$ ) para la variable nivel de estudios por asociación.**

	Valor	GL	Significación asintótica bilateral
Chi cuadrado de Pearson	6.161 <sup>a</sup>	6	0.405
Índice de probabilidad	6.761	6	0.344
Número de casos validos	42		

Nota: <sup>a</sup> 7 celdas (58.3%) tienen un conteo esperado menor a 5. El recuento mínimo esperado es 0.31

Fuente: Elaboración propia (2021).



#### 4) Grupo étnico

En general, el 90.5% se autoidentificó como maya Q'eqchi', el 4.8% como Rabinal Achí y el 4.8% como no indígena (Tabla 27). Se observó que existe diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los grupos étnicos representados en las asociaciones, para el análisis se utilizó el resultado del índice de probabilidad debido al tamaño de la muestra (Tabla 28). La diferencia se observó principalmente en la asociación KATBALPOM en comparación con las otras dos asociaciones. En KATBALPOM el 71.4% de los productores se identificaron como Maya Q'eqchi', el 14.3 % como no indígena y el 14.3% como Rabinal Achí. En las asociaciones ASODIRP y ASOSELNOR el todos (100%) los productores entrevistados se autoidentificaron como Maya Q'eqchi' (Tabla 27).

**Tabla 26. Resumen del procesamiento de los casos de grupo étnico por asociación.**

	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Grupo étnico * Asociación	42	100.0%	0	0.0%	42	100.0%

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 27. Conteo de resultados de grupo étnico por asociación**

			Localidad			Total
			KATBALPOM	ASODIRP	ASOSELNOR	
Grupo étnico	No Indígena	Conteo	2	0	0	2
		% Asociación	14.3%	0.0%	0.0%	4.8%
	Q'eqchi'	Conteo	10	15	13	38
		% Asociación	71.4%	100.0%	100.0%	90.5%
	Rabinal Achí	Conteo	2	0	0	2
		% Asociación	14.3%	0.0%	0.0%	4.8%
Total	Conteo	14	15	13	42	
	% Asociación	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 28. Prueba de Chi cuadrado ( $X^2$ ) para la variable nivel grupo étnico por asociación**

	Valor	GL	Significación asintótica bilateral
Chi cuadrado de Pearson	8.842 <sup>a</sup>	4	0.065
Índice de probabilidad	9.666	4	0.046
Número de casos validos	42		

Nota: <sup>a</sup> 6 celdas (66.7%) tienen un conteo esperado menor a 5. El recuento mínimo esperado es 0.62

Fuente: Elaboración propia (2021).



**b. Aspectos de producción y procesamiento**

**1) Tenencia de terreno, área de producción y rendimiento de cacao**

El resultado de la prueba de Levene para la evaluación de igualdad de varianzas fue significativo ( $p < 0.05$ ), lo cual indica que no se pueden asumir igualdad de varianzas entre grupos (Tabla 30), por esta razón se realizó la prueba Welch's y se reportó este nivel de significancia ( $p \leq 0.05$ ) ya que es una prueba más rigurosa y no asume igualdad de varianzas (Tabla 31). Los resultados del análisis de varianza mostraron que existe diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el promedio del total de terreno por productor entre las asociaciones. El promedio del total de terreno por productor fue significativo ( $p \leq 0.05$ ) únicamente entre las asociaciones ASODIRP y KATBALPOM (Tabla 32). El promedio más alto fue para ASODIRP, con 38.73 mz/productor, seguida de ASOSELNOR con un promedio de 17.03 mz/productor, y el promedio más bajo fue para KATBALPOM con 8.64 mz/productor (Tabla 33). Para la prueba de comparaciones múltiples se utilizó la prueba de Games-Howell, recomendada cuando no se tiene igualdad de varianza entre grupos.

**Tabla 29. Estadísticos descriptivos para la variable tenencia de terreno (Manzanas).**

Localidad	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM	14	8.636	5.9171	1.5814	5.219	12.052	1.4	22.0
ASODIRP	15	38.733	37.4837	9.6783	17.976	59.491	5.0	128.0
ASOSELNOR	13	17.031	18.8957	5.2407	5.612	28.449	0.4	42.0
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>21.983</b>	<b>27.6880</b>	<b>4.2724</b>	<b>13.355</b>	<b>30.612</b>	<b>0.4</b>	<b>128.0</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 30. Prueba Levene de homogeneidad de varianzas para la variable tenencia de terreno.**

Estadístico de Levene	GL 1	GL 2	Significancia
11.959	2	39	0.000

Fuente: Elaboración propia (2021).



**Tabla 31. Prueba de Welch's para analizar igualdad de medias de la variable tenencia de terreno (Manzanas).**

	Estadístico <sup>a</sup>	GL1	GL2	Significancia
Welch	5.488	2	19.154	0.013

Nota: <sup>a</sup> Asintóticamente F distribuido.

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 32. Prueba de comparaciones múltiples Games-Howell para la variable tenencia de terreno (Manzanas).**

(I) Asociación	(J) Asociación	Diferencia de la media (I-J)	Error estándar	Sig.	95% Intervalo de confianza	
					Inferior	Superior
KATBALPOM	ASODIRP	-30.0976*	9.8066	0.020	-55.617	-4.579
	ASOSELNOR	-8.3951	5.4741	0.306	-22.702	5.912
ASODIRP	KATBALPOM	30.0976*	9.8066	0.020	4.579	55.617
	ASOSELNOR	21.7026	11.0061	0.144	-6.012	49.417
ASOSELNOR	KATBALPOM	8.3951	5.4741	0.306	-5.912	22.702
	ASODIRP	-21.7026	11.0061	0.144	-49.417	6.012

Nota: \* La diferencia de medias es significativa al nivel de 0.05.

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 33. Separación de medias Games-Howell para tenencia de terreno (Manzanas).**

Asociación	N	Media $\pm$ DE
ASODIRP	15	38.73 $\pm$ 37.48 <sup>a</sup>
ASOSELNOR	13	17.03 $\pm$ 18.90 <sup>ab</sup>
KATBALPOM	14	08.64 $\pm$ 05.92 <sup>b</sup>

Fuente: Elaboración propia (2021).

El promedio general de área cultivada de cacao para la región fue de 2.17 Ha/persona, con un promedio de 2.91 Ha/productor para ASODIRP, 2.04 Ha/productor para KATBALPOM y 1.44 Ha/productor para ASOSELNOR (Tabla 34). El número de hectáreas de cacao cultivadas en cada comunidad no presentaron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre las asociaciones (Tabla 35). Del total de hectáreas se reportó que el 12.21% son plantaciones establecidas desde el año 2015 a 2018, las cuales se encuentran en el inicio de la etapa de producción o en proceso de crecimiento.

De acuerdo con Salguero (2015) la mayoría de los productores de cacao en Guatemala poseen un promedio menor a una hectárea de cacao en producción. Por otro lado, de acuerdo con Tapia (2016c) el área promedio oscila entre 0.25 a 0.74 hectáreas por



productor, estos promedios nacionales son menores al reportado en la ecorregión, probablemente debido a que durante los últimos años la ecorregión de Lachuá ha sido una región priorizada para la expansión del cultivo de cacao debido a sus características de restauración de paisajes y el potencial de la calidad del producto de la región. En Centroamérica, se estima que el área de siembra de plantaciones de cacao por productor oscila entre 0.7-1.5 hectáreas (Tapia, 2016c). Villacis et al. (2020) reportó un promedio de 14.5 hectáreas por productor en la región de Manabí en Ecuador. En Venezuela, en el estado de Sucre el 73% de los productores posee plantaciones de cacao entre 2.1 y 10 hectáreas, mientras que solo el 19% posee plantaciones mayores a 12 hectáreas (Lanz y Granado, 2009). En Olancho, Honduras se ha reportado un promedio de 1.21-1.44 hectáreas destinadas a la producción de cacao por productor (Kupferschmied et al., 2018; Sobalbarro-Figueroa et al., 2020).

**Tabla 34. Estadísticos descriptivos para la variable área de producción de cacao (Hectáreas).**

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM	14	2.04	1.575	0.421	1.13	2.95	1	6
ASODIRP	15	2.91	2.009	0.519	1.80	4.03	1	7
ASOSELNOR	13	1.44	1.473	0.408	0.55	2.33	0	6
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>2.17</b>	<b>1.782</b>	<b>0.275</b>	<b>1.61</b>	<b>2.72</b>	<b>0</b>	<b>7</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 35. Análisis de varianza para la variable área de producción de cacao (Hectáreas).**

	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F	Sig.
Localidad	15.494	2	7.747	2.633	0.085
Error	114.769	39	2.943		
<b>Total</b>	<b>130.263</b>	<b>41</b>			

Fuente: Elaboración propia (2021).

El promedio de producción de cacao fresco (con mucílago) de las plantaciones en edad de producción formal, fue de 15.31 quintales de cacao por hectárea (Tabla 36) y no



presentó diferencias estadísticas significativas ( $p>0.05$ ) entre las asociaciones de la ecorregión (Tabla 37). Este rendimiento equivale a 5.10 quintales de cacao seco y fermentado por hectárea, considerando un rendimiento promedio de 3:1 (tres quintales de cacao fresco necesarios para producir un quintal de cacao seco y fermentado), un rendimiento promedio bajo condiciones adecuadas de procesamiento. Este rendimiento es equivalente a 231.81 kg /ha de cacao seco, el cual es similar al rendimiento promedio de 229.5 kg/ha reportado por Tapia (2016c) en un estudio regional. En un estudio sobre el análisis de la situación actual y diagnóstico de la cadena de valor de cacao se determinó que el rendimiento de los productores en Guatemala ha incrementado de 260.78 kg/ha reportado en el año 2007 a 303.03 kg/ha en el año 2014 (Salguero, 2015).

En un estudio independiente sobre el levantamiento de la línea base de la cadena de valor de cacao, el rendimiento promedio reportado fue de 9.78 quintales/ha de cacao fresco (148.2 kg/ha de cacao seco), encontrando los rendimientos de producción más altos en la ecorregión de Lachuá en comparación con las regiones de Cahabón, Polochic y Sur de Petén (Ochoa, 2015). En Centroamérica, el rendimiento promedio para Honduras es de 203.3 kg/ha (Tapia, 2016c), 260 kg/ha en El Salvador (Tapia, 2016a) y de 250-450 kg/ha para Nicaragua (Tapia, 2017).

El incremento de la productividad en las parcelas de cacao ha sido impulsado por diversos proyectos y actores a través de capacitaciones en diferentes temas, tales como: poda de árboles de cacao, control de plagas y enfermedades, siembra de plantas injertadas y materiales genéticos seleccionados, repoblación de plantaciones establecidas, renovación de árboles, optimización de distanciamientos de siembra, injertos en campo, y fertilización orgánica y no orgánica. Sin embargo, a pesar de que se han logrado avances importantes



en manejo de las plantaciones de cacao en la región, el rendimiento por parcela sigue siendo bajo en comparación con los rendimientos necesarios para que el cultivo de cacao sea rentable. Espinosa-García et al. (2015) indica que el cultivo de cacao podría ser rentable en el Sur de México con una producción de más de 770 kg/ha.

Por otro lado Montes Montiel (2016), en un estudio en el departamento de Sucre en Colombia, reportó que el cultivo de cacao puede ser rentable en una extensión de 10 hectáreas con un rendimiento de 1,300 kg/ha para un ciclo de vida de 20 años, y en la provincia de Morona Santiago en Ecuador se ha reportado rentabilidad en el cultivo con un rendimiento de 1,880 kg/ha (Espinoza Chávez y Sichique Sánchez, 2013). Orozco-Aguilar y López Sampson (2016) afirman que, para mejorar los ingresos económicos de los productores, se debe producir al menos 2,286-2,857 kg/ha de cacao seco por año.

**Tabla 36. Estadísticos descriptivos para la variable producción de cacao fresco por hectárea.**

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM	13	16.08	9.415	2.611	10.39	21.77	1	31
ASODIRP	14	16.33	12.845	3.433	8.91	23.74	3	50
ASOSELNOR	6	11.25	15.374	6.277	-4.88	27.38	1	42
<b>Total</b>	<b>33</b>	<b>15.31</b>	<b>11.874</b>	<b>2.067</b>	<b>11.10</b>	<b>19.52</b>	<b>1</b>	<b>50</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 37. Análisis de varianza para la variable producción de cacao por hectárea.**

	Suma de cuadrados	GL <sup>a</sup>	Cuadrado medio	F	Sig.
Localidad	121.026	2	60.513	0.413	0.665
Error	4390.529	30	146.351		
<b>Total</b>	<b>4511.556</b>	<b>32</b>			

Nota: <sup>a</sup> Grados de libertad. Fuente: Elaboración propia (2021).



El 62% de los productores realizó la siembra de cacao por primera vez los años 2006-2008, realizando siembra directa por semilla (híbridos) y el 38% inició con el cultivo durante los años 2013-2018, donde todas las plantaciones de cacao fueron injertadas previo a la siembra (Figura 9).

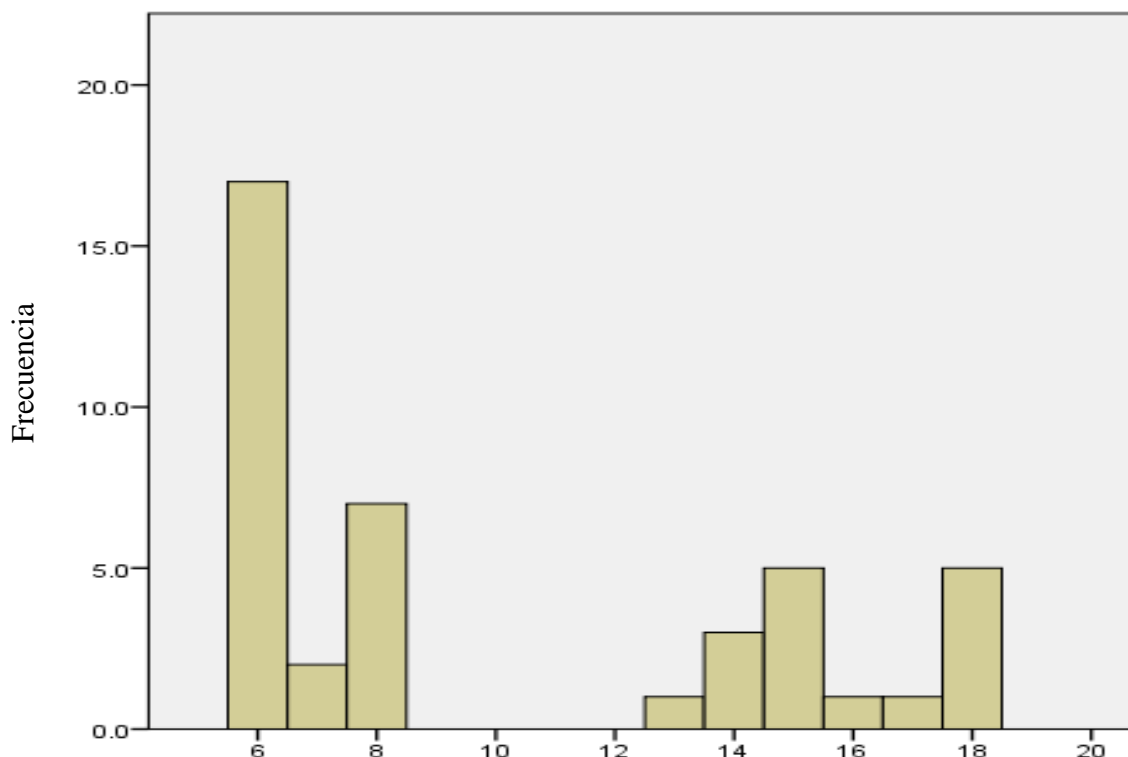


Figura 9. Histograma del año de establecimiento de la primera plantación de cacao de los productores en la ecorregión de Lachuá. Fuente: Elaboración propia (2021).

## 2) Diversificación de cultivos y especies animales en las familias productoras de cacao

El promedio general de cultivos producidos por agricultor fue de 2.43 especies diferentes cultivadas por cada productor de cacao entrevistado (Tabla 38). El promedio de otros cultivos (adicionales al cacao) producidos por agricultor mostró diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre ASOSELNOR y ASODIRP (Tabla 40). La asociación ASOSELNOR presentó la mayor diversificación en producción de cultivos (2.69 cultivos diferentes al cacao), seguida de KATBALPOM (2.64) y ASODIRP (2.00) (Tabla 41).



El porcentaje de otros cultivos (diferentes al cacao) producidos por los agricultores, en orden de importancia son: cardamomo (59.5%), maíz (45.2%), potreros para ganado bovino (11.9%), frijol (7.1%), forestales (7.1%) naranja (2.4%), pimienta (2.4%), piña (2.4%), plátano (2.4%), y chile (2.4%). Las asociaciones, que más reportaron producir cardamomo fueron ASOSELNOR (69.2%), seguida por ASODIRP (66.7%) y KATBALPOM (42.9%). Por otro lado, la asociación que más reportó producción de maíz fue KATBALPOM (57.1%), seguida de ASOSELNOR (53.8%) y ASODIRP (26.7%).

**Tabla 38. Estadísticos descriptivos para la variable número de cultivos producidos.**

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM	14	2.64	0.842	0.225	2.16	3.13	1	4
ASODIRP	15	2.00	0.535	0.138	1.70	2.30	1	3
ASOSELNOR	13	2.69	0.751	0.208	2.24	3.15	1	4
Total	42	2.43	0.770	0.119	2.19	2.67	1	4

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 39. Análisis de varianza para la variable número de cultivos producidos**

	Suma de cuadrados	GL <sup>a</sup>	Cuadrado medio	F	Sig.
Entre grupos	4.302	2	2.151	4.198	0.022
Dentro del grupo	19.984	39	0.512		
<b>Total</b>	<b>24.286</b>	<b>41</b>			

Nota: <sup>a</sup> Grados de libertad.

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 40. Prueba de comparaciones múltiples Tukey para la variable cultivos producidos.**

(I) Asociación	(J) Asociación	Diferencia de la media (I-J)	Error estándar	Sig.	95% Intervalo de confianza	
					Inferior	Superior
KATBALPO M	ASODIRP	0.64286	0.26601	0.052	-0.0052	1.2909
	ASOSELNOR	-0.04945	0.27571	0.982	-0.7212	0.6223
ASODIRP	KATBALPOM	-0.64286	0.26601	0.052	-1.2909	0.0052
	ASOSELNOR	-0.69231*	0.27125	0.038	-1.3531	-0.0315
ASOSELNOR	KATBALPOM	0.04945	0.27571	0.982	-0.6223	0.7212
	ASODIRP	0.69231*	0.27125	0.038	0.0315	1.3531

Nota: \* La diferencia de medias es significativa al nivel de 0.05.

Fuente: Elaboración propia (2021).



**Tabla 41. Separación de medias Tukey para la variable cultivos producidos.**

Asociación	N	Media $\pm$ DE
ASOSELNOR	13	2.69 $\pm$ 0.75 <sup>a</sup>
KATBALPOM	14	2.64 $\pm$ 0.84 <sup>ab</sup>
ASODIRP	15	2.00 $\pm$ 0.54 <sup>b</sup>

Fuente: Elaboración propia (2021).

El incremento en el consumo de alimentos de origen animal mejora la calidad de la dieta alimenticia en las familias del área rural; sin embargo, en muchos casos esta fuente de alimentos continúa siendo inaccesible e inasequible principalmente para mujeres y niños del área rural (Dumas, Lewis, y Travis, 2018). Por esta razón, la producción pecuaria en las familias del sector rural juega un papel importante para el mejoramiento de la seguridad alimentaria y nutricional (Dumas et al., 2018).

En el presente estudio se analizó la diversidad en la producción pecuaria de las familias productoras de cacao, la producción de pollos fue reportada por el 81% de las familias, cerdos (21.4%), patos (11.9%), bovinos (9.5%), pavos (7.1%), y peces (2.4%). La asociación que reportó el porcentaje de producción de pollos más alto fue ASOSELNOR (92.3%), seguida de ASODIRP (80%) y KATBALPOM (71.4%). La producción de cerdos fue mayor en ASODIRP (40%), seguida de ASOSELNOR (23.1%) y KATBALPOM (0%). La producción de peces únicamente se reportó en ASODIRP (20%) y la producción de patos se reportó únicamente en ASOSELNOR (30.8%) y ASODIRP (6.7%). En general, existió diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre el número de especies animales producidas entre las asociaciones (Tabla 43), esta diferencia se debe principalmente a KATBALPOM en comparación con las otras dos asociaciones (Tabla 44). El promedio más alto de diversificación de producción animal se observó en la asociación ASOSELNOR (1.62 especies animales en producción/persona) y ASODIRP



(1.53 especies animales en producción/persona), seguido KATBALPOM (0.86 especies animales en producción/persona) (Tabla 45).

En la región de Olancho en Honduras, el 66.1% de los productores reportaron la tenencia de animales para consumo y como ingreso adicional, principalmente debido a la producción y comercialización de bovinos (Sobalbarro-Figueroa et al., 2020). Además, los productores de esta región también reportaron la producción de cabras, ovejas, cerdos y aves para la obtención de ingresos adicionales y para autoconsumo (Sobalbarro-Figueroa et al., 2020).

**Tabla 42. Estadísticos descriptivos para la variable número de especies animales producidas.**

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM	14	0.8571	0.53452	0.14286	0.5485	1.1658	0.00	2.00
ASODIRP	15	1.5333	0.63994	0.16523	1.1789	1.8877	0.00	2.00
ASOSELNOR	13	1.6154	0.65044	0.18040	1.2223	2.0084	1.00	3.00
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>1.3333</b>	<b>0.68669</b>	<b>0.10596</b>	<b>1.1193</b>	<b>1.5473</b>	<b>0.00</b>	<b>3.00</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 43. Análisis de varianza para la variable número de especies animales producidas**

	Suma de cuadrados	GL <sup>a</sup>	Cuadrado medio	F	Sig.
Entre grupos	4.809	2	2.404	6.456	0.004
Dentro del grupo	14.525	39	0.372		
<b>Total</b>	<b>19.333</b>	<b>41</b>			

Nota: <sup>a</sup> Grados de libertad.

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 44. Prueba de comparaciones múltiples Tukey para la variable de especies animales producidas**

(I) Asociación	(J) Asociación	Diferencia de la media (I-J)	Error estándar	Sig.	95% Intervalo de confianza	
					Inferior	Superior
KATBALPO M	ASODIRP	-0.67619*	0.22678	0.013	-1.2287	-0.1237
	ASOSELNOR	-0.75824*	0.23505	0.007	-1.3309	-0.1856
ASODIRP	KATBALPOM	0.67619*	0.22678	0.013	0.1237	1.2287
	ASOSELNOR	-0.08205	0.23125	0.933	-0.6454	0.4813
ASOSELNOR	KATBALPOM	0.75824*	0.23505	0.007	0.1856	1.3309
	ASODIRP	0.08205	0.23125	0.933	-0.4813	0.6454

Nota: \* La diferencia de medias es significativa al nivel de 0.05. Fuente: Elaboración propia (2021).



**Tabla 45. Separación de medias Tukey para la variable de especies animales producidas.**

Asociación	N	Media $\pm$ DE
ASOSELNOR	13	1.62 $\pm$ 0.65 <sup>a</sup>
ASODIRP	15	1.53 $\pm$ 0.64 <sup>a</sup>
KATBALPOM	14	0.86 $\pm$ 0.53 <sup>b</sup>

Nota: \*\*Medias seguidas con igual letra no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ).

Fuente: Elaboración propia (2021).

### 3) Características de las plantaciones de cacao

El 16.7% de productores posee plantaciones híbridas (no injertadas) (Tabla 47), las cuales fueron establecidas principalmente durante los primeros proyectos que impulsaron el cultivo de cacao entre los años 2005 y 2007, en el marco del Proyecto Laguna Lachuá, implementado por UICN-INAB y apoyado por la cooperación de Holanda (UICN, 2013). Por otro lado, el 40.5% tiene únicamente plantaciones de cacao injertadas (Tabla 47), las cuales fueron promovidas inicialmente por el proyecto “Desarrollo de la cadena productiva de cacao para el mejoramiento de los medios de vida y la conservación de los corredores biológicos de la ecorregión Lachuá” ejecutado por UICN, en el cual se impulsó la identificación y registro de materiales genéticos y establecimiento de un jardín clonal para la producción de material genético para clonación y producción de más de 130,000 pantas injertadas durante los años 2013 y 2015 (UICN, 2013). Finalmente, el 42.8% reportó tener ambos tipos de plantación, cacao híbrido e injertado, lo que muestra la transición y el mejoramiento de las prácticas agrícolas del cultivo de cacao. El impulso del cultivo de cacao injertado se debe a que se ha observado que el uso de materiales híbridos presenta problemas de compatibilidad, baja producción y susceptibilidad a enfermedades (Pérez Siquinajay, 2015).

Los resultados mostraron que no existió diferencia estadística significativa ( $p > 0.05$ ) en el porcentaje de productores que cuenta con plantaciones híbridas, injertadas o ambas



en las diferentes asociaciones (Tabla 48), lo cual se debe a que el proyecto fue impulsado a nivel de ecorregión bajo los mismos lineamientos en las diferentes comunidades ya que las asociaciones presentes en las diferentes comunidades forman parte de FUNDALACHUA, que es una organización de segundo nivel, la cual coordina la estrategia del cultivo de cacao en la región.

**Tabla 46. Resumen del procesamiento de los casos para el tipo de siembra por asociación.**

	N	Válidos Porcentaje	N	Perdidos Porcentaje	N	Total Porcentaje
Tipo Siembra * Asociación	42	93.3%	3	6.7%	45	100.0%

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 47. Tabla de contingencia para tipo de siembra por asociación.**

			Localidad			Total
			KATBALPOM	ASODIRP	ASOSELNOR	
Tipo de siembra	Híbrido	Conteo	3	3	1	7
		% Asociación	21.4%	20.0%	7.7%	16.7%
	Híbrido e	Conteo	6	8	4	18
	Injertado	% Asociación	42.9%	53.3%	30.8%	42.8%
	Injertado	Conteo	5	4	8	17
		% Asociación	35.7%	26.7%	61.5%	40.5%
<b>Total</b>		<b>Conteo</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>42</b>
		<b>% Asociación</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 48. Prueba de Chi cuadrado ( $X^2$ ) para la variable tipo de siembra por asociación**

	Valor	GL	Significancia asintótica bilateral
Chi cuadrado de Pearson	3.956 <sup>a</sup>	4	0.412
Índice de probabilidad	4.017	4	0.404
<b>Número de casos validos</b>	<b>42</b>		

Nota: <sup>a</sup> 3 celdas (33.3%) tienen un conteo esperado menor a 5. El recuento mínimo esperado es 2.17

Fuente: Elaboración propia (2021).

Además, los resultados mostraron que la mayoría de los productores (71.4%) no tiene conocimiento sobre el tipo de material genético propagado y sembrado en sus plantaciones, el 16.7% identificó sus materiales genéticos como criollos, forasteros o



trinitarios, el 7.1% como CATIE's, ICS o árboles superiores, y el 4.8% como CATIE's (Tabla 50). El nivel de desconocimiento del material genético fue similar en las tres localidades evaluadas (Tabla 51), el cual puede estar relacionado con los bajos niveles de educación reportados previamente (Tabla 24) por los productores de la región, ya que este factor juega un papel importante en el nivel de innovación y aceptación de nuevas tecnologías e información.

Durante el proyecto “Desarrollo de la cadena productiva de cacao para el mejoramiento de los medios de vida y la conservación de los corredores biológicos de la ecorregión Lachúa” ejecutado por UICN, se identificaron y marcaron más de 180 árboles superiores en las diferentes comunidades productoras de cacao y además se estableció un jardín clonal con materiales genéticos identificados del CATIE y otros materiales regionales (Tabla 52), los cuales fueron utilizados para la propagación de las nuevas plantaciones de cacao injertadas a partir del año 2013 (UICN, 2013).

El proyecto inicial de establecimiento de plantaciones de cacao entre los años 2005 y 2007 se realizó mediante la propagación de plantas en vivero, durante esta fase inicial las plantas fueron propagados por semilla (no injertadas). Los cruces de materiales genéticos (Tabla 52) se realizaron debido a sus características de comportamiento productivo, adaptabilidad al medio y tolerancia a algunas enfermedades y plagas, los materiales utilizados en la mezcla fueron doce: CATONGO, CC-18, IMC-67, UF-12, UF-613, UF-296, UF-654, UF-677, UF-668, POUND -7, POUND 12, y SPA-9. Esto refleja la diversidad de la mezcla inicial de material genético introducido inicialmente a la ecorregión de Lachúa (UICN, 2011).



**Tabla 49. Resumen del procesamiento de los casos para la variable genética por asociación.**

	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Genética * Asociación	42	93.3%	3	6.7%	45	100.0%

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 50. Tabla de contingencia para genética por asociación.**

			Localidad			Total
			KATBALPOM	ASODIRP	ASOSELNOR	
Genética	CATIE's	Conteo	1	0	1	2
		% Asociación	7.1%	0.0%	7.7%	4.8%
	CATIE's, ICS, Árboles superiores	Conteo	3	0	0	3
		% Asociación	21.4%	0.0%	0.0%	7.1%
	Criollos, Forasteros y Trinitarios	Conteo	0	0	7	7
		% Asociación	0.0%	0.0%	53.8%	16.7%
	No sabe	Conteo	10	15	5	30
		% Asociación	71.4%	100.0%	38.5%	71.4%
Total		Conteo	14	15	13	42
		% Asociación	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 51. Prueba de Chi cuadrado ( $X^2$ ) para la variable genética por asociación.**

	Valor	GL	Significancia asintótica bilateral
Chi cuadrado de Pearson	26.423a	6	0.000
Índice de probabilidad	28.684	6	0.000
Número de casos validos	42		

Nota: <sup>a</sup> 9 celdas (75.0%) tienen un conteo esperado menor a 5. El recuento mínimo esperado es 0.62

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 52. Híbridos seleccionados de la FHIA y propagados en la ecorregión de Lachúa durante el inicio del proyecto de cacao (2006 - 2007).**

UF-613 X POUND 12	UF-613 X POUND-7	SPA-9 X UF-613
POUND -7 X CC-18	IMC-67 X UF-654	POUND-12 X UF-12
UF- 296 X CC-18	POUND-7 X UF-613	POUND-12 X UF-667
UF-668 X POUND-7	POUND-12 X CATONGO	UF-668 X IMC-67
IMC-67 X UF-613	UF-677 X IMC-67	UF-654 X POUND-7

Fuente:(UICN, 2011).

Con relación al uso de fertilizantes (orgánicos o inorgánicos), únicamente el 11.9% utiliza algún tipo de fertilizante en la producción de cacao (Tabla 54) y el 88.1% no fertiliza sus plantaciones. Estos resultados similares a los reportados por Lanz y Granado (2009), quienes reportaron que en el estado de Sucre en Venezuela, únicamente el 19% de los



productores realiza aplicación de fertilizantes en su plantación. Entre los productos utilizados estaban, fórmulas completas, abonos foliares, y abonos orgánicos elaborados a partir de estiércol de animales (Lanz y Granado, 2009). El incremento de la productividad de cacao por hectárea, a través de diferentes actividades, como la fertilización, ha sido parte importante en los diferentes proyectos de impulso del cultivo de cacao. Sin embargo, el uso de insumos agrícolas, incluyendo fertilizantes, sigue siendo un reto para los productores de la región, principalmente en la producción orgánica (Tapia, 2016b). La falta de planes de nutrición, selección de materiales productivos, distanciamientos de siembra, y manejo de podas pueden ser alguno de los motivos de los bajos rendimientos de cacao en la región (Tapia, 2016b).

Los resultados mostraron que el porcentaje de personas que fertilizan las plantaciones de cacao es diferente ( $p \leq 0.05$ ) dependiendo de la localidad de producción (Tabla 55). La asociación que reportó el mayor uso de fertilizante fue ASOSELNOR (30.8%), seguida de KATBALPOM (7.1 %) y ASODIRP (0%) (Tabla 54).

El impulso de la producción de cacao orgánico certificado fue impulsado por primera vez por UICN, a través de la certificación de 35 parcelas o fincas de cacao durante el año 2013. Esta primera experiencia en certificación permitió sentar las bases y mostrar el potencial de acceso a mercados de alto valor de la ecorregión de Lachuá (UICN, 2013). Durante el año 2016 se realizó la segunda certificación orgánica de la región apoyada por el socio comercial de FUNDALACHUA, la cual permitió que el cacao de la región fuera el primer cacao certificado orgánico de Guatemala comercializado en el mercado internacional. La certificación orgánica permite que el cacao se cote a precios especiales, superiores al cacao convencional, creando una ventaja competitiva para la región. Sin





embargo, a pesar de este éxito regional en la incursión de mercados de alto valor, todavía existen retos en el incremento de la productividad de las parcelas de cacao certificadas orgánicas, los rendimientos de cacao siguen estando por debajo de los rendimientos mínimos requeridos para un modelo de negocios sostenible. De acuerdo con Tapia (2016c), no existen distribuidores especializados para la producción orgánica de cacao, en función de las distintas etapas de desarrollo. En general la producción de abonos y fertilizantes de tipo orgánico es limitada, se requiere de la certificación y registro de otros insumos agropecuarios que se necesitan para la producción orgánica (Tapia, 2016c). La falta de diseños de planes de nutrición y fertilización para plantaciones orgánicas y no orgánicas (convencionales) ha sido una de las limitantes priorizadas en el eslabón de producción de la cadena de valor de cacao en Guatemala (Tapia, 2016c).

Es importante impulsar la certificación orgánica de plantaciones de cacao, complementada con paquetes tecnológicos para producción de cacao orgánico, que incluya el uso de fertilizantes, así como otros insumos agrícolas que cumplan con las regulaciones establecidas en los sistemas de control interno y reglamentos de la certificación orgánica. Por otro lado, en la ecorregión existen productores que poseen dos tipos de plantación, certificado orgánico y no certificado orgánico. Para ambos sistemas de producción debe existir un paquete tecnológico establecido para la producción de cacao y de esta manera mejorar la productividad por parcela independientemente del sistema de producción seleccionado.



**Tabla 53. Resumen del procesamiento de los casos de la pregunta ¿Fertiliza su plantación de cacao?**

	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
¿Fertiliza su plantación de cacao? * Asociación	42	93.3%	3	6.7%	45	100.0%

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 54. Tabla de contingencia por asociación para la pregunta ¿Fertiliza su plantación de cacao?**

		KATBALPOM	Localidad ASODIRP	ASOSELNOR	Total
¿Fertiliza su plantación de cacao?	No	Conteo	13	9	37
		% Asociación	92.9%	69.2%	88.1%
	Si	Conteo	1	4	5
		% Asociación	7.1%	0.0%	30.8%
Total	Conteo	14	14	15	42
	% Asociación	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 55. Prueba de Chi cuadrado ( $X^2$ ) para la pregunta ¿Fertiliza su plantación de cacao?**

	Valor	GL	Significancia asintótica bilateral
Chi cuadrado de Pearson	6.741 <sup>a</sup>	2	0.034
Índice de probabilidad	7.409	2	0.025
Número de casos validos	42		

Nota: <sup>a</sup> 3 celdas (50.0%) tienen un conteo esperado menor a 5. El recuento mínimo esperado es 1.55

Fuente: Elaboración propia (2021).

La ecorregión de Lachuá cuenta con un centro de acopio para el procesamiento centralizado de cacao en baba en cada una de las asociaciones de estudio (KATBALPOM, ASODIRP y ASOSELNOR), las cuales fueron construidas en el año 2012 con apoyo financiero de Ministerio de Economía-FUNDASITEMAS y CATIE (UICN, 2013) y han recibido remodelaciones y contribuciones de diferentes actores directos e indirectos de la cadena para el fortalecimiento de la capacidad de procesamiento de cacao. El sistema de procesamiento es centralizado, es decir que la fermentación y secado del cacao se realiza en el centro de fermentación de cada asociación, esto permite tener mejor control de la calidad y consistencia del producto.



Durante la cosecha las organizaciones establecen un calendario de compra, el cual consiste en la compra de cacao cada dos semanas (15 días) durante los primeros y los últimos meses de la época de cosecha (época de baja producción), y cada semana (siete días) durante los meses de alta producción. Dependiendo de la asociación, los productores llegan a los centros de procesamiento para la venta del cacao y en otros casos, las asociaciones utilizan vehículos para la compra y visitan diferentes zonas de las comunidades durante las fechas de compra. Los sistemas de comercialización de cacao son diferentes en las asociaciones, principalmente en KATBALPOM, la cual cubre una región geográfica mayor debido a que los productores de cacao se encuentran dispersos en diferentes comunidades. Por lo tanto, la estructura de costos de cada asociación requiere de sistemas de comercialización y precio diferentes, que se ajusten a las necesidades de cada organización.

En la comercialización de cacao fresco (en baba) en la ecorregión se han implementado dos sistemas, la compra de cacao drenado (sin líquido o baba) y cacao no drenado (con líquido o baba), la cual influye considerablemente en el peso de cacao pagado a cada productor, esto debido a que el contenido de baba o líquido en el producto depende del tiempo entre la cosecha de las mazorcas de cacao, apertura y pesado del producto al momento de la compra. Este periodo de tiempo entre la cosecha y la venta se ve afectada por diversos factores, entre los que se pueden mencionar: distancia (ubicación) de la parcela o finca de cacao de cada productor, disponibilidad de mano de obra durante la cosecha, área a cosechar, y ubicación en la ruta de compra de cacao de la asociación (al inicio o al final del día de compra). Todos los factores mencionados anteriormente



impactan en el peso al momento de la venta y por lo tanto en el nivel de conformidad de los productores en el tipo de comercialización de cacao en baba (drenado o no drenado).

En este caso, los resultados mostraron que la mayoría de los productores (74.4%) prefiere la comercialización de cacao no drenado y únicamente el 25.6% prefiere la otra modalidad de comercialización (Tabla 57). Sin embargo, estos resultados fueron diferentes ( $p \leq 0.05$ ) de acuerdo con la localidad de procesamiento (Tabla 58). Las asociaciones que prefieren la comercialización de cacao fresco (no drenado) fueron KATBALPOM (85.7%) y ASOSELNOR (100%). Por otro lado, en la asociación ASODIRP la mayoría (53.3%) de los productores entrevistados prefiere la comercialización de cacao drenado.

**Tabla 56. Resumen del procesamiento de los casos para la pregunta ¿Qué método de comercialización de cacao prefiere?**

	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
¿Qué método de comercialización de cacao en baba prefiere?* Asociación	39	92.9%	3	7.1%	42	100.0%

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 57. Tabla de contingencia por asociación para la pregunta ¿Qué método de comercialización de cacao en baba prefiere?**

			Localidad			Total
			KATBALPOM	ASODIRP	ASOSELNOR	
¿Qué método de comercialización de cacao en baba prefiere?	Drenado	Conteo	2	8	0	10
		% Asociación	14.3%	53.3%	0.0%	25.6%
	No drenado	Conteo	12	7	10	29
		% Asociación	85.7%	46.7%	100.0%	74.4%
Total		Conteo	14	15	10	39
		% Asociación	100.0%	100.0%	100.0%	100%

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 58. Prueba de Chi cuadrado ( $X^2$ ) para la pregunta ¿Qué método de comercialización de cacao en baba prefiere?**

	Valor	GL	Significancia asintótica bilateral
Chi cuadrado de Pearson	10.428 <sup>a</sup>	2	0.005
Índice de probabilidad	12.192	2	0.002
Número de casos validos	39		

Nota: <sup>a</sup> 3 celdas (50.0%) tienen un conteo esperado menor a 5. El recuento mínimo esperado es 2.56

Fuente: Elaboración propia (2021).



Según Say y Villalobos (2012) los precios de cacao (fermentado o lavado) variaron de Q750.00 a Q1, 000.00 por quintal en el año 2007 y de Q650.00 a Q1, 400.00 por quintal para el año 2012. Esta variabilidad en el precio del producto en el mercado fue confirmada posteriormente por Ochoa (2015), quien reportó que el precio de cacao se encontraba en un rango de Q700.00 a Q 1,350.00 por quintal dependiendo del área de producción y la calidad de los granos de cacao. Por esta razón, el mejoramiento de calidad y consistencia del cacao para la búsqueda de mercados diferenciados ha sido impulsado con éxito como alternativa sostenible para la comercialización de cacao en la región.

El primer contrato de exportación de cacao de Lachuá, y en general la primera exportación de cacao por asociaciones de pequeños productores de cacao en la historia reciente, se realizó en el año 2013 en un contrato establecido entre FUNDALACHUA y la empresa *Lake Champlain Chocolates* de Estados Unidos, con lo cual se logró exportar 6.07 toneladas métricas (133.78 quintales) con un ingreso líquido para la región de \$ 19,445.81 (UICN, 2013).

Sin embargo; luego de seis años de exportar cacao al mercado internacional, la mayoría de los productores entrevistados (63.9%) no está conforme con el precio actual de compra (Tabla 60), y esta inconformidad es generalizada en las tres localidades, ya que no se observó diferencia ( $p > 0.05$ ) entre las tres regiones de estudio (Tabla 61). Según

ACG (2016), de acuerdo con los ingresos reportados de productores que están exportando o vendiendo su producto, semilla de cacao, el precio por tonelada métrica a nivel nacional oscila entre \$ 2,800.00 a \$ 3,500.00. Con relación a la venta de producto para exportación, el precio por tonelada oscila entre \$ 3,500.00 a \$ 4,300.00.



La inconformidad de los productores de cacao puede ser por la baja rentabilidad del cultivo de cacao en comparación con otros cultivos. Sin embargo, la rentabilidad del cultivo no está relacionado únicamente con el precio de venta, sino también depende del total del área cultivada, la productividad por unidad de área, y calidad y consistencia del producto final. De acuerdo con ACG (2016), si se considera que cada familia pueda producir por lo menos media tonelada al año, sus ingresos reportados serían en promedio \$ 1,400.00 anuales, de acuerdo con el precio inferior reportado o su equivalente en moneda nacional de Q 11,200.00 anuales. Esto mejoraría significativamente los ingresos económicos de las familias productoras, convirtiéndose en un medio principal para mejorar la calidad de vida de las personas en el área rural en estricto apego a la Política Nacional de Desarrollo Rural Integral (PNDRI).

Actualmente los rendimientos reportados en la región son de 231.81 kg/ha de cacao seco (Tabla 36), los cuales están por debajo del rendimiento mínimo requerido para que el cacao sea un cultivo rentable (Espinosa-García et al., 2015; Espinoza Chávez y Sichique Sánchez, 2013; Montes Montiel, 2016; Orozco-Aguilar y López Sampson, 2016). Otro de los factores que contribuye con la inconformidad de los productores, es la volatilidad de los precios del mercado local de Guatemala, los cuales puede llegar a ser competitivos e incluso superiores a los precios de exportación, especialmente en épocas de baja oferta de cacao en el país, lo cual hace más atractiva la comercialización a nivel nacional en comparación con la exportación.



**Tabla 59. Resumen del procesamiento de los casos por asociación para la pregunta ¿Está conforme con el precio de cacao en baba que recibe?**

	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
¿Está conforme con el precio de cacao en baba que recibe? * Asociación	36	85.7%	6	14.3%	42	100.0%

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 60. Tabla de contingencia por asociación para la pregunta ¿Está conforme con el precio de cacao en baba que recibe?**

			KATBALPOM	Localidad ASODIRP	ASOSELNOR	Total
¿Está conforme con el precio de cacao en baba que recibe?	No	Conteo	8	9	6	23
		% Asociación	57.1%	60.0%	85.7%	63.9%
	Si	Conteo	6	6	1	13
		% Asociación	42.9%	40.0%	14.3%	36.1%
Total		Conteo	14	15	7	36
		% Asociación	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 61. Prueba de Chi cuadrado ( $X^2$ ) para la pregunta ¿Está conforme con el precio de cacao en baba que recibe?**

	Valor	GL	Significancia asintótica bilateral
Chi cuadrado de Pearson	1.820 <sup>a</sup>	2	0.403
Índice de probabilidad	2.039	2	0.361
<b>Número de casos validos</b>	<b>36</b>		

Nota: <sup>a</sup> 2 celdas (33.3%) tienen un conteo esperado menor a 5. El recuento mínimo esperado es 2.53

Fuente: Elaboración propia (2021).

Todos los productores de cacao entrevistados expresaron interés en tener acceso a más y mejores opciones de mercado, entre las principales razones de esta necesidad se encuentran: mejor precio (69.0%), incrementar la competencia para fortalecer las capacidades de negociación (28.6%) y exceso de oferta de cacao (2.4%) (Tabla 63).

**Tabla 62. Resumen del procesamiento de los casos para la pregunta ¿Por qué cree necesario tener más opciones de mercado?**

	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
¿Por qué cree necesario tener más opciones de mercado? * Asociación	42	100.0%	0	0.0%	42	100.0%

Fuente: Elaboración propia (2021).



**Tabla 63. Tabla de contingencia por asociación para la pregunta ¿Por qué cree necesario tener más opciones de mercado? \* Asociación.**

			Localidad			Total
			KATBALPO M	ASODIR P	ASOSELNO R	
¿Por qué cree necesario tener más opciones de mercado?	Competencia de mercado	Conteo	0	2	10	12
		% Asociación	0.0%	13.3%	76.9%	28.6%
	Mejorar el precio	Conteo	13	13	3	29
		% Asociación	92.9%	86.7%	23.1%	69.0%
	Exceso de oferta	Conteo	1	0	0	1
		% Asociación	7.1%	0.0%	0.0%	2.4%
Total		Conteo	14	15	13	42
		% Asociación	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 64. Prueba de Chi cuadrado ( $X^2$ ) para la pregunta ¿Por qué cree necesario tener más opciones de mercado?**

	Valor	GL	Significancia asintótica bilateral
Chi cuadrado de Pearson	23.659 <sup>a</sup>	4	0.000
Índice de probabilidad	25.993	4	0.000
<b>Número de casos validos</b>	<b>42</b>		

Nota: <sup>a</sup> 6 celdas (66.7%) tienen un conteo esperado menor a 5. El recuento mínimo esperado es 0.31

Fuente: Elaboración propia (2021).

El modelo de producción de cacao en la ecorregión de Lachuá ha contribuido al mejoramiento de este sector en el país, ya que ha permitido la restauración del paisaje forestal, la reducción del avance de la frontera agrícola, la generación de ingresos económicos a las familias del sector rural y la modernización del sector agrícola a través del fomento de las exportaciones (ACG, 2016; UICN, 2013) y este modelo ha sido replicado en otras regiones del país. Sin embargo; a pesar del éxito que el cultivo ha tenido en la región, el 55% de los productores no está interesado incrementar el área para la producción de cacao (Tabla 66) y esta opinión es similar entre las tres localidades de estudio (Tabla 67). La asociación que expresó menos interés en incrementar el área de producción de cacao fue KATBALPOM (64.3%) y en las asociaciones de ASODIRP y ASOSELNOR, la opinión se encuentra dividida.





Sin embargo, la mayoría de los productores de cacao (97.6%) están interesados en explorar opciones para iniciar con el procesamiento de cacao y chocolate para mejorar el ingreso económico de las familias, mejorar el precio de cacao en grano, y agregar valor a la materia prima producida en la región.

**Tabla 65. Resumen del procesamiento de los casos por asociación para la pregunta ¿Está considerando sembrar más cacao?**

	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
¿Está considerando sembrar más cacao? * Asociación	40	95.2%	2	4.8%	42	100.0%

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 66. Tabla de contingencia por asociación para la pregunta ¿Está considerando sembrar más cacao?**

			KATBALPOM	Localidad ASODIRP	ASOSELNOR	Total
¿Está considerando sembrar más cacao?	No	Conteo	9	7	6	22
		% Asociación	64.3%	46.7%	54.5%	55.0%
	Si	Conteo	5	8	5	18
		% Asociación	35.7%	53.3%	45.5%	45.0%
Total		Conteo	14	15	11	40
		% Asociación	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 67. Prueba de Chi cuadrado ( $X^2$ ) para la pregunta ¿Está considerando sembrar más cacao?**

	Valor	GL	Significancia asintótica bilateral
Chi cuadrado de Pearson	0.910 <sup>a</sup>	2	0.635
Índice de probabilidad	0.916	2	0.633
Número de casos validos	40		

Nota:<sup>a</sup> 1 celdas (16.7%) tienen un conteo esperado menor a 5. El recuento mínimo esperado es 4.95

Fuente: Elaboración propia (2021).



#### 4.1.2 Determinación del procedimiento óptimo de fermentación de cacao en la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz.

##### a. Condiciones ambientales de las instalaciones de fermentación

##### 1) Temperatura ambiente del área de procesamiento

##### Análisis de varianza

Los resultados del análisis de varianza mostraron que los factores que fueron significativos ( $p \leq 0.05$ ) en la variable temperatura ambiente del área de fermentación fueron localidad y día de fermentación. En la interacción de factores se observó que la única interacción significativa ( $p \leq 0.05$ ) para la variable temperatura ambiente del área de fermentación fue la interacción entre localidad de procesamiento y masa de fermentación (Tabla 68).

**Tabla 68. Análisis de varianza para la variable temperatura ambiente.**

Factores e interacciones	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F	Sig.
Localidad	2904.241	2	1452.121	58.251	0.000
Masa	4.956	2	2.478	0.099	0.905
Día	439.971	8	54.996	2.206	0.028
Localidad*Masa	423.049	4	105.762	4.243	0.002
Localidad*Día	349.338	16	21.834	0.876	0.598
Masa* Día	240.117	16	15.007	0.602	0.881
Localidad*Masa*Día	462.416	32	14.451	0.580	0.967
Error	6057.650	243	24.929		
<b>Total corregido</b>	<b>10881.740</b>	<b>323</b>			

Fuente: Elaboración propia (2021).

De acuerdo con los resultados estadísticos descriptivos, el promedio de temperatura ambiente del área de fermentación para la ecorregión fue de 35.74°C, con un valor mínimo de temperatura de 25.6°C reportado en ASODIRP y el valor máximo de 55.07°C reportado en KATBALPOM (Tabla 69). El análisis del factor localidad mediante la prueba de separación de medias Tukey mostró que existe diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.05$ )

entre la temperatura ambiente del área de fermentación de la asociación KATBALPOM y



las otras dos asociaciones, ASOSELNOR y ASODIRP (Tabla 70). El promedio más alto de temperatura del área de fermentación se reportó en KATBALPOM con 39.94°C, seguido de ASOSELNOR con 34.11°C y ASODIRP con 33.17°C (Tabla 70).

**Tabla 69. Estadísticos descriptivos para la variable temperatura ambiente por localidad**

Localidad	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM	108	39.94	5.157	0.496	38.95	40.92	27.1	55.07
ASODIRP	108	33.17	5.438	0.523	32.13	34.21	25.6	50.67
ASOSELNOR	108	34.11	4.289	0.413	33.29	34.93	27.2	51.60
<b>Promedio</b>	<b>324</b>	<b>35.74</b>	<b>5.804</b>	<b>0.322</b>	<b>35.10</b>	<b>36.37</b>	<b>25.6</b>	<b>55.07</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 70. Separación de medias Tukey para la variable temperatura ambiente por localidad.**

Localidad	N	Media $\pm$ DE
KATBALPOM	108	39.94 $\pm$ 5.16 <sup>a</sup>
ASOSELNOR	108	34.11 $\pm$ 4.29 <sup>b</sup>
ASODIRP	108	33.17 $\pm$ 5.44 <sup>b</sup>

Nota: \*Medias seguidas con igual letra no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ).

Fuente: Elaboración propia (2021).

La temperatura ambiente del área de fermentación en la asociación KATBALPOM fue significativamente superior durante todos los días de procesamiento, inclusive al día cero de procesamiento. Por otro lado; las otras dos asociaciones (ASODIRP y ASOSELNOR) presentaron comportamientos similares. En general, se observó un ligero incremento en la temperatura ambiente del área de fermentación conforme avanzaba el proceso (Figura 10), ese leve incremento puede estar relacionado a la capacidad de las instalaciones de procesamiento a retener el calor generado durante la fermentación, lo cual permite tener mejores condiciones de procesamiento.



Esta tendencia de incremento de la temperatura ambiente del área de fermentación en los últimos días de procesamiento también fue reportado previamente por Hernández-Hernández et al. (2016) y Papalexandratou, Vrancken, De Bruyne, Vandamme, y De Vuyst (2011) en México y Brasil. La temperatura ambiente del área de procesamiento es un parámetro importante en el proceso de fermentación de cacao, debido a que es un indicador de la capacidad de la infraestructura de retener el calor generado durante la fermentación (Wood, 2001). Las instalaciones que no son aisladas adecuadamente no permiten la conservación del calor generado durante este proceso, lo cual impacta en la calidad de la fermentación (Garcia Gonzalez et al., 2019).

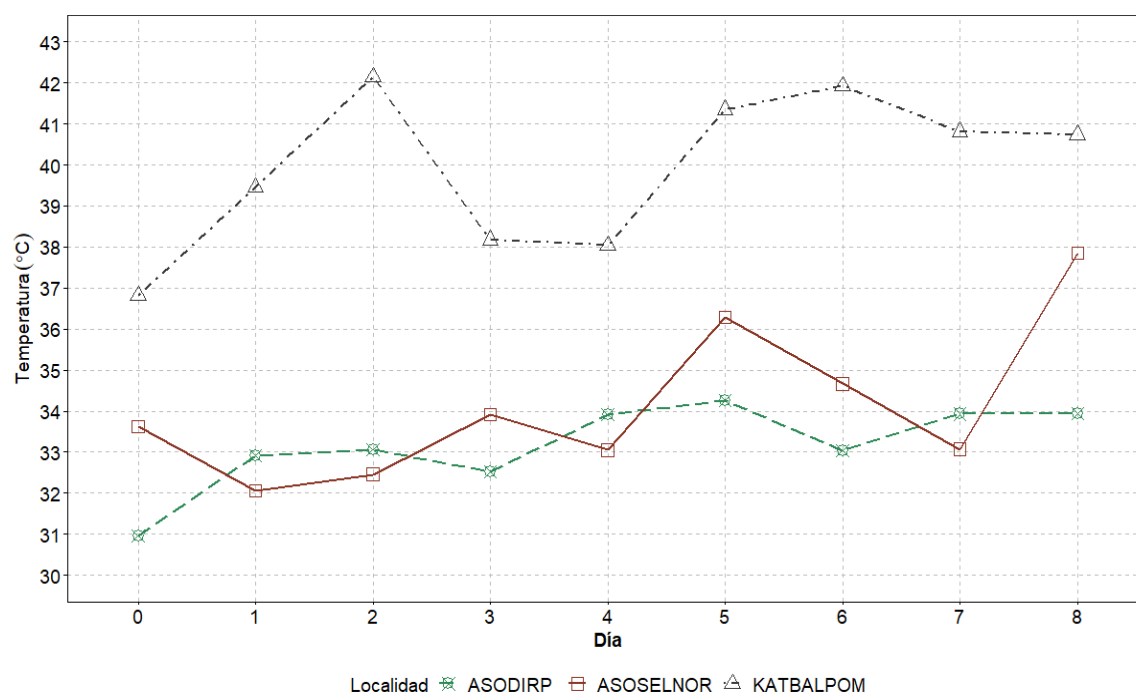


Figura 10. Temperatura ambiente del área de fermentación por localidad de procesamiento. Fuente: Elaboración propia (2021)

Durante el análisis de la temperatura ambiente del área de fermentación por día de procesamiento se observó que la temperatura tuvo un comportamiento similar durante los diferentes días, con valores mínimos reportados en un rango de 25.6-29.1°C y valores máximos en un rango de 44.4-55.07°C (Tabla 71). Mediante la separación de medias Tukey

se determinó que existen diferencias estadísticas significativas para la temperatura ambiente del área de fermentación únicamente entre los días 0 y 8 de procesamiento ( $p \leq 0.05$ ).

El valor promedio más alto se obtuvo al día 8, con un valor de 37.51°C; mientras que el valor más bajo se obtuvo al día 0 de fermentación, con una temperatura de 33.80°C (Figura 11). La temperatura dentro de los días intermedios no presentó diferencia estadística significativa ( $p > 0.05$ ) (Tabla 72). El valor más bajo reportado en el día cero de fermentación fue debido a que al inicio del proceso no existe actividad microbiana y por lo tanto no existe generación de calor debido a la fermentación de cacao. Por otro lado; conforme avanza la fermentación la actividad microbiana incrementa, generando calor durante el proceso y alcanzando temperaturas máximas al finalizar el procesamiento (Wood, 2001). En una investigación sobre fermentación de cacao en Brasil se reportó valores de temperatura dentro de las instalaciones de fermentación en un rango de 31 a 44°C, obteniendo los valores más altos también al final del sexto día de fermentación (Papalexandratou et al., 2011), resultados similares a los obtenidos en el presente estudio.

Por otro lado, Hernández-Hernández et al. (2016) reportó resultados inferiores, con un rango de temperatura de 25-35°C dentro de las instalaciones de fermentación desde el día 0 hasta el día 7. Sin embargo; los valores mostraron la misma tendencia, obteniendo los valores más altos en los últimos días de procesamiento, provocado por el calor generado por la masa de fermentación. Meza Sepúlveda (2017) reportó valores de temperatura del área de proceso en un rango de 21.4 a 27°C, obteniendo un valor máximo al segundo día de procesamiento.



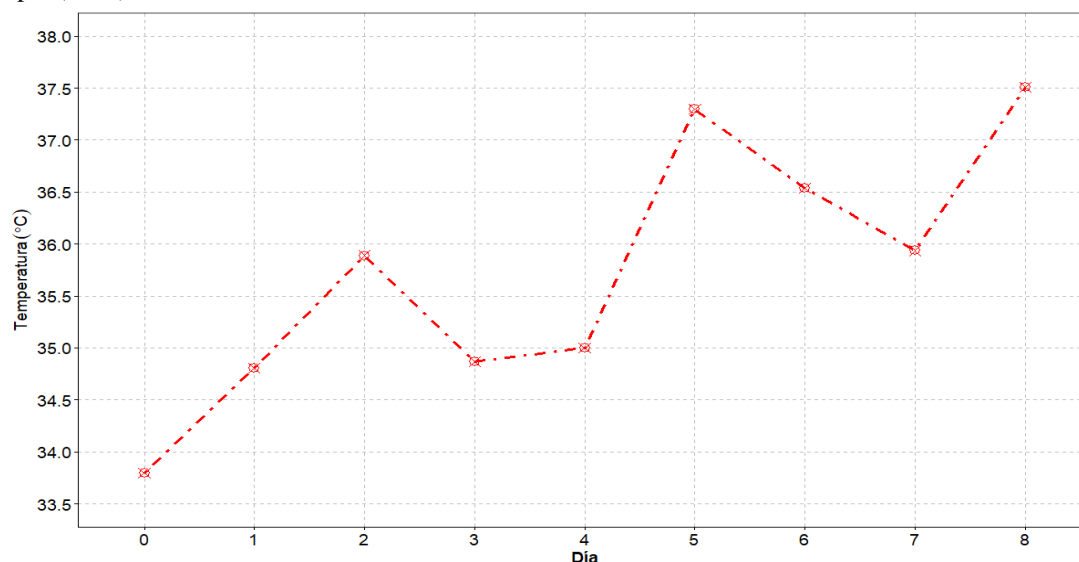
**Tabla 71. Estadísticos descriptivos para la variable temperatura ambiente por día de fermentación.**

Día de fermentación	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
0	36	33.80	4.020	0.670	32.44	35.16	27.2	44.4
1	36	34.81	4.318	0.720	33.35	36.27	27.9	49.43
2	36	35.89	6.111	1.018	33.82	37.96	27.1	49.20
3	36	34.87	6.044	1.007	32.82	36.91	27.1	50.70
4	36	35.00	6.374	1.062	32.85	37.16	27.8	50.23
5	36	37.30	5.892	0.982	35.30	39.29	29.1	51.60
6	36	36.54	5.737	0.956	34.60	38.48	25.6	50.97
7	36	35.94	6.024	1.004	33.90	37.97	25.6	52.83
8	36	37.51	6.717	1.119	35.24	39.78	25.6	55.07
<b>Promedio</b>	<b>324</b>	<b>35.74</b>	<b>5.804</b>	<b>0.322</b>	<b>35.10</b>	<b>36.37</b>	<b>25.6</b>	<b>55.07</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 72. Separación de medias Tukey para la variable temperatura ambiente por día de fermentación.**

Día de fermentación	N	Media $\pm$ DE
8	36	37.51 $\pm$ 6.72 <sup>a</sup>
5	36	37.30 $\pm$ 5.89 <sup>ab</sup>
6	36	36.54 $\pm$ 5.74 <sup>ab</sup>
7	36	35.94 $\pm$ 6.02 <sup>ab</sup>
2	36	35.89 $\pm$ 6.11 <sup>ab</sup>
4	36	35.00 $\pm$ 6.37 <sup>ab</sup>
3	36	34.87 $\pm$ 6.04 <sup>ab</sup>
1	36	34.81 $\pm$ 4.32 <sup>ab</sup>
0	36	33.80 $\pm$ 4.02 <sup>b</sup>

Nota: \*Medias seguidas con igual letra no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ). Fuente: Elaboración propia (2021).**Figura 11. Temperatura ambiente del área de procesamiento por día de fermentación.** Fuente: Elaboración propia (2021).

La interacción entre los factores localidad y masa de procesamiento (Localidad\*Masa) fue significativa ( $p \leq 0.05$ ) para la variable temperatura ambiente. Este parámetro fue superior ( $p \leq 0.05$ ) en la asociación KATBALPOM independientemente de la masa de procesamiento (5, 8 y 11 quintales), con valores de 41.58, 38.06 y 40.17°C respectivamente. En las otras dos localidades (ASODIRP Y ASOSELNOR) no existió diferencia significativa entre el procesamiento de diferentes masas (Tabla 74). Estos resultados de los valores de la temperatura del ambiente de proceso presentan la misma tendencia que la temperatura de la masa de fermentación, donde KATBALPOM también reportó mayores valores de temperatura en las tres masas (Tabla 92), lo cual indica que los valores de temperatura del área de procesamiento están estrechamente relacionados a la temperatura generada por la fermentación.

Los altos valores de temperatura ambiente del área de fermentación reportados en KATBALPOM pueden ser debido a que esta asociación posee un mejor diseño y localización del área de procesamiento, el cual permite mejor retención del calor generado durante el proceso. Las tres asociaciones se encuentran dentro de la misma ecorregión de Lachuá, lo cual hace poco probable que exista una diferencia significativa en la temperatura del ambiente (microclima) entre las tres comunidades. Según el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), la temperatura ambiente para la ecorregión de Lachuá es de 25.3°C (Medina Müller, 2012). Por lo tanto, las diferencias en la temperatura del área de procesamiento de cacao en las diferentes comunidades, puede estar más relacionadas a los factores de diseño del área de procesamiento y la masa total en fermentación.



**Tabla 73. Estadísticos descriptivos para la variable temperatura ambiente por localidad y masa de fermentación (Localidad\*Masa).**

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM 11	36	40.17	4.329	0.722	38.70	41.63	27	49
KATBALPOM 08	36	38.06	4.747	0.791	36.45	39.67	27	49
KATBALPOM 05	36	41.58	5.792	0.965	39.62	43.54	32	55
ASODIRP 11	36	32.56	3.923	0.654	31.23	33.88	27	49
ASODIRP 08	36	34.92	7.296	1.216	32.45	37.38	27	51
ASODIRP 05	36	32.03	4.114	0.686	30.64	33.43	26	49
ASOSELNOR 11	36	34.15	3.943	0.657	32.82	35.48	27	49
ASOSELNOR 08	36	34.75	4.989	0.832	33.07	36.44	27	49
ASOSELNOR 05	36	33.42	3.858	0.643	32.11	34.72	27	52
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>35.74</b>	<b>5.804</b>	<b>0.322</b>	<b>35.10</b>	<b>36.37</b>	<b>26</b>	<b>55</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

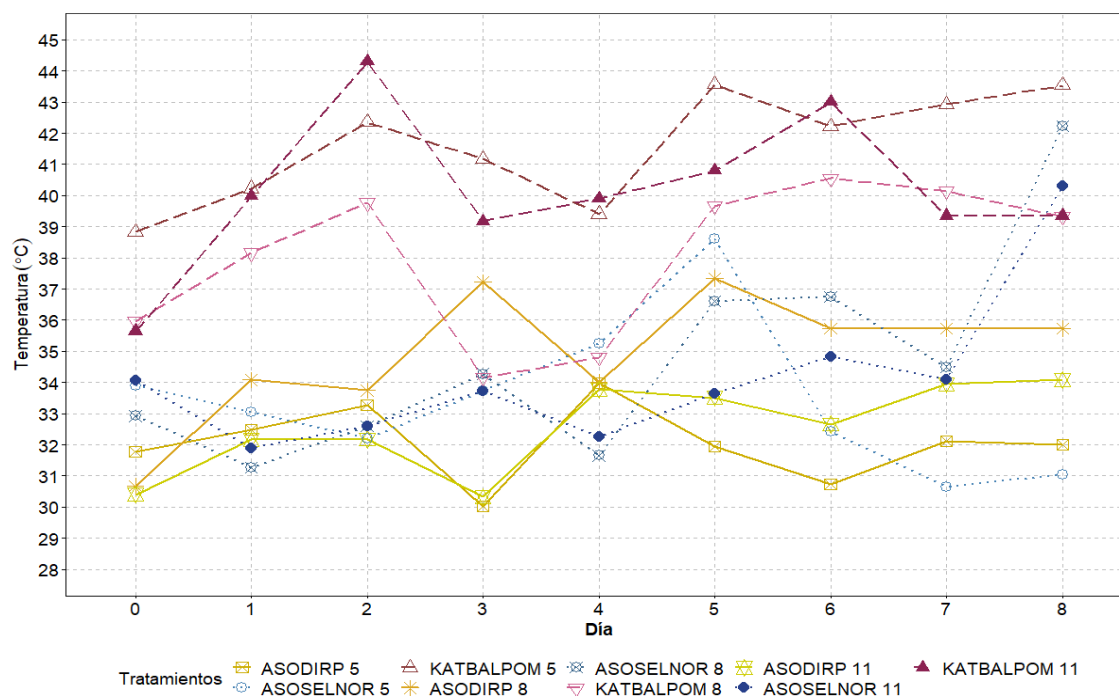
**Tabla 74. Separación de medias Tukey para la variable temperatura ambiente por localidad y masa de fermentación (Localidad\*Masa).**

Masa	Localidad		
	5	8	11
Localidad	Media $\pm$ DE	Media $\pm$ DE	Media $\pm$ DE
<b>KATBALPOM</b>	41.58 $\pm$ 5.79 <sup>a(X)</sup>	38.06 $\pm$ 4.75 <sup>b(X)</sup>	40.17 $\pm$ 4.33 <sup>ab(X)</sup>
<b>ASOSELNOR</b>	33.42 $\pm$ 3.86 <sup>a(Y)</sup>	34.75 $\pm$ 4.99 <sup>a(Y)</sup>	34.15 $\pm$ 3.94 <sup>a(Y)</sup>
<b>ASODIRP</b>	32.03 $\pm$ 4.11 <sup>b(Y)</sup>	34.92 $\pm$ 7.30 <sup>a(Y)</sup>	32.56 $\pm$ 3.92 <sup>ab(Y)</sup>

Nota: \*Medias seguidas con igual letra minúscula en la fila no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ).

\*Medias seguidas con igual letra mayúscula en la columna no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ). \*\*

DE: Desviación estándar. Fuente: Elaboración propia (2021).



**Figura 12. Temperatura ambiente por localidad y masa de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021).**



La temperatura ambiente dentro de las instalaciones del área de fermentación es un variable importante que se debe monitorear durante el proceso de fermentación debido a que es un indicador sobre la eficiencia de las instalaciones para tener el calor que se genera durante el proceso. Es importante que las instalaciones sean diseñadas para retener al máximo el calor generado durante los días soleados y durante el proceso de fermentación (Figura 13), ya que esto permitirá tener una temperatura constante durante las noches y en los días de escasa luz solar, especialmente durante el procesamiento de pequeñas masas y durante la época lluviosa y de bajas temperaturas. Esto permitirá mejor consistencia en el proceso de fermentación y, por lo tanto, mayor consistencia en la calidad del producto final. Umaña Calderon (2013) reportó deficiencia en el perfil de temperaturas de la masa de fermentación debido al efecto de las bajas temperaturas ambientales ( $20\text{-}23^{\circ}\text{C}$ ) durante el procesamiento y el diseño deficiente de las instalaciones de fermentación, resultando en una mala calidad del producto final.

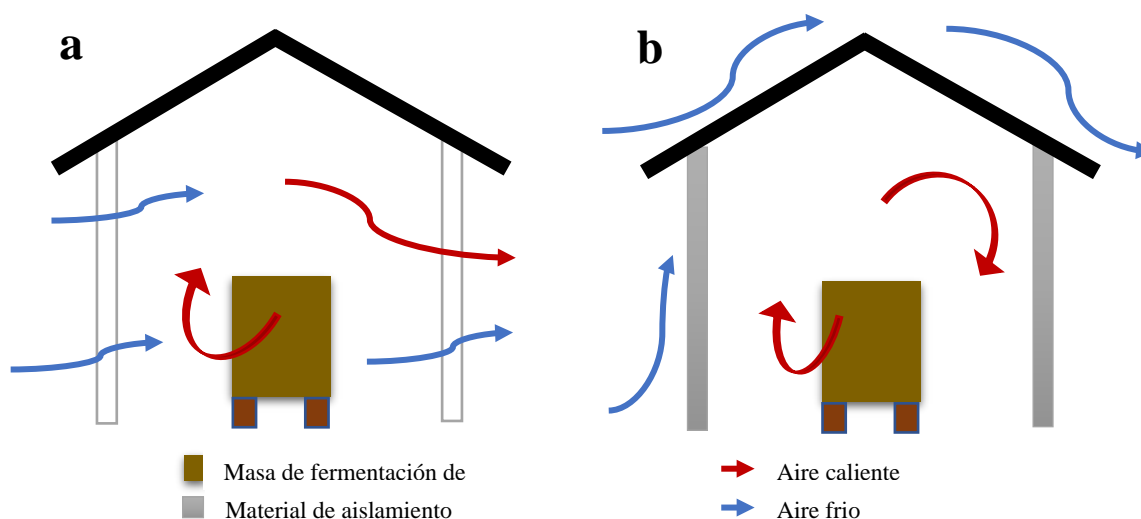


Figura 13. Importancia del diseño del área de fermentación. a) Pérdida de calor por falta de aislamiento. b) Conservación de calor generado durante el proceso. Fuente: Elaboración propia (2021).

## 2) Humedad relativa del área de procesamiento

### Análisis de varianza

Los resultados del análisis de varianza para la variable humedad relativa mostraron que los factores con significancia estadística para la variable humedad relativa fueron localidad, masa de fermentación y día de fermentación (Tabla 75). El análisis de interacción de factores mostró que la única interacción de factores significativa fue entre localidad y masa de procesamiento (Localidad\*Masa) (Tabla 75).

**Tabla 75. Análisis de varianza para la variable humedad relativa**

Factores e interacciones	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F	Sig.
Localidad	2.794	2	1.397	88.767	0.000
Masa	0.120	2	0.060	3.822	0.023
Día	0.310	8	0.039	2.462	0.014
Localidad * Masa	0.345	4	0.086	5.478	0.000
Localidad * Día	0.285	16	0.018	1.133	0.325
Masa * Día	0.132	16	0.008	0.525	0.933
Localidad * Masa * Día	0.236	32	0.007	0.468	0.994
Error	3.825	243	0.016		
<b>Total corregido</b>	<b>8.048</b>	<b>323</b>			

Fuente: Elaboración propia (2021).

El promedio general de humedad relativa para la ecorregión fue 59.36%, el valor menor fue de 24% el cual se reportó en la asociación KATBALPOM, y el valor máximo reportado fue de 97% en ASODIRP (Tabla 76). El análisis del factor localidad, a través de los resultados de la separación de medias Tukey mostraron que la humedad relativa de las asociaciones ASODIRP y ASOSELNOR es mayor que la reportada en KATBALPOM (Tabla 77). La asociación KATBALPOM presentó los menores porcentajes de humedad durante todos los días de procesamiento (Figura 14) y fue la que presentó la mayor temperatura ambiente (Tabla 70). La capacidad del aire para retener humedad es mayor a medida que incrementa su temperatura, y si la masa de agua presente en el aire permanece constante, el porcentaje de humedad en el ambiente se reduce significativamente.



**Tabla 76. Estadísticos descriptivos para la variable humedad relativa por localidad**

Localidad	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM	108	0.4681	0.11512	0.01108	0.4461	0.4900	0.24	0.79
ASODIRP	108	0.6638	0.12363	0.01190	0.6402	0.6874	0.44	0.97
ASOSELNOR	108	0.6490	0.12139	0.01168	0.6258	0.6721	0.27	0.86
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>0.5936</b>	<b>0.14926</b>	<b>0.00829</b>	<b>0.5773</b>	<b>0.6099</b>	<b>0.24</b>	<b>0.97</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 77. Separación de medias Tukey para la variable humedad relativa por localidad.**

Localidad	N	Media
ASODIRP	108	$0.66 \pm 0.12^a$
ASOSELNOR	108	$0.65 \pm 0.12^a$
KATBALPOM	108	$0.47 \pm 0.12^b$

Nota: \*\*Medias seguidas con igual letra no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ).

Fuente: Elaboración propia (2021).

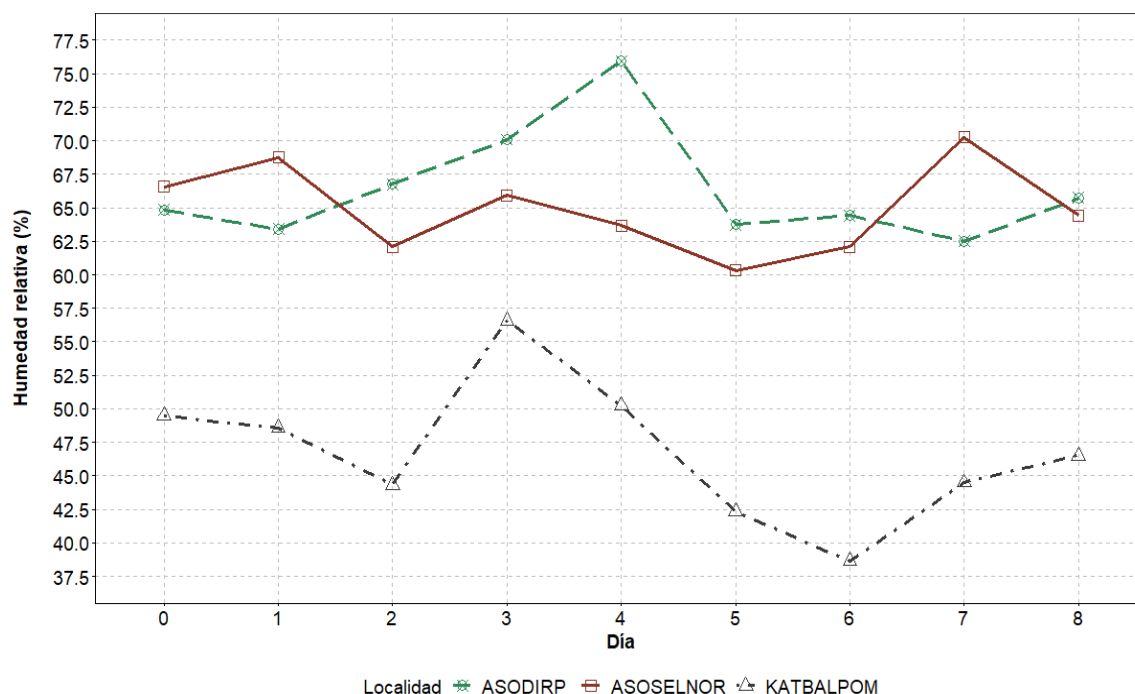


Figura 14. Humedad relativa del área de fermentación por localidad de procesamiento. Fuente: Elaboración propia (2021).

El análisis de la humedad relativa por masa de procesamiento presentó el valor más bajo durante la fermentación de 11 quintales de cacao y el valor máximo se reportó durante el procesamiento de 5 quintales (Tabla 78). La masa de procesamiento que presentó mayor variabilidad fue la fermentación de 8 quintales de cacao en baba, seguido de 11 y 5

quintales respectivamente (Tabla 78). Los resultados de la separación de medias Tukey (Tabla 79) mostraron que el promedio de humedad relativa más alto reportado fue para el procesamiento de 5 quintales, y el más bajo fue para 11 quintales respectivamente.

**Tabla 78. Estadísticos descriptivos para la variable humedad relativa por masa de fermentación.**

Masa de fermentación	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
5 quintales	108	0.6160	0.12851	0.01237	0.5915	0.6405	0.34	0.89
8 quintales	108	0.5934	0.16580	0.01595	0.5618	0.6251	0.26	0.97
11 quintales	108	0.5714	0.14913	0.01435	0.5429	0.5998	0.24	0.85
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>0.5936</b>	<b>0.14926</b>	<b>0.00829</b>	<b>0.5773</b>	<b>0.6099</b>	<b>0.24</b>	<b>0.97</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 79. Separación de medias Tukey para la variable humedad relativa por masa de fermentación.**

Masa	N	Media $\pm$ DE
5 quintales	108	$0.62 \pm 0.13^a$
8 quintales	108	$0.59 \pm 0.17^{ab}$
11 quintales	108	$0.57 \pm 0.15^b$

Nota: \*\*Medias seguidas con igual letra no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ).

Fuente: Elaboración propia (2021).

El análisis de la humedad ambiente del área de procesamiento por día de fermentación mostró que el menor porcentaje de humedad relativa se presentó en el segundo día de fermentación con 24%; el valor máximo se obtuvo al tercer día de procesamiento con 97% (Tabla 80). El monitoreo de la humedad del área de procesamiento es importante ya que es un reflejo de los cambios que ocurren durante la fermentación, principalmente debido a la pérdida de agua de los granos de cacao durante el proceso. El 40% del peso de los granos frescos de cacao corresponde a la pulpa, y esta a su vez está conformado principalmente por agua (82-87%) (Afoakwa, 2016a; Amoa-Awua, 2015). Los resultados de la separación de medias Tukey mostraron que el tercer día de fermentación presentó el promedio más alto de humedad relativa con 64% ( $p\leq 0.05$ ), coincidiendo con la máxima pérdida y drenaje de pulpa de cacao durante la fermentación.

De acuerdo con Wood (2001), durante las primeras 24-36 horas se produce la pérdida de la pulpa de cacao debido a efectos de gravedad, efectos mecánicos y la acción de los microorganismos. La pulpa drena en la parte inferior de las cajas de fermentación, lo cual puede incrementar la humedad del área de procesamiento si esta está diseñada con drenaje adecuado. El promedio de humedad relativa más bajo ( $p \leq 0.05$ ) fue de 55%, el cual se reportó al quinto y sexto día de fermentación (Tabla 81).

**Tabla 80. Estadísticos descriptivos para la variable humedad ambiente por día de fermentación.**

Día de fermentación	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
0	36	0.6031	0.12510	0.02085	0.5607	0.6454	0.41	0.81
1	36	0.6025	0.11136	0.01856	0.5648	0.6402	0.38	0.78
2	36	0.5772	0.16473	0.02745	0.5215	0.6330	0.24	0.84
3	36	0.6419	0.14099	0.02350	0.5942	0.6896	0.35	0.97
4	36	0.6328	0.13479	0.02247	0.5872	0.6784	0.36	0.85
5	36	0.5547	0.13845	0.02308	0.5079	0.6016	0.31	0.84
6	36	0.5506	0.16365	0.02728	0.4952	0.6059	0.30	0.89
7	36	0.5908	0.16019	0.02670	0.5366	0.6450	0.31	0.89
8	36	0.5889	0.18118	0.03020	0.5276	0.6502	0.27	0.89
<b>Promedio</b>	<b>324</b>	<b>0.5936</b>	<b>0.14926</b>	<b>0.00829</b>	<b>0.5773</b>	<b>0.6099</b>	<b>0.24</b>	<b>0.97</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 81. Separación de medias Tukey para la variable humedad ambiente por día de fermentación.**

Día de fermentación	N	Media $\pm$ DE
3	36	0.64 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>
4	36	0.63 $\pm$ 0.13 <sup>ab</sup>
0	36	0.60 $\pm$ 0.13 <sup>ab</sup>
1	36	0.60 $\pm$ 0.11 <sup>ab</sup>
7	36	0.59 $\pm$ 0.16 <sup>ab</sup>
8	36	0.59 $\pm$ 0.18 <sup>ab</sup>
2	36	0.58 $\pm$ 0.16 <sup>ab</sup>
5	36	0.55 $\pm$ 0.14 <sup>b</sup>
6	36	0.55 $\pm$ 0.16 <sup>b</sup>

Nota: \*\*Medias seguidas con igual letra no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ). Fuente: Elaboración propia (2021).



La interacción de los factores localidad y masa de procesamiento (Localidad\*Masa) fue estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ) para la variable humedad relativa del ambiente de procesamiento (Tabla 75). El valor más bajo de humedad relativa reportado fue para el tratamiento KATBALPOM 11 y el valor más alto fue para ASODIRP 08 (Tabla 82).

**Tabla 82. Estadísticos descriptivos para la variable humedad relativa por localidad y masa de fermentación (Localidad\*Masa).**

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM 11	36	0.4384	0.12707	0.02089	0.3960	0.4807	0.24	0.81
KATBALPOM 08	36	0.4725	0.13124	0.02187	0.4281	0.5169	0.26	0.79
KATBALPOM 05	36	0.5036	0.08816	0.01469	0.4738	0.5334	0.37	0.72
ASODIRP 11	36	0.6337	0.10233	0.01730	0.5986	0.6689	0.44	0.85
ASODIRP 08	36	0.7097	0.13214	0.02202	0.6650	0.7544	0.46	0.97
ASODIRP 05	36	0.6431	0.12235	0.02039	0.6017	0.6845	0.44	0.89
ASOSELNOR 11	36	0.6475	0.11254	0.01876	0.6094	0.6856	0.27	0.81
ASOSELNOR 08	36	0.5981	0.14276	0.02379	0.5498	0.6464	0.27	0.81
ASOSELNOR 05	36	0.7014	0.08065	0.01344	0.6741	0.7287	0.34	0.86
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>0.5936</b>	<b>0.14926</b>	<b>0.00829</b>	<b>0.5773</b>	<b>0.6099</b>	<b>0.24</b>	<b>0.97</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

La separación de medias Tukey (Tabla 83) para la variable humedad relativa por tratamiento (Localidad\*Masa) mostró que la asociación ASODIRP y ASOSELNOR presentaron los valores más altos ( $p \leq 0.05$ ) de humedad relativa durante el procesamiento de 5 y 11 quintales de cacao. Por otro lado; ASODIRP reportó el valor más alto durante el procesamiento de 8 quintales, con 71%, el cual fue el mayor valor en todos los tratamientos.

La localidad es un factor importante debido a que cada asociación cuenta con diferente diseño del área de proceso y además la cosecha de los granos de cacao no se realiza exactamente en el mismo punto de madurez del fruto en las tres localidades, lo cual influye en el contenido de humedad de la pulpa del cacao al momento del inicio de la fermentación y por lo tanto impacta la humedad relativa del área de procesamiento. Sin embargo; no existe una relación clara entre la masa de fermentación y su efecto en la humedad relativa del ambiente. En general se esperaría que, al tener mayor masa en proceso, se produzca mayor cantidad de drenado por pérdida de agua y por lo tanto se

reporten mayores porcentajes de humedad en el ambiente. En KATBALPOM el porcentaje más bajo fue reportado durante el procesamiento de 11 quintales, en ASOSELNOR durante la fermentación de 8 quintales y en ASODIRP al fermentar 5 y 11 quintales (Tabla 83).

**Tabla 83. Separación de medias Tukey para la variable humedad relativa por localidad y masa de fermentación (Localidad\*Masa).**

Masa	5	8	11
Localidad	Media $\pm$ DE	Media $\pm$ DE	Media $\pm$ DE
KATBALPOM	0.50 $\pm$ 0.09 <sup>a(Y)</sup>	0.47 $\pm$ 0.13 <sup>ab(Z)</sup>	0.43 $\pm$ 0.11 <sup>b(Y)</sup>
ASOSELNOR	0.70 $\pm$ 0.80 <sup>a(X)</sup>	0.60 $\pm$ 0.14 <sup>b(Y)</sup>	0.65 $\pm$ 0.11 <sup>ab(X)</sup>
ASODIRP	0.64 $\pm$ 0.12 <sup>b(X)</sup>	0.71 $\pm$ 0.13 <sup>a(X)</sup>	0.64 $\pm$ 0.11 <sup>b(X)</sup>

Nota: \*Medias seguidas con igual letra minúscula en la fila no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ).  
 \*Medias seguidas con igual letra mayúscula en la columna no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ). \*\*  
 DE: Desviación estándar. Fuente: Elaboración propia (2021).

## b. Parámetros de fermentación de cacao

### 1) Temperatura de fermentación

#### Análisis de Varianza

El análisis de varianza para la variable temperatura de fermentación mostró que los factores estadísticamente significativos ( $p\leq 0.05$ ) fueron localidad, masa y día. Además, al analizar la interacción de factores se observó que las interacciones de Localidad\*Masa, Localidad\*Día y Masa\*Día, fueron estadísticamente significativas ( $p\leq 0.05$ ) (Tabla 84).

**Tabla 84. Análisis de varianza para la variable temperatura de fermentación.**

Factores e interacciones	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F	Sig.
Localidad	405.841	2	202.921	21.981	0.000
Masa	118.252	2	59.126	6.405	0.002
Día	13298.424	8	1662.303	180.064	0.000
Localidad*Masa	207.461	4	51.865	5.618	0.000
Localidad*Día	643.520	16	40.220	4.357	0.000
Masa*Día	310.703	16	19.419	2.104	0.009
Localidad*Masa*Día	326.130	32	10.192	1.104	0.329
Error	2243.307	243	9.232		
<b>Total corregido</b>	<b>17553.639</b>	<b>323</b>			

Fuente: Elaboración propia (2021).



La temperatura de fermentación presentó un valor promedio para la ecorregión de Lachuá de 43.72°C, el valor mínimo fue de 21°C en ASODIRP y máximo se presentó en KATBALPOM con 55°C (Tabla 85). La temperatura generada por la masa de cacao durante el proceso de fermentación es el resultado del metabolismo de levaduras y bacterias ácido lácticas y ácido acéticas (Afoakwa, 2016a; Wood, 2001). Esta actividad microbiana puede estar afectada por la calidad de la pulpa, la cual constituye el sustrato inicial para el metabolismo de microorganismos (Afoakwa, 2016a; Schwan et al., 2015); así como también la incorporación de oxígeno a la masa de procesamiento, a través de los volteos de los granos de fermentación, permitiendo la sucesión de microorganismos que actúan en condiciones anaeróbicas y aeróbicas (Loayza Lozano, 2015).

La calidad de la pulpa, que depende del punto óptimo de madurez al momento del corte del fruto, y la frecuencia de volteo de la masa de fermentación depende de las prácticas de procesamiento de cada localidad y esto se puede reflejar en el perfil de temperatura de la masa de fermentación. La prueba de separación de medias Tukey para la variable temperatura de fermentación por localidad (Tabla 86) mostró que la asociación KATBALPOM presentó diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) en comparación con las otras dos asociaciones y reportó el valor promedio más alto con 45.27°C (Tabla 86). Las asociaciones ASODIRP y ASOSELNOR no presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ), con valores promedios de temperatura durante el proceso de fermentación de 43.23 y 42.66°C respectivamente (Tabla 86).

Durante la fermentación, en la asociación KATBALPOM se realizó el primer volteo de la masa de fermentación a las 48 horas de iniciado el proceso, seguido de volteos cada 24 horas hasta finalizar la fermentación. Por otro lado, ASODIRP y ASOSELNOR





realizaron los dos primeros volteos de la masa de cacao cada 48 horas en la mayor parte de los lotes de fermentación, seguido de volteos de 24 horas hasta finalizar el proceso. Sin embargo; en ASOSELNOR se realizó un volteo de 48 horas únicamente en algunos lotes; por otro lado, en ASODIRP se realizaron hasta tres volteos de 48 horas. La frecuencia de volteos de la masa de cacao se realizó de acuerdo con los protocolos utilizados en cada localidad. Los resultados mostraron que al utilizar el protocolo de KATBALPOM se obtuvo un promedio de temperatura más alto durante el procesamiento. Estos resultados son similares a los obtenidos por Loayza Lozano (2015), quien reportó mejor perfil temperatura durante la fermentación de cacao con remociones o volteos cada 24 horas, con un total de seis días de fermentación. Las remociones con mayor frecuencia aceleran las reacciones bioquímicas y por lo tanto se incrementa la temperatura de la masa de fermentación.

**Tabla 85. Estadísticos descriptivos para la variable temperatura de fermentación por localidad de procesamiento.**

Localidad	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM	108	45.27	6.803	0.655	43.97	46.56	27	55
ASODIRP	108	43.23	6.336	0.610	42.02	44.44	21	53
ASOLENOR	108	42.66	8.593	0.827	41.02	44.30	26	50
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>43.72</b>	<b>7.372</b>	<b>0.410</b>	<b>42.91</b>	<b>44.52</b>	<b>21</b>	<b>55</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 86. Separación de medias Tukey para la variable temperatura de fermentación por localidad.**

Localidad	N	Media $\pm$ DE**
KATBALPOM	108	45.27 $\pm$ 6.803 <sup>a</sup>
ASODIRP	108	43.23 $\pm$ 6.336 <sup>b</sup>
ASOSELNOR	108	42.66 $\pm$ 8.593 <sup>b</sup>

Nota: \*Medias seguidas con igual letra no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ). \*\* DE: Desviación estándar. Fuente: Elaboración propia (2021).

El análisis del efecto de la masa de fermentación en la temperatura de proceso mostró que el valor mínimo fue de 21°C durante la fermentación de 8 quintales de cacao y



el valor máximo se obtuvo durante el procesamiento de 5 quintales de cacao con un valor de 55°C (Tabla 87). Mediante la separación de medias Tukey (Tabla 88) se determinó que la fermentación de 5 quintales presentó el promedio de temperatura más alto durante el proceso, con un valor de 44.48°C, y el promedio más bajo fue obtenido al fermentar 11 quintales de cacao (43°C). Es decir, que se obtuvo un promedio de temperatura más alto al fermentar menor cantidad de cacao. Hamdouche et al. (2019) reportó que en la fermentación de grandes masas de cacao se reduce la aireación en la pulpa durante la fermentación, lo cual disminuye la actividad microbiana y la temperatura generada durante el proceso. Por otro lado, en un estudio realizado por Hernández-Hernández et al. (2016) se reportó que no existieron diferencias significativas en la temperatura de fermentación al incrementar la masa de procesamiento de 2 a 22 quintales de cacao.

**Tabla 87. Estadísticos descriptivos para la variable temperatura de fermentación por masa de procesamiento.**

Masa de procesamiento	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
5 quintales	108	44.47	6.513	0.627	43.23	45.72	26	55
8 quintales	108	43.69	7.875	0.758	42.18	45.19	21	53
11 quintales	108	43.00	7.650	0.736	41.54	44.46	27	50
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>43.72</b>	<b>7.372</b>	<b>0.410</b>	<b>42.91</b>	<b>44.52</b>	<b>21</b>	<b>55</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 88. Separación de medias Tukey para la variable temperatura de fermentación por masa de fermentación.**

Masa	N	Media ± DE
5 quintales	108	44.48 ± 6.52 <sup>a</sup>
8 quintales	108	43.69 ± 7.88 <sup>ab</sup>
11 quintales	108	43.00 ± 7.65 <sup>b</sup>

Nota: \*Medias seguidas con igual letra no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ). \*\* DE: Desviación estándar. Fuente: Elaboración propia (2021).

Los resultados de la temperatura de fermentación por día de procesamiento mostraron que la temperatura mínima (21°C) se obtuvo al día cero de procesamiento, es decir, al momento de la recepción e inicio de la fermentación del cacao. El valor máximo

se obtuvo al octavo día de procesamiento, alcanzando 55°C. Los primeros tres días de fermentación fueron los que presentaron mayor variabilidad en temperatura de fermentación (Tabla 89). Mediante la separación de medias Tukey (Tabla 90) se determinó que existió diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) únicamente entre la temperatura de fermentación de los primeros tres días y el quinto día de procesamiento. El promedio de temperatura más alto se obtuvo durante el quinto día de fermentación (48.47°C), seguido de las temperaturas alcanzadas durante el séptimo, octavo, sexto y cuarto día (48.27, 48.24, 48.02, y 46.44°C respectivamente). El perfil de temperatura para la ecorregión es similar al reportado en la literatura. De acuerdo con Afoakwa (2016a), la temperatura de fermentación debe alcanzar 45°C al tercer día de fermentación y continuar en un rango de 45-50°C hasta finalizar el proceso. En el presente estudio, se obtuvieron temperaturas superiores a 44°C desde el tercer día hasta el final de la fermentación (Figura 15). Por otro lado, las temperaturas más bajas se reportaron durante los primeros días de procesamiento, con 42.46 y 36.53°C para el segundo y primer día, y 28.87°C para el día cero de fermentación (Tabla 90 y Figura 15).

**Tabla 89. Estadísticos descriptivos para la temperatura de fermentación por día de fermentación.**

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
0	36	28.87	2.538	0.423	28.01	29.73	21	33
1	36	36.53	4.934	0.822	34.86	38.20	27	49
2	36	42.46	6.709	1.118	40.19	44.73	29	50
3	36	46.16	4.353	0.725	44.69	47.64	35	52
4	36	46.44	3.101	0.517	45.39	47.49	35	50
5	36	48.47	2.186	0.364	47.73	49.21	43	53
6	36	48.02	1.967	0.328	47.35	48.69	43	51
7	36	48.27	1.807	0.301	47.66	48.88	43	53
8	36	48.24	2.304	0.384	47.46	49.02	43	55
<b>Promedio</b>	<b>324</b>	<b>43.72</b>	<b>7.372</b>	<b>0.410</b>	<b>42.91</b>	<b>44.52</b>	<b>21</b>	<b>55</b>

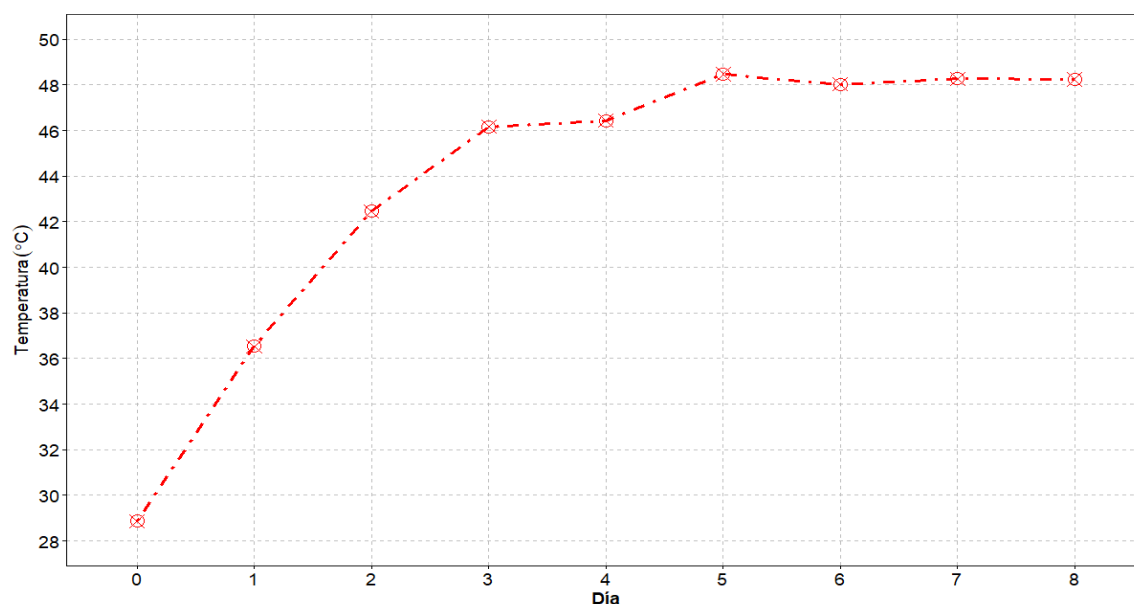
Fuente: Elaboración propia (2021).



**Tabla 90. Separación de medias Tukey para la variable temperatura de fermentación por día de fermentación.**

Día de fermentación	N	Media $\pm$ DE
5	36	48.47 $\pm$ 2.19 <sup>a</sup>
7	36	48.27 $\pm$ 1.80 <sup>ab</sup>
8	36	48.24 $\pm$ 2.30 <sup>ab</sup>
6	36	48.02 $\pm$ 1.97 <sup>ab</sup>
4	36	46.44 $\pm$ 3.10 <sup>ab</sup>
3	36	46.16 $\pm$ 4.36 <sup>b</sup>
2	36	42.46 $\pm$ 6.71 <sup>c</sup>
1	36	36.53 $\pm$ 4.93 <sup>d</sup>
0	36	28.87 $\pm$ 2.54 <sup>e</sup>

Nota: \*\*Medias seguidas con igual letra no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ). Fuente: Elaboración propia (2021).



**Figura 15.** Promedio de temperatura de fermentación por día de procesamiento. Fuente: Elaboración propia (2021).

La interacción de los factores de localidad y masa de fermentación fue significativa en el análisis de varianza. Esto refleja la variabilidad del procesamiento de cacao en la región de Lachuá, en función de la masa y de la localidad de procesamiento. En general, el valor mínimo de temperatura fue de 21.17°C en el en la fermentación de 8 quintales de cacao en ASODIRP y el valor máximo de temperatura fue presentado en la fermentación de 5 quintales en KATBALPOM con 55.07°C (Tabla 91). El análisis de separación de medias Tukey (Tabla 92) mostró que la asociación KATBALPOM presentó mejores

promedios de temperatura en comparación con las otras dos asociaciones, independientemente de la masa de fermentación evaluada (Tabla 92). KATBALPOM presentó los promedios más altos de temperatura durante el procesamiento de 5 y 11 quintales de cacao; además también presentó el promedio más alto durante la fermentación de 8 quintales junto con ASODIRP.

**Tabla 91. Estadísticos descriptivos para la variable temperatura de fermentación por localidad y masa de fermentación (Localidad\*Masa).**

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM 11	36	44.5872	7.05276	1.17546	42.2009	46.9735	27.13	50.30
KATBALPOM 08	36	44.4619	7.01274	1.16879	42.0892	46.8347	27.37	50.87
KATBALPOM 05	36	46.7519	6.25631	1.04272	44.6351	48.8688	28.87	55.07
ASODIRP 11	36	42.8042	6.42244	1.07041	40.6311	44.9772	28.63	49.03
ASODIRP 08	36	44.3956	7.12979	1.18830	41.9832	46.8079	21.17	52.57
ASODIRP 05	36	42.4933	5.33947	0.88991	40.6867	44.3000	26.57	48.77
ASOSELNOR 11	36	41.5975	9.12420	1.52070	38.5103	44.6847	26.50	50.17
ASOSELNOR 08	36	42.2003	9.28166	1.54694	39.0598	45.3407	25.80	50.47
ASOSELNOR 05	36	44.1797	7.25104	1.20851	41.7263	46.6331	26.13	50.00
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>43.7191</b>	<b>7.37195</b>	<b>0.40955</b>	<b>42.9133</b>	<b>44.5248</b>	<b>21.17</b>	<b>55.07</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

El proceso de fermentación de cacao dentro de cada una de las tres localidades también presentó diferencias dependiendo de la masa de procesamiento. Es decir que, en las tres localidades el promedio de temperatura fue diferente dependiendo de la masa de procesamiento. Las asociaciones KATBALPOM y ASOSELNOR presentaron mejores promedios de temperatura durante la fermentación de 5 quintales en comparación con el procesamiento de los lotes más grandes evaluados en esta la misma localidad (8 y 11 quintales de cacao) (Tabla 92). Esto indica que estas dos asociaciones obtuvieron mejores resultados durante el procesamiento de pequeñas masas de cacao. Por otro lado, en ASODIRP el promedio más alto de temperatura de fermentación se obtuvo durante el procesamiento de 8 quintales de cacao (Tabla 92), lo que indica que esta asociación presentó mayores dificultades en el incremento de la temperatura en lotes pequeños y

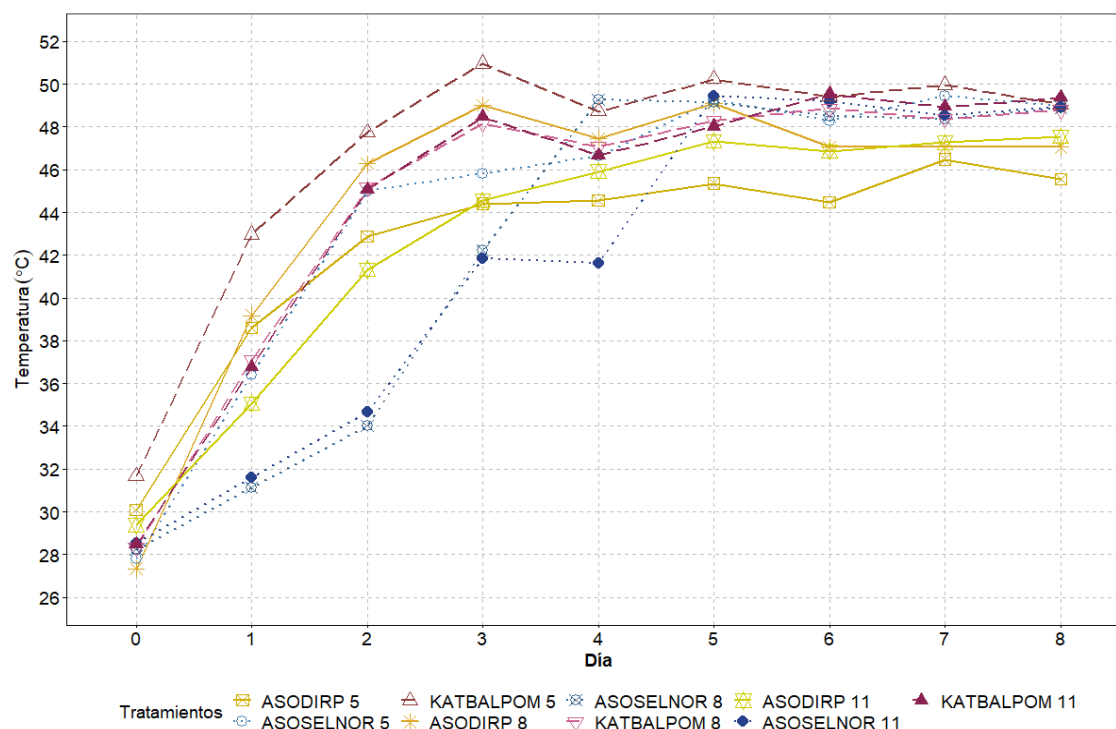


grades. En general, los tratamientos ASOSELNOR 11 y ASOSELNOR 08 fueron los que más dificultad presentaron en el incremento de la temperatura de fermentación durante los primeros cuatro días (Figura 16).

**Tabla 92. Separación de medias Tukey para la variable temperatura de fermentación por localidad y masa de fermentación (Localidad\*Masa).**

Masa	5	8	11
Localidad	Media $\pm$ DE	Media $\pm$ DE	Media $\pm$ DE
KATBALPOM	46.75 $\pm$ 6.26 <sup>a(X)</sup>	44.46 $\pm$ 7.01 <sup>b(X)</sup>	44.59 $\pm$ 7.05 <sup>b(X)</sup>
ASOSELNOR	44.18 $\pm$ 7.25 <sup>a(Y)</sup>	42.20 $\pm$ 9.28 <sup>b(Y)</sup>	41.60 $\pm$ 9.12 <sup>b(Y)</sup>
ASODIRP	42.49 $\pm$ 5.34 <sup>b(Y)</sup>	44.40 $\pm$ 7.13 <sup>a(X)</sup>	42.80 $\pm$ 6.42 <sup>ab(Y)</sup>

Nota: \*Medias seguidas con igual letra minúscula en la fila no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ).  
 \*Medias seguidas con igual letra mayúscula en la columna no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ). \*\*  
 DE: Desviación estándar. Fuente: Elaboración propia (2021).



**Figura 16.** Temperatura de fermentación por localidad y masa de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021).

Estos resultados muestran que la calidad de la fermentación, en términos de temperatura promedio, depende de la masa de procesamiento y de la localidad donde se realice este proceso. Las tres asociaciones mostraron variabilidad interna dependiendo de

la masa de fermentación, y dos asociaciones mostraron mejores resultados en

procesamiento de pequeñas masas de cacao. KATBALPOM presentó los mejores promedios de temperatura independientemente de la masa de procesamiento, sin embargo, también presentó variabilidad interna durante el proceso.

Las practicas implementadas durante la cosecha y fermentación de cacao, así como el diseño de las instalaciones y la rotación de personal, son factores que pueden afectar el desarrollo general de la fermentación. Durante el análisis de varianza se observó que la interacción entre los factores localidad y día de fermentación fue significativa, lo cual indica que el perfil de temperatura fue diferente durante algunos días de procesamiento en las diferentes localidades. Los resultados mostraron que la temperatura más baja fue reportada al día cero de fermentación en ASODIRP con 21°C y más alta fue de 55°C reportada al octavo día de procesamiento en KATBALPOM (Tabla 93).

La separación de medias Tukey mostró que los perfiles de temperatura fueron similares para las asociaciones KATBALPOM y ASODIRP, ya que únicamente presentaron diferencias significativas durante dos días de procesamiento (día 3 y 6) (Tabla 94). Esta diferencia en los dos días de fermentación puede ser debido a diferencias en las frecuencias de volteos de la masa de cacao durante el proceso. En estas dos asociaciones se realizó el primer volteo a las 48 horas. Sin embargo; en KATBALPOM se continuaron los volteos cada 24 horas en los siguientes días y en ASODIRP se reportaron hasta tres volteos cada 48 horas para algunos lotes, lo cual pudo influenciar en el perfil de temperatura.

ASOSELNOR presentó mayor variabilidad y diferente tendencia en el incremento de temperatura durante los primeros tres días de fermentación, en comparación con las otras dos asociaciones; sin embargo, durante los últimos cuatro días la temperatura más fue



estable y con un comportamiento similar al de las otras dos localidades (Figura 17). La temperatura de procesamiento durante los dos últimos días de fermentación fue similar para las tres asociaciones ( $p>0.05$ ), lo cual indica que a pesar de que ASOSELNOR presentó mayor variabilidad y diferente tendencia en el incremento de la temperatura al inicio del proceso, esto no influyó en los valores de temperatura al finalizar la fermentación (Tabla 94).

**Tabla 93. Estadísticos descriptivos para la variable temperatura de fermentación por localidad y día de fermentación (Localidad\*Día).**

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM_D0	12	29.49	2.083	0.601	28.16	30.81	27	33
KATBALPOM_D1	12	38.94	4.149	1.198	36.30	41.57	34	49
KATBALPOM_D2	12	45.99	2.811	0.811	44.21	47.78	40	49
KATBALPOM_D3	12	49.20	1.844	0.532	48.03	50.38	46	52
KATBALPOM_D4	12	47.49	1.530	0.442	46.52	48.46	45	50
KATBALPOM_D5	12	48.85	1.787	0.516	47.71	49.98	46	51
KATBALPOM_D6	12	49.27	1.055	0.305	48.60	49.94	47	51
KATBALPOM_D7	12	49.09	1.630	0.471	48.06	50.13	46	53
KATBALPOM_D8	12	49.08	2.541	0.733	47.47	50.70	44	55
ASODIRP_D0	12	28.94	2.881	0.832	27.11	30.77	21	33
ASODIRP_D1	12	37.62	2.821	0.814	35.82	39.41	32	43
ASODIRP_D2	12	43.49	3.274	0.945	41.41	45.57	37	49
ASODIRP_D3	12	45.99	2.996	0.865	44.09	47.90	41	50
ASODIRP_D4	12	45.99	1.627	0.470	44.95	47.02	43	49
ASODIRP_D5	12	47.46	3.099	0.934	45.38	49.54	43	53
ASODIRP_D6	12	46.13	2.039	0.588	44.83	47.42	43	49
ASODIRP_D7	12	46.94	2.044	0.590	45.64	48.23	43	49
ASODIRP_D8	12	46.60	2.234	0.620	45.25	47.95	43	49
ASOSELNOR_D0	12	28.18	2.630	0.759	26.51	29.85	26	33
ASOSELNOR_D1	12	33.04	5.606	1.618	29.48	36.61	27	41
ASOSELNOR_D2	12	37.91	9.337	2.695	31.97	43.84	29	50
ASOSELNOR_D3	12	43.30	5.370	1.550	39.89	46.71	35	50
ASOSELNOR_D4	12	45.84	4.878	1.408	42.74	48.94	35	50
ASOSELNOR_D5	12	49.29	0.633	0.183	48.89	49.69	48	50
ASOSELNOR_D6	12	48.66	0.987	0.285	48.03	49.29	47	50
ASOSELNOR_D7	12	48.78	0.768	0.222	48.29	49.27	47	50
ASOSELNOR_D8	12	48.93	1.170	0.338	48.19	49.67	46	50
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>43.72</b>	<b>7.372</b>	<b>.410</b>	<b>42.91</b>	<b>44.52</b>	<b>21</b>	<b>55</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

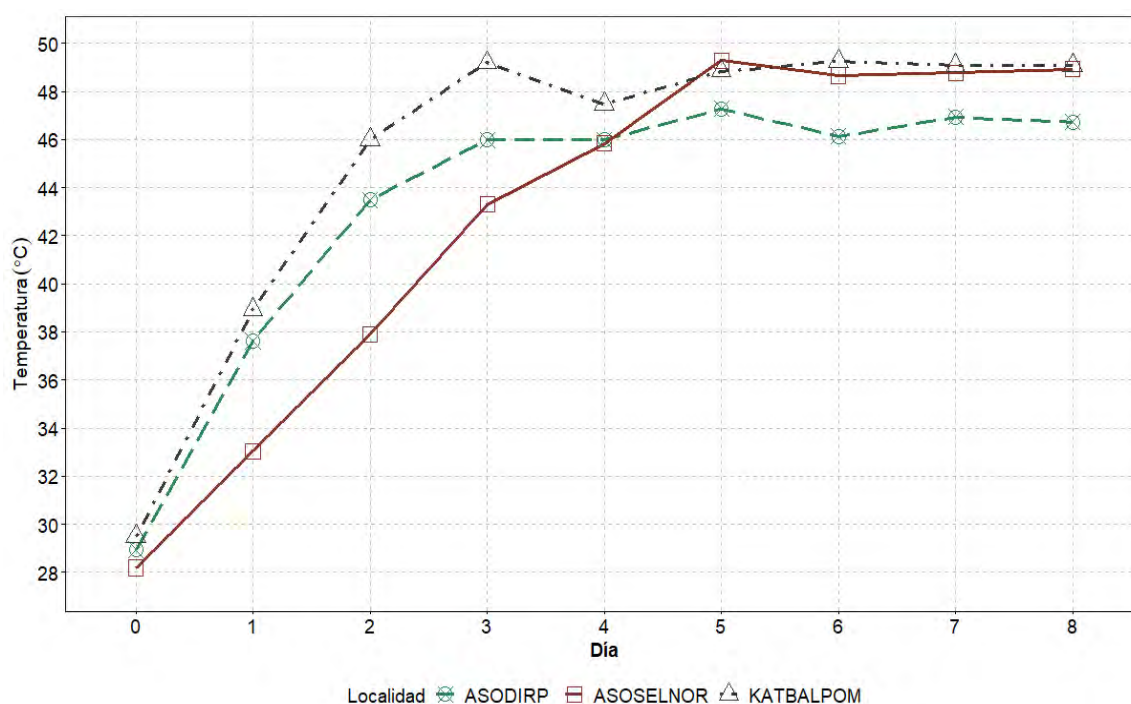




**Tabla 94. Separación de medias Tukey para la variable temperatura de fermentación por localidad y día de fermentación (Localidad\*Día).**

Localidad	KATBALPOM	ASOSELNOR	ASODIRP
Día	Media $\pm$ DE	Media $\pm$ DE	Media $\pm$ DE
0	29.49 $\pm$ 2.08 <sup>a(X)</sup>	28.18 $\pm$ 2.63 <sup>a(X)</sup>	28.94 $\pm$ 2.88 <sup>a(X)</sup>
1	38.94 $\pm$ 4.15 <sup>b(X)</sup>	33.04 $\pm$ 5.61 <sup>b(Y)</sup>	37.62 $\pm$ 2.82 <sup>b(X)</sup>
2	45.99 $\pm$ 2.81 <sup>c(X)</sup>	37.91 $\pm$ 9.34 <sup>c(Y)</sup>	43.49 $\pm$ 3.27 <sup>c(X)</sup>
3	49.20 $\pm$ 1.84 <sup>c(X)</sup>	43.30 $\pm$ 5.37 <sup>d(Y)</sup>	45.99 $\pm$ 2.99 <sup>c(Y)</sup>
4	47.49 $\pm$ 1.53 <sup>c(X)</sup>	45.84 $\pm$ 4.88 <sup>de(X)</sup>	45.99 $\pm$ 1.63 <sup>c(X)</sup>
5	48.85 $\pm$ 1.79 <sup>c(X)</sup>	49.29 $\pm$ 0.63 <sup>e(X)</sup>	47.46 $\pm$ 3.10 <sup>c(X)</sup>
6	48.93 $\pm$ 1.17 <sup>c(X)</sup>	48.66 $\pm$ 0.99 <sup>e(XY)</sup>	46.13 $\pm$ 2.04 <sup>c(Y)</sup>
7	49.09 $\pm$ 1.63 <sup>c(X)</sup>	48.78 $\pm$ 0.77 <sup>e(X)</sup>	46.94 $\pm$ 2.04 <sup>c(X)</sup>
8	49.08 $\pm$ 2.54 <sup>c(X)</sup>	48.93 $\pm$ 1.17 <sup>e(X)</sup>	46.60 $\pm$ 2.23 <sup>c(X)</sup>

Nota: \*Medias seguidas con igual letra minúscula en la columna no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ). \*Medias seguidas con igual letra mayúscula en la fila no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ). \*\* DE: Desviación estándar. Fuente: Elaboración propia (2021).



**Figura 17. Temperatura de fermentación por localidad de procesamiento. Fuente: Elaboración propia (2021).**

El análisis de varianza mostró que existió significancia estadística en la interacción de los factores masa y día de procesamiento. Esto indica que el perfil de temperatura de fermentación en algunos días de procesamiento fue diferente según la masa de proceso. Se observó que la temperatura más baja reportada fue al día cero del procesamiento de 8

quintales de cacao con 21°C y la temperatura más alta se reportó durante el octavo día del procesamiento de 5 quintales, la cual alcanzo un valor de 55°C (Tabla 95).

**Tabla 95. Estadísticos descriptivos para la variable temperatura de fermentación por masa y día de fermentación (Masa\*Día).**

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
11_D0	12	28.79	1.909	0.551	27.57	30.00	27	33
11_D1	12	34.47	4.432	1.279	31.66	37.29	28	41
11_D2	12	40.35	7.213	2.082	35.77	44.94	29	49
11_D3	12	44.95	5.256	1.517	41.61	48.29	35	50
11_D4	12	44.73	3.968	1.146	42.21	47.25	35	49
11_D5	12	48.27	1.794	0.518	47.13	49.41	45	50
11_D6	12	48.53	1.490	0.430	47.58	49.47	46	50
11_D7	12	48.25	0.993	0.287	47.62	48.88	46	49
11_D8	12	48.62	1.058	0.306	47.95	49.29	47	50
08_D0	12	27.97	2.928	0.845	26.11	29.83	21	33
08_D1	12	35.80	5.274	1.523	32.45	39.15	27	41
08_D2	12	41.83	8.309	2.399	36.55	47.11	29	50
08_D3	12	46.47	4.061	1.172	43.89	49.05	38	50
08_D4	12	47.93	1.532	0.442	46.96	48.91	46	50
08_D5	12	48.85	2.523	0.728	47.25	50.45	43	53
08_D6	12	48.14	1.650	0.476	47.09	49.19	44	50
08_D7	12	47.93	1.775	0.512	46.80	49.06	44	50
08_D8	12	48.25	2.046	0.591	46.95	49.55	44	50
05_D0	12	29.85	2.516	0.726	28.25	31.45	26	33
05_D1	12	39.33	4.034	1.165	36.76	41.89	35	49
05_D2	12	45.21	2.935	0.847	43.34	47.07	41	48
05_D3	12	47.07	3.684	1.063	44.73	49.41	42	52
05_D4	12	46.65	2.616	0.755	44.99	48.31	43	50
05_D5	12	48.29	2.319	0.669	46.81	49.76	44	51
05_D6	12	47.39	2.578	0.744	45.76	49.03	43	51
05_D7	12	48.63	2.447	0.706	47.08	50.19	43	53
05_D8	12	47.86	3.357	0.969	45.73	49.99	43	55
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>43.72</b>	<b>7.372</b>	<b>0.410</b>	<b>42.91</b>	<b>44.52</b>	<b>21</b>	<b>55</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

La mayor diferencia en los perfiles de temperatura por día de fermentación se observó en los primeros cuatro días de procesamiento (Tabla 96), periodo en el que la fermentación de 5 quintales presentó los promedios de temperatura más altos (Figura 18).

Si embargo; desde el quinto al octavo día, no se observaron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre la temperatura promedio de las diferentes masas de fermentación de cacao.

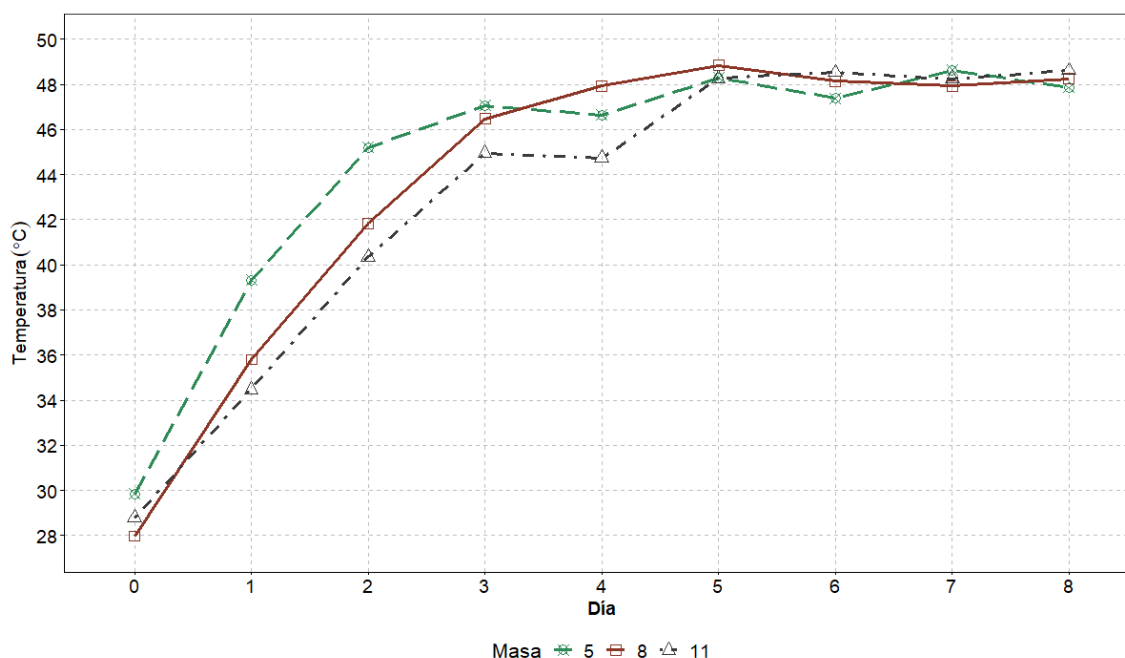


Estos resultados son similares a los reportados por Hernández-Hernández et al. (2016), quienes observaron mayor variabilidad en la temperatura de fermentación durante los primeros tres días de procesamiento de tres diferentes masas de fermentación (22, 7 y 2 quintales de cacao), seguido por un comportamiento similar hasta finalizar el procesamiento.

**Tabla 96. Separación de medias Tukey para la variable temperatura de fermentación por masa y día de fermentación (Masa\*Día).**

Masa	11	8	5
Día	Media $\pm$ DE	Media $\pm$ DE	Media $\pm$ DE
0	28.79 $\pm$ 1.91 <sup>a(X)</sup>	27.97 $\pm$ 2.93 <sup>a(X)</sup>	29.85 $\pm$ 2.52 <sup>a(X)</sup>
1	34.47 $\pm$ 4.43 <sup>b(Y)</sup>	35.80 $\pm$ 5.27 <sup>b(Y)</sup>	39.33 $\pm$ 4.03 <sup>b(X)</sup>
2	40.35 $\pm$ 7.21 <sup>c(Y)</sup>	41.83 $\pm$ 8.31 <sup>c(Y)</sup>	45.21 $\pm$ 2.94 <sup>c(X)</sup>
3	44.95 $\pm$ 5.26 <sup>de(X)</sup>	46.47 $\pm$ 4.06 <sup>d(X)</sup>	47.07 $\pm$ 3.68 <sup>c(X)</sup>
4	44.73 $\pm$ 3.97 <sup>d(Y)</sup>	47.93 $\pm$ 1.53 <sup>d(X)</sup>	46.65 $\pm$ 2.62 <sup>c(XY)</sup>
5	48.27 $\pm$ 1.79 <sup>de(X)</sup>	48.85 $\pm$ 2.52 <sup>d(X)</sup>	48.29 $\pm$ 2.32 <sup>c(X)</sup>
6	48.53 $\pm$ 1.49 <sup>de(X)</sup>	48.14 $\pm$ 1.65 <sup>d(X)</sup>	47.39 $\pm$ 2.58 <sup>c(X)</sup>
7	48.25 $\pm$ 0.99 <sup>de(X)</sup>	47.93 $\pm$ 1.78 <sup>d(X)</sup>	48.63 $\pm$ 2.45 <sup>c(X)</sup>
8	48.62 $\pm$ 1.06 <sup>e(X)</sup>	48.25 $\pm$ 2.05 <sup>d(X)</sup>	47.86 $\pm$ 3.36 <sup>c(X)</sup>

Nota: \*Medias seguidas con igual letra minúscula en la columna no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ). \*Medias seguidas con igual letra mayúscula en la fila no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ). \*\* DE: Desviación estándar. Fuente: Elaboración propia (2021).



**Figura 18. Temperatura de fermentación por masa y día de fermentación.** Fuente: Elaboración propia (2021).

Esta diferencia en los primeros cuatro días de fermentación influyó en el promedio general de temperatura en las diferentes masas de procesamiento, en el que la masa de 5 quintales presentó el promedio de fermentación más alto durante todo el proceso (44.48°C), seguido del procesamiento de 8 (43.69°C) y 11 quintales (43.00°C) (Tabla 88).

## 2) pH de la testa

### Análisis de Varianza

Los resultados del análisis de varianza para la variable pH de la testa mostraron diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.05$ ) para los factores localidad, masa y día de procesamiento (Tabla 97). Además, se observó significancia estadística ( $p \leq 0.05$ ) en la interacción de factores Localidad\*Masa y Localidad\*Día.

**Tabla 97. Análisis de varianza para la variable pH de la testa.**

<b>Factores e interacciones</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>GL</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Localidad	2.394	2	1.197	27.210	0.000
Masa	1.191	2	0.596	13.542	0.000
Día	16.186	8	2.023	45.999	0.000
Localidad*Masa	1.103	4	0.276	6.268	0.000
Localidad*Día	4.622	16	0.289	6.568	0.000
Masa*Día	0.619	16	0.039	0.880	0.593
Localidad*Masa*Día	1.993	32	0.062	1.416	0.076
Error	10.688	243	0.044		
<b>Total corregido</b>	<b>38.797</b>	<b>323</b>			

Fuente: Elaboración propia (2021).

El promedio de pH de la testa para la ecorregión fue de 4.33, con un máximo de 5.27 reportado en KATBALPOM y un mínimo de 3.26 reportado en ASOSELNOR. (Tabla 98). Mediante la separación de medias Tukey se observó que no existió diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre el promedio de pH de la testa de KATBALPOM y ASODIRP. Sin embargo, ASOSELNOR mostró diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) con relación a las otras dos asociaciones y reportó el promedio de pH más bajo (Tabla 99). En general, la



asociación que presentó altos promedios de temperatura de fermentación también presentó mayores valores de pH de la testa. De acuerdo con Afoakwa (2016a), la actividad microbiana durante la fermentación de cacao genera calor, así como la producción de etanol, ácido acético y ácido láctico, y reducción de ácido cítrico, provocando cambios en el pH de la masa de fermentación.

**Tabla 98. Estadísticos descriptivos para la variable pH de la testa por localidad.**

Localidad	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM	108	4.4217	0.37808	0.03638	4.3495	4.4938	3.50	5.27
ASODIRP	108	4.3652	0.31518	0.03033	4.3051	4.4253	3.45	4.92
ASOLENOR	108	4.2178	0.31295	0.03011	4.1581	4.2775	3.26	4.91
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>4.3349</b>	<b>0.34658</b>	<b>0.01925</b>	<b>4.2970</b>	<b>4.3728</b>	<b>3.26</b>	<b>5.27</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 99. Separación de medias Tukey para la variable pH de la testa por localidad.**

Localidad	N	Media $\pm$ DE**
KATBALPOM	108	4.42 $\pm$ 0.38 <sup>a</sup>
ASODIRP	108	4.37 $\pm$ 0.32 <sup>a</sup>
ASOLENOR	108	4.22 $\pm$ 0.31 <sup>b</sup>

Nota: \*Medias seguidas con igual letra no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ). \*\* DE: Desviación estándar. Fuente: Elaboración propia (2021).

El análisis del pH de la testa por masa de procesamiento mostró que el valor mínimo fue reportado durante la fermentación de 8 quintales de cacao y el valor máximo en la fermentación de 5 quintales (Tabla 100). El análisis de separación de medias Tukey mostró que el promedio del pH de la testa durante la fermentación de 5 quintales fue superior ( $p\leq 0.05$ ) al pH de la testa durante el procesamiento de 8 y 11 quintales de cacao (Tabla 101). Esto indica que, a menor masa de fermentación, mayor promedio en el pH de la testa. Esta tendencia es similar a la obtenida en el análisis de la temperatura de fermentación (Tabla 88), donde se obtuvo mejores promedios de temperatura durante el procesamiento de 5 quintales de cacao. El pH de la testa y la temperatura están relacionados a la actividad microbiana durante el proceso de fermentación (Afoakwa, 2016a), lo cual es un indicador

de que probablemente existió mayor actividad de los microorganismos durante el procesamiento de pequeñas masas de cacao.

**Tabla 100. Estadísticos descriptivos para la variable pH de la testa por masa de fermentación.**

Masa de procesamiento	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
5 quintales	108	4.4158	0.37029	0.03563	4.3452	4.4865	3.68	5.27
8 quintales	108	4.3189	0.33894	0.03261	4.2542	4.3835	3.26	4.95
11 quintales	108	4.2699	0.31538	0.03035	4.2097	4.3301	3.50	4.92
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>4.3349</b>	<b>0.34658</b>	<b>0.01925</b>	<b>4.2970</b>	<b>4.3728</b>	<b>3.26</b>	<b>5.27</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 101. Separación de medias Tukey para la variable pH de la testa por masa de fermentación.**

Masa	N	Media $\pm$ DE**
5 quintales	108	4.42 $\pm$ 0.37 <sup>a</sup>
8 quintales	108	4.32 $\pm$ 0.34 <sup>b</sup>
11 quintales	108	4.27 $\pm$ 0.32 <sup>b</sup>

Nota: \*Medias seguidas con igual letra no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ). \*\* DE: Desviación estándar. Fuente: Elaboración propia (2021).

El pH de la testa presentó el valor mínimo al quinto día de procesamiento y el valor máximo fue reportado al séptimo día (Tabla 102). El valor del pH de la testa incrementó conforme avanzaba el proceso de fermentación de cacao (Figura 19). En los valores generales para la ecorregión se observó que los mayores cambios se obtuvieron entre los días 1-2, y 5-6 de procesamiento. La separación de medias Tukey mostró que los promedios más bajos se reportaron en el día cero y el primer día de fermentación de cacao (Tabla 103), con valores de 3.96 y 4.05. Estos resultados son similares a los reportados por Afoakwa (2016a), quien indica que el pH de la pulpa fresca de cacao se encuentra en el rango de 3.94 a 4.12.

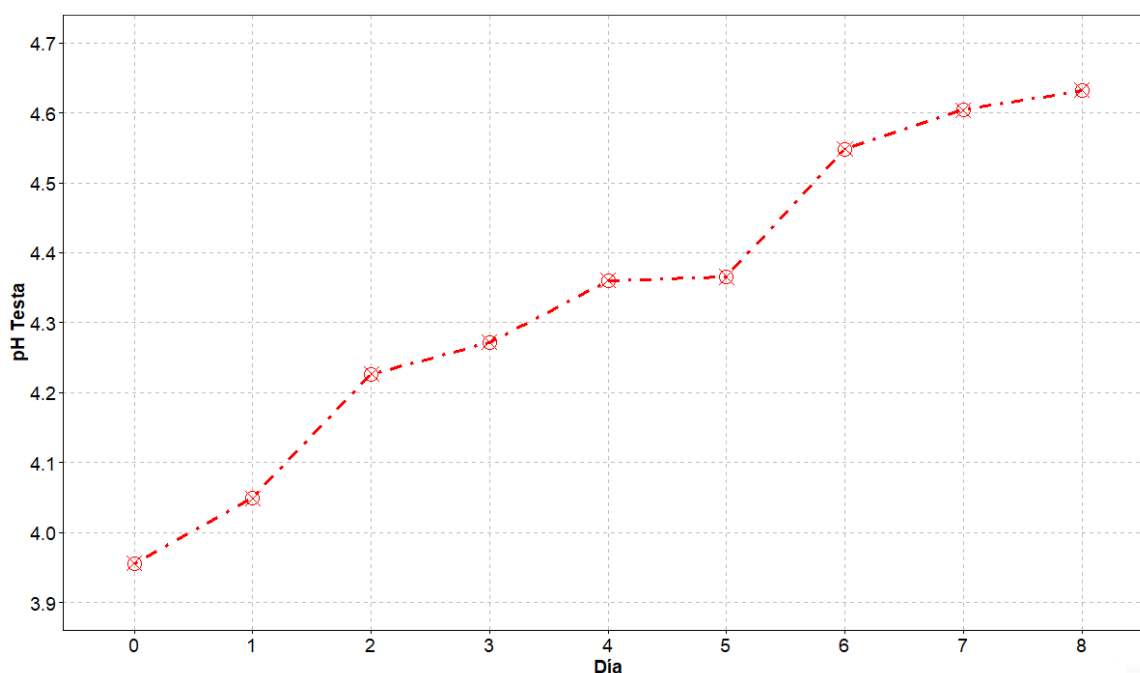
**Tabla 102. Estadísticos descriptivos para pH de la testa por día de fermentación.**

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
0	36	3.9558	0.29157	0.04860	3.8572	4.0545	3.45	4.71
1	36	4.0486	0.19986	0.03331	3.9810	4.1162	3.47	4.48
2	36	4.2264	0.19730	0.03288	4.1596	4.2931	3.68	4.69
3	36	4.2719	0.19774	0.03296	4.2050	4.3389	3.76	4.70
4	36	4.3606	0.36756	0.06126	4.2362	4.4849	3.60	5.24
5	36	4.3656	0.33884	0.05647	4.2509	4.4802	3.26	4.83
6	36	4.5483	0.23738	0.03956	4.4680	4.6287	3.70	5.02
7	36	4.6042	0.26828	0.04471	4.5134	4.6949	3.80	5.27
8	36	4.6325	0.25456	0.04243	4.5464	4.7186	3.80	5.13
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>4.3349</b>	<b>0.34658</b>	<b>0.01925</b>	<b>4.2970</b>	<b>4.3728</b>	<b>3.26</b>	<b>5.27</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 103. Separación de medias Tukey para la variable pH de la testa por día de fermentación.**

Día de fermentación	N	Media $\pm$ DE
8	36	$4.63 \pm 0.26^a$
7	36	$4.60 \pm 0.27^a$
6	36	$4.55 \pm 0.24^a$
5	36	$4.37 \pm 0.34^b$
4	36	$4.36 \pm 0.37^b$
3	36	$4.27 \pm 0.20^b$
2	36	$4.23 \pm 0.20^b$
1	36	$4.05 \pm 0.20^c$
0	36	$3.96 \pm 0.29^c$

Nota: \*\*Medias seguidas con igual letra no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ). Fuente: Elaboración propia (2021).**Figura 19. Promedio del pH de la testa por día de fermentación.** Fuente: Elaboración propia (2021).

El bajo pH de los granos de cacao al inicio de la fermentación se debe al alto contenido de ácido cítrico (1-2%) presente en los granos de cacao (Afoakwa, 2016a). Además, se observó que el valor del pH no presentó cambios significativos en el período comprendido entre el segundo y quinto día de procesamiento ( $p>0.05$ ), aunque el pH de la testa siempre aumentó gradualmente durante todos los días de fermentación. Sin embargo; el último cambio significativo se produjo entre el día 5 y 6 de procesamiento, seguido de un incremento diario, pero sin diferencias significativas ( $p>0.05$ ) hasta finalizar la fermentación.

El análisis de la interacción de factores de localidad y masa de procesamiento mostró que el valor mínimo de pH de la testa fue de 3.26 durante el procesamiento de 8 quintales de cacao en ASOSELNOR y el valor máximo fue de 5.27 reportado durante el procesamiento de 5 quintales en KATBALPOM (Tabla 104).

**Tabla 104. Estadísticos descriptivos para la variable pH de la testa por localidad y masa de fermentación (Localidad\*Masa).**

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM 11	36	4.2619	0.28605	0.04703	4.1665	4.3573	3.50	4.60
KATBALPOM 08	36	4.3817	0.34993	0.05832	4.2633	4.5001	3.58	4.95
KATBALPOM 05	36	4.6131	0.41250	0.06875	4.4735	4.7526	3.85	5.27
ASODIRP 11	36	4.3634	0.31360	0.05301	4.2557	4.4712	3.64	4.92
ASODIRP 08	36	4.3536	0.33602	0.05600	4.2399	4.4673	3.45	4.80
ASODIRP 05	36	4.3897	0.29967	0.04995	4.2883	4.4911	3.71	4.85
ASOSELNOR 11	36	4.1872	0.32943	0.05490	4.0758	4.2987	3.60	4.91
ASOSELNOR 08	36	4.2214	0.31744	0.05291	4.1140	4.3288	3.26	4.76
ASOSELNOR 05	36	4.2447	0.29732	0.04955	4.1441	4.3453	3.68	4.71
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>4.3349</b>	<b>0.34658</b>	<b>0.01925</b>	<b>4.2970</b>	<b>4.3728</b>	<b>3.26</b>	<b>5.27</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

Mediante el análisis de medias Tukey (Tabla 105) se observó que en ASOSELNOR y ASODIRP no se presentó diferencia ( $p>0.05$ ) en los valores de pH de la testa durante el procesamiento de las tres masas de fermentación. En KATBALPOM el promedio más alto



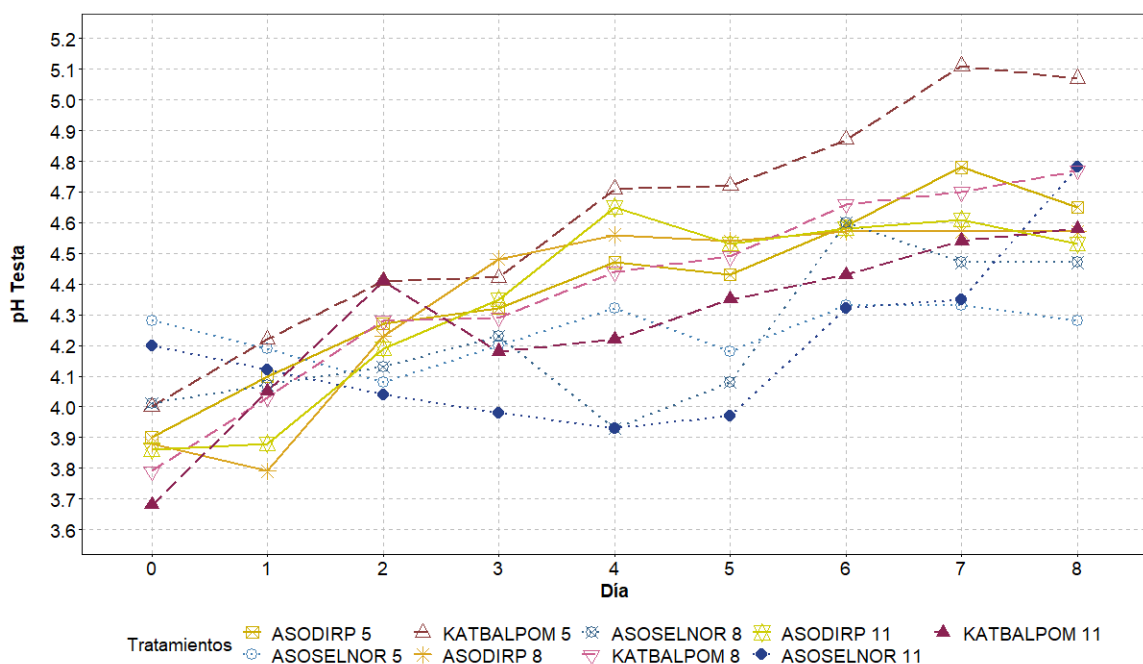


de pH de la testa se obtuvo durante el procesamiento de 5 quintales de cacao (Figura 20), esta masa de procesamiento también presentó la temperatura de fermentación más alta en esta misma localidad (Tabla 92).

**Tabla 105. Separación de medias Tukey para la variable pH de la testa por localidad y masa de fermentación (Localidad\*masa).**

Masa	5	8	11
Localidad	Media $\pm$ DE	Media $\pm$ DE	Media $\pm$ DE
<b>KATBALPOM</b>	4.61 $\pm$ 0.41 <sup>a(X)</sup>	4.38 $\pm$ 0.35 <sup>b(X)</sup>	4.26 $\pm$ 0.29 <sup>b(XY)</sup>
<b>ASOSELNOR</b>	4.24 $\pm$ 0.30 <sup>a(Z)</sup>	4.22 $\pm$ 0.32 <sup>a(Y)</sup>	4.19 $\pm$ 0.33 <sup>a(Y)</sup>
<b>ASODIRP</b>	4.39 $\pm$ 0.30 <sup>a(Y)</sup>	4.36 $\pm$ 0.34 <sup>a(X)</sup>	4.36 $\pm$ 0.31 <sup>a(X)</sup>

Nota: \*Medias seguidas con igual letra minúscula en la fila no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ). \*Medias seguidas con igual letra mayúscula en la columna no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ). \*\*DE: Desviación estándar. Fuente: Elaboración propia (2021).



**Figura 20. Comportamiento del pH de la testa por localidad y masa de fermentación.** Fuente: Elaboración propia (2021).

El análisis de la interacción de los factores localidad y día mostraron que el valor mínimo de pH de la testa (3.26) se obtuvo al quinto día de fermentación en ASOSELNOR, mientras que el máximo valor se reportó al séptimo día de fermentación en KATBALPOM (5.27) (Tabla 106).

**Tabla 106. Estadísticos descriptivos para la variable pH de la testa por localidad y día de fermentación (Localidad\*Día).**

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM_D0	12	3.82	0.253	0.073	3.66	3.98	3.50	4.29
KATBALPOM_D1	12	4.10	0.163	0.047	3.99	4.20	3.94	4.48
KATBALPOM_D2	12	4.37	0.175	0.050	4.26	4.48	4.13	4.69
KATBALPOM_D3	12	4.29	0.166	0.048	4.19	4.40	4.12	4.70
KATBALPOM_D4	12	4.46	0.337	0.097	4.24	4.67	4.18	5.24
KATBALPOM_D5	12	4.52	0.197	0.057	4.39	4.64	4.28	4.83
KATBALPOM_D6	12	4.65	0.245	0.071	4.50	4.81	4.34	5.02
KATBALPOM_D7	12	4.78	0.279	0.080	4.60	4.96	4.49	5.27
KATBALPOM_D8	12	4.81	0.236	0.068	4.66	4.96	4.54	5.13
ASODIRP_D0	12	3.88	0.203	0.059	3.75	4.01	3.45	4.20
ASODIRP_D1	12	3.92	0.227	0.065	3.78	4.07	3.47	4.25
ASODIRP_D2	12	4.23	0.123	0.035	4.15	4.31	4.04	4.41
ASODIRP_D3	12	4.38	0.131	0.038	4.30	4.47	4.20	4.62
ASODIRP_D4	12	4.56	0.196	0.056	4.44	4.69	4.21	4.92
ASODIRP_D5	11	4.50	0.153	0.046	4.40	4.60	4.14	4.70
ASODIRP_D6	12	4.58	0.095	0.027	4.52	4.64	4.44	4.75
ASODIRP_D7	12	4.65	0.136	0.039	4.56	4.74	4.43	4.85
ASODIRP_D8	13	4.58	0.103	0.029	4.51	4.64	4.42	4.75
ASOSELNOR_D0	12	4.17	0.303	0.087	3.97	4.36	3.72	4.71
ASOSELNOR_D1	12	4.12	0.152	0.044	4.03	4.22	3.88	4.37
ASOSELNOR_D2	12	4.08	0.184	0.053	3.96	4.20	3.68	4.38
ASOSELNOR_D3	12	4.14	0.216	0.062	4.00	4.28	3.76	4.40
ASOSELNOR_D4	12	4.06	0.356	0.103	3.84	4.29	3.60	4.61
ASOSELNOR_D5	12	4.08	0.412	0.119	3.82	4.34	3.26	4.56
ASOSELNOR_D6	12	4.42	0.280	0.081	4.24	4.59	3.70	4.76
ASOSELNOR_D7	12	4.38	0.208	0.060	4.25	4.51	3.80	4.61
ASOSELNOR_D8	12	4.51	0.295	0.085	4.32	4.70	3.80	4.91
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>4.33</b>	<b>0.347</b>	<b>0.019</b>	<b>4.30</b>	<b>4.37</b>	<b>3.26</b>	<b>5.27</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

La separación de medias Tukey mostró que el promedio de pH de la testa más alto se reportó al octavo día en KATBALPOM (4.81). En ASODIRP se obtuvieron incrementos significativos durante los primeros cuatro días; sin embargo, del cuarto al octavo día de fermentación no existieron diferencias estadísticas significativas en los valores de pH de la testa (Tabla 107, Figura 21). En el inicio del procesamiento, día cero, se observaron diferencias significativas en el pH de la testa ( $p \leq 0.05$ ), en el cual ASOSELNOR presentó el valor más alto (4.17) en comparación con las otras dos asociaciones (Tabla 107, Figura



21). Esta diferencia puede ser debido a la variación en el estado de madurez de los frutos cosechados, lo cual se refleja en el leve incremento del pH de la testa.

Los ácidos orgánicos, principalmente ácido cítrico, decrecen en concentración al incrementar el estado de madurez del fruto y por lo tanto el pH incrementa levemente conforme avanza el proceso de maduración (S. S. Nielsen, 2017). ASOSELNOR también presentó los valores más bajos de pH de la testa desde el segundo día de fermentación hasta el final del proceso. Esta asociación presentó un comportamiento diferente en los cambios de pH de la testa en comparación con las otras dos localidades. Al finalizar el proceso de fermentación, KATBALPOM presentó el valor promedio más alto del pH de la testa (4.81), el cual fue estadísticamente diferente ( $p \leq 0.05$ ) en comparación con las otras dos asociaciones.

**Tabla 107. Separación de medias Tukey para la variable pH de la testa por localidad y día de fermentación (Localidad\*Día).**

Localidad Día	KATBALPOM Media $\pm$ DE	ASOSELNOR Media $\pm$ DE	ASODIRP Media $\pm$ DE
0	3.82 $\pm$ 0.25 <sup>f(Y)</sup>	4.17 $\pm$ 0.30 <sup>bcd(X)</sup>	3.88 $\pm$ 0.20 <sup>c(Y)</sup>
1	4.10 $\pm$ 0.16 <sup>e(X)</sup>	4.12 $\pm$ 0.15 <sup>cd(X)</sup>	3.92 $\pm$ 0.23 <sup>c(X)</sup>
2	4.37 $\pm$ 0.18 <sup>d(X)</sup>	4.08 $\pm$ 0.18 <sup>d(Y)</sup>	4.23 $\pm$ 0.12 <sup>b(XY)</sup>
3	4.29 $\pm$ 0.17 <sup>de(XY)</sup>	4.14 $\pm$ 0.22 <sup>cd(Y)</sup>	4.38 $\pm$ 0.13 <sup>ab(X)</sup>
4	4.46 $\pm$ 0.34 <sup>cd(X)</sup>	4.06 $\pm$ 0.36 <sup>d(Y)</sup>	4.56 $\pm$ 0.20 <sup>a(X)</sup>
5	4.52 $\pm$ 0.20 <sup>bcd(X)</sup>	4.08 $\pm$ 0.41 <sup>d(Y)</sup>	4.50 $\pm$ 0.15 <sup>a(X)</sup>
6	4.65 $\pm$ 0.24 <sup>abc(X)</sup>	4.42 $\pm$ 0.28 <sup>ab(Y)</sup>	4.58 $\pm$ 0.10 <sup>a(XY)</sup>
7	4.78 $\pm$ 0.28 <sup>ab(X)</sup>	4.38 $\pm$ 0.21 <sup>abc(Y)</sup>	4.65 $\pm$ 0.14 <sup>a(X)</sup>
8	4.81 $\pm$ 0.24 <sup>a(X)</sup>	4.51 $\pm$ 0.30 <sup>a(Y)</sup>	4.58 $\pm$ 0.10 <sup>a(Y)</sup>

Nota: \*Medias seguidas con igual letra minúscula en la columna no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ). \*Medias seguidas con igual letra mayúscula en la fila no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ). \*\* DE: Desviación estándar. Fuente: Elaboración propia (2021).



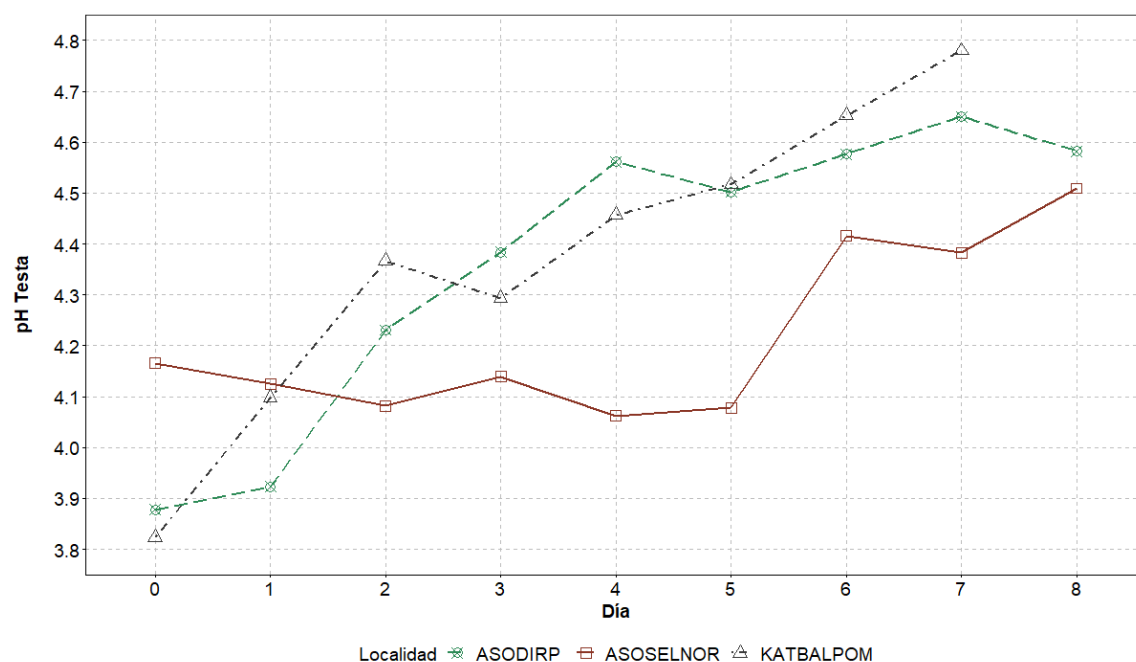


Figura 21. pH de la testa por localidad y día de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021).

El análisis de la interacción de factores masa y día de fermentación mostró que el valor mínimo (3.26) se obtuvo al quinto día de fermentación durante el procesamiento de 8 quintales de cacao. El valor máximo se obtuvo al séptimo día durante la fermentación de 5 quintales (Tabla 108). La prueba de separación de medias Tukey mostró que durante el procesamiento de 11 quintales el promedio más alto de pH se obtuvo durante el último día de procesamiento con 4.63 y en la fermentación de 8 quintales el máximo valor se alcanzó al sexto día con 4.61. Por otro lado, durante el procesamiento de 5 quintales, el valor más alto se obtuvo al séptimo día de procesamiento, con 4.74, seguido de una leve disminución durante el último día de fermentación (Tabla 109).

En el inicio del proceso de fermentación, día cero, las tres masas de fermentación no presentaron diferencias estadísticas ( $p > 0.05$ ) en el valor del pH de la testa. Resultado diferente al observado en el análisis de la interacción de factores de localidad y día de fermentación, en donde una de las asociaciones presentó valores iniciales más altos. En general, el comportamiento del pH de la testa fue similar durante el procesamiento de las

tres masas de fermentación (Figura 22), observando diferencia en los valores de pH de la testa únicamente en cuatro días (día 1, 4, 5 y 7) durante el procesamiento, principalmente debido a bajos valores de pH observados durante la fermentación de 11 quintales de cacao. El pH de la testa fue incrementando durante cada día de procesamiento, lo cual refleja los cambios generados por los microorganismos durante la fermentación. Al finalizar el proceso, las tres masas de fermentación (11, 8 y 5 quintales) no presentaron diferencia estadística significativa ( $p>0.05$ ) en el valor final de pH de la testa de los granos de cacao.

**Tabla 108. Estadísticos descriptivos para la variable pH de la testa por masa y día de fermentación (Masa\*Día).**

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
11_D0	12	3.92	0.349	0.101	3.70	4.14	3.50	4.53
11_D1	12	4.02	0.194	0.056	3.90	4.14	3.64	4.30
11_D2	12	4.21	0.183	0.053	4.10	4.33	3.98	4.50
11_D3	12	4.17	0.176	0.051	4.06	4.28	3.77	4.37
11_D4	12	4.26	0.348	0.100	4.04	4.49	3.60	4.92
11_D5	12	4.28	0.327	0.095	4.07	4.49	3.65	4.60
11_D6	12	4.44	0.141	0.041	4.35	4.53	4.22	4.72
11_D7	12	4.50	0.145	0.042	4.40	4.59	4.24	4.73
11_D8	12	4.63	0.166	0.048	4.52	4.73	4.42	4.91
08_D0	12	3.89	0.230	0.066	3.74	4.04	3.45	4.17
08_D1	12	3.96	0.201	0.058	3.83	4.09	3.47	4.16
08_D2	12	4.21	0.136	0.039	4.13	4.30	4.01	4.41
08_D3	12	4.33	0.167	0.048	4.23	4.44	4.10	4.62
08_D4	12	4.31	0.389	0.112	4.07	4.56	3.65	4.80
08_D5	12	4.37	0.376	0.109	4.13	4.61	3.26	4.72
08_D6	12	4.61	0.165	0.048	4.50	4.71	4.34	4.90
08_D7	12	4.58	0.139	0.040	4.49	4.67	4.37	4.91
08_D8	12	4.60	0.176	0.051	4.49	4.71	4.30	4.95
05_D0	12	4.06	0.279	0.081	3.88	4.24	3.71	4.71
05_D1	12	4.17	0.156	0.045	4.07	4.27	3.96	4.48
05_D2	12	4.25	0.266	0.077	4.09	4.42	3.68	4.69
05_D3	12	4.31	0.219	0.063	4.17	4.45	3.76	4.70
05_D4	12	4.50	0.351	0.101	4.28	4.73	3.83	5.24
05_D5	12	4.44	0.320	0.092	4.24	4.65	3.70	4.83
05_D6	12	4.60	0.337	0.097	4.38	4.81	3.70	5.02
05_D7	12	4.74	0.395	0.114	4.49	4.99	3.80	5.27
05_D8	12	4.67	0.381	0.110	4.42	4.91	3.80	5.13
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>4.33</b>	<b>0.347</b>	<b>0.019</b>	<b>4.30</b>	<b>4.37</b>	<b>3.26</b>	<b>5.27</b>

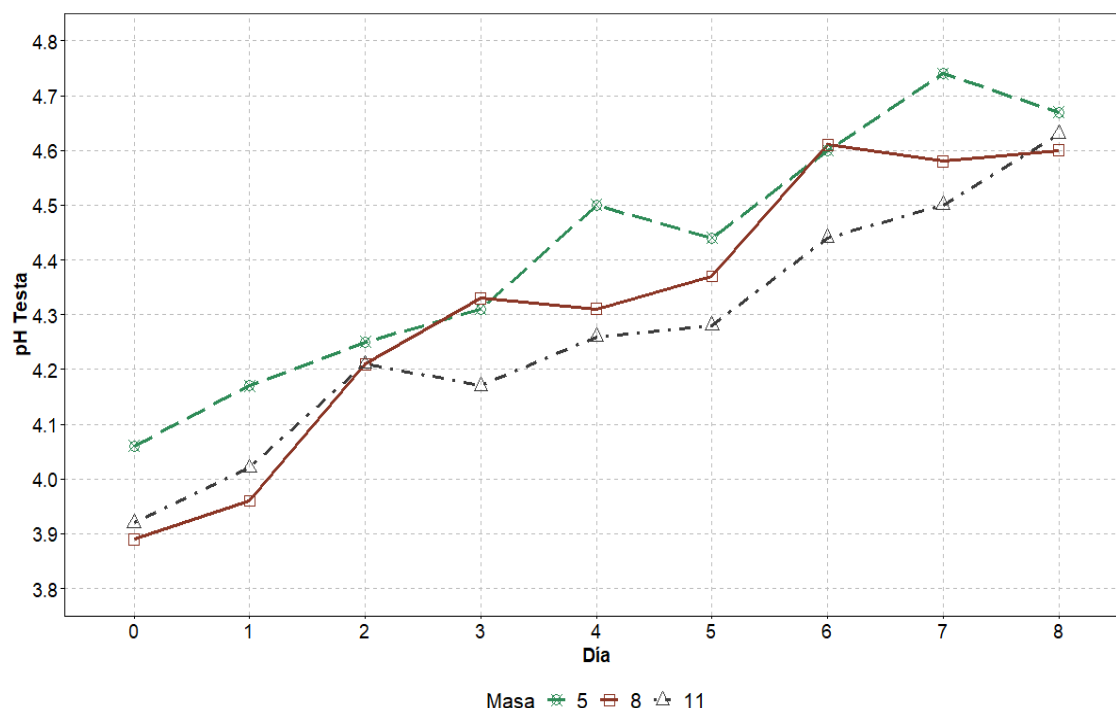
Fuente: Elaboración propia (2021).



**Tabla 109. Separación de medias Tukey para la variable pH de la testa por masa y día de fermentación (Masa\*Día).**

Masa Día	11 Media $\pm$ DE	8 Media $\pm$ DE	5 Media $\pm$ DE
0	3.92 $\pm$ 0.35 <sup>e(X)</sup>	3.89 $\pm$ 0.23 <sup>e(X)</sup>	4.06 $\pm$ 0.28 <sup>d(X)</sup>
1	4.02 $\pm$ 0.19 <sup>de(XY)</sup>	3.96 $\pm$ 0.20 <sup>de(Y)</sup>	4.17 $\pm$ 0.16 <sup>d(X)</sup>
2	4.21 $\pm$ 0.18 <sup>cd(X)</sup>	4.21 $\pm$ 0.14 <sup>cd(X)</sup>	4.25 $\pm$ 0.27 <sup>cd(X)</sup>
3	4.17 $\pm$ 0.18 <sup>de(X)</sup>	4.33 $\pm$ 0.17 <sup>bc(X)</sup>	4.31 $\pm$ 0.22 <sup>cd(X)</sup>
4	4.26 $\pm$ 0.35 <sup>bcd(Y)</sup>	4.31 $\pm$ 0.39 <sup>bc(XY)</sup>	4.50 $\pm$ 0.35 <sup>abc(X)</sup>
5	4.28 $\pm$ 0.33 <sup>bcd(Y)</sup>	4.31 $\pm$ 0.39 <sup>bc(XY)</sup>	4.44 $\pm$ 0.32 <sup>bc(X)</sup>
6	4.44 $\pm$ 0.14 <sup>abc(X)</sup>	4.61 $\pm$ 0.16 <sup>a(X)</sup>	4.60 $\pm$ 0.34 <sup>ab(X)</sup>
7	4.50 $\pm$ 0.14 <sup>ab(Y)</sup>	4.58 $\pm$ 0.14 <sup>ab(XY)</sup>	4.74 $\pm$ 0.40 <sup>a(X)</sup>
8	4.63 $\pm$ 0.17 <sup>a(X)</sup>	4.60 $\pm$ 0.18 <sup>a(X)</sup>	4.67 $\pm$ 0.38 <sup>ab(X)</sup>

Nota: \*Medias seguidas con igual letra minúscula en la columna no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ). \*Medias seguidas con igual letra mayúscula en la fila no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ). \*\* DE: Desviación estándar. Fuente: Elaboración propia (2021).



**Figura 22.** Comportamiento del pH de la testa por masa y día de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021).

### 3) pH del cotiledón

El análisis de varianza mostró que los factores que presentaron significancia estadística ( $p \leq 0.05$ ) para la variable pH del cotiledón de los granos de cacao durante el proceso de fermentación fueron localidad y día de fermentación, además la interacción de

los factores que fue estadísticamente significativa fueron localidad y masa de fermentación, localidad y día de fermentación, y masa y día de fermentación (Tabla 110).

**Tabla 110. Análisis de Varianza para la variable pH del cotiledón**

Factores e interacciones	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F	Sig.
Localidad	4.440	2	2.220	30.765	0.000
Masa	0.096	2	0.048	0.663	0.516
Día	106.900	8	13.363	185.165	0.000
Localidad*Masa	3.165	4	0.791	10.966	0.000
Localidad*Día	9.475	16	0.592	8.206	0.000
Masa* Día	3.256	16	0.203	2.820	0.000
Localidad*Masa*Día	1.940	32	0.061	0.840	0.716
Error	17.536	243	0.072		
<b>Total corregido</b>	<b>146.808</b>	<b>323</b>			

Fuente: Elaboración propia (2021).

El pH del cotiledón presentó un promedio de 4.98 para la ecorregión de Lachuá, con un 95% de intervalo de confianza de 4.90 a 5.05. El valor mínimo reportado fue de 3.80 en ASOSELNOR y el valor máximo se obtuvo en ASODIRP con 6.66 (Tabla 111). Mediante la prueba de separación de medias Tukey se determinó que ASODIRP presentó diferencias ( $p \leq 0.05$ ) en comparación con las otras dos asociaciones, presentando el mayor valor promedio de pH de cotiledón con 5.14 (Tabla 112).

**Tabla 111. Estadísticos descriptivos para la variable pH del cotiledón por localidad de procesamiento.**

Localidad	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM	108	4.8694	0.53562	0.05154	4.7672	4.9715	4.17	6.64
ASODIRP	108	5.1427	0.74645	0.07183	5.0003	5.2851	4.26	6.66
ASOLENOR	108	4.9309	0.69747	0.06711	4.7979	5.0640	3.80	6.38
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>4.9810</b>	<b>0.67418</b>	<b>0.03745</b>	<b>4.9073</b>	<b>5.0547</b>	<b>3.80</b>	<b>6.66</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 112. Separación de medias Tukey para pH del cotiledón por localidad.**

Localidad	N	Media $\pm$ DE**
ASODIRP	108	5.14 $\pm$ 0.75 <sup>a</sup>
ASOSELNOR	108	4.93 $\pm$ 0.70 <sup>b</sup>
KATBALPOM	108	4.87 $\pm$ 0.54 <sup>b</sup>

Nota: \*Medias seguidas con igual letra no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ). \* DE: Desviación estándar. Fuente: Elaboración propia (2021).



De acuerdo con el análisis de varianza, la masa de fermentación no fue un factor significativo en los valores del pH del cotiledón durante la fermentación de cacao (Tabla 110). El valor máximo y mínimo de pH del cotiledón se observó durante el procesamiento de 5 quintales de cacao (Tabla 113).

**Tabla 113. Estadísticos descriptivos para la variable pH del cotiledón por masa de fermentación.**

Masa de procesamiento	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
5	108	4.9790	0.63112	0.06073	4.8586	5.0994	3.80	6.66
8	108	5.0030	0.69337	0.06672	4.8707	5.1352	4.27	6.59
11	108	4.9610	0.70147	0.06750	4.8272	5.0948	4.21	6.64
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>4.9810</b>	<b>0.67418</b>	<b>0.03745</b>	<b>4.9073</b>	<b>5.0547</b>	<b>3.80</b>	<b>6.66</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

El análisis por día de procesamiento mostró que el valor mínimo se reportó en el séptimo y octavo día de fermentación, mientras que el valor máximo se presentó al día cero (Tabla 114). Mediante la prueba de separación de medias Tukey se mostró que el promedio más alto ( $p \leq 0.05$ ) de pH del cotiledón se presentó al día cero de fermentación, con un valor promedio de 6.17, seguido de disminuciones significativas durante los siguientes tres días. Los valores iniciales de pH y el comportamiento durante el proceso son similares a los reportados por Schwan et al. (2015), quienes describen que el pH de los cotiledones en los granos de cacao al inicio de la fermentación es de 7.0, el cual decrece durante el proceso, provocando la muerte del embrión y pérdida de la organización celular dentro de la semilla. En la fase final, el pH del cotiledón no presentó cambios significativos desde el quinto al octavo día (Tabla 115, Figura 23).



**Tabla 114. Estadísticos descriptivos para pH del cotiledón por día de fermentación.**

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
0	36	6.1658	0.38843	0.06474	6.0344	6.2973	5.22	6.66
1	36	5.7633	0.50669	0.08445	5.5919	5.9348	5.00	6.62
2	36	5.2394	0.60439	0.10073	5.0349	5.4439	4.17	6.59
3	36	4.8142	0.35633	0.05939	4.6936	4.9347	4.36	5.86
4	36	4.6558	0.23360	0.03893	4.5768	4.7349	4.21	5.12
5	36	4.5139	0.19322	0.03220	4.4485	4.5793	3.93	4.87
6	36	4.5461	0.19705	0.03284	4.4794	4.6128	4.17	4.93
7	36	4.5631	0.21732	0.03622	4.4895	4.6366	3.80	5.07
8	36	4.5672	0.24977	0.04163	4.4827	4.6517	3.80	5.36
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>4.9810</b>	<b>0.67418</b>	<b>0.03745</b>	<b>4.9073</b>	<b>5.0547</b>	<b>3.80</b>	<b>6.66</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 115. Separación de medias Tukey para la variable pH del cotiledón por día de fermentación.**

Día de fermentación	N	Media $\pm$ DE
0	36	6.17 $\pm$ 0.39 <sup>a</sup>
1	36	5.76 $\pm$ 0.51 <sup>b</sup>
2	36	5.24 $\pm$ 0.60 <sup>c</sup>
3	36	4.81 $\pm$ 0.36 <sup>d</sup>
4	36	4.66 $\pm$ 0.23 <sup>de</sup>
5	36	4.51 $\pm$ 0.19 <sup>e</sup>
6	36	4.55 $\pm$ 0.20 <sup>e</sup>
7	36	4.56 $\pm$ 0.22 <sup>e</sup>
8	36	4.57 $\pm$ 0.25 <sup>e</sup>

Nota: \*\*Medias seguidas con igual letra no son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ). Fuente: Elaboración propia (2021).

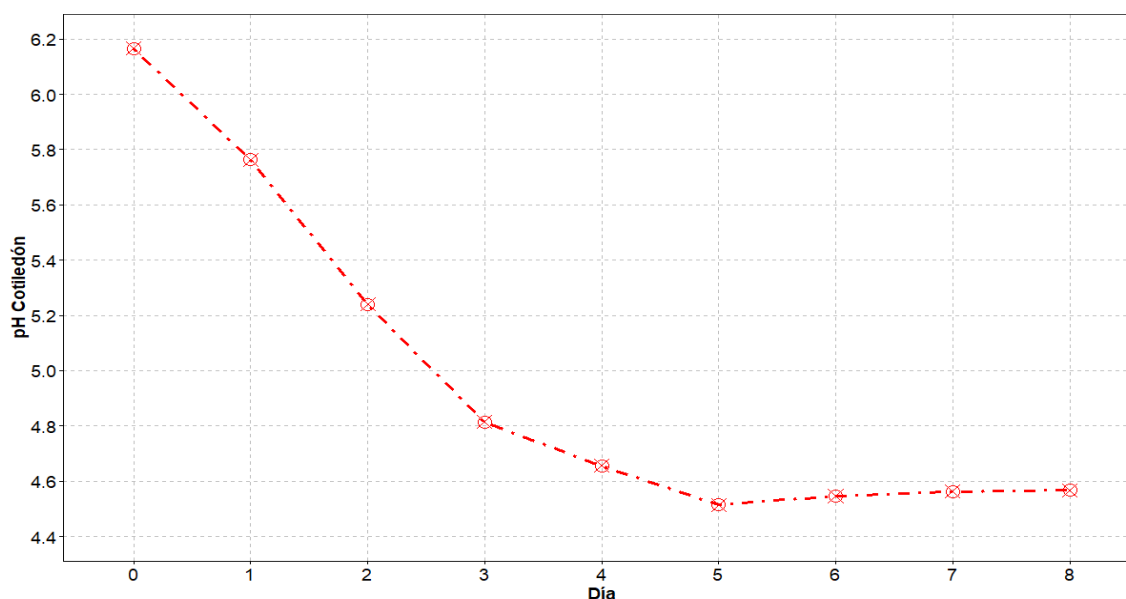


Figura 23. Promedio del pH del cotiledón por día de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021).

Los resultados del pH del cotiledón en la interacción de factores de localidad y masa de fermentación presentaron el valor mínimo en el procesamiento de 5 quintales de cacao en ASOSELNOR, y el máximo valor se reportó durante la fermentación de 11 quintales en KATBALPOM (Tabla 116). Mediante la separación de medias Tukey se determinó que, en la fermentación de 5 quintales de cacao, KATBALPOM y ASODIRP no presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p>0.05$ ) en el promedio de pH del cotiledón. Por otro lado, ASOSELNOR presentó el promedio más bajo con 4.79 (Tabla 117). En la fermentación de 8 quintales de cacao, ASOSELNOR y ASODIRP no presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p>0.05$ ), y KATBALPOM presentó el promedio de pH del cotiledón más bajo ( $p\leq 0.05$ ) con 4.83. En el procesamiento de 11 quintales existió diferencia estadística entre las tres asociaciones ( $p\leq 0.05$ ), el valor más alto se observó en ASODIRP (5.21), seguido de ASOSELNOR (4.91), y KATBALPOM (4.75). En general, los promedios más altos se observaron en ASODIRP en las tres masas de fermentación.

Los resultados mostraron diferencias en el pH del cotiledón durante el procesamiento de diferentes masas de cacao en cada comunidad, es decir que existe variabilidad dentro de las comunidades cuando se procesan diferentes masas de cacao, principalmente en KATBALPOM y ASOSELNOR. En KATBALPOM el procesamiento de 5 quintales presentó un promedio de pH del cotiledón más alto ( $p\leq 0.05$ ) en comparación con el procesamiento de 8 y 11 quintales de cacao en esta misma asociación. En ASOSELNOR, fue el procesamiento de 8 quintales de cacao que presentó el promedio de pH más alto ( $p\leq 0.05$ ) en comparación con las otras dos masas de fermentación. Por otro lado, en ASODIRP no existió diferencia estadística significativa ( $p>0.05$ ) en el pH del cotiledón durante el procesamiento de las tres masas de fermentación (Tabla 117).



**Tabla 116.** Estadísticos descriptivos para la variable pH del cotiledón por localidad y masa de fermentación (Localidad\*Masa).

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM 11	36	4.7542	0.56415	0.09402	4.5633	4.9450	4.33	6.64
KATBALPOM 08	36	4.8314	0.52883	0.08814	4.6525	5.0103	4.27	6.58
KATBALPOM 05	36	5.0225	0.48978	0.08163	4.8568	5.1882	4.17	6.29
ASODIRP 11	36	5.2161	0.78085	0.13014	4.9519	5.4803	4.37	6.64
ASODIRP 08	36	5.0903	0.75525	0.12588	4.8347	5.3458	4.48	6.59
ASODIRP 05	36	5.1217	0.71723	0.11954	4.8790	5.3643	4.26	6.66
ASOSELNOR 11	36	4.9128	0.68043	0.11340	4.6826	5.1430	4.21	6.26
ASOSELNOR 08	36	5.0872	0.75780	0.12630	4.8308	5.3436	4.27	6.38
ASOSELNOR 05	36	4.7928	0.63629	0.10605	4.5775	5.0081	3.80	6.27
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>4.9810</b>	<b>0.67418</b>	<b>0.03745</b>	<b>4.9073</b>	<b>5.0547</b>	<b>3.80</b>	<b>6.66</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

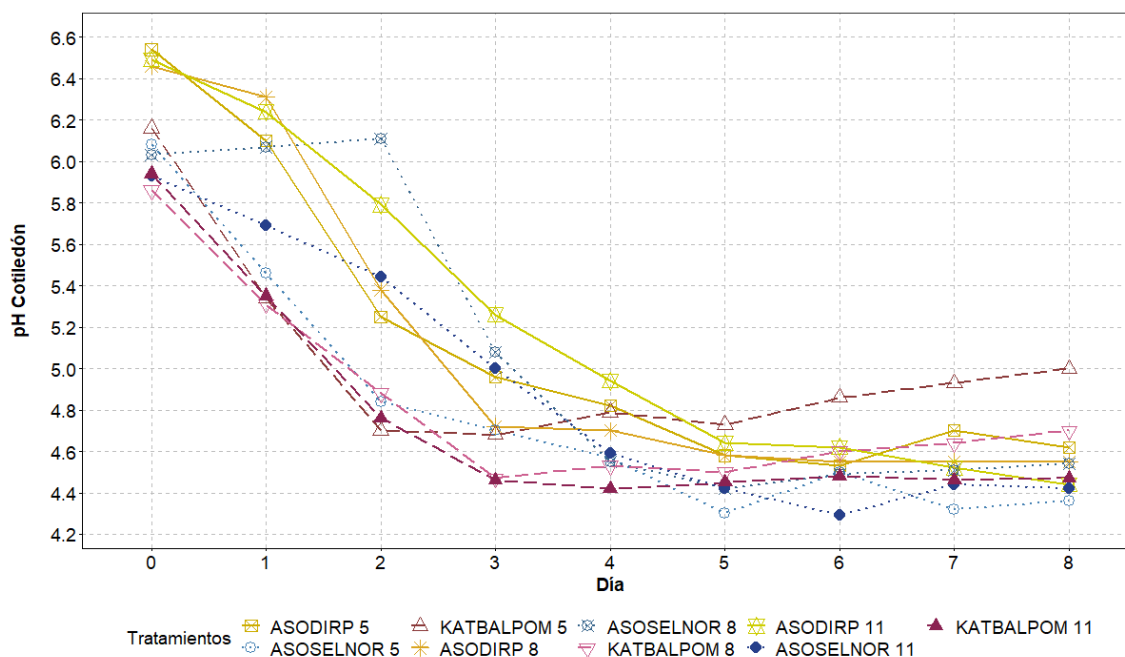
**Tabla 117.** Separación de medias Tukey para la variable pH del cotiledón por localidad y masa de fermentación (Localidad\*masa).

Masa	5	8	11
Localidad	Media $\pm$ DE	Media $\pm$ DE	Media $\pm$ DE
<b>KATBALPOM</b>	5.02 $\pm$ 0.49 <sup>a(X)</sup>	4.83 $\pm$ 0.53 <sup>b(Y)</sup>	4.75 $\pm$ 0.56 <sup>b(Z)</sup>
<b>ASOSELNOR</b>	4.79 $\pm$ 0.64 <sup>b(Y)</sup>	5.09 $\pm$ 0.76 <sup>a(X)</sup>	4.91 $\pm$ 0.68 <sup>b(Y)</sup>
<b>ASODIRP</b>	5.12 $\pm$ 0.72 <sup>a(X)</sup>	5.09 $\pm$ 0.76 <sup>a(X)</sup>	5.21 $\pm$ 0.78 <sup>a(X)</sup>

Note: \*Medias seguidas con igual letra minúscula en la fila no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ).

\*Medias seguidas con igual letra mayúscula en la columna no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ). \*\*

DE: Desviación estándar. Fuente: Elaboración propia (2021).



**Figura 24.** Comportamiento del pH del cotiledón por localidad y masa de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021).

En la interacción de factores localidad y día de fermentación, los resultados de pH del cotiledón mostraron el valor mínimo durante el séptimo y octavo día de fermentación en ASOSELNOR, con un valor de 3.80 y el valor máximo se obtuvo durante el día en ASODIRP con 6.66 (Tabla 118). La prueba de separación de medias Tukey permitió determinar que en KATBALPOM, el día cero y uno presentaron promedios de pH del cotiledón diferentes a los otros días de procesamiento. Desde el segundo hasta el octavo día de fermentación no existió diferencia significativa en el pH del cotiledón, sin embargo; si se observó tendencia decreciente del pH durante los primeros tres días, seguido de un periodo de ligero incremento del pH durante los últimos cuatro días de fermentación (Figura 25). En ASOSELNOR el pH disminuyó significativamente durante los primeros tres días, a partir del cuarto día no existieron diferencias significativas en el cambio de pH del cotiledón. Similar comportamiento fue obtenido en ASODIRP, donde en el segundo y tercer día se obtuvo una reducción significativa de pH y a partir del quinto día no existió cambio significativo en la acidez del cotiledón (Tabla 119).

En el inicio de la fermentación, ASODIRP presentó el valor más alto en pH del cotiledón con 6.50. En los primeros tres días de procesamiento KATBALPOM presentó pH promedio menor al de las otras dos asociaciones, lo que indica que los ácidos generados durante los primeros días de procesamiento ingresaron al cotiledón con mayor rapidez en esta localidad. Desde el cuarto hasta el séptimo día no existió diferencia estadística entre el procesamiento de cacao en las tres asociaciones ( $p > 0.05$ ). Al finalizar el proceso de fermentación KATBALPOM presentó el promedio de pH del cotiledón más alto con 4.72 y ASOSELNOR reportó el promedio más bajo con 4.44 (Tabla 119).



**Tabla 118. Estadísticos descriptivos para la variable pH del cotiledón por localidad y día de fermentación (Localidad\*Día).**

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
KATBALPOM_D0	12	5.99	0.408	0.118	5.73	6.25	5.41	6.64
KATBALPOM_D1	12	5.33	0.370	0.107	5.10	5.57	5.00	6.05
KATBALPOM_D2	12	4.78	0.382	0.110	4.54	5.02	4.17	5.51
KATBALPOM_D3	12	4.53	0.137	0.040	4.45	4.62	4.36	4.78
KATBALPOM_D4	12	4.58	0.241	0.070	4.43	4.73	4.33	5.04
KATBALPOM_D5	12	4.56	0.159	0.046	4.46	4.66	4.32	4.78
KATBALPOM_D6	12	4.65	0.229	0.066	4.50	4.79	4.27	4.93
KATBALPOM_D7	12	4.68	0.239	0.069	4.52	4.83	4.39	5.07
KATBALPOM_D8	12	4.72	0.285	0.082	4.54	4.91	4.37	5.36
ASODIRP_D0	12	6.50	0.097	0.028	6.43	6.56	6.36	6.66
ASODIRP_D1	12	6.22	0.280	0.081	6.04	6.40	5.69	6.62
ASODIRP_D2	12	5.47	0.432	0.125	5.20	5.75	4.92	6.59
ASODIRP_D3	12	4.98	0.355	0.102	4.75	5.20	4.59	5.86
ASODIRP_D4	12	4.82	0.182	0.052	4.71	4.94	4.64	5.12
ASODIRP_D5	11	4.58	0.139	0.042	4.48	4.67	4.26	4.87
ASODIRP_D6	12	4.56	0.099	0.029	4.50	4.63	4.44	4.75
ASODIRP_D7	12	4.59	0.107	0.031	4.52	4.66	4.47	4.75
ASODIRP_D8	13	4.57	0.139	0.039	4.48	4.65	4.37	4.71
ASOSELNOR_D0	12	6.01	0.356	0.103	5.79	6.24	5.22	6.31
ASOSELNOR_D1	12	5.74	0.417	0.120	5.47	6.00	5.06	6.25
ASOSELNOR_D2	12	5.46	0.696	0.201	5.02	5.91	4.42	6.38
ASOSELNOR_D3	12	4.93	0.361	0.104	4.70	5.16	4.44	5.47
ASOSELNOR_D4	12	4.57	0.192	0.055	4.44	4.69	4.21	4.81
ASOSELNOR_D5	12	4.38	0.195	0.056	4.26	4.50	3.93	4.61
ASOSELNOR_D6	12	4.43	0.182	0.053	4.31	4.54	4.17	4.76
ASOSELNOR_D7	12	4.42	0.214	0.062	4.29	4.56	3.80	4.67
ASOSELNOR_D8	12	4.44	0.243	0.070	4.28	4.59	3.80	4.81
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>4.98</b>	<b>0.674</b>	<b>0.037</b>	<b>4.91</b>	<b>5.05</b>	<b>3.80</b>	<b>6.66</b>

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 119. Separación de medias Tukey para la variable pH del cotiledón por localidad y día de fermentación (Localidad\*Día).**

Localidad Día	KATBALPOM Media ± DE	ASOSELNOR Media ± DE	ASODIRP Media ± DE
<b>0</b>	5.99 ± 0.40 <sup>a(Y)</sup>	6.01 ± 0.36 <sup>a(Y)</sup>	6.50 ± 0.10 <sup>a(X)</sup>
<b>1</b>	5.33 ± 0.37 <sup>b(Z)</sup>	5.74 ± 0.42 <sup>ab(Y)</sup>	6.22 ± 0.28 <sup>a(X)</sup>
<b>2</b>	4.78 ± 0.38 <sup>c(Y)</sup>	5.46 ± 0.70 <sup>b(X)</sup>	5.47 ± 0.43 <sup>b(X)</sup>
<b>3</b>	4.53 ± 0.14 <sup>c(Y)</sup>	4.93 ± 0.36 <sup>c(X)</sup>	4.98 ± 0.36 <sup>c(X)</sup>
<b>4</b>	4.58 ± 0.24 <sup>c(X)</sup>	4.57 ± 0.19 <sup>d(X)</sup>	4.82 ± 0.18 <sup>cd(X)</sup>
<b>5</b>	4.56 ± 0.16 <sup>c(X)</sup>	4.38 ± 0.20 <sup>d(X)</sup>	4.58 ± 0.14 <sup>d(X)</sup>
<b>6</b>	4.65 ± 0.23 <sup>c(X)</sup>	4.42 ± 0.18 <sup>d(X)</sup>	4.56 ± 0.10 <sup>d(X)</sup>
<b>7</b>	4.68 ± 0.24 <sup>c(X)</sup>	4.42 ± 0.21 <sup>d(X)</sup>	4.59 ± 0.11 <sup>d(X)</sup>
<b>8</b>	4.72 ± 0.28 <sup>c(X)</sup>	4.44 ± 0.24 <sup>d(Y)</sup>	4.57 ± 0.14 <sup>d(XY)</sup>

Nota: \*Medias seguidas con igual letra minúscula en la columna no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ). \*Medias seguidas con igual letra mayúscula en la fila no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ). \*\* DE: Desviación estándar. Fuente: Elaboración propia (2021).



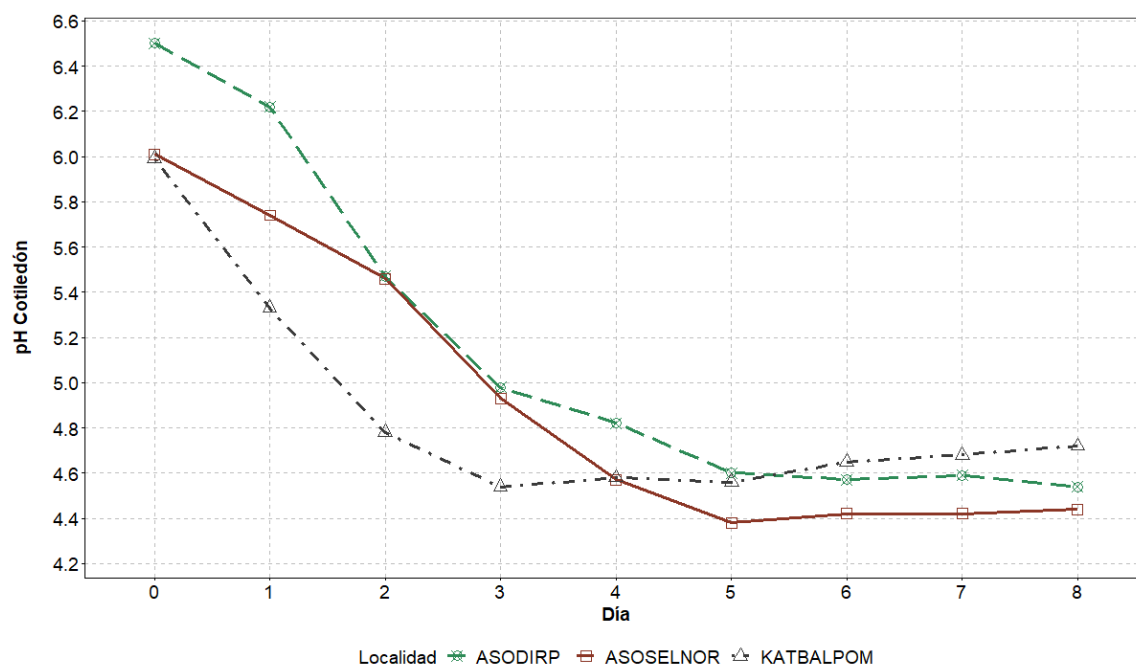


Figura 25. pH del cotiledón por localidad y día de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021).

En el análisis de pH del cotiledón por masa y día de fermentación se observó que el valor mínimo de pH fue reportado durante los dos últimos días de procesamiento de 5 quintales de cacao y el máximo valor se observó en la misma masa de fermentación al día cero. Mediante la separación de medias Tukey (Tabla 121) se observó que en la fermentación de 11 quintales de cacao se presentaron cambios significativos en el pH durante los primeros tres días de procesamiento ( $p \leq 0.05$ ); del quinto al octavo día de fermentación no hubo cambios significativos en el pH del cotiledón ( $p > 0.05$ ). Durante la fermentación de 8 quintales solamente se observaron cambios significativos entre el primero, segundo y tercer día de procesamiento ( $p \leq 0.05$ ). Del tercer al octavo día no hubo cambios significativos en la acidez del cotiledón. En la fermentación de 5 quintales también se observaron cambios significativos durante los primeros tres días de proceso; sin embargo, en este caso el pH más bajo ( $p \leq 0.05$ ) se obtuvo al llegar al quinto día de fermentación, con un valor de 4.54, luego el pH del cotiledón incrementó levemente, finalizando con un valor de 4.66 (Tabla 121).

En general, el comportamiento del pH del cotiledón fue similar en las tres masas de fermentación evaluadas, las principales diferencias se observaron en los primeros dos días de procesamiento debido a la rápida disminución de la acidez en la fermentación de 5 quintales. En el día cero de procesamiento no existió diferencia en el pH inicial del cotiledón de los granos de cacao ( $p>0.05$ ), sin embargo, en el primer y segundo día de proceso, la fermentación de 5 quintales de cacao presentó valores más bajos en el pH interno de los granos de cacao. Desde el tercer al octavo día de fermentación, no se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $p>0.05$ ) en pH del cotiledón en las tres masas de procesamiento (Tabla 121, Figura 26).

**Tabla 120. Estadísticos descriptivos para la variable pH del cotiledón por masa y día de fermentación (Masa\*Día).**

Tratamiento	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% Intervalo de confianza		Mínimo	Máximo
					Inferior	Superior		
11_D0	12	6.12	0.459	0.132	5.83	6.41	5.22	6.64
11_D1	12	5.76	0.547	0.158	5.41	6.10	5.00	6.62
11_D2	12	5.33	0.650	0.188	4.92	5.74	4.51	6.59
11_D3	12	4.91	0.474	0.137	4.61	5.21	4.36	5.86
11_D4	12	4.65	0.297	0.086	4.46	4.84	4.21	5.12
11_D5	12	4.50	0.165	0.048	4.40	4.61	4.28	4.87
11_D6	12	4.46	0.163	0.047	4.36	4.57	4.26	4.75
11_D7	12	4.47	0.086	0.025	4.42	4.53	4.33	4.60
11_D8	12	4.44	0.095	0.027	4.38	4.50	4.35	4.63
08_D0	12	6.12	0.422	0.122	5.85	6.38	5.41	6.59
08_D1	12	5.90	0.558	0.161	5.54	6.25	5.01	6.54
08_D2	12	5.46	0.605	0.175	5.07	5.84	4.49	6.38
08_D3	12	4.75	0.321	0.093	4.55	4.96	4.38	5.47
08_D4	12	4.59	0.176	0.051	4.48	4.70	4.28	4.78
08_D5	12	4.50	0.124	0.036	4.42	4.58	4.27	4.64
08_D6	12	4.55	0.183	0.053	4.43	4.67	4.27	4.92
08_D7	12	4.57	0.139	0.040	4.48	4.65	4.43	4.89
08_D8	12	4.60	0.165	0.048	4.49	4.70	4.39	4.89
05_D0	12	6.26	0.277	0.080	6.08	6.44	5.63	6.66
05_D1	12	5.64	0.411	0.119	5.37	5.90	5.12	6.35
05_D2	12	4.93	0.457	0.132	4.64	5.22	4.17	5.75
05_D3	12	4.78	0.248	0.071	4.62	4.94	4.44	5.29
05_D4	12	4.73	0.212	0.061	4.59	4.86	4.45	5.10
05_D5	12	4.54	0.274	0.079	4.36	4.71	3.93	4.85
05_D6	12	4.63	0.220	0.064	4.49	4.77	4.17	4.93
05_D7	12	4.65	0.326	0.094	4.44	4.86	3.80	5.07
05_D8	12	4.66	0.366	0.106	4.43	4.90	3.80	5.36
<b>Total</b>	<b>324</b>	<b>4.98</b>	<b>0.674</b>	<b>0.037</b>	<b>4.91</b>	<b>5.05</b>	<b>3.80</b>	<b>6.66</b>

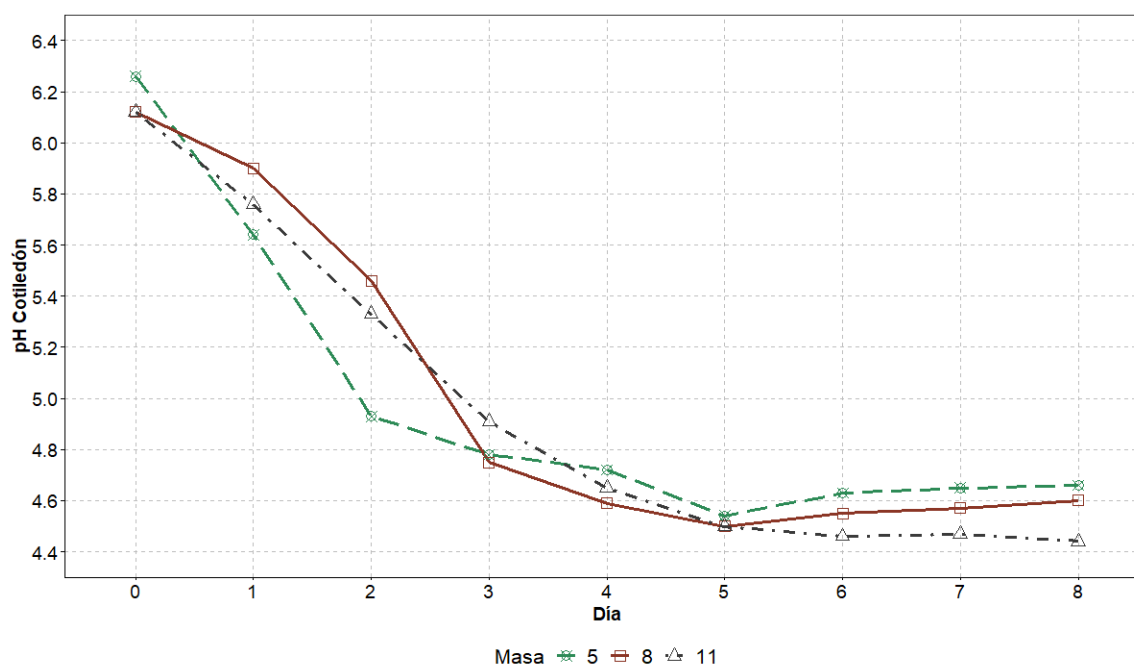
Fuente: Elaboración propia (2021).



**Tabla 121.** Separación de medias Tukey para la variable pH del cotiledón por masa y día de fermentación (Masa\*Día).

Masa Día	11 Media $\pm$ DE	8 Media $\pm$ DE	5 Media $\pm$ DE
0	6.12 $\pm$ 0.46 <sup>a(X)</sup>	6.12 $\pm$ 0.42 <sup>a(X)</sup>	6.26 $\pm$ 0.28 <sup>a(X)</sup>
1	5.76 $\pm$ 0.55 <sup>b(XY)</sup>	5.90 $\pm$ 0.56 <sup>a(X)</sup>	5.64 $\pm$ 0.41 <sup>b(Y)</sup>
2	5.33 $\pm$ 0.65 <sup>c(X)</sup>	5.46 $\pm$ 0.61 <sup>b(X)</sup>	4.93 $\pm$ 0.46 <sup>c(Y)</sup>
3	4.91 $\pm$ 0.47 <sup>d(X)</sup>	4.75 $\pm$ 0.32 <sup>c(X)</sup>	4.78 $\pm$ 0.25 <sup>cd(X)</sup>
4	4.65 $\pm$ 0.30 <sup>de(X)</sup>	4.59 $\pm$ 0.18 <sup>c(X)</sup>	4.73 $\pm$ 0.21 <sup>cd(X)</sup>
5	4.50 $\pm$ 0.16 <sup>e(X)</sup>	4.50 $\pm$ 0.12 <sup>c(X)</sup>	4.54 $\pm$ 0.27 <sup>d(X)</sup>
6	4.46 $\pm$ 0.16 <sup>e(X)</sup>	4.55 $\pm$ 0.18 <sup>c(X)</sup>	4.63 $\pm$ 0.22 <sup>cd(X)</sup>
7	4.47 $\pm$ 0.09 <sup>e(X)</sup>	4.57 $\pm$ 0.14 <sup>c(X)</sup>	4.65 $\pm$ 0.33 <sup>cd(X)</sup>
8	4.44 $\pm$ 0.10 <sup>e(X)</sup>	4.60 $\pm$ 0.16 <sup>c(X)</sup>	4.66 $\pm$ 0.37 <sup>cd(X)</sup>

Note: \*Medias seguidas con igual letra minúscula en la columna no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ). \*Medias seguidas con igual letra mayúscula en la fila no son significativamente diferentes ( $P>0.05$ ). \*\* DE: Desviación estándar. Fuente: Elaboración propia (2021).



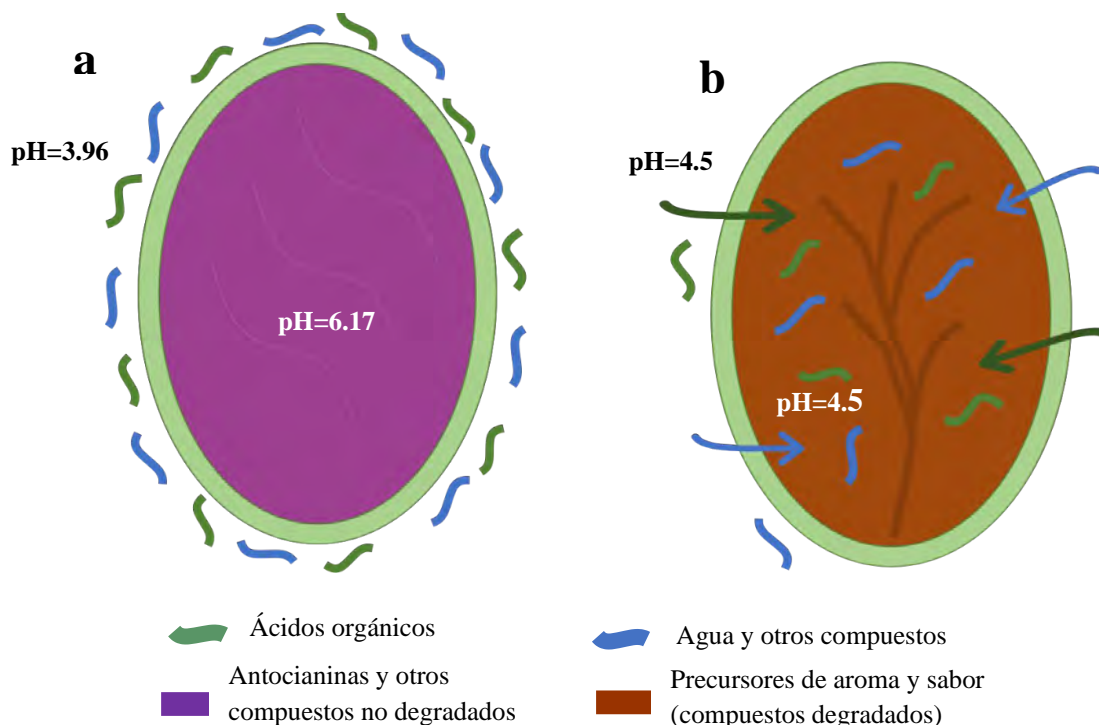
**Figura 26.** Comportamiento del pH del cotiledón por masa y día de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021).

### c. Determinación de la finalización del proceso de fermentación

La testa de los granos de cacao actúa como una barrera semipermeable para la circulación de sustancias entre los cotiledones y la pulpa (Figura 27). Previas investigaciones han demostrado que la testa es permeable al agua, etanol, ácido acético y láctico y algunos componentes orgánicos volátiles (Afoakwa, 2016a; Wood, 2001). La



testa también actúa como barrera para contener las sustancias (precursores de sabor) que son liberadas y formadas en los cotiledones (parte interna del grano) durante la fermentación. Además, posee un rol importante en la tasa de transferencia de masas o sustancias durante el secado (Wood, 2001).



*Figura 27.* Comportamiento del pH de la testa y del cotiledón del grano de cacao antes y después del proceso de fermentación. a) Grano de cacao antes de la fermentación. b) Grano de cacao después del proceso de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021).

Por esta razón, el monitoreo de pH de la testa y pH del cotiledón es importante debido a que es un indicador del grado de cambios que han ocurrido en la pulpa y en la parte interna del grano de cacao. Andersson et al. (2006) sugiere que la calidad de aroma y sabor de los granos de cacao fermentados se debe principalmente a las características de transporte cinético de agua y solutos a través de la testa de los granos durante el proceso de fermentación. La pulpa de la fruta y la testa de los granos son exclusivamente de origen materno, mientras que el embrión y el endospermo están conformados por el código genético de los dos padres, lo que significa que la genética del árbol que actúa como madre

influencia en mayor proporción el desarrollo de aroma y sabor en los granos de cacao (Andersson et al., 2006). El punto en el cual el pH de la testa y pH del cotiledón coinciden es considerado como el punto óptimo para la finalización del proceso de fermentación (Figura 27 y 28), ya que en este momento los ácidos generados en el exterior han ingresado completamente a la parte interna del grano, generando las mismas condiciones de acidez dentro y fuera del grano de cacao.

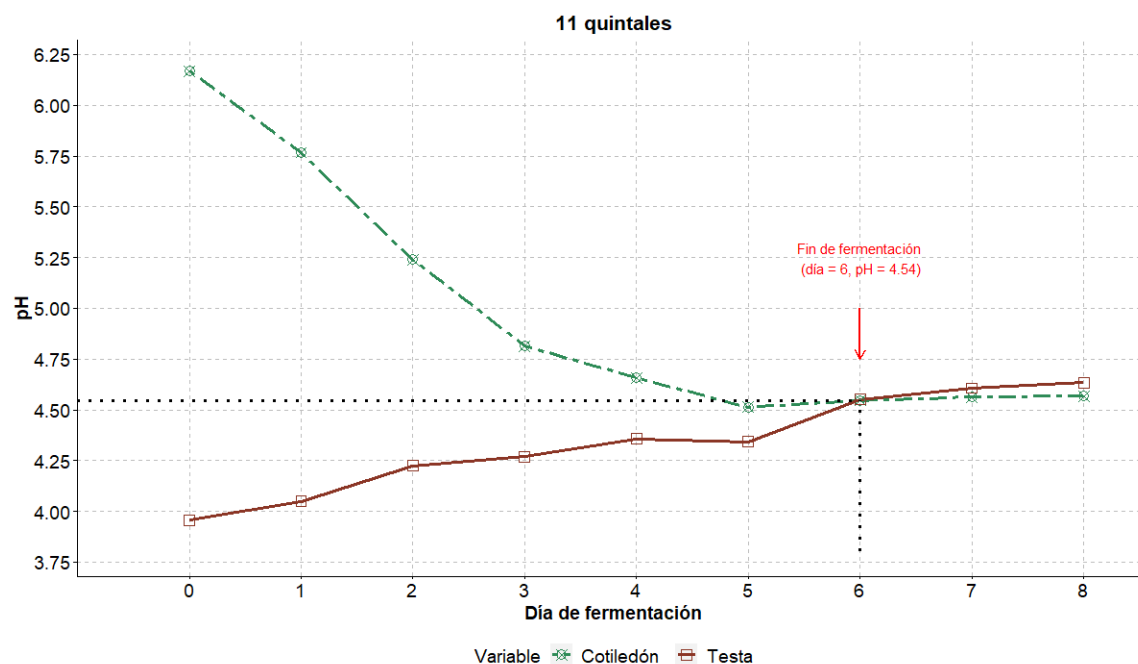


Figura 28. Perfil promedio del pH de la testa y cotiledón durante el proceso de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021).

El comportamiento del pH de la testa, la cual está en contacto directo con la pulpa, depende del estado de madurez del fruto y de la actividad de los microorganismos durante la fermentación. El estado de madurez de los granos de cacao al momento del corte determina la concentración de ácido cítrico y la cantidad de azúcares presentes en la pulpa, y estos a su vez serán el sustrato para el crecimiento y metabolismo de los microorganismos. Por esta razón, los criterios de cosecha empleados en las diferentes localidades determinan el estado y la calidad del sustrato que utilizarán los

microorganismos durante el procesamiento. Por otro lado, el valor del pH del cotiledón es similar al inicio del procesamiento y los cambios durante la fermentación dependen del grado de difusión de los compuestos generados en la pulpa hacia lo interno de los granos de cacao a través de la testa. En este caso, la testa de los granos de cacao juega un papel fundamental en la fermentación y esta parte del grano esta codificada genéticamente por el material genético del árbol materno que dio origen al fruto de cacao.

Los resultados mostraron que los valores óptimos del pH de la testa y del cotiledón para la finalización del proceso de fermentación fueron ligeramente diferentes dependiendo de la localidad y de la masa de procesamiento (Tabla 122, 123 y 124). Con relación a la localidad de procesamiento, los valores óptimos para la finalización de cacao fueron de: 4.42 para ASOSELNOR, 4.57 para ASODIRP y 4.65 para KATBALPOM (Figura 29). En promedio, en las tres localidades el pH óptimo se obtuvo al sexto día de procesamiento. Con relación a la masa de procesamiento, los valores óptimos de pH al final del proceso fueron de 4.45 para 11 quintales, 4.58 para 8 quintales y 4.62 para 5 quintales de cacao respectivamente, los cuales se obtuvieron al sexto día de procesamiento (Figura 30).

Sin embargo, al analizar la interacción de factores (localidad y masa de fermentación) se puede observar que algunos tratamientos alcanzaron valores óptimos al quinto día de fermentación (KATBALPOM con 5 y 8 quintales) (Figura 31g y 32h) y otros al séptimo día de procesamiento (ASOSELNOR con 5 quintales) (Figura 31d). Esto indica que los valores óptimos de pH de la testa y del cotiledón para la finalización de la fermentación deben ser determinados para cada localidad y masa de procesamiento, ya que no existe un valor único recomendado debido a la variabilidad en el comportamiento de los valores de pH dependiendo de las condiciones de procesamiento.



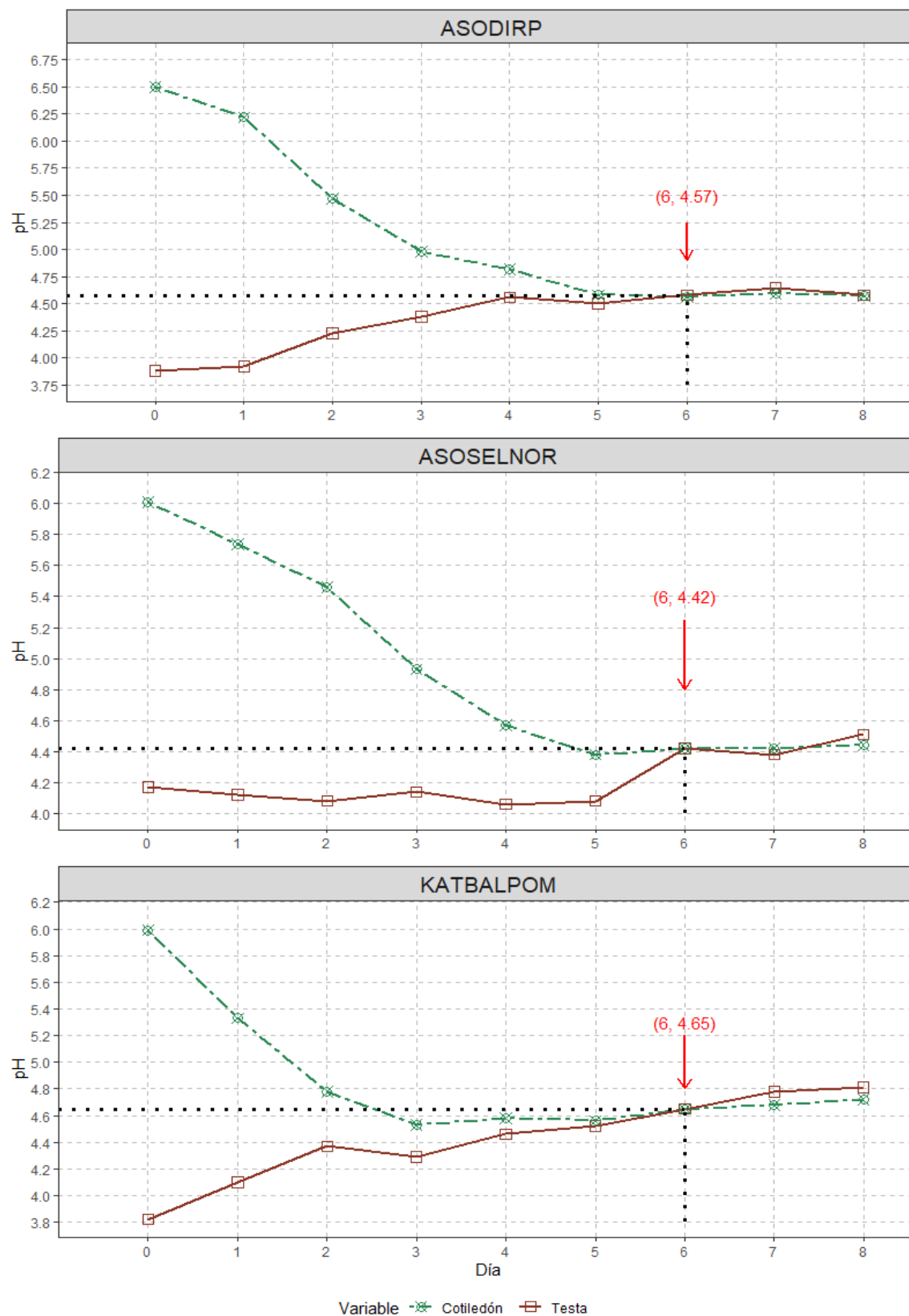


Figura 29. Perfil de pH durante la fermentación de cacao para a) ASODIRP, b) ASOSELNOR y c) KATBALPOM. Fuente: Elaboración propia (2021).

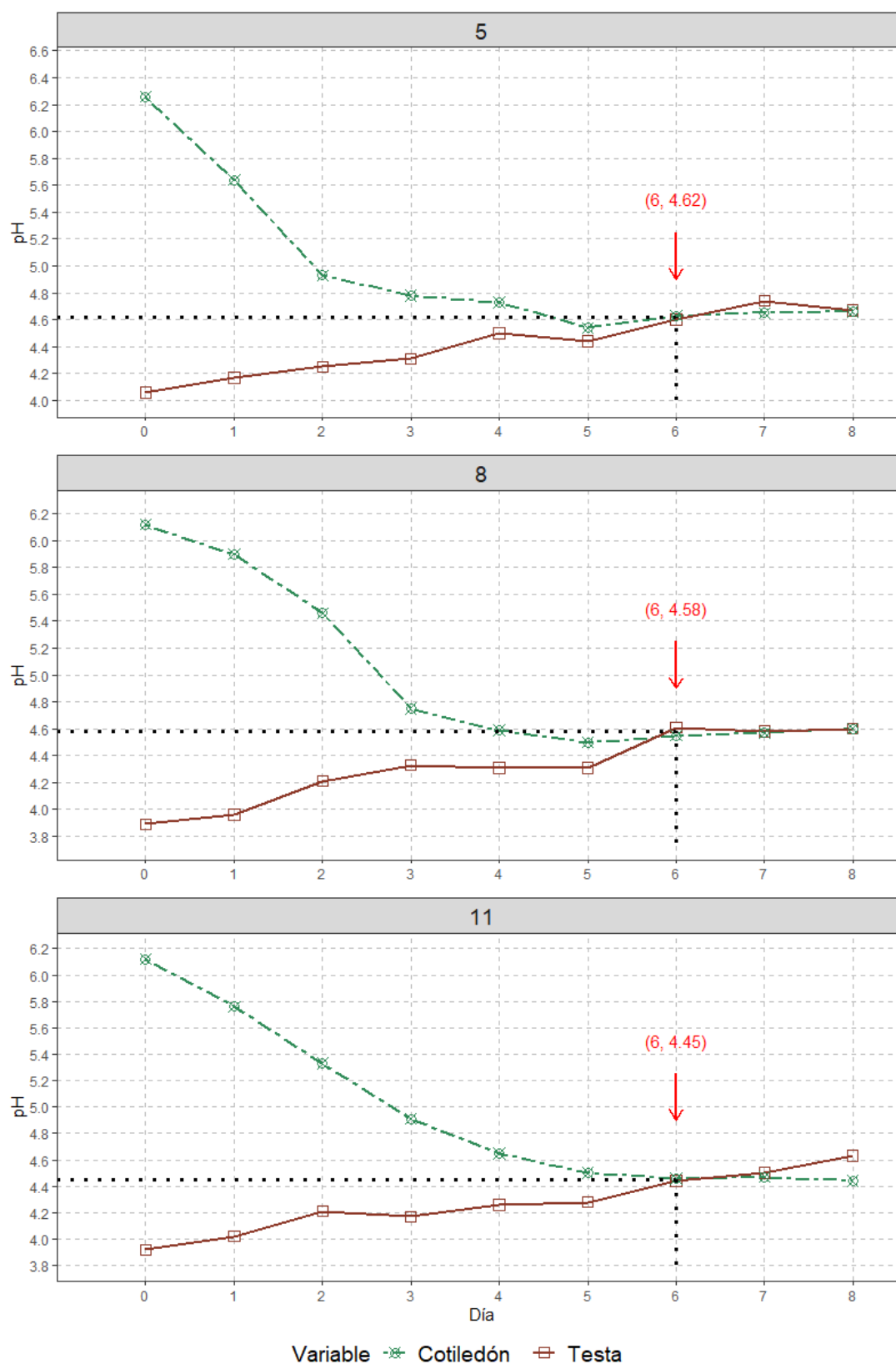


Figura 30. Perfil de pH durante la fermentación de cacao para a) 5, b) 8 y c) 11 quintales de cacao. Fuente: Elaboración propia (2021).

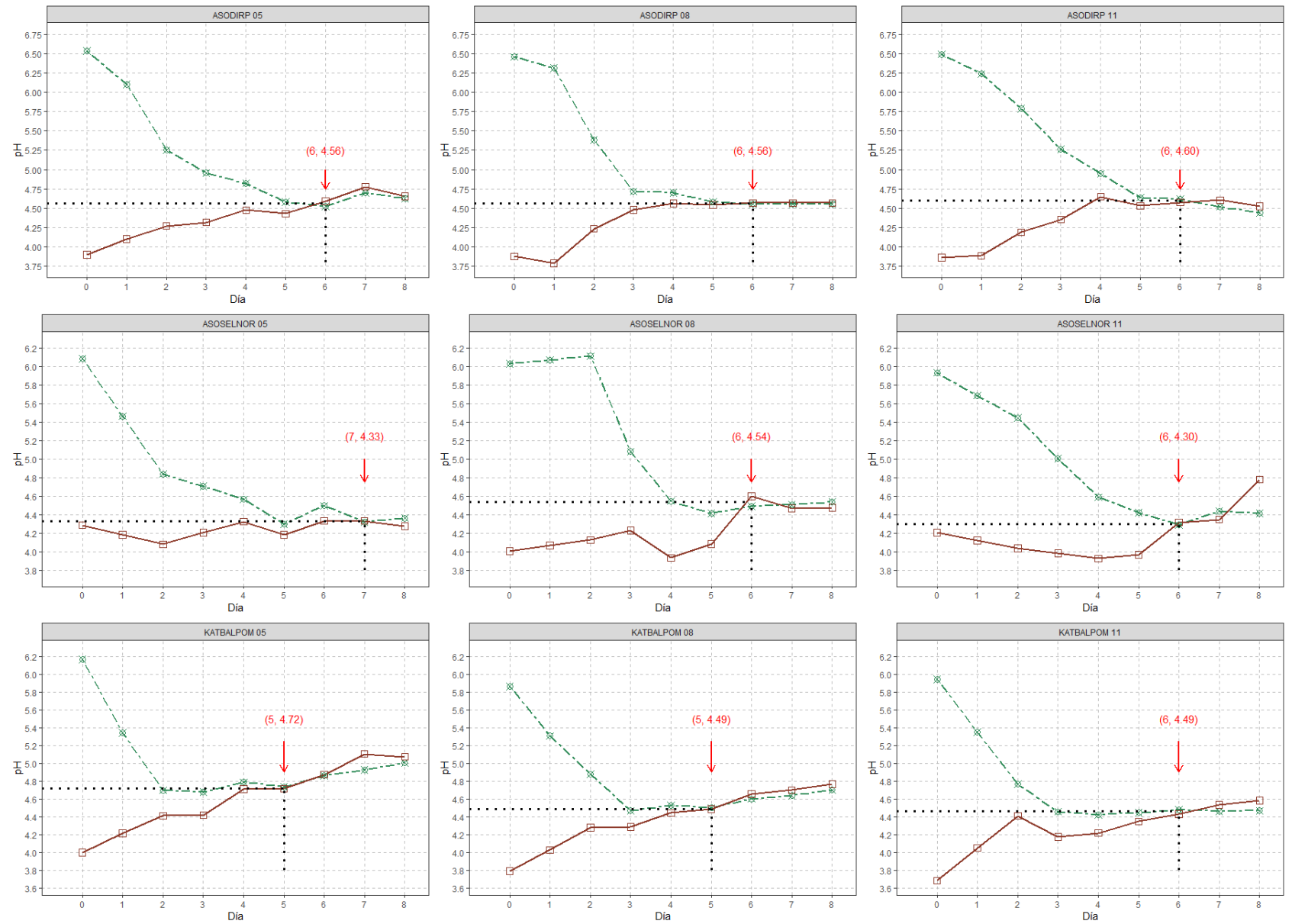


Figura 31. Perfil de pH para cada tratamiento (localidad y masa) durante la fermentación de cacao. Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 122. Valores de pH de la testa y del cotiledón por día de fermentación y masa de procesamiento en ASODIRP.**

Día	ASODIRP					
	5		8		11	
	Cotiledón	Testa	Cotiledón	Testa	Cotiledón	Testa
0	6.535	3.898	6.458	3.875	6.493	3.860
1	6.100	4.100	6.315	3.785	6.238	3.885
2	5.250	4.270	5.385	4.233	5.788	4.190
3	4.955	4.318	4.715	4.480	5.263	4.353
4	4.823	4.475	4.700	4.563	4.945	4.648
5	4.583	4.430	4.583	4.545	4.640	4.530
6	4.525	4.588	4.553	4.568	4.618	4.575
7	4.700	4.778	4.553	4.568	4.520	4.605
8	4.625	4.653	4.553	4.568	4.443	4.525

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 123. Valores de pH de la testa y del cotiledón por día de fermentación y masa de procesamiento en ASOELNOR.**

Día	ASOELNOR					
	5		8		11	
	Cotiledón	Testa	Cotiledón	Testa	Cotiledón	Testa
0	6.083	4.285	6.028	4.008	5.930	4.205
1	5.463	4.185	6.070	4.068	5.685	4.123
2	4.840	4.080	6.110	4.128	5.443	4.038
3	4.705	4.205	5.080	4.230	5.005	3.983
4	4.565	4.325	4.548	3.935	4.588	3.928
5	4.300	4.183	4.415	4.085	4.423	3.968
6	4.495	4.333	4.493	4.598	4.288	4.318
7	4.323	4.333	4.508	4.468	4.440	4.348
8	4.363	4.275	4.535	4.475	4.415	4.778

Fuente: Elaboración propia (2021).

**Tabla 124. Valores de pH de la testa y del cotiledón por día de fermentación y masa de procesamiento en KATBALPOM.**

Día	KATBALPOM					
	5		8		11	
	Cotiledón	Testa	Cotiledón	Testa	Cotiledón	Testa
0	6.165	3.998	5.863	3.790	5.940	3.685
1	5.343	4.215	5.308	4.028	5.350	4.050
2	4.698	4.413	4.878	4.278	4.765	4.410
3	4.680	4.418	4.468	4.288	4.458	4.175
4	4.788	4.710	4.528	4.445	4.420	4.218
5	4.735	4.715	4.500	4.488	4.448	4.348
6	4.863	4.873	4.603	4.655	4.480	4.430
7	4.928	5.105	4.638	4.700	4.460	4.535
8	5.005	5.073	4.700	4.765	4.468	4.583

Fuente: Elaboración propia (2021).



**d. Correlación de las principales variables de fermentación**

El análisis de correlación de Pearson entre las principales variables de fermentación (Tabla 125) mostró que existe una moderada correlación lineal positiva (0.547) entre la variable temperatura de fermentación y pH de la testa del cacao ( $p \leq 0.05$ ), lo cual indica que, al incrementar la temperatura de fermentación de la masa, existe un incremento moderado del pH de la testa de los granos de cacao. Por otro lado; existe una alta correlación lineal negativa (-0.826) entre la temperatura de fermentación de la masa y el pH del cotiledón ( $p \leq 0.05$ ), indicando que cuando incrementa la temperatura de fermentación, el pH del cotiledón disminuye.

Este comportamiento se observó durante el procesamiento de cacao, donde las asociaciones que presentaron mayor promedio de temperatura de fermentación (Tabla 86) también presentaron mayor promedio de pH de la testa (Tabla 99) y menores valores de pH del cotiledón. La relación entre los cambios de temperatura de la masa, el incremento del pH de la testa y la disminución del pH del cotiledón se debe a la acción de los microorganismos sobre la pulpa del cacao en fermentación (Afoakwa, 2016a). La pulpa está compuesta por agua (82-87%), azúcares (10-13%), sales (8-10%), pentosanos (2-3%), y ácido cítrico (1-2%), y es el sustrato utilizado por los microorganismos para la fermentación. Los componentes producidos por las levaduras y las bacterias generan cambios de pH y migran a través de la testa hacia la parte interna de los granos de cacao, provocando una reducción en el pH del cotiledón.

La temperatura de fermentación puede ser utilizada como un indicador para la predicción de los valores de pH de la testa y del cotiledón debido a la alta correlación de las variables. Esto permitiría determinar el valor aproximado del pH de forma rápida,



debido a que el monitoreo de la temperatura de la masa en fermentación no requiere preparación de muestra y los resultados se pueden obtener de forma inmediata.

**Tabla 125. Correlación de Pearson de las principales variables de fermentación de cacao.**

		Humedad Ambiente	Temperatura Ambiente	Temperatura de Fermentación	pH de la testa	pH del cotiledón
<b>Humedad Ambiente</b>	Correlación de Pearson	1	-0.573**	-0.101	-0.097	0.114*
	Significancia		0.000	0.071	0.081	0.040
<b>Temperatura Ambiente</b>	Correlación de Pearson	-0.573**	1	0.273**	.299**	-0.187**
	Significancia	0.000		0.000	0.000	0.001
<b>Temperatura de Fermentación</b>	Correlación de Pearson	-0.101	0.273**	1	0.547**	-0.826**
	Significancia	0.071	0.000		0.000	0.000
<b>pH de la testa</b>	Correlación de Pearson	-0.097	0.299**	0.547**	1	-0.406**
	Significancia	0.081	0.000	0.000		0.000
<b>pH del cotiledón</b>	Correlación de Pearson	0.114*	-0.187**	-0.826**	-0.406**	1
	Significancia	0.040	0.001	0.000	0.000	

Nota: \*\*Correlación es significativa con un nivel de probabilidad < 0.01. \*Correlación es significativa con un nivel de probabilidad < 0.05. Fuente: Elaboración propia (2021).

#### e. Análisis de regresión de las principales variables de fermentación

La temperatura de fermentación presentó alta correlación con el pH de la testa y del cotiledón durante el procesamiento de cacao. Por esta razón, se realizó un análisis de regresión lineal y no lineal, para determinar el mejor modelo para la predicción de los perfiles de pH utilizando la temperatura de la masa como variable independiente.

Los modelos generados en el presente estudio describen la relación existente entre las variables de fermentación bajo las condiciones de procesamiento evaluadas en esta investigación y pueden ser utilizados como una guía para el estudio y monitoreo del proceso de fermentación. Sin embargo; es recomendable que los productores de cacao generen modelos y perfiles de fermentación bajo las condiciones de procesamiento existentes en cada una de las regiones de producción de cacao, esto permitirá obtener modelos más ajustados y con mejores niveles de predicción.



### 1) Regresión no lineal entre temperatura de fermentación y pH de la testa

Se realizó una regresión no lineal para determinar el mejor modelo para explicar el efecto de los cambios de temperatura en el valor del pH de la testa de cacao durante la fermentación. El modelo seleccionado fue un modelo exponencial para el cual se determinaron los valores alfa y beta (Tabla 126).

**Tabla 126. Prueba de T para la estimación de los valores alfa y beta del modelo no lineal entre temperatura de fermentación y pH del cotiledón.**

Variable	Parámetro estimado	Error Estándar	Valor t	Probabilidad
Alfa ( $\alpha$ )	3.3130569	0.0794101	41.72	2e-16
Beta ( $\beta$ )	0.0061259	0.0005339	11.47	2e-16

Fuente: Elaboración propia (2021).

$$Y = 3.3131e^{0.006X}$$

$Y = \text{pH de la testa}$  y  $X = \text{Temperatura de fermentación}$ .

A través del modelo seleccionado se realizó una predicción de los valores de pH de la testa utilizando la temperatura de la masa de fermentación como referencia. El uso de este modelo ajustado permite obtener un valor aproximado de los valores de pH de forma inmediata, ya que la medición de temperatura no requiere de equipo especial ni de preparación de la muestra para la medición. Sin embargo, por ser un modelo de predicción posee un nivel de error, el cual se expresa a través del intervalo de confianza (Figura 32).

En el caso del presente estudio, de acuerdo con el perfil promedio de pH de la testa y del cotiledón, el final del proceso se obtuvo al sexto día de fermentación, con un valor final de pH de 4.5 (testa y cotiledón) y una temperatura de 48.02°C (Tabla 89). Según el modelo de predicción, con este valor de temperatura el valor de pH al final del proceso podría estar entre 4.03 – 4.90, considerando el intervalo de confianza del modelo seleccionado (Figura 32).



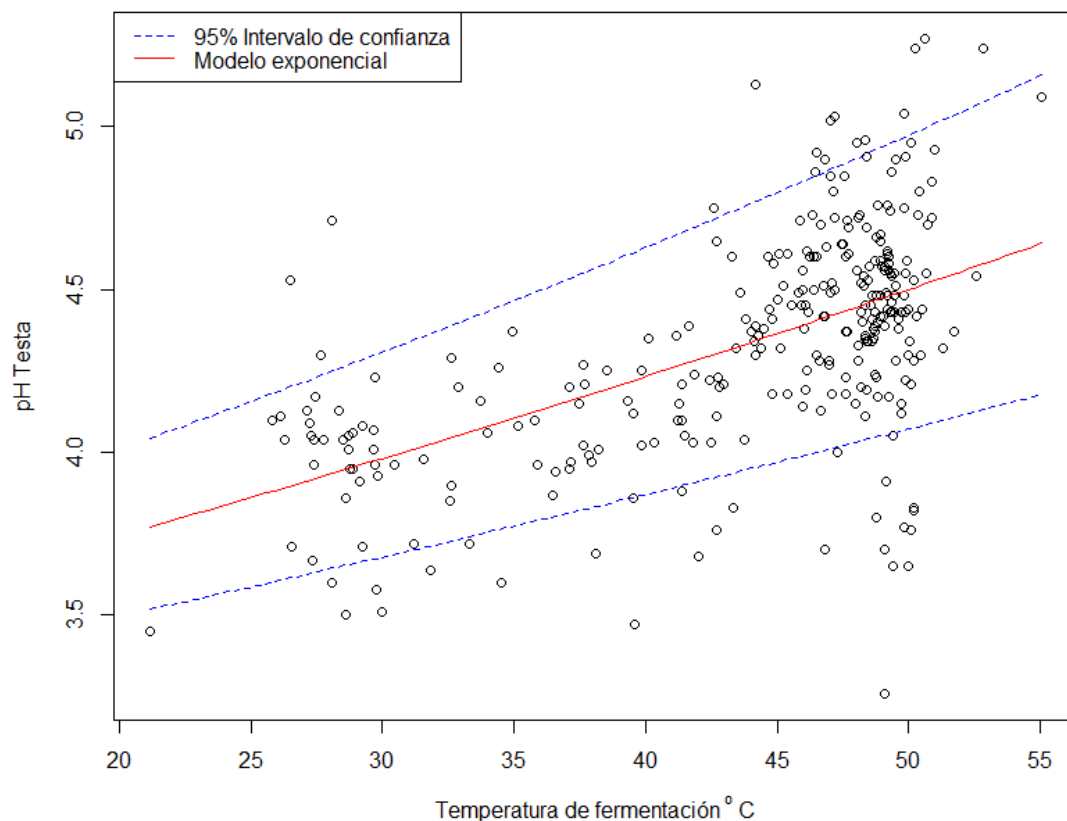


Figura 32. Regresión no lineal entre temperatura de fermentación y pH de la testa durante el proceso de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021).

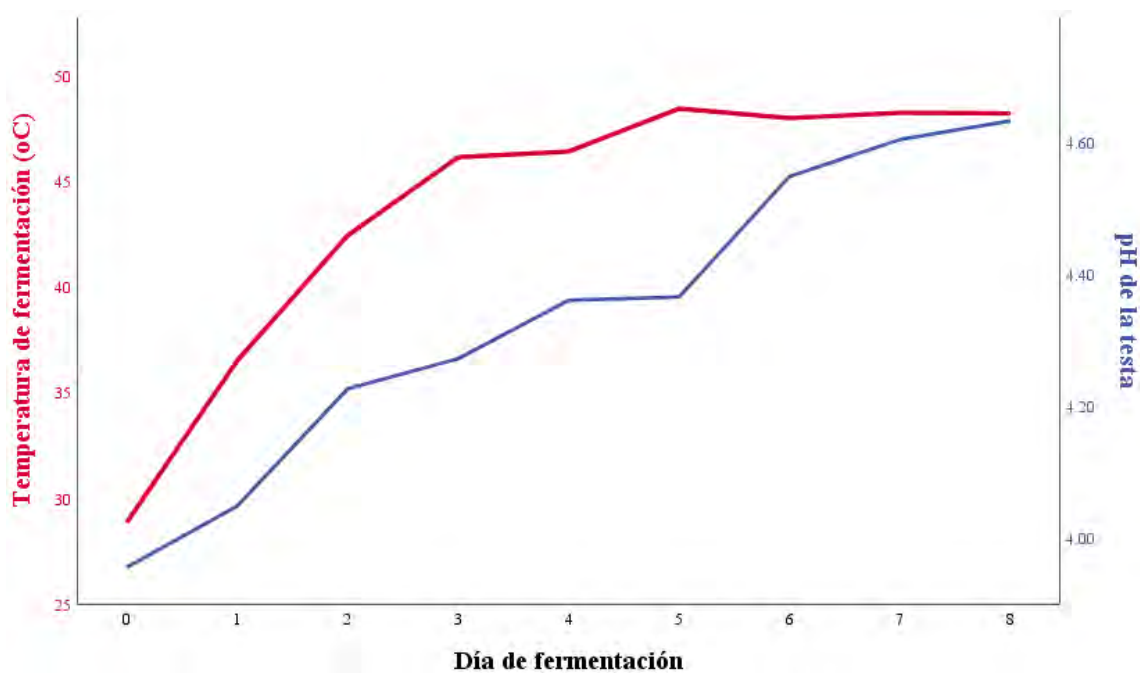


Figura 33. Temperatura de fermentación y pH de la testa durante el proceso de fermentación. Fuente: Elaboración propia (2021).

## 2) Regresión lineal entre temperatura de fermentación y pH del cotiledón

Se realizó la estimación de la pendiente y el intercepto del modelo lineal entre la temperatura de la masa en fermentación y pH del cotiledón para el establecimiento del modelo de regresión lineal entre ambas variables (Tabla 127). Mediante el análisis de prueba de T se determinó que el valor de ambos parámetros es diferente a cero ( $p \leq 0.05$ ) y los valores estimados fueron 8.28 para el intercepto y -0.076 para la pendiente.

$$Y = 8.28 - 0.076X,$$

donde:  $X = \text{Temperatura de fermentación}$  y  $Y = \text{pH del cotiledón}$ .

**Tabla 127. Prueba de T para la estimación de la pendiente y el intercepto del modelo lineal entre temperatura de fermentación y pH del cotiledón.**

Variable	GL	Parámetro estimado	Error Estándar	Valor t	Probabilidad
Intercepto	1	8.284426	0.127280	65.09	<2e-16
Temperatura de fermentación (Pendiente)	1	-0.075561	0.002871	-26.32	<2e-16

Fuente: Elaboración propia (2021).

En el caso del presente estudio, de acuerdo con el perfil promedio de pH de la testa y del cotiledón, el final del proceso se obtuvo al sexto día de fermentación, con un valor final de pH de 4.5 (testa y cotiledón) y una temperatura de 48.02°C (Tabla 89). Según el modelo de predicción, con este valor de temperatura, el valor de pH del cotiledón al final del proceso está entre 4.13 – 5.18, de acuerdo con el intervalo de confianza (Figura 34).

Con este modelo es posible establecer un estimado de los valores de pH del cotiledón mediante el uso de la temperatura como variable de predicción, esto permite obtener una idea de los cambios que han ocurrido en la parte interna de los granos de cacao de forma rápida. Sin embargo; los modelos deben ser validados y ajustados a las condiciones locales de procesamiento de cada localidad debido a que diversos factores influyen en los perfiles de fermentación.



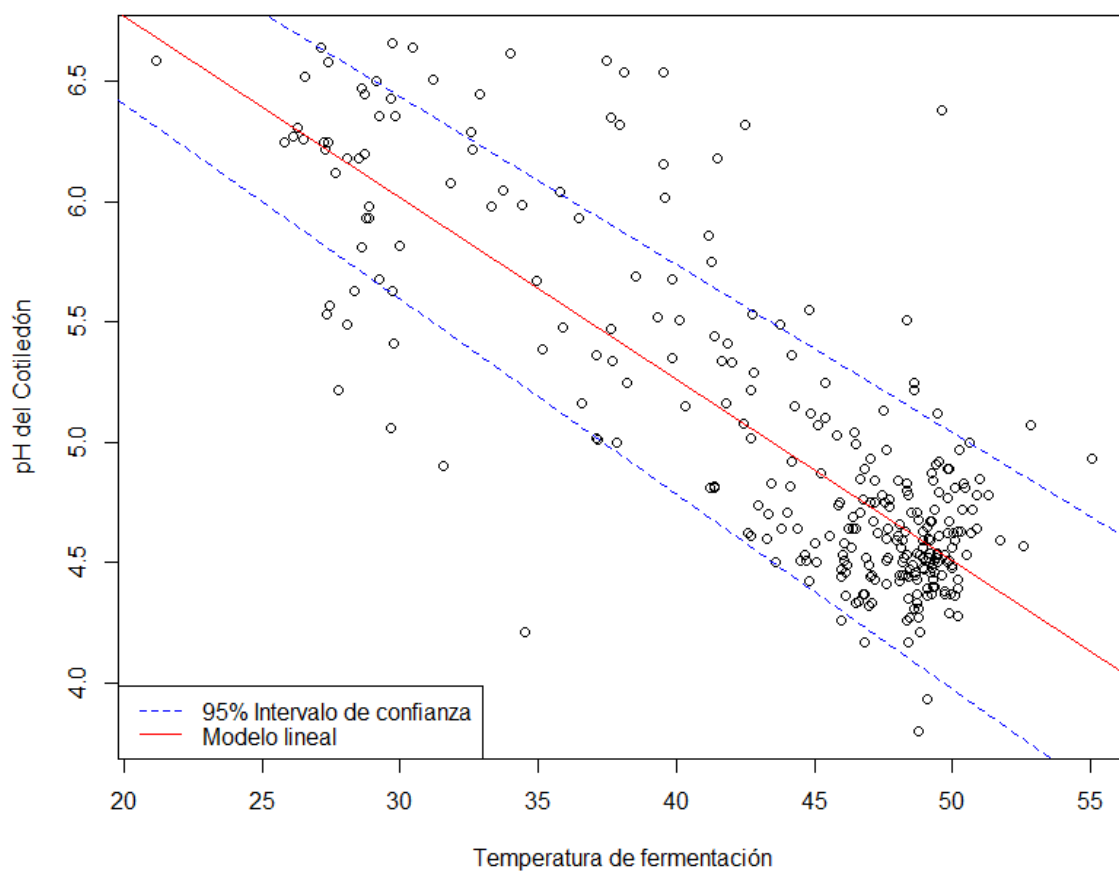


Figura 34. Regresión lineal entre la temperatura de fermentación y el pH del cotiledón. Fuente: Elaboración propia (2021).

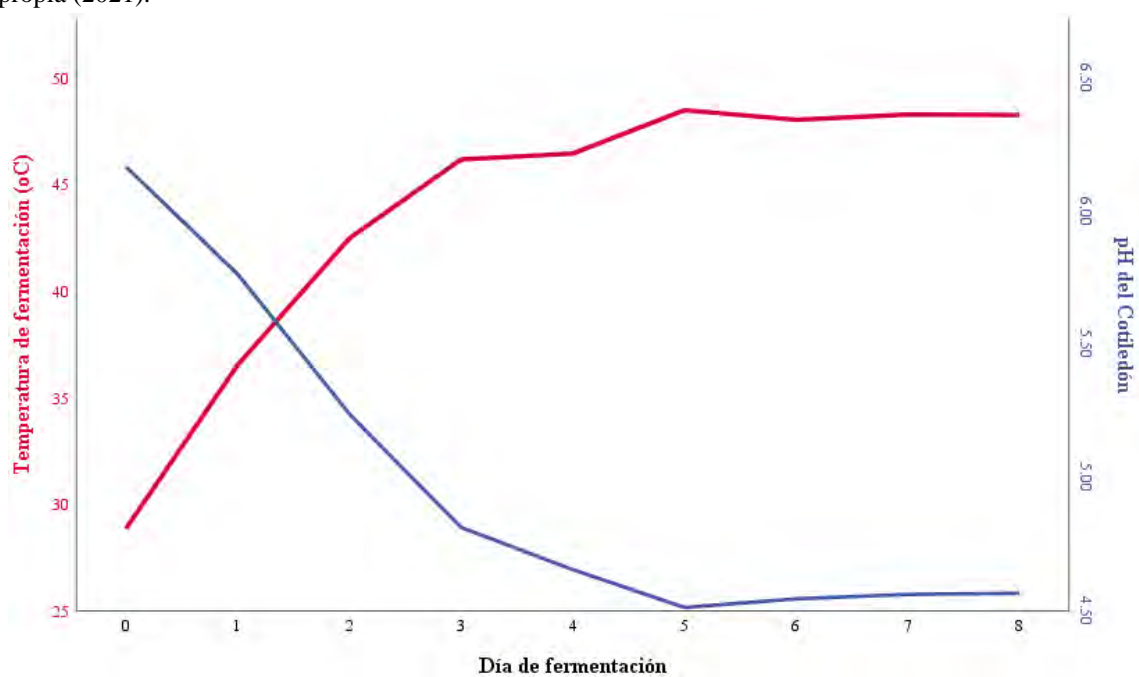


Figura 35. Temperatura de fermentación y pH del cotiledón durante el procesamiento. Fuente: Elaboración propia (2021).

## CONCLUSIONES

Las tres localidades evaluadas presentaron similares condiciones socioeconómicas, especialmente relacionadas al ingreso económico, tamaño de familia, nivel de educación, área de producción y rendimiento de cacao por hectárea. La edad promedio de los productores de cacao para la ecorregión de Lachuá fue de 44.38 años, con un ingreso promedio de Q1,452.38, donde las mujeres reportaron menores ingresos económicos mensuales en comparación con los hombres. El 42.9% de los productores no poseen educación formal y el 90.5% pertenece a la etnia maya Q'eqchi', con un promedio de 7.55 integrantes por núcleo familiar. Estos resultados muestran que, a pesar de las diferentes iniciativas implementadas en la región, todavía prevalece la brecha de ingresos económicos entre hombres y mujeres, así como los bajos niveles de educación formal.

Los productores de cacao, también se dedican a otros cultivos para generar ingresos económicos y para producción de alimentos para consumo propio. En promedio se observó que producen dos especies de cultivos adicionales al cacao, entre los que se encuentra el cardamomo, maíz, frijol, árboles forestales, naranja, pimienta, piña, plátano, y chile. Además de la diversificación en la producción agrícolas, las familias también se dedican a la producción de especies animales. En promedio poseen una especie animal para consumo propio o comercialización, entre las cuales se encuentra la producción de pollos, cerdos, patos, bovinos, pavos, y peces. Esto refleja que los ingresos económicos de los productores no dependen únicamente del cultivo de cacao.



Los productores poseen un promedio de 21.98 manzanas (15.39 hectáreas) por familia, de las cuales únicamente 2.14 hectáreas son destinadas para la producción de cacao. El rendimiento promedio es de 231.04 Kg de cacao seco/ha (15.31 quintales de cacao fresco). La mayor parte de los productores (62%) estableció las plantaciones durante los años 2006-2008, mientras el 38% inició con el cultivo de cacao entre los años 2012-2018. Esto refleja que aún existen bajos rendimientos de cacao por hectárea en la región, a pesar de las diferentes iniciativas en mejoramiento de las prácticas de producción. Aunado a esto; los productores no poseen grandes extensiones de cacao, por lo que, en conjunto con los bajos rendimientos, se posee una baja rentabilidad en el cultivo.

La mayoría de los productores posee una combinación de plantaciones injertadas e híbridas (42.8%), seguido de productores solamente con árboles injertados (40.5%) y un pequeño porcentaje únicamente cuenta con plantaciones híbridas (16.7%). El 71.4% no tiene conocimiento sobre el material genético que posee, además el 88.1% no fertiliza sus plantaciones. La mayoría (74.4%) expresó su preferencia en la comercialización de cacao fresco (en baba) no drenado y el resto (25.6%) prefiere drenar el cacao previo a la venta. El 63.9% no está conforme con el precio actual de compra de cacao, y expresaron la necesidad de buscar mejores opciones de mercado para mejorar el precio, incrementar la competencia y así fortalecer las capacidades de negociación de los productores, y vender el exceso de producción. Únicamente el 55% está interesado en incrementar el área destinada a la producción de cacao, sin embargo, la mayoría (97.6%) expresó interés en explorar opciones para agregar valor a los granos de cacao para mejorar el ingreso económico de las familias a través del procesamiento de la materia prima producida en la región.



Los resultados mostraron que en general los productores no ven al cacao como un cultivo altamente rentable y esto se pudo observar con la alta inconformidad en el precio que reciben por venta del producto y por su bajo interés en incrementar el área de cultivo. La mayor parte de las plantaciones e infraestructura de procesamiento han sido donadas por diferentes organizaciones y probablemente los productores no estén interesados en invertir sus propios recursos en incrementar el área de producción.

Con relación a los perfiles de fermentación, los resultados sugieren que la asociación KATBALPOM presentó mejores perfiles de temperatura de la masa de fermentación, pH de la testa, y pH del cotiledón, durante la fermentación de 5 y 8 quintales de cacao, y alcanzó el punto óptimo para la finalización del proceso al quinto día de fermentación. Sin embargo; la asociación actualmente realiza la fermentación durante ocho días aproximadamente.

Los perfiles de fermentación sugieren que en general, para la región de Lachuá, el proceso de fermentación finaliza al sexto día de procesamiento cuando la temperatura alcanza un valor de  $48.02^{\circ}\text{C}$  y el pH de la testa y del cotiledón coinciden con un valor de pH de 4.50. Sin embargo; los resultados mostraron que los perfiles de fermentación dependen de la localidad y masa de procesamiento. Para los tratamientos KATBALPOM 5 quintales y KATBALPOM 8 quintales, el final de la fermentación se obtuvo al quinto día de procesamiento con un valor de pH de 4.725 y 4.4938 respectivamente. Por el contrario, el tratamiento que requirió mayor tiempo para la finalización fue ASOSELNOR 5 quintales, el cual finalizó el proceso de fermentación al séptimo día de procesamiento con un valor final de pH de 4.3275. Además, se pudo observar que existe una correlación lineal positiva (0.547) entre la variable temperatura de fermentación y pH de la testa del





cacao y una alta correlación lineal negativa (-0.826) entre la temperatura de fermentación y el pH del cotiledón. Por lo tanto, la temperatura de la masa de fermentación puede ser utilizada como un indicador para la estimación de los valores de pH.

Estos resultados sugieren que los protocolos utilizados actualmente en la ecorregión de Lachuá pueden ser mejorados y ajustados de acuerdo con la masa de cacao en fermentación y la localidad de procesamiento, basados en los perfiles de temperatura y pH de la testa y del cotiledón. Actualmente, la fermentación se realiza de forma empírica, únicamente realizando pruebas de corte, lo cual produce alta variabilidad en la calidad de la fermentación ya que el proceso finaliza de acuerdo con el criterio de las personas encargadas y no de mediciones de indicadores objetivos, como el pH y la temperatura. Además, los resultados sugieren que es posible utilizar la temperatura de la masa de fermentación como un indicador para el monitoreo de los perfiles de pH durante la fermentación de cacao.



## RECOMENDACIONES

- Impulsar actividades productivas para la generación de ingresos económicos para las mujeres y contribuir a la reducción de la brecha de ingresos económicos por género. Por ejemplo, fomentar actividades de transformación de granos de cacao a chocolate y otros productos para generación de fuentes de trabajo.
- Realizar estudios de suelo y análisis foliar para desarrollar planes de nutrición y mejorar la productividad por unidad de área en cada una de las organizaciones.
- Realizar una caracterización genética y morfológica de las plantaciones de cacao, principalmente los árboles seleccionados para propagación.
- Realizar un análisis económico y financiero de la producción y comercialización de cacao en la ecorregión de Lachuá para determinar la rentabilidad de esta actividad agrícola. Esto debido a que diferentes organizaciones han financiado y donado diversos materiales y equipo a las asociaciones productoras de cacao, sin embargo; se desconoce la rentabilidad real del cultivo en la región.
- Elaborar un estudio de prefactibilidad para el establecimiento de una planta procesadora de chocolate y sus derivados en la ecorregión de Lachuá.
- Evaluar el perfil de fermentación en otras localidades y con otras masas de fermentación de cacao para validar los resultados obtenidos en el presente estudio.
- Desarrollar perfiles de fermentación por material genético en diferentes regiones
- Complementar los perfiles de fermentación con evaluación sensorial del licor de cacao.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ac Pangan, M.F. (2019). *Presentación y defensa del dossier de cacao en la reunión del panel Ad Hoc de la Organización Internacional del Cacao*. Costa de Marfil: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Acuña, K. (2010). Compartiendo experiencias. Proyecto Laguna Lachuá. Recuperado el (24 de agosto de 2021), de <https://www.iucn.org/regions/mexico-central-america-and-caribbean>
- Afoakwa, E. O. (2016). *Cocoa bean composition and chocolate flavour development*. En E.O. Afoakwa (2ª. Edición), *Chocolate science and technology*, 80-101. Reino Unido: John Wiley & Sons.
- (2016). *History, origin and taxonomy of cocoa*. En E.O. Afoakwa (2ª. Edición), *Chocolate science and technology*, 1-16. Reino Unido: John Wiley & Sons.
- (2016). *World cocoa production, processing and chocolate consumption pattern*. En E. O. Afoakwa (2ª. Edición), *Chocolate science and technology*, 17-48. Reino Unido: John Wiley & Sons.
- Aguilar-Gallegos, N. Et Al. (2013). Influencia del perfil de los productores en la adopción de innovaciones en tres cultivos tropicales. *Teuken Bidikay* 4 (4), (diciembre, 2013), 207-228. Recuperado el (24 de agosto de 2021), de <https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/teu/article/view/1081>
- Ali, N. A. Et.Al. (2016). *Exploring genetic diversity and postharvest processing management towards genetic branding*. Trinidad y Tobago: Cocoa Research Centre.



Amoa-Awua, W.K. (2015). *Methods of cocoa fermentation and drying*. En R.F. Schwan y G. H. Fleet., 71-102. Fermented foods and beverages series: Cocoa and coffee fermentations. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Andersson, M. Et.Al. (2006). Structure and function of the seed coat of *Theobroma cacao* L. and its possible impact on flavour precursor development during fermentation. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 80 (1), (enero, 2006), 48-62.  
Recuperado el (24 de junio de 2021), de <https://ojs.openagrar.de/index.php/JABFQ/index>

Association of Chocolate Biscuits and Confectionery - CAOBISCO-. Et Al. (2015). *Cocoa beans: Chocolate and cocoa industry quality requirements*. Recuperado el (08 de marzo de 2021), de <http://cocoaquality.eu>

Belitz, H. D., Grosch, W., y Schieberle, P. (2004). *Coffee, tea, cocoa*. En H. D. Belitz, W. Grosch, y P. Schieberle, Food Chemistry, 939-969. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Biehl, B., y Passern, D. (1982). Proteolysis during fermentation-like incubation of cocoa seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 33 (12), (diciembre, 1982), 1280-1290. Recuperado el (29 de octubre de 2020), de <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740331215>

Biehl, B., Et Al. (1982). Water uptake by cocoa seeds during fermentation-like incubation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 33 (11), (noviembre, 1982), 1110-1116. Recuperado el (26 de noviembre de 2020), de <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740331108>

Biehl, B., y G. Ziegler. (2003). *Cocoa: chemistry of processing*. En B. Caballero (2ª. Edición). *Encyclopedia of food sciences and nutrition*, 1436-1448. Oxford: Academic Press.



- Camu, N. Et Al. (2008). Influence of turning and environmental contamination on the dynamics of populations of lactic acid and acetic acid bacteria involved in spontaneous cocoa bean heap fermentation in Ghana. *Applied and Environmental Microbiology*. 74 (1), (enero, 2008), 86-98. Recuperado el (12 de diciembre de 2020), de <https://doi.org/10.1128/AEM.01512-07>
- Carrera, F. (2019). *Bosques modelo Guatemala*. Recuperado el (1 de diciembre de 2020), de <http://www.bosquesmodelo.net/lachua/>
- Castillo, M. Et Al. (2020). Análisis de la eficiencia técnica del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). Caso de la región norte centro de Nicaragua. *Custos e Agronegocio*, 16 (3), (julio, 2020), 29-40. Recuperado el (05 de enero de 2021), de <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/>
- Contreras Marín, B.H. (2008). *El subsector cacao en Guatemala, diagnóstico y estrategia futura*. Recuperado el (12 de abril de 2020), de <http://cadenacacao.ca.info/estudios-cacao/>
- de Souza, P.A. Et Al. (2018). *Cacao—Theobroma cacao*. En S. Rodrigues, E. de Oliveira Silva, y E. S. de Brito, 69-76. Exotic Fruits Reino Unido: Academic Press.
- Díaz Quintana, A.R. (2009). *Fortalecimiento de la cadena productiva de cacao (Theobroma Cacao L.) con énfasis en la determinación de la presencia de la enfermedad moniliasis (Moniliophthora roreri Evans et.al.) en Santa María Cahabón, Alta Verapaz*. Recuperado el (01 de julio de 2020), de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/9076/>
- Dubón, A. y J. Sánchez. (2011). *Manual de producción de cacao* La Lima, Cortéz, Honduras: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola.



- Dumas, S. E. Et. Al. (2018). Small-scale egg production centres increase children's egg consumption in rural Zambia. *Maternal & child nutrition*. 14 (S3), (octubre de 2018), 1-11. Recuperado el (17 de agosto de 2021), de <https://doi.org/10.1111/mcn.12662>
- Espinosa-García, J.A. Et Al. (2015). Productividad y rentabilidad potencial del cacao (*Theobroma cacao* L.) en el trópico mexicano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6 (5), (agosto, 2015), 1051-1063. Recuperado el (28 de abril de 2021), de <http://www.scielo.org.mx/>
- Espinoza Chávez, M.C. y D.J. Sichique Sánchez. (2013). *Estudio de factibilidad del posicionamiento y comercialización de la producción de cacao fino de aroma en la hacienda Puerto Morona en la provincia de Morona Santiago*. Recuperado el (28 de abril de 2021), de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5291/1/UPS-CT002764.pdf>
- Forsyth, W.G.C. y V.C. Quesnel. (1963). *The mechanism of cacao curing*. En F. F. Nord, 25, 457-492. *Advances in enzymology and related areas of molecular biology*. New York, United States of America: John Wiley & Sons.
- Fowler, M. S. y F. Coutel. (2017). *Cocoa beans: from tree to factory*. En S.T. Beckett, M. S. Fowler, y G. R. Ziegler (5ª. Edition), 9-49. *Beckett's industrial chocolate manufacture and use*. Oxford, Reino Unido: John Wiley & Sons.
- García Gonzalez, E. Et Al. (2019). Estudio de la fermentación espontanea de cacao (*Theobroma Cacao* L.) y evaluación de la calidad de los granos en una unidad productiva a pequeña escala. *Revista colombiana de investigaciones agroindustriales*. 6 (1), (enero, 2019), 41-51. Recuperado el (17 de agosto de 2021), de <https://doi.org/10.23850/24220582.1635>



- Hamdouche, Y. Et Al. (2019). Impact of turning, pod storage and fermentation time on microbial ecology and volatile composition of cocoa beans. *Food Research International*. 119 (1), (mayo, 2019), 477-491. Recuperado el (17 de agosto de 2021), de <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.001>
- Hansen, C.E. Et.Al. (1998). Enzyme activities in cocoa beans during fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 77 (2), (junio, 1998), 273-281. Recuperado el (26 de noviembre de 2020), de [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199806\)77:2<273::AID-JSFA40>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199806)77:2<273::AID-JSFA40>3.0.CO;2-M)
- Hawkins, D. y Y. Chen. (2016). *Destruction by chocolate*. Recuperado el (08 de junio de 2018), de <https://www.agronomycapitaladvisors.com/>
- Hermes Calderón, M.S. y M. Rosales-Meda. (2011). *Monitoreo ecológico participativo de la riqueza y distribución espacial de mamíferos amenazados y en peligro de extinción en el Parque Nacional Laguna Lachuá y remanentes boscosos de su área de influencia, Alta Verapaz*. Recuperado el (17 de agosto de 2021), de <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puirna/INF-2011-023.pdf>
- Hernández Hernández, C. Et Al. (2016). Evaluation of different fermentation processes for use by small cocoa growers in mexico. *Food Science & Nutrition*, 4 (5), (septiembre, 2016), 690-695. Recuperado el (25 de junio de 2021), de <https://doi.org/10.1002/fsn3.333>
- Hernandez, J.A. (1981). *Análisis de la tecnología empleada en la producción de cacao (Theobroma cacao L.) en el municipio de San Antonio Suchitepequez, Suchitepequez*. Recuperado el (25 de junio de 2020), de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_0597.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_0597.pdf)
- Holm, C.S. Et.Al. (1993). The effects of the organic acids in cocoa on the flavour of chocolate. *Journal of the science of food and agriculture*. 61 (1), (enero, 1993), 65-71. Recuperado el (25 de noviembre de 2020), de <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740610111>



Instituto Nacional de Bosques -INAB-. (2003). *Plan maestro del Parque Nacional Laguna Lachuá*. Recuperado el (21 de noviembre de 2019), de <https://conap.gob.gt/>

Instituto Nacional de Estadística -INE-. (2015). *Encuesta Nacional de Condiciones de vida 2014*. Recuperado el (23 de septiembre de 2020), de <https://www.ine.gob.gt/ine/>

------. (2020). *Canasta básica alimentaria (CBA) y canasta ampliada (CA) junio de 2020*. Recuperado el (23 de septiembre de 2020), de <https://www.ine.gob.gt/ine/>

International Cocoa Organization. (2015). *Report by the chairman on the meeting of the ICCO Ad Hoc panel on fine or flavor Cocoa to review the annex C of the Internacional Cocoa Agreement 2010*. Recuperado el (17 de agosto de 2021), de <https://www.icco.org/>

------. (2018). *Berlin declaration fourth world cocoa conference*. Recuperado el (01 de abril, 2018), de <https://www.worldcocoaconference.org/>

------. (2019). *Deliberations of the 2019 Ad Hoc Panel on the review of the Annex C of the Internacional Cocoa Agreement 2010*. Recuperado el (21 de septiembre de 2019), de <https://www.icco.org/>

Jinap, S. y P. Dimick. (1990). Acidic characteristics of fermented and dried cocoa beans from different countries of origin. *Journal of Food Science*. 55 (2), (enero, 1990), 547-550. Recuperado el (15 de agosto de 2018), de <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb06806.x>

Kaplan, J. y R. Ugarte. (2005). *Recientes investigaciones en Chicolá, en la bocacosta de Guatemala, y sus implicaciones: La hidráulica, el cacao y los desarrollos seminales de la civilización maya*. Recuperado el (09 de marzo de 2017), de <http://www.asociaciontikal.com/simposio-19-ano-2005/08-kaplan-05-digital-doc/>





- Kupferschmied, K. Et.Al. (2018). Estudio socioeconómico de un proyecto de reforestación implementado con pequeños productores de cacao en Honduras. *Ceiba*. 55 (1), (febrero, 2018), 28. Recuperado el (12 de mayo de 2020), de <https://doi.org/10.5377/ceiba.v55i1.5449>
- Lanz, O., y Y. Granado. (2009). Diagnóstico agrosocioeconómico del sector cacao (*Theobroma cacao* L.) en Yaguaraparo, municipio Cajigal, Estado Sucre, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*. 9 (2), (abril, 2009), 425-435. Recuperado el (04 de diciembre de 2020), de <http://udoagricola.orgfree.com/V9N2UDOA/V9N2Lanz425.pdf>
- Lehrian, D., y G. Patterson. (1983). *Cocoa fermentation*. En G. Reed. *Biotechnology, a comprehensive treatise*. 529-575. Basel: Verlag Chemie.
- Loayza Lozano, W. (2015). *Influencia de la frecuencia de remoción, durante la fermentación, en la calidad sensorial del cacao (Theobroma cacao, L.) de Satipo*. Recuperado el (17 de agosto de 2021), de <https://hdl.handle.net/20.500.12672/3877>
- Lopes, U. V. y J.L. Pires. (2015). *Botany and production of cocoa*. En R. F. Schwan y G. H. Fleet. 43-64. *Fermented foods and beverages series: Cocoa and coffee fermentations* Boca Raton, Florida, United States of America: CRC Press.
- Lopez, A., y P. Dimick. (1995). *Cocoa fermentation*. En H. J. Rhem y G. Reed (Eds.), *Biotechnology: Enzymes, biomass, food and feed* (2ª. Edición), 9, 561-577. Weinheim, República Federal de Alemania: VCH Verlagsgesellschaft mbH.
- Medina Müller, E.M. (2012). *Impacto del programa de incentivos forestales en la ecorregión Lachuá, Guatemala*. Recuperado el (17 de agosto de 2021), de <http://www.sidalc.net/repdoc/A8967e/A8967e.pdf>



- Meza Sepúlveda, D. C. (2017). *Estrategia de mejoramiento para el proceso de fermentación del Theobroma cacao L. para la finca la Solita de la Asociación de Cacaoteros de Belén de Umbría (ASOCACAO B.U.) en Risaralda*. Recuperado el (28 de abril de 2020), de <http://hdl.handle.net/11059/8675>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-. (2016). *Plan estratégico de la agrocadena de cacao de Guatemala*. Recuperado el (12 de febrero de 2017), de <https://www.maga.gob.gt/download/enac16-25.pdf>
- Montes Montiel, C. J. (2016). *Estudio de factibilidad para la producción y exportación de cacao en el municipio de Sincelejo-Sucre*. Recuperado el (02 de abril de 2021), de <https://core.ac.uk/download/pdf/94314615.pdf>
- Motamayor, J.C. Et.Al. (2008). Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L). *Plos One*. 3 (10), (octubre, 2008), e3311. Recuperado el (12 de febrero de 2018), de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003311>
- Muñoz Razo, C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. (2ª. Edición). México: Pearson Educación.
- Nielsen, D.S. Et Al. (2007). The microbiology of Ghanaian cocoa fermentations analysed using culture-dependent and culture-independent methods. *International Journal of Food Microbiology*. 114 (2), (marzo, 2007), 168-186. Recuperado el (25 de noviembre de 2020), de <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.09.010>
- Nielsen, S.S. (2017). *Food analysis* (5ª. Edición). Cham, Switzerland: Springer.
- Ochoa, W. (2015). *Línea base de cadena del cultivo de cacao*. Recuperado el (30 de julio de 2016), de <https://www.mineco.gob.gt/>



- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura -FAO-. (2015). *Estrategia de restauración del paisaje forestal: Mecanismo para el desarrollo rural sostenible de Guatemala*. Recuperado el (23 de noviembre de 2019), de <http://www.fao.org/forestry/43244-0d7675c1321e62fbaa45f9e3d339c77c8.pdf>
- Orozco-Aguilar, L. y A. López Sampson. (2016). *Coleccion de esquinas técnicas para la mejora productiva del cacao*. Recuperado el (17 de diciembre de 2020), de <https://latinoamerica.rikolto.org/>
- Packiyasothy, E.V. Et Al. (1981). Effect of maturity on some chemical components of cocoa. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 32 (9), (septiembre, 1981), 873-876. Recuperado el (25 de noviembre de 2020), de <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740320906>
- Papalexandratou, Z. Et Al. (2011). Spontaneous organic cocoa bean box fermentations in Brazil are characterized by a restricted species diversity of lactic acid bacteria and acetic acid bacteria. *Food microbiology*. 28 (7), (octubre, 2011), 1326-1338. Recuperado el (21 de mayo de 2020), de <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.06.003>
- Pérez Siquinajay, J.C. (2015). *Caracterización de seis clones de cacao (Theobroma cacao L.), bajo las condiciones del centro de agricultura tropical Bulbuxyá, San Miguel Panán, Suchitepéquez*. Recuperado el (28 de abril de 2021), de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2327/1/PerezSiquinajayJulioCesar.pdf>
- Quesnel, V.C. (1965). Agents inducing the death of cacao seeds during fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 16 (8), (agosto, 1965), 441-447. Recuperado el (26 de noviembre de 2020), de <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740160804>



- Rodriguez-Campos, J. Et Al. (2012). Effect of fermentation time and drying temperature on volatile compounds in cocoa. *Food Chemistry*. 132 (1), (mayo, 2012), 277-288. Recuperado el (13 de marzo de 2019), de <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.078>
- Ruiz, A. (2015). *Mejoramiento de la transformación primaria del cacao*. (Contrato 083-2015-BIRF 8000-GT). Recuperado el (20 de agosto de 2016), de <https://www.mineco.gob.gt/>
- Salguero, B. (2015). *Proyecto de fortalecimiento de la productividad de la micro, pequeña y mediana empresa*. (059-2015-BIRF 8000-GT). Recuperado el (08 de marzo de 2017), de <https://www.mineco.gob.gt/>
- Say, E. y M. Villalobos. (2012). *Sistemas agroforestales con cacao, competitividad, ambiente y cultura: una oportunidad para mejorar la cadena productiva y la calidad de vida de familias productoras en el país, la visión del CATIE –MAP- Proyecto Cacao Centroamérica*. Recuperado el (17 de diciembre de 2020), de <https://cadenacacaoca.info/>
- Schwan, R.F. Et.Al. (2015). *Microbial activities during cocoa fermentation*. En R. F. Schwan y G. H. Fleet. 71-102. Fermented foods and beverages series: Cocoa and coffee fermentations Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Schwan, R.F., y A.E.Wheals. (2004). The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical reviews in food Science and Nutrition*. 44 (4), (julio, 2004), 205-221. Recuperado el (26 de junio de 2021), de <https://doi.org/10.1080/10408690490464104>
- Sobalbarro-Figueroa, M. Et Al. (2020). Análisis Socioeconómico de los Pequeños Productores de Cacao en Honduras: Caso APROSACAO. *Ceiba*. 08 (48), (julio, 2020), 1-13. Recuperado el (12 de noviembre de 2020), de <https://doi.org/10.5377/ceiba.v0i0848.8963>



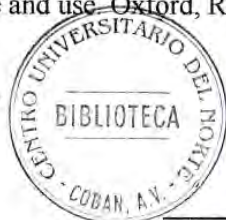
- Somarriba, E. Et.Al. (2013). ¿Cómo diseñamos y ejecutamos el Proyecto Cacao Centroamérica para estimular al sector cacaotero de Centroamérica? *Agroforesteria en las Américas*. 49 (1), (enero, 2013), 111-126. Recuperado el (08 de marzo de 2017), de <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/>
- Tapia, S. (2016). *Situación actual de la cadena de valor de cacao en El Salvador*. Recuperado el (28 de abril de 2020), de <https://latinoamerica.rikolto.org/es>
- (2016). *Situación actual de la cadena de valor de cacao en Guatemala*. Recuperado el (28 de abril de 2020), de <https://latinoamerica.rikolto.org/es>
- (2016). *Situación actual de las cadenas de valor de cacao de Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua desde una perspectiva regional*. Recuperado el (28 de abril de 2020), de <https://latinoamerica.rikolto.org/es>
- (2017). *Situación actual de la cadena de valor de cacao en Nicaragua*. Recuperado el (28 de abril de 2020), de <https://latinoamerica.rikolto.org/es>
- Thompson, S.S. Et.Al. (2012). *Cocoa and coffee*. En M.P. Doyle y R. Buchanan (4ª. Edición), 881-899. Food microbiology: Fundamentals and frontiers Washington DC, United States Of America: American Society for Microbiology.
- Umaña Calderon, M.E. (2013). *Anteproyecto de una planta de procesamiento para la elaboración de un producto tradicional y un producto funcional obtenido a partir del grano de cacao (Theobroma cacao L.) fermentado y no fermentado*. Recuperado el (18 de agosto de 2020), de <https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/>
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza -IUCN-. (2011). *Ficha técnica del cultivo de cacao, ecorregión de Lachúa, Guatemala*. Recuperado el (18 de agosto de 2021), de <https://www.iucn.org/>



- , (2013). *Desarrollo de la cadena productiva de cacao para el mejoramiento de los medios de vida y la conservación de los corredores biológicos de la ecorregión Lachuá*. Recuperado el (18 de agosto de 2021), de <https://www.iucn.org/es/regiones/mexico-america-central-y-el-caribe>
- Villacis, A. Et.Al. (2020). *Specialty varieties do not help small farmers, post-harvest practices do: insights from cacao value chains in Ecuador*. Recuperado el (24 de septiembre de 2020), de <https://alexisvillacis.wordpress.com/>
- Wessel, M. Et.Al. (2015). Cocoa production in West Africa, a review and analysis of recent developments. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*. 74 (75), (diciembre, 2015), 1-7. Recuperado el (30 de octubre de 2018), de <https://doi.org/10.1016/j.njas.2015.09.001>
- Wood, G.R. (2001). *From harvest to store*. En G. R. Wood y R. A. Lass Cocoa (4ª. Edición), 444-504. Oxford: Blackwell Science.
- Yahaya, A. Et.Al. (2015). Economic analysis of cocoa production in Ghana: The case of eastern region. *Custos e Agronegocio*. 11 (1), (enero, 2015), 336-352. Recuperado el (04 de diciembre de 2020), de <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/>
- Zapata, A. (2015). *Plan para activar y adecuar la política nacional de desarrollo rural integral* (Acuerdo 196-2009). Recuperado el (24 de agosto de 2021), de <https://www.maga.gob.gt/>
- , y E. López. (2011). *Propuesta para abordar el desarrollo rural integral de Guatemala*. Recuperado el (05 de octubre de 2017), de <https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/FileCS.ashx?Id=40169>
- Zarrillo, S. Et Al. (2018). The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nature ecology & evolution*. 2 (12), (diciembre, 2018), 1879-1888. Recuperado el (20 de diciembre de 2018), de <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0697-x>



- Ziegler, G. (1991). Composition of flavor extracts of raw and roasted cocoas. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*. 192 (6), (junio, 1991), 521-525. Recuperado el (30 de noviembre de 2020), de <https://doi.org/10.1007/BF01202506>
- Ziegler, G. (2017). *Flavour development in cocoa and chocolate*. En S. T. Beckett, M. S. Fowler, y G. R. Ziegler (5ª. Edición), 185-215. Beckett's industrial chocolate manufacture and use. Oxford, Reino Unido: John Wiley & Sons.



V.ºB.º

**Adán García Véliz**  
**Licenciado en Pedagogía e Investigación Educativa**  
**BIBLIOTECARIO**



## APÉNDICES

### 8.1 Carta de compromiso de la Fundación Laguna Lachuá (FUNDALACHUÁ) para la cooperación en la implementación del proyecto de investigación.

#### A QUIEN CORRESPONDA

Por este medio, la **FUNDACION LAGUNA LACHUA –FUNDALACHUA–**, informa que luego de haber sido informada de los objetivos y la importancia del proyecto de investigación titulada: **Perfiles de fermentación para contribuir con el mejoramiento de la calidad del cacao (*Theobroma cacao*) de la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz**, un estudio propuesto en el marco del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria –CRIA– del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura –IICA–, y desarrollado por los investigadores: **Ing. Marlon Fernando Ac Pangan**, Ingeniero en Agroindustria Alimentaria, candidato al título de maestro en ciencias del desarrollo rural de la maestría en desarrollo rural del Centro Universitario de Norte CUNOR, Universidad de San Carlos de Guatemala; **Ing. Edgar Armando Ruiz Cruz**, Ingeniero Agrónomo, coordinador de la maestría en desarrollo rural del Centro Universitario del Norte CUNOR, Universidad de San Carlos de Guatemala. En consenso con nuestros socios, hemos llegado al acuerdo de dar nuestro consentimiento para el desarrollo del presente proyecto de investigación de manera participativa con nuestras organizaciones de base ASODIRP, ASOSELNOR Y KATBALPOM.

De la misma manera estamos de acuerdo para el que el documento final sea publicado con el objetivo de fortalecer los conocimientos relacionados al procesamiento de cacao en la ecorregión de Lachua, Coban, Alta Verapaz y sea una herramienta para futuras capacitaciones a productores de cacao de la región.

Cobán, Alta Verapaz, Enero de 2018.

Atentamente:



FIRMA REPRESENTANTE

SELLO:





## 8.2 Carta de compromiso de la Asociación KATBLAPOM para la cooperación en la implementación del proyecto de investigación.

### A QUIEN CORRESPONDA

Por este medio, la **ASOCIACION KATBALPOM**, informa que luego de haber sido informada de los objetivos y la importancia del proyecto de investigación titulada: **Perfiles de fermentación para contribuir con el mejoramiento de la calidad del cacao (*Theobroma cacao*) de la ecorregión de Lachúa, Cobán, Alta Verapaz**, un estudio propuesto en el marco del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria –CRIA– del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura –IICA–, y desarrollado por los investigadores: **Ing. Marlon Fernando Ac Pangan**, Ingeniero en Agroindustria Alimentaria, candidato al título de maestro en ciencias del desarrollo rural de la maestría en desarrollo rural del Centro Universitario de Norte CUNOR, Universidad de San Carlos de Guatemala; **Ing. Edgar Armando Ruiz Cruz**, Ingeniero Agrónomo, coordinador de la maestría en desarrollo rural del Centro Universitario del Norte CUNOR, Universidad de San Carlos de Guatemala. En consenso hemos llegado al acuerdo de dar nuestro consentimiento para el desarrollo del presente proyecto de investigación de manera participativa con los socios de nuestra organización.

De la misma manera estamos de acuerdo para el que el documento final sea publicado con el objetivo de fortalecer los conocimientos relacionados al procesamiento de cacao en la ecorregión de Lachua, Coban, Alta Verapaz y sea una herramienta para futuras capacitaciones a productores de cacao.

Cobán, Alta Verapaz, Enero de 2018.

Atentamente:

  
FIRMA PRESIDENTE

SELLO:



### 8.3 Carta de compromiso de la Asociación ASOSELNOR para la cooperación en la implementación del proyecto de investigación.

#### A QUIEN CORRESPONDA

Por este medio, la **ASOCIACION SELVA DEL NORTE –ASOSELNOR–**, informa que luego de haber sido informada de los objetivos y la importancia del proyecto de investigación titulada: **Perfiles de fermentación para contribuir con el mejoramiento de la calidad del cacao (*Theobroma cacao*) de la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz**”, un estudio propuesto en el marco del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria –CRIA– del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura –IICA–, y desarrollado por los investigadores: **Ing. Marlon Fernando Ac Pangan**, Ingeniero en Agroindustria Alimentaria, candidato al título de maestro en ciencias del desarrollo rural de la maestría en desarrollo rural del Centro Universitario de Norte CUNOR, Universidad de San Carlos de Guatemala; **Ing. Edgar Armando Ruiz Cruz**, Ingeniero Agrónomo, coordinador de la maestría en desarrollo rural del Centro Universitario del Norte CUNOR, Universidad de San Carlos de Guatemala. En consenso hemos llegado al acuerdo de dar nuestro consentimiento para el desarrollo del presente proyecto de investigación de manera participativa con los socios de nuestra organización.

De la misma manera estamos de acuerdo para el que el documento final sea publicado con el objetivo de fortalecer los conocimientos relacionados al procesamiento de cacao en la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz y sea una herramienta para futuras capacitaciones a productores de cacao.

Cobán, Alta Verapaz, Enero de 2018.

Atentamente:



FIRMA PRESIDENTE



SELLO:

**8.4 Financiamiento aprobado por el Consorcio Regional de Investigación Agropecuaria CRIA-IICA para la ejecución de la presente de investigación.**

	DESCRIPCION	MONTO	Monto	Monto	Saldo
Código	Nombre	Programado	Ejecutado	Disponible	
Monto Total del Proyecto		Q150,000			
300 CAPACITACIÓN Y EVENTOS TÉCNICOS					
305	Eventos Internacionales	0.00		0.00	Q150,000
400 VIAJES OFICIALES					
401	Viáticos Internacionales				150,000.00
403	Transporte Internacional				150,000.00
405	Otros Gastos de Viajes Internacionales				150,000.00
407	Viáticos universidad	25,530.00		25,530.00	124,470.00
411	Otros Gastos de Viajes Nacionales	24,331.10		24,331.10	100,138.90
500 DOCUMENTOS Y MATERIALES E INSUMOS					
501	Publicaciones	800.00		800.00	99,338.90
505	Reproducción de Documentos Impresos y Electrónicos	1,320.00		1,320.00	98,018.90
509	Materiales para proyectos	16,500.00		16,500.00	81,518.90
511	Adquisición de Libros y Otras Publicaciones	0.00		0.00	81,518.90
513	Información Especializada			0.00	81,518.90
600 PLANTA, EQUIPO Y MOBILIARIO					
611	Equipo y Mobiliario	23,805.00		23,805.00	57,713.90
615	Equipo de informática	-		0.00	57,713.90
700 SERVICIOS GENERALES					
701	Correspondencia			0.00	57,713.90
703	Telecomunicaciones y Enlaces de Internet	0.00		0.00	57,713.90
709	Combustibles	0.00		0.00	57,713.90
719	Reparación y mantenimiento de equipo	0.00		0.00	57,713.90
JORNALES					
729	Jornales (Mano de Obra)	47,260.00		47,260.00	10,453.90
INCENTIVOS					
823	Investigador Principal	6,524.00		6,524.00	3,929.90
	Investigador Asociado	4,044.00		4,044.00	-114.10
OTROS					
	Otros			0.00	-114.10
	TOTAL	150,114.10	0.00	150,114.10	-114.10

Fuente: Elaboración propia (2021).

## 8.5 Cotización y compra de equipo de termohigrómetros, refractómetros y morteros para el monitoreo de la fermentación.



Comercial Petapa Xpress Local 12  
Av. Petapa 33-77 Colonia Santa Elisa Zona 12  
Tel. 5402 2199  
e-mail: interlab.servicio@gmail.com

### COTIZACION No.2273\_11

Señores:  
**IICA-CRIA**  
NIT: 3716848  
Ciudad.

Guatemala, 13 de Noviembre de 2,017.

Atn. Marlon Fernando Ac Pangán

ITEM	CANT.	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	3 un	HTC-1	<b>Termohigrómetro Modelo HTC 1</b> Muestra en pantalla temperatura, humedad y hora simultáneamente. Memoria de máximos y mínimos. Marca AS Scientific. Especificaciones: Rango temperatura: -10 a +50°C (+14 a +122°F) Rango Humedad: 10% a 99%RH. Resolución: Temperatura: 0.1°C (0.1°F), humedad: 1% RH. Exactitud: temperatura: +/-1°C (1.8°F), humedad: +/-5%RH (40% a 80%). Energía: 1.5V (AAA) x1 Dimensiones 93mm x 102mm x 22mm	Q350.00	Q1,050.00
					
2	3 un	WT-2	<b>Termometro digital WT-2</b> , de -50 a 300°C c/sonda. AS Scientific. Con sonda de acero inoxidable, resolución de 0.1 °C.	Q360.00	Q1,080.00
					
3	3 un	RHB-32	<b>Refractometro RHB</b> rango de 0-32 Brix. AS Scientific. Para la medición de distintos productos como azúcar, miel, jugos, etc.	Q1,200.00	Q3,600.00
					
4	3 un	JMD0275	<b>Mortero de porcelana</b> con pistilo de 275 ml de capacidad. UNITED	Q275.00	Q825.00
					

**CORNING**  
Discovering Beyond Imagination

**AS Scientific**

**PYREX®**

## 8.6 Cotización y compra de medidores de humedad para monitorear el proceso de secado de cacao.



### CACAO VERAPAZ, S. A.

1a. Avenida 3-07 zona 12  
Cobán, Alta Verapaz  
Teléfono: 7728-2906

### COTIZACIÓN

No.
A-00009

Cliente	Contacto	Fecha	Ciudad
CRIA IICA	Marlon Ac	13/11/2017	Cobán, A. V.
Teléfono	Email	Tipo de Pago	
001 217 305 1958	<a href="mailto:marlonac23@hotmail.com">marlonac23@hotmail.com</a>	Contado	

No.	Descripción	Cantidad	Unidad de Medida	Precio Unitario	TOTAL
1	Medidor de Humedad para granos de café y cacao. Wile. Rango de Medición 1% a 38% de Humedad. Precisión +/- 0.5%.	3	Unidad	Q 3,500.00	Q 10,500.00
TOTAL COTIZACIÓN					Q 10,500.00

\*Precio con IVA Incluido. Cotización tiene vigencia de 20 días a partir de la emisión de la misma.

#### Depósitos a Cuenta de:

CACAO VERAPAZ, S. A.

Cuenta No. 018-011167-6 (Monetaria)

BANCO INDUSTRIAL, S. A.

Encargado:

  
Percy Ac  
[percy@cacaoverapaz.com](mailto:percy@cacaoverapaz.com)  
(502)45951083





## 8.7 Cotización y compra de medidores de pH y soluciones de limpieza, almacenamiento y calibración.

**Cotización: 4079**

NOVIEMBRE 13, 2017.

Página : 1

HANNA INSTRUMENTS GUATEMALA S.A.  
7 Calle 8-24  
Zona 18,  
Oficespacio 101 Interbodegas.  
Guatemala, Guatemala.  
TEL. (502) 2316-7574  
TEL. (502) 2316-7592

**Ciente:** 1017

**Para Depósitos utilice Banco Industrial: Cta. 000-029657-4**

Hanna Instruments Guatemala, le ofrece capacitación al personal que utilice el equipo sin ningún costo: Funcionamiento, Calibración y mantenimiento.

Además de servicio técnico especializado en la reparación y mantenimiento de sus equipos.

**Forma de pago: CONTADO**

**OBSERVACIONES: TODO PEDIDO REQUIERE EL 50% DE ANTICIPO**

Descuento general al cliente:

20.00 %

INSTITUTO INTERAMERICANO DE  
COOPERACION PARA LA AGRICULTURA  
7AV 14-44 ZONA 9  
GUATEMALA

GUATEMALA  
Atención  
Tels: 2386-5902  
Cantidad Código

GUATEMALA

Descripción

Precio Precio Precio Desc.ad  
Precio Desc. incluido I.V.A. incluido

3.00	HI98128	MEDIDOR PH/C, IMPERMEABLE, FLOTANTE, AT ENTREGA INMEDIATA	1,994.09	4,785.81	5,360.11
3.00	HI7004L	SOLUCION PH 4.01, 500 ML ENTREGA INMEDIATA	235.52	565.25	633.08
3.00	HI7007L	SOLUCION PH 7.01, 500 ML ENTREGA INMEDIATA	235.52	565.25	633.08
3.00	HI7061L	SOLUCION LIMPIEZA USOS GENERALES (460 ML ENTREGA INMEDIATA	235.52	565.25	633.08
3.00	HI70300L	SOLUCION DE ALMACENAMIENTO, 500 ML ENTREGA INMEDIATA	235.52	565.25	633.08

OBSERVACIONES: TODO PEDIDO REQUIERE EL 50% DE ANTICIPO  
PRECIOS SUJETOS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO  
COTIZACION VALIDA POR 15 DIAS

16 H. TEC. JORGE XITUMUL

Agente responsable

Elaborado por \_\_\_\_\_

Subtotal 7,892.43

TOTAL 7,892.43

## 8.8 Cotización y compra de navajas injertadoras para realizar la prueba de corte y evaluar el progreso de la fermentación de cacao.



7a. Ave. 9-62, Zona 1  
PBX: 2498-8900  
FAX: 2498-8901  
EMAIL: mayoreo02@elglobo.com.gt  
NIT: 73644-9

Señor(es): IICA / CRIA

Dirección: CIUDAD  
GUATEMALA

COTIZACION C351233

Página 1 de 1

Guatemala, 13/11/2017

NIT: 371684-8

FAX:

Comentario: ATT. MARLON AC PANGAN - NOTA: "CONTADO" PAGO DIRECTO A CUENTA DE  
FERRETERIA EL GLOBO, S.A.-

Vendedor: .

CODIGO	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	TOTAL
3.9020	3.00	C/U	NAVAJA INJERTAR 1HOJA ROJA VICTORINOX	101.40	304.20

\*TRES CIENTOS CUATRO CON 20/100\*

\*SUJETO A CAMBIOS SIN PREVIO AVISO\*

**TOTAL Q. 304.20**

**8.9 Cotización y compra de cajas para fermentación de cacao para contribuir con el mejoramiento de las capacidades de procesamiento de cacao de la región.**



**Bempec Agroforest**  
**Edgar Raul Quezada Aguilar**  
**-COTIZACIÓN -**



Salacuim, Cobán Alta Verapaz, 27 de Junio del 2,018

Señores : IICA-CRIA

Nit.

Dirección: 7a Av 14 - 44 Zona 9, Guatemala

Estimados señores:

Por medio este medio, presento a ustedes **COTIZACIÓN** para el siguiente producto

Descripción	Valor Unitario	Cantidad Total	Total
Cajas de madera para Fermentación de cacao de las dimensiones 100 cm x 100 cm x 80 cm	Q 500.00	10	Q 5,000.00
<b>Total</b>			<b>Q 5,000.00</b>

Notas:

- Las cajas de fermentación se estarán elaborando con madera libre de resina y olores, por lo que se estará utilizando madera de la especie tem,
- Las cajas se estarán entregando en el centro de procesamiento primario de cacao de la Asociación K'ATB'ALPOM en la Aldea Salacuim, Cobán Alta Verapaz
- Dicha cotización tiene el Vo.Bo. de la Junta Directiva de KÁT'B'ALPOM
- Para realizar el pago, realizarlo al número de cuenta Monetaria del Banco de Desarrollo Rural Banrural 3133046946 a nombre de **Edgar Raúl Quezada Aguilar**
- La presente cotización tiene una vigencia de 20 días a partir de la presente fecha

Edgar Raul Quezada Aguilar  
 Bempec Agroforest  
 5179-4038

[bempecagroforest@outlook.com](mailto:bempecagroforest@outlook.com)



## 8.10 Carta de aprobación de CRIA-IICA para asistir a la Conferencia Mundial del Cacao como representante de los investigadores de la cadena de cacao de Guatemala.



### 8.11 Guía de entrevistas

Fecha:	Hora de inicio:	Hora de finalización:
Lugar:	Entrevistado:	
Tema: Fermentación de cacao en la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz		
¿Desde cuándo ha tenido interacción con la cadena de valor de cacao?		
Apuntes		
¿Qué aspectos considera que se pueden mejorar para hacer la cadena más competitiva?		
Apuntes		
¿Considera que se tiene amplio conocimiento y experiencia en temas de procesamiento de cacao?		
Apuntes		
¿Cómo se puede mejorar el proceso de fermentación que se realiza actualmente en la región?		
Apuntes		
¿Las asociaciones cuentan con el equipo necesario para poder realizar una fermentación adecuada?		
Apuntes		
¿Cómo se puede mejorar la calidad del cacao que se produce actualmente?		
Apuntes		
¿Considera que es importante realizar investigaciones relacionadas a la fermentación del cacao?		
Apuntes		
¿Que representa el cultivo de cacao para los productores de la región?		
Apuntes		
¿Considera que se puede contribuir al desarrollo rural de la región a través la producción de cacao fino de aroma? ¿Por qué? ¿Cómo?		
Apuntes		

Fuente: Elaboración propia (2021).

## 8.12 Guía de encuestas individuales

No. de encuesta: \_\_\_\_\_ Fecha de entrevista: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
día    mes    año

Comunidad: \_\_\_\_\_ Organización: \_\_\_\_\_

Nombre del encuestador

## Datos Generales

Nombre del productor (a):

Género Masculino ☐ Femenino ☐ Edad:  años. Estado Civil: Soltero ☐ Casado ☐

Nivel de estudio: No estudió    Primario    Secundario    Diversificado    Universidad

Número de miembros del hogar: Hombres: \_\_\_\_\_ Mujeres \_\_\_\_\_ Menores de 18 años \_\_\_\_\_

Grupo étnico: O'eqchi' Poqomchi Rabinal achí Garífuna Otro

Ingreso diario o mensual (Salario): \_\_\_\_\_

Que extensión de terreno tiene \_\_\_\_\_ ¿Quién es el propietario? \_\_\_\_\_

¿Qué cultivos produce en el terreno? ¿Cuántas manzanas de cada cultivo?:

¿Son para consumo propio o para venta?: \_\_\_\_\_

¿Qué animales tiene? ¿Cuántos?: \_\_\_\_\_

¿Son para consumo propio o para venta?: \_\_\_\_\_

A que otras actividades se dedica: \_\_\_\_\_

## Datos del cultivo de cacao

¿Qué extensión del cultivo de cacao tiene?: \_\_\_\_\_

Fecha de siembra de la plantación y área sembrada: \_\_\_\_\_

¿Siembra por semilla o injertado?: \_\_\_\_\_

¿Qué variedad (genética) tiene en su plantación?: \_\_\_\_\_

¿Cuántos quintales de cacao en baba produce al año por hectárea o manzana?: \_\_\_\_\_

¿Fertiliza su cacao? Si \_\_\_\_ No \_\_\_\_ ¿Que fertilizante utiliza?: \_\_\_\_\_

¿Cuánto fertilizante utiliza por hectárea o manzana?: \_\_\_\_\_

## Datos de procesamiento de cacao

¿Quiénes realizan la cosecha del cacao?: \_\_\_\_\_

¿Número de personas que cosechan la parcela de cacao?: \_\_\_\_\_

¿En cuántos días cosecha su parcela de cacao?: \_\_\_\_\_

¿Qué materiales o herramientas utiliza para la cosecha?: \_\_\_\_\_

¿A cada cuantos días cosecha su parcela?: \_\_\_\_\_

¿Qué precio le pagan por libra de cacao en baba?: \_\_\_\_\_

¿Usted prefiere vender cacao drenado o no drenado?: \_\_\_\_\_

¿Cuál es el costo por libra o quintal de cacao en baba?: \_\_\_\_\_

¿Está conforme con el precio que le pagan por el cacao en baba?: \_\_\_\_\_

¿Le gustaría tener más opciones de mercado? Si\_\_ No\_\_ Porque \_\_\_\_\_

¿Está planificando sembrar más cacao? Si\_\_ No\_\_ Porque \_\_\_\_\_

¿Le gustaría que su asociación procesara y vendiera chocolate? Si\_\_ No\_\_ Porque \_\_\_\_\_

¿En general qué recomendaciones le daría a su comprador o asociación?: \_\_\_\_\_

### 8.13 Guía de observación en campo

Fecha de observación \_\_\_\_/ \_\_\_\_/ \_\_\_\_

Nombre del observador \_\_\_\_\_ Lugar \_\_\_\_\_

Actividad	Escala de medición					Notas
	1	2	3	4	5	
Cuentan con un centro de procesamiento de cacao adecuado para la capacidad de producción						
Cuentan con instalaciones apropiadas para la fermentación						
La cosecha de cacao se realiza de forma programada y eficiente						
Los productores de cacao llevan registro de producción en cada parcela						
Existen controles de calidad del cacao fresco al momento de la compra						
Existe diferencia en pago por calidad de cacao entregado en las asociaciones						
Existe un volumen mínimo claramente establecido para realizar la fermentación de cacao en cada partida						
Existe un encargado designado para el proceso de fermentación de cacao						
El personal encargado de la fermentación tiene amplio conocimiento del proceso						
Existe medición de grados brix del cacao al iniciar la fermentación						
Existe control y registro de temperatura del cacao durante todos los días de fermentación						
Existe control y registro de temperatura y humedad relativa del ambiente en el área de fermentación						
Se realizan pruebas de corte durante la fermentación para evaluar el desarrollo del proceso						
Se realiza medición de pH de la testa y del cotiledón para determinar el final de la fermentación						
Se lleva un control claro sobre los precios pagados al productor de acuerdo a la calidad						

Fuente: Elaboración propia (2021).

### 8.14 Hoja de registro para el control del proceso de fermentación de cacao

Fecha: \_\_\_\_\_ Tratamiento: \_\_\_\_\_ Repetición: \_\_\_\_\_ No. Partida \_\_\_\_\_

Peso baba (qq): \_\_\_\_\_ Peso cacao seco (qq): \_\_\_\_\_ Volteos cada (horas): \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

Nombre de la asociación \_\_\_\_\_ Nombre del encargado: \_\_\_\_\_

Fecha	Día	Temperatura (°C) y Humedad (%) del ambiente	Temperatura fermentación (°C)	pH de la testa	pH del cotiledón	Comentarios
	Drenado		1 2 3	1 2 3	1 2 3	
	0		1 2 3	1 2 3	1 2 3	
	1		1 2 3	1 2 3	1 2 3	
	2		1 2 3	1 2 3	1 2 3	
	3		1 2 3	1 2 3	1 2 3	
	4		1 2 3	1 2 3	1 2 3	
	5		1 2 3	1 2 3	1 2 3	
	6		1 2 3	1 2 3	1 2 3	
	7		1 2 3	1 2 3	1 2 3	
	8		1 2 3	1 2 3	1 2 3	
	9		1 2 3	1 2 3	1 2 3	

Fuente: Elaboración propia (2021).

## 8.15 Convocatoria para la contratación del equipo de campo

### Términos de Referencia

El proyecto de investigación de IICA-CRIA "**Perfiles de fermentación para contribuir con el mejoramiento de la calidad del cacao (*Theobroma Cacao* L.) de la ecorregión de Lachúa, Cobán, Alta Verapaz**" requiere contratar los siguientes servicios:

Asistentes de investigación en campo para el establecimiento, monitoreo y recolección de datos del proyecto de investigación. Se contratará tres personas en total para la ecorregión, UNA persona para cada asociación: KATBALPOM, ASOSELNOR Y ASODIRP.

### **Principales responsabilidades:**

1. Implementar las actividades establecidas por el coordinador de trabajo de campo durante el periodo de la investigación.
2. Atender las capacitaciones para la medición y recolección de datos del experimento establecidas por el coordinador de campo e investigador principal.
3. Medir las variables requeridas para el desarrollo de la investigación, las cuales incluyen:
  - Control de calidad cacao en baba (Pesado, medición de grados brix y drenado de cacao en baba)
  - Fermentación y secado de cacao (volteos de cacao en baba y remociones en patios de secado)
  - Medición de parámetros de fermentación (Temperatura, pH del grano y cotiledón, grados brix, humedad relativa y temperatura ambiente)
  - Llenado de boletas de registro de cada una de las variables y tratamiento del experimento y reportarlas al coordinador de trabajo de campo
  - Elaboración y etiquetado de las muestras de cacao por cada tratamiento

### **Requisitos**

1. Haber completado mínimo tercero básico, sin embargo, se prefiere personas graduadas de nivel medio de Maestros, Perito Contador, Técnico Agrícola o afines.
2. Hombres o Mujeres, de preferencia de 18 a 25 años de edad. (Se motiva a las mujeres a aplicar)
3. De preferencia haber participado en algunas capacitaciones relacionadas a temas de cacao implementadas por organizaciones acompañantes de FUNDALACHUÁ (Por ejemplo, capacitaciones del proyecto Cacao Móvil a través de FUNDASISTEMAS o similares).
4. De preferencia que los candidatos de cada asociación sean originarios de la misma comunidad sede de la asociación (Ej. Los candidatos de ASODIRP que vivan en Rocjá Pomtilá).
5. De preferencia con cuenta bancaria para poder recibir los pagos directamente de CRIA-IICA

### **Se ofrece**

1. Contrato de 4 meses (De abril a Julio de 2018)
2. Salario en el rango de Q 1,500.00 a Q 2,000.00 de acuerdo con experiencia.
3. Capacitación sobre manejo postcosecha de cacao y medición de variables de investigación.
4. Horario flexible, de acuerdo con las necesidades y requerimientos de la investigación.

Las personas interesadas deberán entregar su CV o expresar su interés al presidente de cacao asociación (KATBALPOM, ASOSELNOR Y ASODIRP), quienes seleccionarán a tres candidatos que posteriormente serán entrevistados por el investigador principal y coordinador de campo del proyecto de investigación. **Las entrevistas se realizarán el lunes 2 de abril de 2018 en las instalaciones de FUNDALACHUÁ de 8:00 am a 12:00 am.** Cualquier consulta sobre la convocatoria favor comunicarse con el Ing. Armando Ruiz al teléfono 5177-7649 o al correo electrónico [earuizcruz@yahoo.es](mailto:earuizcruz@yahoo.es) o [marlonac23@hotmail.com](mailto:marlonac23@hotmail.com)

## 8.16 Carta aval de la cadena de cacao región Norte ante el programa CRIA-IICA



INSTITUTO TECNOLÓGICO MAYA DE ESTUDIOS SUPERIORES -ITMES-  
Unidad Académica No. 31 de la USAC



REF.UI/ITMES/Of. No. 01-2019.HEBK/hebk

San Juan Chamelco, Alta Verapaz, 07 de enero de 2019.

**MSc. María Febres**  
**Coordinadora Nacional**  
**Programa CRIA-IICA**  
**Representante de IICA en Guatemala**  
**Presente**

Estimada Mtra. Febres, reciba cordiales saludos del Instituto Tecnológico Maya de Estudios Superiores -ITMES-, Unidad Académica No. 31 de la Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC-, con sede en la Finca Municipal Chipar, San Juan Chamelco, Alta Verapaz.

Por medio de la presente, notificamos que hemos tenido a la vista el informe final del Proyecto de Investigación financiado por el Programa CRIA-IICA dentro de la Cadena de Cacao, denominado "Perfiles de fermentación para contribuir con el mejoramiento de la calidad de cacao (*Theobroma cacao* L.) de la Ecorregión Lachúa de Cobán, Alta Verapaz". La investigación fue ejecutada por el Ing. Agr. Armando Ruiz como investigador principal y al Ing. en Agroindustrias Marlon Ac Pangan como investigador auxiliar y estudiante de Maestría.

Como Coordinador de la Cadena de Cacao para la Región Norte del país, extendiendo el presente aval de la cadena de cacao ante el Programa CRIA-IICA, toda vez que el estudio llena las calidades mínimas académicas y científicas del Programa y las establecidas por esta Unidad Académica y recomiendo continúe con el procedimiento definido dentro del Programa para su impresión y publicación.

Agradeciendo su atención y seguimiento, sin otro particular.

Atentamente,

**Ing. Agr. Hermes Enmanuel Bol Kloth**  
**Coordinador de la Cadena de Cacao Región Norte**  
**Enlace Institucional ITMES**



cc.archivo.

Finca Municipal Chipar, San Juan Chamelco, Alta Verapaz, Guatemala. Teléfono: 7950-0482. Email:  
[itmes.usac@gmail.com](mailto:itmes.usac@gmail.com). [www.itmes.edu.gt](http://www.itmes.edu.gt).



## 8.17 Carta de aval institucional del CUNOR ante el CRIA-IIICA



Ref. 15-D-463/2018  
Cobán, A.V., 24 de noviembre de 2018

MSc. María Febres  
Directora  
Representación IICA-Guatemala y Coordinadora del Proyecto CRIA  
Presente

Respetables MSc. Febres:

Con mucho respeto me dirijo a usted, en primer lugar, para desearle éxitos en las actividades que realiza al frente del IICA en Guatemala y en especial en lo referente al proyecto CRIA. Por medio de la presente, se le hace envío del informe final del proyecto denominado **"Perfiles de fermentación para contribuir con el mejoramiento de la calidad de cacao (*Theobroma cacao*) de la ecorregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz"**, el cual pertenece a la cadena de cacao en la Región Norte. Esta investigación fue ejecutada por el ingeniero Armando Ruiz, como investigador principal y el ingeniero Marlon Ac, como investigador auxiliar en su calidad de estudiante de tesis de maestría.

En mi calidad de director del Centro Universitario del Norte-CUNOR, me permito extender el aval institucional ante el CRIA, por considerar que cumple con los requisitos mínimos de calidad académica y técnica que exige nuestra institución a los trabajos de investigación de este tipo.

Sin otro particular y agradeciendo su atención, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,

*"Id y enseñad a todos"*

Lic. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales  
Director del Centro Universitario del Norte



c.c. archivo



## 8.18 Fotografías de actividades ejecutadas durante el proceso de investigación.



Foto 1. Validación de instrumentos e inicio entrevistas a productores de cacao.



Foto 2. Prueba de selección del equipo de trabajo.



Foto 3. Rotulación del proyecto de investigación en la asociación KATBALPOM.

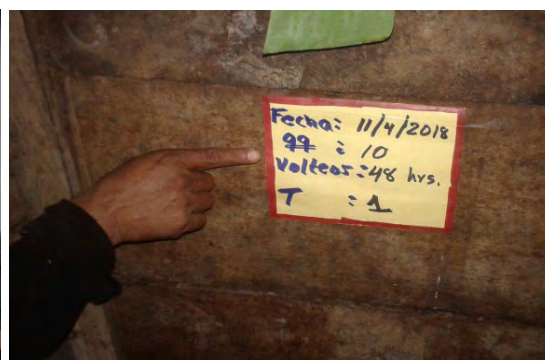


Foto 4. Rotulación de los tratamientos durante el proceso de fermentación.

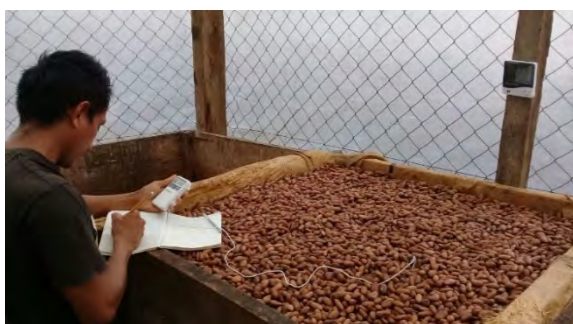


Foto 5. Medición de temperatura durante el proceso de fermentación.



Foto 6. Medición de temperatura y humedad durante el proceso de secado.



Foto 7. Medición de pH de la testa y cotiledón durante el proceso de fermentación.



Foto 8. Monitoreo y registro de datos durante el experimento de campo.



Foto 9. Muestras de granos de cacao seco por cada tratamiento



Foto 10. Catación de chocolates durante la conferencia mundial de cacao en Alemania.

### 8.19 Fotografías de instalaciones de fermentación en otros países



Foto 11. Instalaciones de fermentación en la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), Honduras.



Foto 12. Sistema de fermentación en cascada en la cooperativa COAGRICSAL, Honduras.

## 8.20 Protocolo de fermentación utilizados actualmente por las asociaciones

Las asociaciones de FUNDALACHUA actualmente fermentan en cajas de madera de diferentes medidas. Dos asociaciones (KATBALPOM y ASOSELNOR) procesan el cacao en un sistema lineal y una utiliza el sistema de cascada. Adicionalmente, no existen parámetros objetivos de medición, además de la temperatura, para el monitoreo y evaluación del proceso. Únicamente se realiza la prueba de corte de granos de cacao para verificar el grado de fermentación y la persona encargada decide cuando terminar el proceso.

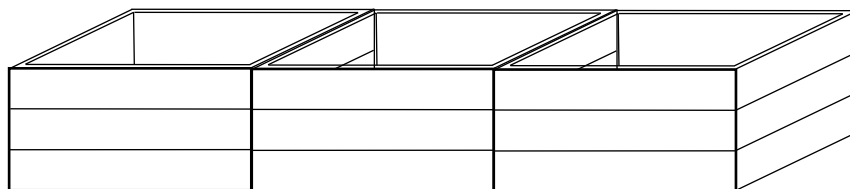


Figura 37. Cajas de fermentación en sistema lineal (un solo nivel) utilizado por KATBALPOM y ASOSELNOR. Fuente: Elaboración propia (2021).

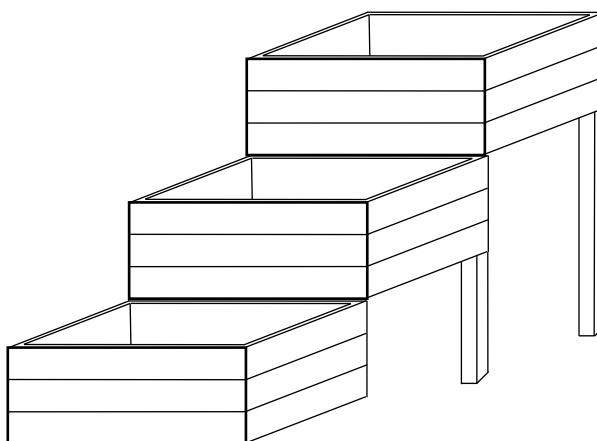


Figura 38. Cajas de fermentación en sistema de cascada utilizado por ASODIRP. Fuente: Elaboración propia (2021).

Además, la frecuencia de volteos fue diferente en las tres asociaciones, como se observa en la siguiente tabla:

Asociación	Volteos por día de fermentación							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>KATBALPOM</b>		X	X	X	X	X		
<b>ASOSELNOR</b>		X		X		X	X	X
<b>ASODIRP</b>		X		X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia (2021).



USAC



CUNOR

No. 008-2021

El Director del Centro Universitario del Norte de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer los dictámenes de la Comisión de Trabajos de Graduación de la maestría:

## CIENCIAS EN DESARROLLO RURAL

Al trabajo titulado:

### TESIS

**PERFILES DE FERMENTACIÓN PARA CONTRIBUIR CON EL  
MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.) Y  
CON EL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO DE LA ECORREGIÓN DE  
LACHUA, COBÁN, ALTA VERAPAZ**

Presentado por el (la) estudiante:

**MARLON FERNANDO AC PANGÁN**

Autoriza el

# IMPRIMASE

Cobán, Alta Verapaz 06 de Octubre de 2021.

  
Lic. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales  
DIRECTOR

